

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE UN  
CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine BAJO EL  
EFECTO DE DOS BIORREGULADORES

**RICARDO RAMÍREZ ZAMBRANO**

**TESIS**

Presentada como requisito para

Obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**

**Universidad Autónoma Agraria**



**Antonio Narro**

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE TOMATE (*Solanumlycopersicon* L.) C.V. Brandywine BAJO EL EFECTO DE DOS BIORREGULADORES.

TESIS

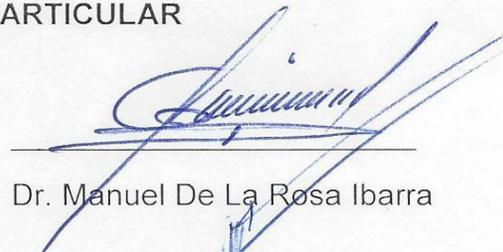
RICARDO RAMÍREZ ZAMBRANO

Elaborada bajo supervisión del Comité Particular de Asesoría y Aprobada como requisito parcial para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

COMITÉ PARTICULAR

ASESOR PRINCIPAL



---

Dr. Manuel De La Rosa Ibarra

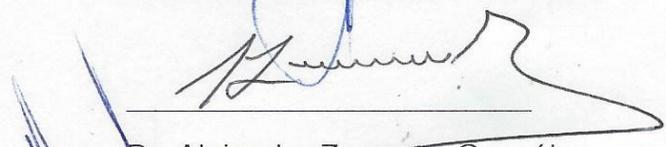
VOCAL



---

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

VOCAL



---

Dr. Alejandro Zermeno González



---

Dr. Alberto Sandoval Rangel

Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila México. Marzo de 2015.

## COMPENDIO

# ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine BAJO EL EFECTO DE DOS BIORREGULADORES

Por

RICARDO RAMÍREZ ZAMBRANMO

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE  
PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo de 2015

Dr. Manuel De La Rosa Ibarra –Asesor-

**Palabras clave:** biorreguladores, fotosíntesis, rendimiento, tomate.

En esta investigación se evaluó el crecimiento y rendimiento de un cultivo de tomate con la aplicación de ácido salicílico (AS) y ácido giberélico (AG<sub>3</sub>). El trabajo se llevó a cabo en el periodo otoño-invierno del 2014, en el invernadero del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,

en Saltillo, Coahuila, México. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con siete tratamientos (T1= Testigo; T2= AS  $1 \times 10^{-8}$  M; T3= AS  $1 \times 10^{-10}$  M; T4= AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 12 ppm de  $AG_3$ ; T5= AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 25 ppm de  $AG_3$ ; T6= AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de  $AG_3$  y T7= AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 25 ppm de  $AG_3$ ), tres repeticiones y seis muestreos, la unidad experimental fue una planta por cada tratamiento. Las variables de estudio fueron las siguientes Índices de Crecimiento (IC): Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Relación de Área Foliar (RAF), Relación de Peso Foliar (RPF), Área Foliar Específica (AFE). Variables Fisiológicas (VF): Tasa de Asimilación de  $CO_2$  ( $P_N$ ), Conductancia Estomática ( $g_s$ ) y la Tasa de Transpiración ( $Trmmol$ ). Rendimiento y Componentes del Mismo, A los resultados obtenidos se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias entre tratamientos con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002).

El análisis de varianza y comparación de medias no mostró diferencias significativas para los IC, pero sí para las VF, los componentes del rendimiento y del rendimiento mismo. El AS y el AS +  $AG_3$  incrementaron los IC durante el desarrollo del cultivo pero no al final de este, de igual manera aumentan la Tasa de Asimilación de  $CO_2$ , Conductancia Estomática y la Tasa de Transpiración con relación a las plantas testigo. Asimismo se encontró que la combinación de ambos ácidos en bajas concentraciones incrementa de manera significativa el rendimiento total y número de frutos por planta, superando estadísticamente a las plantas control. Por lo que se puede concluir que el AS y AS +  $AG_3$  influyen de manera positiva ya que modifica el comportamiento de los índices de

crecimiento, aumentando también las variables fisiológicas e incrementando significativamente el rendimiento, mejorando así la productividad del tomate.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>2</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>5</b>
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>6</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>7</b>
Fitoreguladores.....	7
Fitorreguladores en la agricultura.....	8
Clasificación de los fitorreguladores.....	9
Giberelinas .....	10
Ácido giberélico.....	11
Biosíntesis de las giberelinas .....	12
Ácido giberélico en la agricultura.....	16
Ácido giberélico en la germinación de semillas .....	17
Ácido giberélico en la floración.....	18
Ácido giberélico en el rendimiento de los cultivos .....	19
Ácido salicílico .....	21
Biosíntesis del ácido salicílico .....	22
Ácido Salicílico en las plantas .....	24
Ácido salicílico en la agricultura .....	28
Ácido salicílico en el rendimiento de los cultivos.....	28
Análisis del crecimiento de los cultivos.....	30
Índices de crecimiento.....	32
Componentes del rendimiento.....	35
Calidad del fruto .....	36
<b>ARTICULO</b> .....	<b>40</b>
<b>ARTICULO</b> .....	<b>77</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>105</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>106</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b> Análisis de varianza y comparación de medias para los componentes del rendimiento de un cultivo de tomate bajo la aplicación exógena de diferentes concentraciones de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.....	68
<b>Cuadro 2.</b> Análisis de varianza y comparación de medias para tres niveles de las hojas en plantas de tomate ( <i>Lycopersicum esculentum</i> Mill) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirlum con la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.....	96
<b>Cuadro 3.</b> Correlación entre las variables fisiológicas de un cultivo de tomate ( <i>Lycopersicum esculentum</i> Mill) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirlum bajo el efecto de AS y AS + AG <sub>3</sub> .....	97
<b>Cuadro 4:</b> Análisis de varianza y comparación de medias para los componentes del rendimiento de un cultivo de tomate bajo la aplicación exógena de diferentes concentraciones de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estructura del ácido giberélico (Davies, 2004).....	12
<b>Figura 2:</b> muestra las dos vías principales en las plantas que llevan a la formación de AG <sub>1</sub> y AG <sub>4</sub> .....	14
<b>Figura 3:</b> Biosíntesis y metabolismo del ácido salicílico (Vlot <i>et al.</i> , 2009).....	33
<b>Figura 4:</b> Tasa de crecimiento relativo para un cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) C.V. Brandywine bajo el efecto de la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido giberélico.....	72
<b>Figura 5:</b> Comportamiento de la tasa de asimilación neta de un cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) C.V. Brandywine bajo la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.....	73
<b>Figura 6:</b> Relación de Área Foliar para un cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) C.V. Brandywine bajo el efecto de la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.....	74
<b>Figura 7:</b> Relación de Peso Foliar para un cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) C.V. Brandywine bajo la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.....	75

<b>Figura 8:</b> Área Foliar Especifica de un cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) C.V. Brandywine bajo el efecto de la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido giberélico.....	76
<b>Figura 9.</b> Tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> para tres niveles de hojas de un cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) C.V. Brandywine bajo la aplicación exógena de diferentes concentraciones de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.....	99
<b>Figura 10.</b> Conductancia estomatal en tres niveles de hojas de plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) C.V. Brandywine con la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.....	100
<b>Figura 11.</b> Tasa de transpiración de tres niveles de hojas de un cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom bajo el aplicación exógena de AS y AS + AG <sub>3</sub> .....	101
<b>Figura 12.</b> Relación entre la temperatura de la hoja y la tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> en plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom bajo el efecto de AS y AS + AG <sub>3</sub> .....	102
<b>Figura 13.</b> Relación entre la temperatura de la hoja y la conductancia estomatal en las hojas de plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicon</i> L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom bajo el efecto de AS y AS + AG <sub>3</sub> .....	103

**Figura 14.** Relación entre la temperatura de la hoja y la tasa de fotosíntesis para un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom con la aplicación exógena de AS y AS + AG<sub>3</sub>.....104

## INTRODUCCIÓN

Innumerables compuestos han sido considerados como biorreguladores entre ellos se encuentra el ácido giberélico ( $AG_3$ ) y el ácido salicílico (AS). El  $AG_3$  controla aspectos importantes en el desarrollo de las plantas, actúa como estimulante del crecimiento al originar plantas de mayor tamaño (Vichiato *et al.*, 2007), aumenta la expansión foliar, la floración y el desarrollo de las semillas (Ogawa *et al.*, 2003), sin embargo Azcon y Talon (2000) mencionan que una de las funciones más importantes de  $AG_3$  es la promoción del crecimiento del tallo. Asimismo Balagera *et al.*, (2009) reportan que la aplicación exógena de  $AG_3$  en plantas de tomate tuvo un aumento significativo en el peso fresco y seco, el área foliar y la altura. Por otra parte Casierra *et al.*, (2007) mencionan que el ácido giberélico contribuye significativamente al incrementar el volumen de los frutos. También Kojima (2005) reportó que el ácido giberélico es capaz de aumentar el diámetro de frutos de tomate, debido a que el  $AG_3$  es responsable de la expansión celular.

Por otra parte el ácido salicílico (AS) ha sido considerado como un biorregulador que participa en algunos procesos fisiológicos de la planta (Raskin, 1992). Como la germinación de semillas, crecimiento celular, respiración, cierre de estomas, expresión de genes asociados a senescencia,

repuesta al estrés abiótico y de forma esencial en la termogénesis, así como en la resistencia a enfermedades (Vlot *et al.*, 2009). Diversos trabajos señalan la importancia del ácido salicílico en la bioproduktividad de las plantas expresando efectos en el aumento de tamaño de la planta, el número de flores y la aparición temprana de estas (Larque, 1978). Larque *et al.*, (2010) al trabajar con tomate realizando aplicaciones de ácido salicílico a concentraciones bajas encontraron que este es capaz de incrementar la altura de la planta, el área foliar, el peso fresco y seco, así como la longitud y perímetro de la raíz. Asimismo Yildirim y Dursun (2009), al aplicar ácido salicílico en tomate, reportaron un aumento significativo del rendimiento. También recientes investigaciones han demostrado que a concentraciones bajas de AS se incrementa significativamente el rendimiento en diferentes cultivos, como en pepino, frijol, chile, calabacita y maíz (Larqué y Martín-Mex 2007; Martín y Larqué, 2003; Nexticapan, *et al.*, 2009; Ramírez, *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2009; Singh y Kaur, 1980).

Actualmente el productor busca nuevas tecnologías para inducir precocidad de cosecha, aumento del vigor de plantas de tomate e incrementar la capacidad de competencia del vegetal así como el rendimiento del cultivo sin que se vea afectada la relación beneficio-costos.

El uso del ácido giberélico y ácido salicílico son una excelente alternativa ya que en la agricultura han demostrado ser capaces de inducir un mayor crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos y al mismo tiempo incrementa la resistencia de las plantas a factores de estrés, sin aumentar la relación beneficio-costos ya que estos ácidos son de bajo costo, por lo anterior

el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación exógena del ácido giberélico y ácido salicílico en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo de tomate.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la aplicación exógena de dos biorreguladores en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine, bajo el efecto de dos biorreguladores.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto del ácido salicílico en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine.
- Analizar el efecto de la aplicación exógena de ácido salicílico más ácido giberélico en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine.
- Evaluar el efecto del ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico en algunas variables fisiológicas de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine.

## HIPÓTESIS

Al menos una de las concentraciones de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico, utilizados en el presente trabajo modificaran el crecimiento, desarrollo y rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Biorreguladores

Las plantas son organismos sésiles que se adaptan y responden a los cambios ambientales mediante la producción de un gran número de compuestos químicos tanto difusibles como volátiles. Entre dichos metabolitos, las hormonas vegetales juegan un papel importante en la fisiología de la planta (Avanci *et al.*, 2010), ya que regulan procesos de desarrollo así como las redes de señalización implicadas en las respuestas de las plantas a una amplia gama de estrés biótico y abiótico (Bari y Jones, 2009).

Todas las hormonas son biorreguladores, pero no todos los biorreguladores son hormonas. Los biorreguladores son compuestos orgánicos de origen natural, que en pequeñas concentraciones, aceleran, inhiben o modifican de alguna forma los procesos fisiológicos de las plantas (Ayala, *et al.*, 2000). Asimismo Botta *et al.*, (2012) mencionan que los biorreguladores son compuestos capaces de aumentar el desarrollo de las plantas, acelerar el alargamiento y la división celular, así como incrementar la producción de biomasa y rendimiento en cultivos de importancia económica. También ayudan a potenciar la resistencia a bajas temperaturas, disminuyen el daño producido por los herbicidas en las cosechas y favorecen el

desarrollo de las plantas en estrés hídrico, así como la tolerancia a la salinidad del suelo (Yokota y Takahashi, 1986).

### Biorreguladores en la agricultura

El actual uso de los biorreguladores en la agricultura es debido a que ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícola. Ya que estas sustancias son únicas en su característica de ser absorbidas por el tejido vegetal y transportadas a un sitio de reacción antes de inducir un efecto deseado, y al mismo tiempo actúan en armonía con la naturaleza al no causar efectos adversos en la salud humana por lo que son una excelente alternativa en la horticultura moderna (Ramírez, 2003). Es por ello que la utilización de los biorreguladores en la agricultura trae consigo la obtención de buenos rendimientos, productos más sanos y de calidad que demanda el mercado hoy en día.

Los biorreguladores han tenido un aumento significativo en su aplicación en el área de la agronomía, ya que son capaces de incrementar el crecimiento, aumentar los rendimientos y mejorar la calidad de los frutos además de utilizarse ampliamente en el control de malezas, defoliación, propagación y control del tamaño de la planta y fruto (Agustí, 2003). Asimismo estos son capaces de controlar el desarrollo reproductivo, desde la diferenciación floral hasta los últimos estadios del desarrollo de los frutos. En particular, la etapa de fructificación y desarrollo depende del contenido endógeno de estas sustancias, y es posible manipular la iniciación del desarrollo del fruto por aplicación externa de biorreguladores (Agüero *et al.*, 2007). Por otra parte, Retamales, (2007)

menciona que los biorreguladores han sido mayormente utilizados en agricultura intensiva, como fruticultura y viticultura, aunque existen también notables ejemplos de su uso en cultivos extensivos como cereales, por lo que el uso de estas sustancias tiene la ventaja de producir efectos que no son permanentes y por lo tanto, de ser modificados de acuerdo a las necesidades del horticultor (Ramírez, 2003).

Sin embargo, otro de los usos que tienen los biorreguladores, es su utilización como retardantes del crecimiento ya que su aplicación en los cultivos hortícolas es con el fin de reducir el crecimiento sin que se vea afectada la productividad de la planta (Rademacher, 2000). Esto se realiza con el fin de obtener plantas más compactas y fáciles de manejar a la hora de las cosechas.

Otra de las características que se busca con la aplicación de los biorreguladores es la inducción de precocidad de cosecha. Ramírez, (2003) menciona que en las plantas existen diferencias genéticas muy marcadas de precocidad entre diferentes especies, sin embargo en la gran mayoría es posible estimular precocidad mediante el uso de biorreguladores.

Clasificación de los biorreguladores.

Anteriormente la clasificación de los biorreguladores era dado a su naturaleza química y por el efecto que producían en las plantas por lo que estos se clasificaron en cinco grupos como auxinas; giberelinas (GAs); citoquininas (CK); etileno; inhibidores y retardantes de crecimiento (Coletto, 1995).

Sin embargo actualmente se clasifican desde las auxinas, giberelinas (AG), ácido abscísico (ABA), citoquininas (CK), ácido salicílico (AS), etileno (ET), jasmonatos (JA), los brasinoesteroides (BR) y hormonas peptidas. Y más recientemente, las estrigolactonas que se identifican como una nueva clase de hormona vegetal (Gómez *et al.*, 2008; Umehara *et al.*, 2008).

### Giberelinas

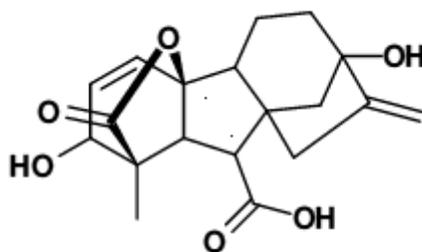
Las giberelinas forman una gran familia de compuestos diterpenoides bioactivos, algunos de los cuales son reguladores del crecimiento, que controlan diversos procesos de desarrollo tales como la germinación de semillas, elongación del tallo, expansión de las hojas, desarrollo de los tricomas y desarrollo de flores y frutos. Por lo que la concentración bioactiva de las giberelinas en las plantas va de un rango de  $10^{-9}$  a  $10^{-11}$  g/g de peso fresco, dependiendo del tejido y las especies, estando estrechamente reguladas (Davies, 2004). Asimismo Pimenta y Lange, (2006) mencionan que las giberelinas son sustancias de crecimiento que ejercen distintas funciones durante todo el ciclo de vida de las plantas superiores.

En la actualidad existen 136 giberelinas completamente identificadas, desde la AG<sub>1</sub> hasta la AG<sub>136</sub>, que fueron identificadas a partir de 128 especies diferentes de plantas vasculares, así como de siete bacterias y siete hongos (MacMillan, J., 2002). Las primeras giberelinas fueron aisladas del hongo patógeno *Gibberella fujikuroi* del cual derivan su nombre como giberelinas (MacMillan, J., y Takahashi N., 1968). Aun que 136 giberelinas se han identificado, solo un pequeño grupo son biológicamente activas en las que se

incluye la AG<sub>1</sub>, AG<sub>3</sub>, AG<sub>4</sub>, AG<sub>5</sub>, AG<sub>6</sub> y AG<sub>7</sub>. Las giberelinas bioactivas presentes en una especie vegetal en particular están acompañadas por una docena o más de giberelinas que pueden ser precursoras inactivas o productos de desactivación de las formas activas (Davies, 2004). Por otra parte Olszewski *et al.*, (2002) mencionan que el resto de las giberelinas no bioactivas son intermediarios o catabolitos de las giberelinas biológicamente activas. La diferencia entre estas se debe principalmente, a la presencia y localización de dobles ligaduras y al número de grupos carboxilo, carbonilo e hidroxilo dentro de la molécula (Garza 1993). La giberelina mejor conocida del grupo es el ácido giberélico (AG<sub>3</sub>).

#### Ácido giberélico

La giberelina GA<sub>3</sub> también conocida como ácido giberélico ha sido identificada en 45 plantas, sin embargo su mayor producción comercial es a través del hongo *Gibberella fujikuroi*. Es usado para promover la germinación de las semillas, elongación del tallo y crecimiento del fruto en una amplia variedad de plantas de importancia agronómica y hortícola (Davies, 2004). El AG<sub>3</sub> químicamente está formado de diterpenos los cuales están compuestos por cuatro unidades de isopreno comúnmente formando tres anillos, además de presentar un puente de lactona. El AG<sub>3</sub> está compuesto por cristales blancos fácilmente solubles en metanol, etanol ácido, acetona, ácido acético, bicarbonato de sodio y son ligeramente solubles en agua y éter etílico (Garza 1993).



**Figura 1:** Estructura del ácido giberélico (Davies, 2004).

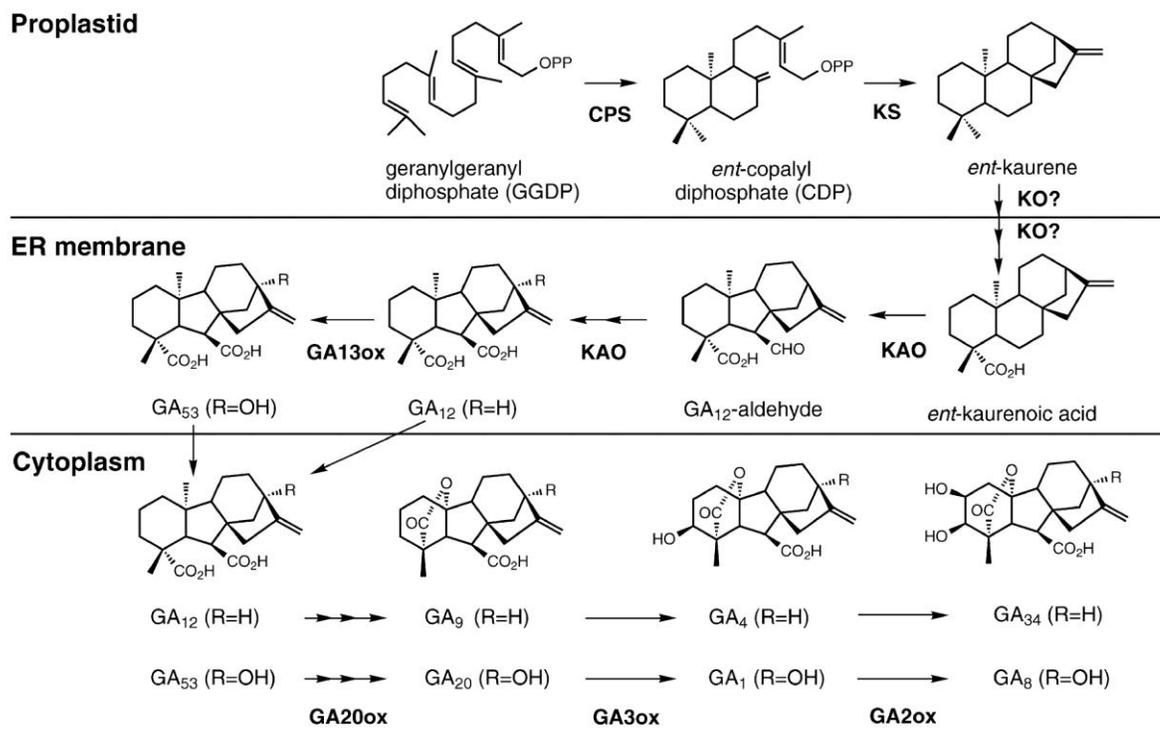
### Biosíntesis de las giberelinas

Las giberelinas se presentan en cantidades variables en todos los órganos de la planta, pero las concentraciones mayores se alcanzan en órganos jóvenes pero sobretodo en las semillas inmaduras. Dichas sustancias son sintetizadas en los primordios apicales de las hojas, en las puntas de las raíces y semillas en desarrollo. Estas son transportadas por el floema junto con los productos de la fotosíntesis y también por el xilema, sin embargo tienen un movimiento bidireccional que se califica como pasivo (Lluna, 2006).

Olszewski *et al.*, (2002) mencionan que la ruta de biosíntesis de las GAs está regulada por complejos mecanismos de expresión de genes así como el desarrollo endógeno de las giberelinas y la incidencia de luz, lo que trae como resultado un control de la producción de giberelinas biológicamente activas. Por su parte Radi *et al.*, (2006) mencionan que la ruta biosintética de las giberelinas ha sido caracterizada así como los genes que codifican para la mayoría de las enzimas biosintéticas de las giberelinas y que han sido clonadas en plantas de *Arabidopsis* y otras especies.

Hedden y Phillips, (2000) mencionan que la ruta de biosíntesis de las giberelinas en las plantas se puede dividir en tres partes principales según el tipo de enzimas que intervienen y su localización subcelular. La primera fase inicia con la biosíntesis de *ent*-kaurene que tiene lugar en los plástidos; la segunda en la conversión de *ent*-kaurene a AG<sub>12</sub> a través de monooxigenasas del citocromo P450 que se lleva a cabo en el retículo endoplásmico; y la tercera en la formación de las giberelinas con el C<sub>20</sub> – C<sub>19</sub> y que tiene lugar en el citoplasma (Figura 2).

En la primera etapa, el difosfato de geranylgeranilo, que sirve como un precursor común para diterpenos (por ejemplo, las AGs y la cadena de fitol de la clorofila) y tetraterpenos (carotenoides), se sintetiza por cualquiera vía a partir de mevalonato-dependiente o mevalonato no dependiente. Después el difosfato de geranylgeranilo se convierte a *ENT*-kaurene en una reacción de ciclación de dos etapas, catalizada por *ent*-copalyl difosfato sintetasa (CPS) y *ent*-kaurene sintetasa (KS), con *ent*-copalyl difosfato como un intermedio.



**Figura 2:** muestra las dos vías principales en las plantas que llevan a la formación de  $GA_1$  y  $GA_4$ . La cantidad de giberelinas bioactivas pueden verse afectadas tanto por la velocidad de su síntesis y la conversión a formas inactivas por  $2\beta$ -hidroxilación, que es catalizada por  $GA_2$ -oxidasas ( $GA20ox$ ). Los nombres de las enzimas se observan en negritas debajo de las flechas a la derecha. Las  $GA_9$  y  $GA_{20}$  también se pueden convertir en  $GA_{51}$  y  $GA_{29}$  por la  $GA20ox$ . Las giberelinas biológicamente activas como  $GA_4$  y  $GA_1$  se observa que  $GA_{34}$  y  $GA_8$  son sus catabolitos inactivos respectivamente (Davies, 2004).

En la segunda fase de la vía, ocurre la oxidación por etapas, seguida por la contracción del anillo que es catalizada por *ent*-kaurene oxidasa (KO) y el ácido *ent*-kaurenoico oxidasa (KAO) produciendo así la  $GA_{12}$ , que se puede convertir además a  $GA_{53}$  por 13-hidroxilación. En la tercera etapa de la biosíntesis de las giberelinas, la  $GA_{12}$  y la  $GA_{53}$  son convertidas en diversas giberelinas intermedias y giberelinas bioactivas, incluyendo la  $GA_1$  y la  $GA_4$ , por una serie de etapas de oxidación catalizadas por 2-oxoglutarato-dependientes dioxigenasas,  $GA20$ -oxidasas ( $GA20ox$ ) y  $GA3$ -oxidasas ( $GA3ox$ ). Las giberelinas dioxigenasas suelen ser multifuncionales con una amplia

especificidad de sustratos, lo que resulta en muchas reacciones secundarias y numerosas giberelinas. Por su parte Davies, (2004) menciona que la  $AG_{12}$  es el precursor común para todas la giberelinas de las plantas superiores.

En cuanto a la biosíntesis del  $AG_3$  en el hongo, *G. fujikuroi*, las actividades de CPS y KS residen en la misma proteína, aunque en sitios catalíticos diferentes. Mientras que en las plantas, ocurre en dos actividades diferentes. Por lo que los niveles de transcripción de CPS son mucho más bajos que los de KS en *Arabidopsis*, lo que indica que CPS puede tener una función como vigilante de entrada de bifurcación en la vía de los terpenoides que comprende a ent-kaurenoide y las giberelinas.

Por otra parte el hongo *G. fujikuroi* contiene monooxigenasas del citocromo P450 que son funcionalmente equivalentes a las enzimas vegetales KO y KAO aunque tienen baja similitud de secuencia con las enzimas de las plantas y probablemente no están estrechamente relacionadas en términos evolutivos. La oxidasa ent-kaureno fúngica (P450-4) cataliza las mismas reacciones que KO, mientras que el equivalente de KAO posee actividad 3 $\beta$ -hidroxilasa además de las otras actividades, de tal manera que convierte el ácido ent-kaurenoico a  $GA_{14}$  (3 $\beta$ -hydroxyGA12). El sustrato para la 3- $\beta$ hidroxilacion es GA12-aldehído, que se convierte en  $GA_{14}$  a través de GA14-aldehído. Esta enzima notablemente multifuncional también es responsable de la formación de kaurenolides, a través de ent-Kaura-6, ácido 16-dienoico, y de compuestos de anillo 3 $\beta$ , tal como en *G. fujikuroi*, a través de ent-6 $\alpha$ , ácido 7 $\alpha$ -dihidroxilkaurenoico. Los Kaurenolides y ent-6 $\alpha$ , ácido 7 $\alpha$ -dihidroxilkaurenoico

son también subproductos de KAOs en plantas de calabaza y guisantes, aunque estas enzimas no tienen actividad 3 $\beta$ -hidroxilasa.

Por otra parte las dioxigenasas no se utilizan para la biosíntesis de giberelinas por *G. fujikuroi*, por lo que la GA20-oxidasa convierte la GA<sub>14</sub> a GA<sub>4</sub> ya que esta es una monooxigenasa P450. Aunque los subproductos intermedios como GA-C<sub>20</sub> en esta conversión están presentes en niveles bajos en los cultivo de hongos y de manera que estos no son metabolizados a GA-C<sub>19</sub>. En contraste con las plantas, la secuencia de reacción no está muy clara aun. En el siguiente paso en la vía de *G. fujikuroi*, la GA<sub>4</sub> se convierte a GA<sub>7</sub> por una desaturasa que tiene poca homología con las enzimas conocidas. Y finalmente la P450 cataliza la 13-hidroxilación de GA<sub>7</sub> a AG<sub>3</sub> (ácido giberélico). A diferencia de las plantas, *G. fujikuroi* no desactiva las GAs mediante la 2- $\beta$ hidroxilación, ni la formación de conjugados. La desactivación de las giberelinas no es necesario ya que estas no tienen ninguna función fisiológica en el hongo, pero pueden actuar en el hospedero mediante la inducción de la producción de enzimas hidrolíticas para ayudar a la infección o facilitar la adquisición de nutrientes (Davies, 2004).

#### Ácido giberélico en la agricultura

El uso de esta sustancia en la agricultura ha tenido una gran importancia ya que dichos compuestos controlan una gran cantidad de procesos muy importantes en las plantas, incluyendo la germinación, la altura de la planta, la floración y la fertilidad masculina así como la elongación del tallo (Olszewski *et al.*, 2002; Radi *et al.*, 2006). Las plantas son extremadamente

sensibles a su entorno, reaccionando a los estímulos externos, cambiando sus patrones de crecimiento y desarrollo. Las giberelinas son intermediarios para un gran número de señales provenientes del medio ambiente, lo que puede inducir cambios en la concentración de GAs y su sensibilidad. En particular la calidad de la luz, la cantidad y la duración del fotoperiodo pueden influir en todo el proceso de biosíntesis de las GAs y el catabolismo a través de efectos sobre la expresión de genes específicos (Davies, 2004).

#### Ácido giberélico en la germinación de semillas

Entre los reguladores de crecimiento que tienen influencia sobre la germinación de semillas se encuentran las giberelinas (Tokuhisa *et al.*, 2007; Lopes *et al.*, 2009), ya que estas actúan en la movilización de las reservas de la semilla durante el proceso de germinación (Müller *et al.*, 2006). El papel del AG<sub>3</sub> en la germinación de semillas se asocia con el debilitamiento de los tejidos que cubren el embrión, como el endospermo, la capa de aleurona y testa (Linkies *et al.*, 2009). Después de la germinación, las giberelinas se liberan del embrión al endospermo, provocando la expresión de un gran número de genes que codifican enzimas hidrolíticas en las células de la capa de aleurona. Muchas de estas enzimas hidrolíticas, en las que se incluyen  $\alpha$ -amilasa, proteasas, y enzimas que degradan la pared celular, son secretadas y responsables de la digestión de las reservas almacenadas en el endospermo amiláceo (Olszewski *et al.*, 2002). Por lo tanto, las giberelinas se consideran importantes promotores de la germinación y contribuyen al aumento de la velocidad de germinación de las semillas y la uniformidad, lo que mejora la calidad de las semillas (Tokuhisa

*et al.*, 2007; Lopes *et al.*, 2009). Por otra parte Alberts *et al.*, (2010) mencionan que la sensibilidad a los reguladores de crecimiento es diferente en cada etapa de madurez de las semillas, y que por lo tanto estas pueden presentar una mayor o menor sensibilidad a los biorreguladores.

### Ácido giberélico en la floración

Las plantas utilizan los cambios de la duración del día (fotoperiodo) como señales de desarrollo para el inicio de numerosos cambios. Las giberelinas son capaces de actuar como mensajeros secundarios en la inducción de fotoperiodos largos, tales como la floración en plantas de tipo roseta, la ruptura del letargo de las yemas en plantas leñosas, y la inducción de estolones en lugar de tubérculos en papa (Davies, 2004). Asimismo Lluna, (2006) menciona que el ácido giberélico inducen la floración en algunas especies que requieren horas frío, retrasan la maduración de frutos así como la generación de frutos partenocárpicos e inducen el retraso de la senescencia en hojas de cítricos. Es por ello que las giberelinas son capaces de regular el desarrollo de flores y esencialmente la fertilidad masculina y femenina (Pimenta *et al.*, 2012). Por su parte Hirano *et al.*, (2008) encontraron que los estambres son una fuente rica en giberelinas y que estas estimulan el crecimiento de la corola. De igual manera Hu *et al.*, (2008) demostraron que existen dos sitios potenciales para la síntesis de giberelinas bioactivas en flores y estambres de plantas de *Arabidopsis*, lo que sugiere que las giberelinas son transportadas de estos órganos para promover el crecimiento de los pétalos. Por su parte Radi *et al.*, (2006) mencionan que si se da una reducción de la señalización por parte las

giberelinas (incluyendo la síntesis de las GAs, la percepción y las vías de transducción de señales) por lo general se desarrollaran plantas con fenotipo enano, retraso de la floración y la reducción de la fertilidad. Sin embargo si se mejora la señalización de las giberelinas en algunas especies de plantas (p. ej. *Arabidopsis*) normalmente los resultados se traducirán en fenotipos más altos y una floración más temprana. Es por ello que se debe tener un adecuado balance de la señalización de las giberelinas para un crecimiento y desarrollo normal de las plantas (Pimenta *et al.*, 2012).

#### Ácido giberélico en el rendimiento de los cultivos

El rendimiento es el resultado de la interacción de muchos factores, por lo que hay que buscar cuál de ellos es el afectado por los productos que aumentan dicho parámetro. La acción de las giberelinas sobre el rendimiento es variable ya que solo incrementa la altura y a su vez la variabilidad entre individuos pero no se traduce en incrementos o decrementos según en los cultivares de tomate. (Ramírez, 2003). Contrario a esto Taiz y Zeiger, (2006) mencionan que el AG<sub>3</sub> promueve la elongación celular y división celular. Lo que se traduce en un incremento significativo del crecimiento de la longitud del tallo y raíz así como el incremento del peso fresco y seco de la planta (Aftab *et al.*, 2010). Por su parte Srivastava y Srivastava, (2007) reportaron que el AG<sub>3</sub> aumenta la altura de planta y longitud de la hoja. Por lo que el ácido giberélico es utilizado para maximizar el rendimiento de los cultivos (Khan *et al.*, 2007).

La utilización del ácido giberélico ha tenido un gran impacto en la agricultura moderna ya que este es capaz de controlar los procesos de desarrollo como germinación, elongación del tallo, tuberización, floración, crecimiento del fruto, así como el crecimiento en diversas especies (Olszewski *et al.*, 2002). Por su parte Usenik *et al.*, (2005) demostraron que la aplicación de ácido giberélico en cerezas aumenta el rendimiento y la calidad de los frutos. En uva también existen reportes de que las giberelinas aumentaron los rendimientos (Vieira *et al.*, 2008). De igual manera Wu *et al.*, (2001) mencionan que el AG<sub>3</sub> incrementó el peso fresco y seco del fruto. Por otra parte Zabadal y Dittmer, (2000) encontraron que el ácido giberélico incrementa el crecimiento del fruto en vid. Del mismo modo Amarante *et al.*, (2005) reportaron que el ácido giberélico aumentó significativamente el tamaño de los frutos de durazno. Por otra parte Zhang *et al.*, (2007) encontraron que el ácido giberélico aumenta el tamaño de calabacita debido a que esta hormona ayuda a traslocar agua y carbohidratos hacia el fruto.

Investigaciones recientes sugieren que el AG<sub>3</sub> estimula la germinación y vigor de las plantas de chile piquín (García *et al.*, 2010). Por su parte Ramos *et al.*, (2010) mencionan que la aplicación exógena de ácido giberélico incrementó la producción de tomate en un 19.6% en relación al testigo. De igual manera Laiton *et al.*, (2012) reportaron que el ácido giberélico genera una mayor producción de tomate de extra y primera calidad así como el incremento significativo del rendimiento total y una baja producción de frutos de segunda y tercera calidad. Esto debido a que el ácido giberélico está implicado en el

crecimiento y desarrollo del fruto de tomate (Serrani *et al.*, 2007). También Kataoka *et al.* (2009) reportaron que la aplicación de ácido giberélico aumento el peso del fruto y a su vez el contenido de azúcares, además los frutos tratados con dicha hormona presentaron en la maduración mayor espesor del pericarpio. Por otra parte Taiz y Zeiger, (2006) mencionan que el ácido giberélico favorece el cuajado y crecimiento de los frutos debido a que incrementan la hidrólisis de almidón, fructosa y sacarosa, con lo que se originan moléculas de fructosa y glucosa, que contribuyen a la formación de la pared celular además de promover el crecimiento celular. Otros beneficios de la aplicación del AG<sub>3</sub>, es que al momento de la cosecha la firmeza del fruto es mayor por lo que se disminuye la tasa de maduración y respiración de los frutos (Choi *et al.*, 2002). Asimismo Laiton *et al.*, (2012) mencionan que el ácido giberélico contribuye a la translocación de asimilados hacia el fruto lo que se traduce en frutos de mayor tamaño y mayor rendimiento del cultivo de tomate.

#### Ácido salicílico

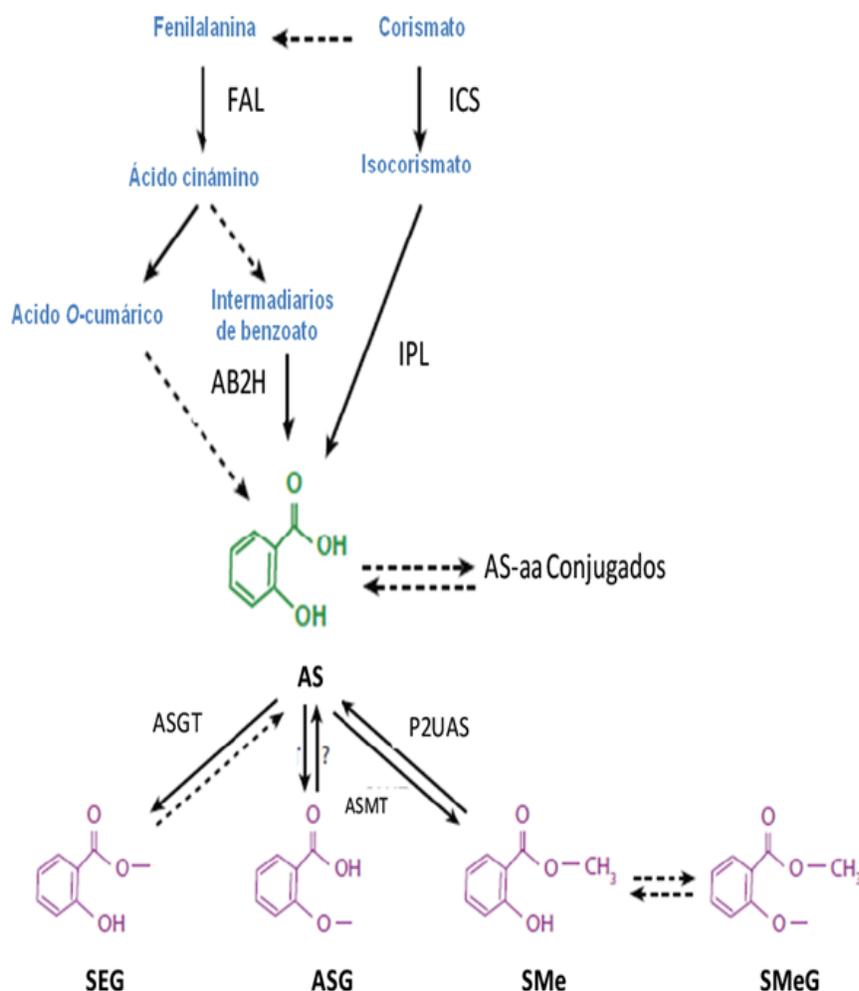
El ácido Salicílico es considerado como un biorregulador que participa en algunos procesos fisiológicos de la planta (Raskin, 1992), como la germinación de semillas, crecimiento celular, respiración, cierre de estomas, expresión de genes asociados a senescencia, repuesta a estrés abiótico y de forma esencial en la termogénesis, así como en la resistencia a enfermedades (Vlot *et al.*, 2009). El ácido salicílico forma parte de un amplio grupo de compuestos sintetizados en las plantas denominados fenólicos, los cuales poseen una estructura química de un grupo hidroxilo unido a un anillo

aromático. Los compuestos fenólicos participan en muchas funciones metabólicas en plantas, como son la síntesis de lignina, actividad alelopática, y en algunos casos en la biosíntesis de compuestos relacionados a la defensa como las fitoalexinas. El AS se encuentra de forma natural en una gran cantidad de plantas. Uno de los derivados más famosos de este es el ácido acetil-salicílico (Jordán y Casaretto, 2006).

#### Biosíntesis del ácido salicílico

En relación a la biosíntesis del AS, se requiere del metabolito primario denominado corismato (Wildermuth *et al.*, 2001). El aminoácido L-fenilalanina, puede ser convertido en ácido salicílico por dos vías, una mediante el intermediario benzoato y la otra mediante el ácido cumárico, a través de una serie de reacciones enzimáticas inicialmente catalizadas por la enzima Fenilalanina Amonio Liasa (FAL). A su vez, el corismato puede también ser convertido en AS vía isocorismato, en un proceso de dos pasos que implica la participación de las enzimas Isocorismato Sintasa (ICS) e Isocorismato Piruvato Liasa (IPL) (Figura 3; Verberne *et al.*, 2000). La mayoría del AS en la planta es convertido a AS O- $\beta$ -glucósido (ASG) por medio de una enzima llamada AS glucosil transferasa (ASGT) inducible por patógenos (Dean *et al.*, 2005). El salicilato de metilo (SMe), es otro derivado del AS y su forma glucosilada (SMeG) también puede acumularse en niveles relativamente altos *in vivo* (Shulaev *et al.*, 1997). Se ha demostrado que tanto el SMe como el ASG son biológicamente inactivos, mientras que una forma hidroxilada del AS, el ácido 2,5 dihidroxibenzóico (ácido genticico), que también se acumula en plantas,

puede inducir la expresión de genes *PR* específicos en tomate que no son inducidos por ácido salicílico (Chen *et al.*, 2009).



**Figura 3:** Biosíntesis y metabolismo del AS. Abreviaturas: FAL, fenilalanina amonio liasa; ICS, isocorismato sintasa; IPL, isocorismato piruvato liasa; AB2H, ácido benzoico 2-hidroxilasa; AS, ácido salicílico; ASGT, ácido salicílico glucosil transferasa; aa, amino ácidos; ASMT, AS metil tranferasa; P2UAS, proteína 2 unida a AS; MES, metil esterasa; SEG, saliciloil éster glucosa; ASG, AS O-β glucósido; SMe, salicilato de metilo; SMeG, salicilato de metilo O-β-glucósido (Vlot *et al.*, 2009).

Sin embargo Song, (2006) menciona que la síntesis del AS inicia a través de dos vías distintas y compartimentadas que emplean diferentes precursores:

la ruta de los fenilpropanoides en el citoplasma inicia a partir de fenilalanina, y la vía isocorismato que tiene lugar en el cloroplasto.

### Ácido Salicílico en las plantas

En ambientes naturales, las plantas a menudo hacen frente a múltiples ataques, por lo que las plantas emplean complejos mecanismos de regulación para desencadenar respuestas de defensa eficaces contra diversos patógenos y plagas. El AS se sabe que juegan un papel importante en la regulación de las respuestas de defensa de las plantas contra diversos tipos de estrés ya sean causados por patógenos, plagas, heridas, la exposición al ozono y estrés abiótico (Bari y Jones, 2009), por lo que el AS está implicado en la activación de las respuestas de defensa contra patógenos biotróficos y hemibiotróficos así como en el establecimiento de la resistencia sistémica adquirida (SAR) (Grant y Lamb 2006). En los últimos años el papel más estudiado del AS es su participación como molécula señal en las defensas locales y la regulación de la respuesta sistémica adquirida que se ejecuta en las plantas después de ser atacadas por patógenos (Shah, 2003; Dong, 2004). Dentro de las respuestas de defensa la resistencia sistémica adquirida protege a la planta de una infección secundaria por patógenos biotróficos, necrotrofos y hemibiotrofos. La inducción de SAR ocurre en dos etapas, en la primera la planta reconoce el patógeno e induce las respuestas locales de defensa a través de cascadas de señalización que conllevan a la acumulación intracelular de ácido salicílico. Esta acumulación induce el aumento de los niveles de especies reactivas del oxígeno (ROS) y expresión de genes relacionados a la patogenesis (PR). Esta

respuesta local promueve la segunda etapa de la SAR: que resulta en la inducción de la resistencia en el tejido sistémico alejado del punto de infección (Diaz, 2012). Esta última confiere protección sistémica a la planta ante una gran variedad de patógenos (Ballaré, 2011). El tiempo y grado de protección de la SAR depende de la especie vegetal y del inductor, ya que algunos efectores inducen SAR en unas especies y en otras no (Vlot *et al.*, 2009).

La SAR se caracteriza por una acumulación de proteínas PR y de AS a nivel local y sistémico (Howe y Jander, 2008). Es por ello que el análisis de expresión de los genes PR es frecuentemente usado como indicador de la SAR (Vlot *et al.*, 2008). La mayoría de los estudios en SAR inducida por el AS se han basado en el análisis de mutantes de *Arabidopsis thaliana* en los que: 1) hay una sobre-inducción de SAR, 2) presentan un SAR constitutivamente, y 3) no presentan o tienen una reducción en SAR después de ser estimulados con efectores (Song *et al.*, 2009). Por lo que se tiene una serie de eventos sincronizados que ocurren antes y después de la acumulación del AS. El primer evento para la acumulación del AS es el reconocimiento del patógeno. Las proteínas R del tipo CC-NBS-LRR inducen la síntesis de AS a través de las proteínas NDR1 y RIN4. Mientras que las proteínas R del tipo TIR-NBS-LRR inducen la síntesis de AS a través de las proteínas EDS1 y PAD4; estas dos proteínas y el AS tienen una autorregulación positiva que conlleva a la acumulación del AS (Brodersen *et al.*, 2006; Vlot *et al.*, 2008 y 2009).

Otras proteínas conocidas como las MAPK tienen un papel importante en la acumulación del AS. Las MAPK3 y MAPK6 tienen una autorregulación

positiva del AS, mientras que la MAPK4 lo regula negativamente. La activación de las MAPK3 y MAPK6 por fosforilación inducen la expresión de los genes PR1 y PAL, importante para la síntesis de AS (Andreasson *et al.*, 2005; Brodersen *et al.*, 2006). Otras moléculas como el NO (óxido nítrico), el calcio y la proteína CaM también regulan la acumulación del AS. El calcio y la CaM se unen al factor de transcripción SR1 y suprimen la expresión del gen EDS1 y la acumulación de AS. Una regulación positiva en la acumulación de AS se da con el NO y cuando CaM se une a la proteína 60CaM (Durrant y Dong, 2004; Grant y Lamb, 2006; Vlot *et al.*, 2008 y 2009).

Posterior a la acumulación citoplasmática del AS, una parte de éste es convertido a MeSa (salicilato de metilo) por la transferasa SAMT. Simultáneamente, otra parte del AS interactúa con las catalasas y las ascorbato peroxidasas bloqueando sus actividades, y por lo tanto, aumentando los niveles intracelulares de ROS, los cuales a bajas concentraciones potencian la expresión de genes de defensas; mientras que a altas concentraciones conllevan a dos procesos paralelos. El primer proceso genera un cambio en el estado de oxidación-reducción de la célula, el cual hace que residuos de cisteína en la proteína oligomérica NPR1 se reduzcan, cambiando la configuración a monoméricas. Estos monómeros de NPR1 se dirigen al núcleo, donde interactúa con numerosos factores de transcripción del tipo TGA y WRKY para inducir o reprimir la transcripción de genes que participan en la defensa de la planta. La proteína NIMIN1 regula negativamente a NPR1 al impedir que el

complejo NPR1-TGA se une al promotor de los genes PR (Durrant y Dong, 2004; Grant y Lamb, 2006; Vlot *et al.*, 2009).

El segundo proceso como consecuencia del aumento en los niveles de ROS es la inducción de la HR (lisis inducida) de la célula, liberando ROS y moléculas antimicrobianas (p. ej. saponinas, fitoalexinas, proteínas PR). Las proteínas PR son acumuladas en el espacio intercelular y en las vacuolas, y muchas de ellas muestran actividad antimicrobiana *in vitro*, por ejemplo: la PR2 es una glucanasa, la PR3 y PR8 son quitinasas, la PR9 es una peroxidasa, la PR12 es defensina, la PR13 es tiorina y la PR1 inhibe la germinación de *Phytophthora infestans*. Las proteínas PR además liberan moléculas que podrían adicionalmente inducir las defensas y potenciar la respuesta de la planta. La abundancia de una clase de proteína PR es específica de la especie, por ejemplo PR1 es la más producida en *A. thaliana*, *Nicotiana tabacum* y *S. lycopersicum*; mientras que la PR8 es la más inducida en *Cucumis sativus*, y la PR10 en *Medicago sativa*. La resistencia a una enfermedad está dada por numerosas proteínas PR que actúan en conjunto, por lo que la sobre expresión o el silenciamiento de una sola no tiene un efecto mayor en la resistencia o susceptibilidad de la planta a un rango de patógenos (Riviere *et al.*, 2008; Jaulneau *et al.*, 2010).

Otros genes relacionados con las defensas son expresados de forma independiente de la proteína NPR1. Estos genes están bajo el control de los factores de transcripción del tipo WHIRLY (WHY). WHY1 podría cooperar de forma paralela en el señalamiento por AS; esto porque mutantes de WHY no

expresan los genes PR dependientes de PR1, y son más susceptibles a infección por cepas virulentas y avirulentas de *H. arabidopsidis* (Desveaux *et al.*, 2004).

#### Ácido salicílico en la agricultura

El ácido salicílico ha tenido un uso importante en la agricultura ya que este es capaz de conferir respuestas de adaptación a las plantas sometidas a la acción de alguna clase de estrés ya sea biótico o abiótico (Benavides, 2010). Debido principalmente a que este aumenta la capacidad antioxidante de la planta (Horváth *et al.*, 2007). Además de esta función, el AS desempeña un papel crucial en la regulación de los procesos fisiológicos y bioquímicos durante toda la vida útil de la planta (Rivas y Plasencia, 2011), tales como la germinación de semillas, crecimiento vegetativo, fotosíntesis, respiración, termogénesis, la formación de flores, producción de semillas, la senectud, y un tipo de la muerte celular. Además, el AS puede contribuir a mantener la homeostasis redox celular a través de la regulación de la actividad de las enzimas antioxidantes ( Durner y Klessig, 1995, 1996; Slaymaker *et al.*, 2002 ) y la inducción de la vía respiratoria alternativa (Moore *et al.* , 2002 ) así como la regulación de la expresión génica mediante la inducción de una ARN polimerasa dependiente de ARN que es importante para post-transcripción del silenciamiento génico ( Xie *et al.* , 2001 ).

#### Ácido salicílico en el rendimiento de los cultivos

Recientes investigaciones han demostrado que la aplicación exógena del ácido salicílico incrementa significativamente el rendimiento en diferentes

cultivos. Debido a que induce efectos en el aumento de tamaño de planta, el número de flores, el área foliar y la aparición temprana de las flores (Larqué y Martín 2007). Además este compuesto aumenta significativamente la acumulación de biomasa foliar y total así como una mayor producción de frutos e induce una mayor actividad fotosintética (Sánchez *et al.*, 2011). Al mismo tiempo incrementa la capacidad antioxidante de la planta (Horváth *et al.*, 2007), y un mayor crecimiento de estas (Khan *et al.* 2003). Lo que se traduce en un aumento significativo del rendimiento por planta (Ramírez *et al.*, 2009). Por ejemplo Mex *et al.*, (2010), mencionan que al realizar aplicaciones bajas de ácido salicílico en concentraciones de 1  $\mu\text{M}$  ó 0.1nM en petunia, dicho compuesto indujo un aumento en la floración con un 33% y 37% respectivamente, en comparación con el testigo, observando también que la concentración de 1  $\mu\text{M}$ , aumentó no sólo el número de flores en un 72%, sino que también indujo precocidad de la floración en comparación con el control. Por su parte Arfan *et al.*, (2007) reportaron que la aplicación exógena de AS promovió el crecimiento y rendimiento en trigo. Asimismo Nexticapan *et al.*, (2009a) demostraron que la aplicación de ácido salicílico incrementó significativamente el número de frutos de chile producidos por planta en 24 y 29% en las concentraciones de  $1 \times 10^{-6}$  M y  $1 \times 10^{-10}$  M comparados con el testigo. Por otra parte la aplicación de AS en pepino europeo en concentraciones altas incrementó en un 33% y 25% el rendimiento en comparación con el control para las dosis de  $1 \times 10^{-6}$  M y  $1 \times 10^{-8}$  M respectivamente (Martín y Larqué, 2003). De igual manera Yildirim *et al.*, (2008) reportaron que el ácido salicílico aumentó el

peso fresco y seco del tallo y raíz así como el tamaño de las plantas, incrementando también el diámetro del tallo, el número de hojas por planta y el contenido de clorofila. Asimismo Nexticapán *et al.*, (2009b) al realizar aplicaciones foliares de AS en concentraciones de  $1 \times 10^{-8}$  M y  $1 \times 10^{-10}$  M en papaya reportaron un aumento significativo del rendimiento con un 21.9% y 14.9% respectivamente en comparación con el testigo

Por su parte Hayat *et al.*, (2008) al aplicar AS en plantas de tomate mencionan que este incrementa la capacidad antioxidante así como el contenido de clorofila, aumentando también la actividad fotosintética, influyendo de forma positiva en un mejor crecimiento de las plantas. Por otro lado Larqué *et al.* (2010) al realizar aplicaciones de AS en un cultivo de tomate, señalan que este compuesto incrementó significativamente la altura, el área foliar, el peso fresco y seco del vástago, así como la longitud, el perímetro y el área de la raíz. De igual manera Yıldırım y Dursun, (2009) al aplicar ácido salicílico en tomate a una concentración de 0.50  $\mu$ M, observaron un aumento significativo del rendimiento. Así mismo Hayat *et al.*, (2010) mencionan que el ácido salicílico actúa como un regulador endógeno que afecta potencialmente el crecimiento y la productividad de las plantas.

#### Analisis del crecimiento de los cultivos

Las plantas tienen un sistema abierto de crecimiento. Esto significa que la planta posee regiones embrionarias más o menos perennes, de las cuales se producen periódicamente nuevos tejidos y órganos. Estas

regiones se denominan meristemas. Durante la embriogénesis, la planta es capaz de establecer su eje apical-basal mediante la diferenciación del meristemo apical y el meristemo radicular, sin embargo después de la embriogénesis y durante el desarrollo se dan los picos de actividad de los meristemas es decir, las células retienen su potencial de división una vez finalizada la embriogénesis (Peter, 2004), por lo que el crecimiento de las plantas constituye un fiel reflejo de que en ellas tienen lugar una serie de cambios estructurales y específicos de tamaño, peso y forma, que ocurren de acuerdo con los patrones de división celular y diferenciación (Rodríguez, 2000).

El crecimiento también se define como un incremento constante en el tamaño de un organismo, que está acompañado de dos procesos: morfogénesis y diferenciación; el primero es el desarrollo de la forma o modelo de la célula u órgano y el segundo, es el proceso por el cual las células cambian estructural y bioquímicamente para formar o adquirir funciones especializadas (Azofeifa y Moreira, 2004). Existe por tanto, el concepto de que el crecimiento puede definirse como un aumento en tamaño, sin embargo, esto no es siempre cierto, dado que puede darse el crecimiento sin que aumente el tamaño, pero sí, el número de células; por otro lado, también puede haber crecimiento con aumento de tamaño pero con una disminución del peso seco (Salisbury y Ross, 2000).

El análisis de crecimiento es una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales y que tiene la gran ventaja de proveer medidas precisas del funcionamiento de la planta a

través de intervalos de tiempo (Hunt, 2003). Utilizando datos primarios como pesos, áreas, volúmenes, componentes y procesos que se realizan dentro de la planta, con cuyas medidas es posible calcular hasta seis parámetros de crecimiento tales como la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Relación de Área Foliar (RAF), Relación de Peso Foliar (RPF) y Área Foliar Especifica (AFE) (Hunt *et al.*, 2002). Mientras los primeros (peso, área, etc), tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta, los segundos (índices de crecimiento) explican su eficiencia en acumular materia seca en los diferentes órganos, como producto de sus procesos metabólicos (Casierra y Constanza 2009).

#### Índices de crecimiento

##### Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)

Es un índice de eficiencia que expresa el crecimiento en términos de una tasa de incremento de tamaño por unidad de tamaño y tiempo. Representa la eficacia de la planta como productor de nuevo material y depende de la fotosíntesis total y de la respiración. Además se propone como una medida que integra el comportamiento fisiológico de las plantas (Hunt, 2003). Se calcula en  $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$  y se expresa matemáticamente:  $TCR = \left( \frac{Ln(PST2) - Ln(PST1)}{(T2 - T1)} \right)$ , donde.

$Ln$ = Logaritmo natural.

$PST2$ = Peso Seco Total del Segundo Muestreo.

$PST1$ = Peso Seco Total del Primer Muestreo.

$T2$ = Tiempo dos.

$T1$ = Tempo uno.

### Tasa de Asimilación Neta (TAN)

Indica la eficiencia fotosintética promedio, individual o en una comunidad de plantas. La capacidad de la planta para incrementar su masa seca en función del área asimilatoria en periodos cortos a lo largo del ciclo de crecimiento depende del área foliar, de la disposición y edad de las hojas y de los procesos de regulación interna relacionados con la demanda de los asimilados. La TAN es una medida de la eficiencia promedio de las hojas de la planta, es decir, es una medida indirecta de la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en una unidad de tiempo; esta no es constante y decrece con la edad de la planta o población (Carranza *et al.*, 2009). Se calcula  $\text{g cm}^{-2}$

$\text{dia}^{-1}$  y matemáticamente se expresa: 
$$\text{TAN} = \left( \frac{PST2 - PST1}{T2 - T1} \right) \left( \frac{\ln(AF2) - \ln(AF1)}{AF2 - AF1} \right),$$

donde.

$PST2$ = Peso Seco Total del Segundo Muestreo.

$PST1$ = Peso Seco Total del Primer Muestreo.

$T2$ = Tiempo dos.

$T1$ = Tempo uno.

$\ln$ = Logaritmo natural.

$AF2$ = Área Foliar del segundo muestreo.

$AF1$ = Área Foliar del Primer muestreo.

### Relación de Área Foliar (RAF)

La Relación Área Foliar es la proporción de sistema asimilativo por unidad de materia vegetal presente en un instante de tiempo (Hunt, 2003). Por su parte Carranza *et al.*, (2009) mencionan que es un índice de la superficie foliar de la planta con base en la masa seca. Se define como la fracción de

masa seca total que corresponde a las hojas. Se calcula en  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$  y matemáticamente se expresa:  $\text{RAF} = \left( \frac{((AF1 \div PST1) + (AF2 \div PST2))}{2} \right)$ , donde.

*AF1*= Área Foliar del Primer muestreo.

*PST1*= Peso Seco Total del Primer Muestreo.

*AF2*= Área Foliar del segundo muestreo.

*PST2*= Peso Seco Total del Segundo Muestreo.

#### Relación de Peso Foliar (RPF)

Este índice está formado por dos componentes: la magnitud del peso seco de la hoja, y por la unidad de peso seco total de la planta. No tiene unidades ya que al calcular en gramos el peso seco de la hoja y dividirlo entre gramos del peso seco total de la planta el resultado queda adimensional. Aunque es una medida instantánea, a menudo se emplea la media entre el intervalo de tiempo uno ( $t_1$ ) a tiempo dos ( $t_2$ ) (Hunt, 2003). Se calcula en  $\text{g g}^{-1}$  y matemáticamente se expresa:  $\text{RPF} = \left( \frac{((PSH1 \div PST1) + (PSH2 \div PST2))}{2} \right)$ , donde.

*PSH1*= Peso Seco de la Hoja del Primer muestreo.

*PST1*= Peso Seco Total del Primer Muestreo.

*PSH2*= Peso Seco de la Hoja del Segundo Muestreo.

*PST2*= Peso Seco Total del Segundo Muestreo.

#### Área Foliar Específica (AFE)

Es una medida de la superficie foliar de la planta en términos de densidad o grosor relativo de la hoja. Se define como la relación entre el área total de la hoja y la masa del área foliar de la planta (Carranza *et al.*, 2009). Se

calcula en  $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$  y matemáticamente se expresa como:

$$AFE = \left( \frac{((AF1 \div PSH1) + (AF2 \div PSH2))}{2} \right), \text{ donde.}$$

*AF1*= Área Foliar del Primer muestreo.

*PST1*= Peso Seco Total del Primer Muestreo.

*AF2*= Área Foliar del segundo muestreo.

*PSH2*= Peso Seco de la Hoja del Segundo Muestreo.

### Componentes del rendimiento

El rendimiento de un cultivo está determinado por la capacidad de acumular materia seca en los órganos destinados a la cosecha. Las hortalizas de fruto, cultivadas bajo condiciones de invernadero, se caracterizan, en su mayoría, por un crecimiento indeterminado, en donde los frutos son los principales órganos demandantes, los cuales compiten entre ellos y con los órganos vegetativos, por los asimilados disponibles (Peil y Gálvez, 2005). Este comportamiento es debido a una alta demanda metabólica que ejercen los frutos en la planta durante su crecimiento y llenado, y que acontece aun cuando existen diferencias fenotípicas entre cultivares de una misma especie (Rezende *et al.*, 2007). Esto se debe principalmente a que el orden de prioridad en la asignación de asimilados por órgano cambia con la etapa fenológica de la planta y el patrón de distribución es semejante para diferentes sistemas de cultivo, campo abierto o ambiente protegido, con la diferencia de que en el invernadero la acumulación de biomasa es mayor y el crecimiento más rápido (Abdalla, 2002). Por lo que los componentes del rendimiento cambian de acuerdo tipo de cultivo y el órgano que está destinado para la cosecha.

Para poder analizar el rendimiento de una planta es necesario el estudio de sus componentes del rendimiento. Para el caso del tomate, los componentes del rendimiento son el número de frutos por planta y el peso del fruto. El número de frutos por planta está determinado por el número de flores que son fecundadas y alcanzan a desarrollarse en fruto. Así, dichos componentes del rendimiento que involucra procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo y reproductivo, está fuertemente influenciado por la relación fuente demanda en diferentes fases del ciclo de vida de la planta. El peso del fruto, a su vez está determinado por la relación entre la potencia de la fuente y la potencia de la demanda durante el periodo de crecimiento del fruto. Esta relación determinará la máxima cantidad de asimilados que producirá la fuente y que aceptará la demanda, y que se puede traducir en una tasa de absorción o incorporación de asimilados por unidad de peso del tejido-demanda, más las pérdidas por respiración (Santiago *et al.*, 1998). Por su parte Terry *et al.*, (2001) mencionan que los componentes del rendimiento para el cultivo de tomate están determinados por el número de racimos, flores y frutos por planta, así como el peso fresco del fruto. De igual manera el rendimiento depende principalmente del número de frutos por planta y el peso fresco del fruto. (Moreno y Moreno, 2008; Closas *et al.*, 2008; Márquez *et al.*, 2006)

#### Calidad del fruto

Para clasificar los frutos de acuerdo a su calidad, es necesario tomar en cuenta una serie de características como: firmeza de los frutos, puede ser consistente, esponjosa y flácida; limpieza, los frutos deben estar libres de polvo y

residuos de plaguicidas; uniformidad en madurez y tamaño, sólo se permite limitado por ciento de defectos; forma de los frutos, las hendiduras y las deformaciones influyen en la calidad y sanidad. De acuerdo a esta clasificación, el grado de madurez del fruto va a determinar el grado y calidad a la que pertenezca. Por otra parte, el tamaño del fruto se ve afectado por factores fisiológicos, tales como maduración, despunte, defoliación, pero este carácter está controlado por factores genéticos, adjudicado a cinco pares de genes. También, es necesario señalar, que las altas temperaturas en el campo pueden causar el ablandamiento en el fruto, y por esta razón se reduce la calidad durante las operaciones subsecuentes de post-cosecha y la comercialización (Santiago *et al.*, 1998). La calidad del fruto está determinada por los sólidos solubles totales, firmeza, peso seco, jugosidad, forma del fruto, color, diámetro polar, diámetro ecuatorial (Moreno y Moreno, 2008; Closas *et al.*, 2008; Márquez *et al.*, 2006). Por otra parte Casierra y Aguilar, (2008) mencionan que la calidad del fruto incluye parámetros acidez titulable, pH, índice de madurez y pérdida de peso, por lo que el mejor estado de madures para la cosecha de los frutos va a depender del tipo de cultivar con el que se esté trabajando, ya que este determinara si el corte se tiene que realizar cuando los frutos alcancen un 75% verde y 25% rojo o bien 50% verde y 50% rojo, esto con el fin de mantener sus características organolépticas y una mejor calidad.

Otras características apreciadas en la calidad de los frutos de tomate es el contenido alto en antioxidantes como vitamina C (ácido L-ascórbico) y licopeno (Zapata *et al.*, 2007). El licopeno es el pigmento lipofílico que confiere

el color rojo característico a los tomates, y en menor cantidad, a otras frutas y verduras (Tadmor *et al.*, 2005). Por lo que el licopeno es el carotenoide predominante en tomates (Hadley, 2003). Debido a que presenta una larga cadena de dobles enlaces conjugados y posee actividad antioxidante, incluso superior a la luteína y  $\beta$ -caroteno (Lin y Chen, 2003). El consumo de tomate fresco proporciona el 90% del licopeno necesario para el organismo, ya que es un micronutriente no sintetizado por el cuerpo humano. Por lo que proporciona beneficios para la salud debido a que disminuyen el riesgo de varias enfermedades, en particular, ciertos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares y oculares (Vitale *et al.*, 2010). La vitamina C está presente en las frutas, verduras y papas en forma de ácido L-ascórbico y ácido dehidroascórbico. El ascorbato es, probablemente, el antioxidante hidrosoluble más efectivo presente en el plasma celular (Zapata *et al.*, 2007). Además, se ha demostrado que el ácido ascórbico es un aceptor de radicales muy efectivo frente a al superóxido, peróxido de hidrógeno, hipoclorito, radical hidroxilo, radical peroxilo y oxígeno singulete (Yanishlieva-Maslarova, 2001). Raffo *et al.*, (2006) mencionan que los tomates son los primeros como fuentes de licopeno (71,6%), segundos como fuentes de vitamina C (12,0%) y  $\beta$ -caroteno (17,2%), y ocupa el tercer lugar como fuente de vitamina E (6,0%). Sin embargo la variación de las condiciones climáticas entre las diferentes estaciones podría influir significativamente en el contenido de antioxidantes en los frutos de tomate. Por otra parte Lee *et al.*, (2000) mencionan que la exposición de los tomates a la luz favorece la acumulación de vitamina C. Además el estado de maduración afecta en forma significativa la concentración de los antioxidantes

como ácido L-ascórbico y licopeno, ya que a mayor tiempo de madures del fruto mayor será la cantidad de estos antioxidantes, por lo que esto influye directamente en la capacidad antioxidante del tomate (Zapata *et al.*, 2007).

## ARTICULO

**Análisis del crecimiento de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) bajo dos fitorreguladores.**

**Growth analysis of a tomato crop (*Solanum lycopersicon* L) under two phytohormones.**

(Con 1 Tabla y 5 Figuras)

**Ricardo Ramírez-Zambrano<sup>1</sup>, Manuel De La Rosa-Ibarra<sup>1</sup>, Adalberto Benavides-Mendoza<sup>2</sup> y Alejandro Zermeño-González<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup>Departamento de Botánica, <sup>2</sup>Departamento de Horticultura, <sup>3</sup>Departamento de Riego y Drenaje, Calzada Antonio Narro 1923 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315, México.

**Título de reproducción:** Crecimiento de tomate con dos fitorreguladores.

Autor para correspondencia: Ing. Ricardo Ramírez Zambrano, Tel. Cel. (+52)-844-1335768; e-mail rramirezz.89@hotmail.com

Sistema operativo y procesador word: Windows 7 – Microsoft Word 2010

**Resumen.** En esta investigación se evaluó el crecimiento y rendimiento de un cultivo de tomate con aplicación de ácido salicílico (AS) y ácido giberélico ( $AG_3$ ). El trabajo se llevó a cabo en el periodo otoño-invierno del 2014, en el invernadero del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con siete tratamientos (T1= Testigo; T2= AS  $1 \times 10^{-8}$  M; T3= AS  $1 \times 10^{-10}$  M; T4= AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 12 ppm de  $AG_3$ ; T5= AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 25 ppm de  $AG_3$ ; T6= AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de  $AG_3$  y T7= AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 25 ppm de  $AG_3$ ), tres repeticiones y seis muestreos. Las variables de estudio fueron las siguientes índices de crecimiento(IC): Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Relación de Área Foliar (RAF), Relación de Peso Foliar (RPF), Área Foliar Específica (AFE), rendimiento y componentes del mismo. El análisis de varianza y comparación de medias no mostro diferencias significativas para los IC, pero si para los componentes del rendimiento y del rendimiento mismo. El AS y el AS +  $AG_3$  incrementaron los IC durante el desarrollo del cultivo pero no al final de este, encontrando también que las plantas tratadas con AS incrementaron el número de racimos y frutos por planta, pero no el rendimiento, ya que solo las plantas tratadas con AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de  $AG_3$  incrementaron de manera significativa el rendimiento total superando al control. Por lo que se puede concluir que el AS y el AS +  $AG_3$  si influyen de manera positiva en el crecimiento y rendimiento de un cultivo de tomate.

**Palabras Clave:** fitorreguladores, índices de crecimiento, rendimiento.

**Abstract.** In this research the growth and yield of tomato crop with application of salicylic acid (SA) and gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) was evaluated. The study was carried out in the growing cycle of 2014, in the greenhouse of the Forestry Department of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, Mexico. A completely randomized experimental design with seven treatments, three replications and six sampling dates was applied (T1 = Control; T2 = SA 1x10<sup>-8</sup> M; T3 = SA 1x10<sup>-10</sup> M; T4 = SA 1x10<sup>-8</sup> M + 12 ppm GA<sub>3</sub>; T5 = SA 1x10<sup>-8</sup> M + 25 ppm GA<sub>3</sub>; T6 = SA 1x10<sup>-10</sup> M + 12 ppm GA<sub>3</sub> and T7 = SA 1x10<sup>-10</sup> M + 25 ppm GA<sub>3</sub>). The study variables were: growth rates (GR): Relative Growth Rate (RGR), Net Assimilation Rate (NAR), Leaf Area Ratio (RAF) Foliar Weight Ratio (RPF) Specific Leaf Area (SLA), fruit yield and components. Analysis of variance and mean comparison showed no significant differences for GR, however, for fruit yield and yield components differences were observed. The AS and SA + GA<sub>3</sub> increased the GR during crop development but not at the end of the cycle. It was, also observed that AS-treated plants increased the number of bunches and fruits per plant, but not the yield because only plants treated with AS 1x10<sup>-10</sup> M + 12 ppm GA<sub>3</sub> increased significantly total yield, the control. So it can be concluded that the SA and SA + GA<sub>3</sub> have a positive influence on growth and fruit yield of tomato crop.

**Key words:** phyto regulators, growth rates, yield.

## INTRODUCCIÓN

Las hormonas vegetales o fitorreguladores juegan un papel importante en la fisiología de la planta (Avanci et al., 2010). Ya que regulan procesos de desarrollo así como las redes de señalización implicadas en las respuestas de las plantas a una amplia gama de estrés biótico y abiótico (Bari y Jones, 2009). Por esta razón, el uso actual de los fitorreguladores en la agricultura se debe a que ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícola (Ramírez, 2003). Los fitorreguladores son compuestos capaces de aumentar el desarrollo de las plantas, acelerar el alargamiento y la división celular, así como incrementar la producción de biomasa y rendimiento en cultivos de importancia económica (Botta et al., 2012).

Innumerables compuestos han sido considerados como fitorreguladores entre ellos se encuentra el ácido giberélico ( $AG_3$ ) y el ácido salicílico (AS). El  $AG_3$  controla aspectos importantes en el desarrollo de las plantas, actúa como estimulante del crecimiento al originar plantas de mayor tamaño, aumenta la expansión foliar, la floración y el desarrollo de las semillas (Vichiato *et al.*, 2007; Ogawa et al., 2003). Asimismo Balagera et al., (2009) mencionan que la aplicación exógena de  $AG_3$  en el cultivo de tomate tiene un efecto positivo ya que aumenta significativamente el peso fresco y seco, el área foliar y la altura. Por otra parte el ácido giberélico contribuyen de manera significativa al incrementar el volumen y diámetro de frutos en un cultivo de tomate (Casierra et al., 2007). Ya que el  $AG_3$  es responsable de la expansión celular por lo que resulta en células de mayor tamaño (Serrani et al., 2007).

El ácido salicílico ha sido considerado como un fitorregulador que participa en algunos procesos fisiológicos de la planta (Raskin, 1992.), como la germinación de semillas, crecimiento celular, respiración, cierre de estomas, expresión de genes asociados a senescencia, repuesta a estrés abiótico y de forma esencial en la termogénesis, así como en la resistencia a enfermedades (Vlot et al., 2009). Larque et al., (2010) encontraron que el ácido salicílico a concentraciones bajas en tomate, es capaz de incrementar la altura de la planta, el área foliar, el peso fresco y seco, así como la longitud y perímetro de la raíz. De igual manera Kazemi, (2014) reportó que la aplicación de AS en tomate aumenta significativamente el rendimiento así como la calidad del fruto.

El productor constantemente busca nuevas alternativas para inducir precocidad de cosecha, aumento del vigor de plantas de tomate e incrementar la capacidad de competencia del vegetal así como el rendimiento del cultivo sin que se vea afectada la relación costo-beneficio. En este trabajo, se consideró que el uso del ácido giberélico y ácido salicílico en forma individual o combinada, son una excelente alternativa ya que han mostrado ser capaces de inducir un mayor crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos y al mismo tiempo incrementan la resistencia de las plantas a factores de estrés, sin aumentar significativamente los costos de operación para el productor, ya que estos ácidos son relativamente económicos y de fácil acceso. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación exógena del ácido giberélico y ácido salicílico en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo de tomate.

## **Materiales y Métodos**

**Sitio del estudio.** Este trabajo se realizó en el periodo Otoño-Invierno del 2014 en el invernadero del Departamento de Forestal de la Universidad Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México.

**Siembra y trasplante.** La siembra se efectuó el día 05/08/2014 en charolas de poliestireno con capacidad de 200 cavidades, utilizando semilla certificada de tomate (*Solanum lycopersicon* L) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom, el sustrato que se utilizó fue vermiculita para germinación, una vez que las plántulas alcanzaron de 3 a 4 hojas verdaderas se realizó el trasplante en macetas de polietileno de color negro con capacidad de 12 L. Para el llenado de macetas se utilizó como sustrato una mezcla de perlita con peat moss a una relación de 1:1 dicha mezcla se humedeció ligeramente hasta que esta quedara a saturación.

**Tratamientos evaluados.** Los tratamientos que se evaluaron fueron: T1=Testigo (aplicando solo agua destilada); T2= AS  $1 \times 10^{-8}$  M; T3= AS  $1 \times 10^{-10}$  M; T4= AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub>; T5= AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 25 ppm de AG<sub>3</sub>; T6= AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub> y T7= AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 25 ppm de AG<sub>3</sub>. Inicialmente se pesaron 0.136 g de ácido salicílico, asimismo se pesaron 2 muestras de 0.012 gr de AG<sub>3</sub> y dos más de 0.025 gr de AG<sub>3</sub>, cada muestra se diluyó en 2 ml de alcohol etílico en un tubo de ensayo, una vez disuelto el AS se colocó en un vaso de precipitado con capacidad de 1l y se aforo con agua destilada, obteniendo la concentración de AS  $1 \times 10^{-3}$  M, de esta solución se tomó 1 ml y se diluyó en 999 ml de agua destilada en un vaso de precipitado de 1l, resultando la concentración de AS  $1 \times 10^{-6}$  M, posteriormente de esta solución

se tomaron 2 muestras de 10 ml, y cada una se diluyó nuevamente en un vaso precipitado de 1l con 990 ml de agua destilada, obteniendo la concentración de AS  $1 \times 10^{-8}$  M. De cada una de las concentraciones anteriores resultantes se extrajeron nuevamente 10 ml y se diluyeron en un vaso de precipitado de 1l con 990 ml de agua destilada, para obtener la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M, posteriormente a una de las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-8}$  M se le agregó la concentración base de 12 ppm de  $AG_3$  y a la restante la concentración base de 25 ppm de  $AG_3$ , de igual manera lo anterior se realizó para las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-10}$  M y con ello se obtuvo el total de tratamientos. Posteriormente las concentraciones fueron trasladadas al invernadero para su aplicación, asperjando las hojas por haz y envés utilizando un atomizador con capacidad de medio litro, para cada una de las concentraciones. La aplicación de los tratamientos se realizó 8 días después del trasplante, dicha actividad solo se realizó una vez.

**Labores culturales.** La demanda nutricional de la planta fue abastecida por medio de la solución Universal de Steiner que se proporcionó mediante un sistema de riego por goteo automatizado, esto con el fin de que se mantuviera una humedad homogénea para el óptimo desarrollo del cultivo. Las podas se realizaron cada que se presentaban nuevos brotes en las axilas de la planta lo que ayuda a que el tallo tenga un crecimiento más vigoroso. El tutoreo se realizó cada vez que las plantas lo requirieron. El control fitosanitario se realizó de forma preventiva durante todo el desarrollo del cultivo, aplicando Agrimi Cu® como fungicida y bactericida y EVISECT S® como insecticida.

**VARIABLES DE ESTUDIO.** Las variables agronómicas que se consideraron dentro de la investigación fueron peso seco de fruto, flor, hoja, tallo, raíz, peso seco total y área foliar, para obtener dichas variables se utilizó la metodología propuesta por Radford, (1967) y Hunt, (1981). El área foliar se determinó mediante el medidor de área foliar marca LI-COR.inc, modelo GR-120. Posteriormente las muestras fueron colocadas en bolsas de papel estraza previamente etiquetadas, y colocándolas en una estufa de secado marca Felicia, modelo 293A a una temperatura de 75°C durante 48 horas, posteriormente cada órgano de la planta se pesó en una balanza analítica marca AND, modelo GR-120, a los resultados obtenidos se les determinaron los índices de crecimiento (IC). Como tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de asimilación neta (TAN), relación de área foliar (RAF), relación de peso foliar (RPF) y área foliar específica (AFE, Hunt *et al.*, 2002).

#### Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)

Es un índice de eficiencia que expresa el crecimiento en términos de una tasa de incremento de tamaño por unidad de tamaño y tiempo. Representa la eficacia de la planta como productor de nuevo material y depende de la fotosíntesis total y de la respiración. Además se propone como una medida que integra el comportamiento fisiológico de las plantas (Hunt, 2003). Se calcula en  $g\ g^{-1}\ día^{-1}$  y se expresa como:

$$TCR = \left( \frac{\ln(PST2) - \ln(PST1)}{T2 - T1} \right),$$

donde.

$Ln$ = Logaritmo natural.

$PST2$ = Peso Seco Total del Segundo Muestreo.

$PST1$ = Peso Seco Total del Primer Muestreo.

$T2$ = Tiempo dos.

$T1$ = Tempo uno.

### Tasa de Asimilación Neta

Indica la eficiencia fotosintética promedio, individual o en una comunidad de plantas. La capacidad de la planta para incrementar su masa seca en función del área asimilatoria en periodos cortos a lo largo del ciclo de crecimiento depende del área foliar, de la disposición y edad de las hojas y de los procesos de regulación interna relacionados con la demanda de los asimilados. La TAN es una medida de la eficiencia promedio de las hojas de la planta, es decir, es una medida indirecta de la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en una unidad de tiempo; esta no es constante y decrece con la edad de la planta o población (Carranza *et al.*, 2009). Se calcula  $g\ cm^{-2}\ dia^{-1}$  y matemáticamente se expresa:

$$TAN = \left( \frac{PST2 - PST1}{T2 - T1} \right) \left( \frac{Ln(AF2) - Ln(AF1)}{AF2 - AF1} \right),$$

donde.

$PST2$ = Peso Seco Total del Segundo Muestreo.

$PST1$ = Peso Seco Total del Primer Muestreo.

$T2$ = Tiempo dos.

$T1$ = Tempo uno.

$Ln$ = Logaritmo natural.

$AF2$ = Área Foliar del segundo muestreo.

$AF1$ = Área Foliar del Primer muestreo.

### Relación de Área Foliar (RAF)

La Relación Área Foliar es la proporción de sistema asimilativo por unidad de materia vegetal presente en un instante de tiempo (Hunt, 2003). Por su parte Carranza *et al.*, (2009) mencionan que es un índice de la superficie foliar de la planta con base en la masa seca. Se define como la fracción de masa seca total que corresponde a las hojas. Se calcula en  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$  y matemáticamente se expresa:

$$RAF = \left( \frac{((AF1 \div PST1) + (AF2 \div PST2))}{2} \right),$$

donde.

$AF1$ = Área Foliar del Primer muestreo.

$PST1$ = Peso Seco Total del Primer Muestreo.

$AF2$ = Área Foliar del segundo muestreo.

$PST2$ = Peso Seco Total del Segundo Muestreo.

### Relación de Peso Foliar (RPF)

Este índice está formado por dos componentes: la magnitud del peso seco de la hoja, y por la unidad de peso seco total de la planta. No tiene unidades ya que al calcular en gramos el peso seco de la hoja y dividirlo entre gramos del peso seco total de la planta el resultado queda adimensional. Aunque es una medida instantánea, a menudo se emplea la media entre el

intervalo de tiempo uno (t1) a tiempo dos (t2) (Hunt, 2003). Se calcula en  $g\ g^{-1}$  y matemáticamente se expresa:

$$RPF = \left( \frac{((PSH1 \div PST1) + (PSH2 \div PST2))}{2} \right),$$

donde.

*PSH1*= Peso Seco de la Hoja del Primer muestreo.

*PST1*= Peso Seco Total del Primer Muestreo.

*PSH2*= Peso Seco de la Hoja del Segundo Muestreo.

*PST2*= Peso Seco Total del Segundo Muestreo.

#### Área Foliar Especifica (AFE)

Es una medida de la superficie foliar de la planta en términos de densidad o grosor relativo de la hoja. Se define como la relación entre el área total de la hoja y la masa del área foliar de la planta (Carranza *et al.*, 2009). Se calcula en  $cm^2\ g^{-1}$  y matemáticamente se expresa como:

$$AFE = \left( \frac{((AF1 \div PSH1) + (AF2 \div PSH2))}{2} \right),$$

donde.

*AF1*= Área Foliar del Primer muestreo.

*PSH1*= Peso Seco de la Hoja del Primer Muestreo.

*AF2*= Área Foliar del segundo muestreo.

*PSH2*= Peso Seco de la Hoja del Segundo Muestreo.

Para determinar el rendimiento y componentes del mismo se consideró número racimos por planta, número de frutos por planta y rendimiento total.

**Diseño experimental.** La distribución de los tratamientos en el área experimental fue llevada a cabo mediante un diseño completamente al azar realizando un sorteo para el etiquetado de las macetas tomando en cuenta 7 tratamientos, 3 repeticiones y 6 muestreos, resultando un total de 126 plantas, la unidad experimental fue una planta por cada tratamiento. A los resultados obtenidos se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey  $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002).

## **Resultados**

**Tasa de Crecimiento Relativo.** En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la TCR para el cultivo de tomate, observando que para el primer muestreo se observó el mayor valor y fue, decreciendo drásticamente durante el desarrollo del cultivo hasta alcanzar valores constantes al final del estudio.

Asimismo se puede apreciar que en el primer muestreo las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub> indujeron un mayor incremento de masa seca en relación a la masa seca inicial por unidad de tiempo descritos para TCR de  $0.137 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$  superando a las plantas testigo con  $0.021 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Para el segundo muestreo se observa que las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 25 ppm de AG<sub>3</sub> fueron las que alcanzaron la mayor acumulación de biomasa, incrementando en  $0.014 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$  más que las plantas testigo. En el tercer muestreo se aprecia que las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub>

presentaron la mayor acumulación de biomasa con  $0.038 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$  superando a las plantas testigo con  $0.009 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Y para el cuarto muestreo se observa que todas las plantas tratadas con AS y AS en combinación con  $\text{AG}_3$  indujeron un mayor incremento de biomasa seca con respecto al de las plantas testigo.

**Tasa de Asimilación Neta.** Los valores máximos de la TAN para todas las plantas tratadas con AS,  $\text{AS}+\text{AG}_3$  y testigo se presentaron en los 36 días después del trasplante (ddt), sin embargo existe una tendencia hacia el decremento de la tasa de asimilación neta al irse desarrollando el cultivo (Figura 2).

De igual manera se puede observar que para el primer muestreo todas las plantas tratadas con AS y  $\text{AS}+\text{AG}_3$  obtuvieron una mayor ganancia de materia seca por unidad de tejido asimilatorio por unidad de tiempo, a excepción de las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10} \text{ M} + 25 \text{ ppm}$  de  $\text{AG}_3$  ya que presentaron la menor TAN con tan solo  $7.56 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . Para el segundo muestreo estas últimas alcanzaron la mayor ganancia de materia seca con  $5.90 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  superando a las plantas testigo con  $1.37 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . En el tercer muestreo las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10} \text{ M} + 12 \text{ ppm}$  de  $\text{AG}_3$  obtuvieron el valor más alto para esta variable superando a las plantas testigo con  $1.10 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . Y para el cuarto muestreo se puede apreciar que todas las plantas tratadas con AS y  $\text{AS} + \text{AG}_3$  indujeron un incremento en la ganancia de materia seca muy por encima de las plantas testigo.

**Relación de Área Foliar.** Los resultados obtenidos para la RAF indican que para la fase inicial de desarrollo del cultivo se presentaron los valores más

altos, sin embargo conforme se desarrolla el tomate la RAF tiende a disminuir respecto al tiempo (Figura 3).

Asimismo se puede apreciar que para el primer muestreo solo las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 25 ppm de AG<sub>3</sub> y AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub> indujeron una mayor relación de área foliar superando a las plantas testigo con 3.20 y 6.60 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> respectivamente. En el segundo muestreo se observa que las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub>; AS  $1 \times 10^{-10}$  M y AS  $1 \times 10^{-8}$  M superaron a las plantas testigo con 4.01, 2.65 y 1.87 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> respectivamente. Para el tercer muestreo se puede apreciar que las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M; AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub> y AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 25 ppm de AG<sub>3</sub> obtuvieron una mayor relación de área foliar con respecto al testigo con 3.78, 2.81 y 1.09 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> respectivamente. Y para el último muestreo todas las plantas tratadas con AS y AS+AG3 presentaron una menor RAF con respecto al testigo.

**Relación de Peso Foliar.** En la Figura 4 se muestra el comportamiento de la RPF para un cultivo de tomate apreciando que en la primera etapa de desarrollo del cultivo se presentaron los valores máximos de esta variable, sin embargo estos tienden a disminuir conforme envejece el cultivo presentándose los valores más bajos al final de la investigación.

De igual manera se puede apreciar que para el primer muestreo solo las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M presentaron similar RPF al de las plantas testigo. Para el segundo muestreo nuevamente las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M presentaron la mayor relación de peso foliar, mientras que las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 25

ppm de  $AG_3$  igualaron la RPF al de las plantas testigo. En el tercer muestreo las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 25 ppm de  $AG_3$ ; AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 12 ppm de  $AG_3$ ; AS  $1 \times 10^{-10}$  M y AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 25 ppm de  $AG_3$  superaron a las plantas testigo al inducir una mayor relación de peso foliar con 0.026, 0.014, 0.010 y 0.004  $g\ g^{-1}$  respectivamente. Y para el cuarto muestreo las plantas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 12 ppm de  $AG_3$ ; AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 25 ppm de  $AG_3$  y AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 25 ppm de  $AG_3$  mantuvieron una mayor RPF al de las plantas testigo con 0.022, 0.009 y 0.008  $g\ g^{-1}$  respectivamente, mientras que las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-8}$  M igualaron la relación de peso foliar al de las plantas testigo.

**Área Foliar Específica.** Por lo general se observa un decremento del AFE durante el desarrollo del cultivo, sin embargo existen fluctuaciones para la mayoría de las plantas de los diferentes tratamientos por lo que no se observa un comportamiento normal de esta variable.

Como se puede apreciar en Figura 5, en el primer muestreo las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 25 ppm de  $AG_3$  y AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de  $AG_3$  indujeron una mayor área foliar específica, superando a las plantas testigo con 20.21 y 16.01  $cm^2\ g^{-1}$  respectivamente. Asimismo las plantas testigo igualaron a las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-8}$  M en cuanto al AFE. Para el segundo muestreo las plantas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 12 ppm de  $AG_3$  y AS  $1 \times 10^{-8}$  M superaron a las plantas testigo al presentar las hojas más grandes y delgadas con 22.06 y 15.91  $cm^2\ g^{-1}$  respectivamente más que las plantas testigo. En el tercer muestreo se observa nuevamente a las plantas con la concentración de AS

$1 \times 10^{-8}$  M presentaron las hojas más grandes y delgadas, seguidas por las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M y al mismo tiempo superando a las plantas testigo. Sin embargo para el cuarto muestreo las plantas testigo presentan las hojas más grandes y delgadas que las plantas tratadas con AS y AS+AG<sub>3</sub> ya que estas últimas presentan las hojas más cortas y gruesas.

**Componentes del Rendimiento.** El análisis de varianza y comparación de medias de los componentes del rendimiento mostraron diferencias altamente significativas ( $p < 0.05$ ) para el número de frutos por planta y rendimiento total, pero no para el número de racimos por planta (tabla 1). Sin embargo existen diferencias numéricas en esta última entre tratamientos, observando que las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-8}$  M presentaron mayor número de racimos por planta, seguidas por las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub> superando a las plantas testigo, asimismo se puede apreciar que las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-10}$  M; AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 12 ppm AG<sub>3</sub> y AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 25 ppm AG<sub>3</sub> igualaron a las plantas testigo al obtener el mismo número de racimos por planta, sin embargo solo las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 25 ppm AG<sub>3</sub> fueron superadas por las plantas testigo.

**Numero de Frutos Por Planta.** El cuadro 1 muestra el comportamiento del número de frutos por planta para un cultivo de tomate, observando que las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M indujo la mayor producción de frutos por planta superando a las plantas testigo, de igual manera se puede apreciar que las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 25 ppm de AG<sub>3</sub> presentaron similar producción de frutos por planta al de las

plantas testigo. Mientras que estas últimas superaron a las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub>; AS  $1 \times 10^{-8}$  M; AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub> y AS  $1 \times 10^{-8}$  M + 25 ppm de AG<sub>3</sub>.

**Rendimiento total.** En cuanto al rendimiento total los resultados indican que las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  M + 12 ppm de AG<sub>3</sub> arrojaron los mejores resultados obteniendo 39.123 ton ha<sup>-1</sup> superado al control con más de 2.463 ton ha<sup>-1</sup>.

## Discusión

**Tasa de crecimiento Relativo.** La tendencia hacia el decremento de la TCR coincide a lo reportado por Barraza et al., (2004) ya que mencionan que la TCR inicialmente presento los valores más altos y que estos fueron disminuyendo durante el desarrollo del ciclo de vida del cultivo. Por otra parte Casierra y Constanza, (2009) al trabajar con tomate encontraron que la tasa de crecimiento relativo presenta un descenso drástico desde los primeros 25 días después del trasplante, y que con el paso del tiempo continua descendiendo hasta el momento de la cosecha. Siendo este el comportamiento normal de la TRC para el cultivo de tomate (Ramírez y De La Rosa, 2013. Datos no publicados).

Por lo general esto indica que las plantas tratadas con ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico indujeron un mayor incremento de masa seca en relación a la masa seca inicial por unidad de tiempo descritos para TCR. Ya que son capaces de acumular e incrementar el contenido de materia

seca en comparación con las plantas testigo. Lo cual coincide con Larque et al., (2010) y Balagera et al., (2009) ya que mencionan que el AS y el AG<sub>3</sub> incrementa la materia seca y fresca de un cultivo de tomate. Debido a que ambos fitorreguladores controla aspectos importantes en el desarrollo de las plantas y actúan como estimulantes del crecimiento al originar plantas de mayor tamaño (Vichiato et al., 2007; Larque, 1978).

**Tasa de Asimilación Neta.** Con respecto a la TAN al observar la tendencia que presento esta variable los resultados coinciden a los reportados por Moreira, (2004) ya que indica que los valores más altos de la TAN se presentan en la primera fase de crecimiento del cultivo y que disminuye debido al desarrollo vegetativo del cultivo y por la senescencia de las hojas. De igual manera Olayinka et al. (2009) al trabajar con tomate reportaron que la declinación en la TAN podría ser debido a la reducción en la actividad fotosintética de las hojas a medida que están son senescentes y mueren. Asimismo Carranza et al., (2009) mencionan que la TAN no es constante y que decrece con la edad de la planta o población.

Dejando de manifiesto que las plantas tratadas con ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico si modifican el comportamiento normal de la TAN aun a finales del desarrollo del cultivo. Por lo que se puede decir que las plantas tratadas con AS y AS + AG<sub>3</sub> obtiene una mayor ganancia de materia seca por unidad de tejido asimilatorio por unidad de tiempo descritos para TAN. Esto pudiera ser debido a que el AS y el AG<sub>3</sub> participa en la expansión foliar (Larque et al., 2010; Srivastava y Srivastava, 2007) que se debe principalmente a la elongación y división celular (Vlot et al., 2009; Taiz y Zeiger, 2006). Lo que

traería consigo una mayor cantidad de fotoasimilados y con ello una mayor ganancia de materia seca por unidad de tejido asimilatorio.

**Relación de Área foliar.** La tendencia observada con respecto a la RAF es similares a la reporta por Gaitán et al., (2013) al trabajar con papa ya que mencionan que la relación de área foliar decrece constantemente durante el ciclo del cultivo. Y esta tendencia puede deberse a la maduración de la planta, por lo que podría decirse que es una conducta normal de esta variable (Ramírez y De La Rosa, 2013. Datos no publicados).

Indicando que las plantas tratadas con AS y AS+AG<sub>3</sub> incrementan la RAF con respecto a las plantas testigo, sin embargo estas últimas mantienen una RAF mayor al final del ciclo del cultivo. Esto se puede atribuir a que las plantas tratadas con AS y AS+AG<sub>3</sub> durante el desarrollo del cultivo inducen el retraso de la senescencia de las hojas pero no en la etapa final del cultivo (Vlot et al., 2009; Lluna, 2006). Debido a que ambos compuestos incrementan la capacidad antioxidante de las plantas (Horváth et al., 2007; Bari y Jones, 2009). Sin embargo a finales del ciclo del cultivo esto puede ser contraproducente ya que los anteriores compuestos participan en la producción de etileno y altos niveles de especies reactivas de oxígeno (Díaz, 2012; Bari y Jones, 2009) los cuales promueve senescencia de las hojas o muerte celular, lo que traería como consecuencia una menor duración del aparato asimilatorio de la planta.

**Relación de Peso Foliar.** El comportamiento que se presentó para la RPF en el cultivo de tomate, podría decirse que es normal ya que Palomo et al., (2003) al trabajar con algodón observaron que los valores más altos de RPF de las variedades utilizadas se presentaron en las primeras fases de crecimiento

de las plantas, y que tienden a declinar conforme avanza la edad del cultivo, esto se debe a que en las primeras fases de crecimiento las plantas invierten la mayor parte de los fotoasimilados en el establecimiento de su aparato fotosintético. Asimismo Páez et al., (2000) al trabajar con tomate mencionan que la relación de peso foliar mostro sus valores más altos al inicio de las fases tempranas de crecimiento del cultivo y conforme pasa el tiempo esta tiende a disminuir.

Por otra parte se puede decir que las plantas tratadas con AS y AS+AG<sub>3</sub> modifican el comportamiento normal de la relación de peso foliar durante el desarrollo del cultivo en comparación con las plantas testigo. Lo cual puede ser a que los fitorreguladores utilizados inducen un cambio en el patrón de distribución de biomasa para el mantenimiento del aparato fotosintético. Ascencio (1972) menciona que la variación en el peso de las hojas en relación al peso seco total de la planta con la edad se debe a la distribución diferencial de fotoasimilados hacia un aumento en la producción de hojas, de otros órganos de la planta o de ambos a la vez.

**Área Foliar Especifica.** Los resultados observados para el AFE indican un comportamiento anormal lo cual coincide a los resultados encontrados por Ramírez y De La Rosa, (2013 datos no publicados) al trabajar con pimiento morrón ya que encontraron un comportamiento anormal de la AFE durante el desarrollo del cultivo. Sin embargo se aprecia una tendencia hacia el decremento de los valores de la AFE durante el desarrollo del cultivo lo cual coincide a lo reportado por Gaitán et al., (2013) y Páez et al., (2000) al trabajar

con papa y tomate ya que menciona que el área foliar específica decrece durante el ciclo del cultivo.

El comportamiento anormal del AFE pudiera ser dividido a que las plantas tratadas con las concentraciones de AS y AS+AG<sub>3</sub> inducen la elongación y división celular (Vlot et al., 2009; Taiz y Zeiger, 2006) lo que se traduce en hojas más grandes y delgadas, sin embargo podría decirse que para finales del ciclo del cultivo las hojas de las plantas tratadas con las concentraciones de AS y AS+AG<sub>3</sub>, presentaron su mayor crecimiento por lo que estas tenderían a incrementar en peso. Por su parte Ascencio (1972) menciona que en condiciones normales y para la mayoría de los cultivos el espesor de las hojas aumenta con la edad de la planta.

**Componentes del rendimiento.** En cuanto al número de racimos por planta, por lo general se observa que las plantas tratadas con AS y AS+AG<sub>3</sub> presentaron más racimos por planta en comparación con las plantas testigo. Por lo que pone de manifiesto que el ácido salicílico es capaz de aumentar el número de racimos por planta, así como la combinación de AS+AG<sub>3</sub>. De igual manera Estrada et al., (2013) y Rodríguez et al., (2008) al trabajar con tomate mencionan que la aplicación exógena de AS y AG<sub>3</sub> aumentan el número de racimos por planta. Debido a que ambos fitorreguladores promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Slaymaker et al., 2002; Vichiato et al., 2007).

**Numero de Frutos por Planta.** Dicha variable solo fue modificada por la concentración más baja de AS. Lo cual coincide con Kazemi, (2014) y Estrada et al., (2013) al trabajar con tomate bajo la aplicación exógena de AS al

mencionar que este compuesto supera de manera significativa el número de frutos por planta al de las plantas testigo. Por otra parte Taiz y Zeiger, (2006) mencionan que el ácido giberélico favorece el cuajado y crecimiento de los frutos lo que se traduce en un aumento del número de frutos por planta. Sin embargo las plantas tratadas con AS+AG<sub>3</sub> no presentan una respuesta positiva en el incremento del número de frutos por planta ya que las mayoría fueron superadas por las plantas testigo. Este comportamiento puede ser debido a que la acción de las giberelinas sobre el rendimiento o componentes del mismo es variable ya que solo incrementan la altura de la planta y a su vez la variabilidad entre individuos pero no se traduce en incrementos o decrementos en cultivares de tomate (Ramírez, 2003).

**Rendimiento total.** El valor más alto del rendimiento total se presentó en las plantas tratadas con la concentración más baja de AS+AG<sub>3</sub>. Esto puede atribuirse a que la aplicación en combinación a bajas concentraciones de ambos fitorreguladores actúa de manera sinérgica para potenciar el crecimiento y desarrollo del cultivo y con ello el incremento del rendimiento. Por lo que estos resultados coinciden a los encontrados por Kazemi, (2014) ya que menciona que la aplicación de SA en tomate aumenta significativamente el rendimiento así como la calidad del fruto. De igual manera Laiton et al., (2012) reportaron que el ácido giberélico genera una mayor producción de tomate de extra y primera calidad así como el incremento significativo del rendimiento total. Esto debido a que el ácido salicílico y ácido giberélico están implicados en el crecimiento y desarrollo del fruto de tomate (Hayat et al., 2010; Serrani et al., 2007). Sin embargo el resto de las plantas tratadas con AS y AS+AG<sub>3</sub> fueron

superadas por las plantas testigo ya que presentaron menor rendimiento por hectárea que estas últimas. Por lo que estos resultados están de acuerdo a lo anteriormente mencionado por Ramírez, (2003).

### **Conclusiones**

La aplicación exógena de AS y AS+AG<sub>3</sub> favorece de manera positiva el crecimiento y desarrollo de un cultivo de tomate al cambiar el comportamiento normal de los índices de crecimiento.

De igual manera la aplicación de ácido salicílico aumenta significativamente el número de frutos y racimos por planta.

Asimismo la combinación de ambos ácidos a bajas concentraciones incrementa de manera significativa el rendimiento por hectárea, obteniendo un rendimiento superior al control.

## Literatura citada

- Ascencio, J. (1972). Analisis del crecimiento y eficiencia fotosintética del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. "Turrialba-4" cultivado en solución nutritiva. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, Turrialba, Costa Rica. 110 p.
- Avanci, N.C., D.D. Luche, G.H. Goldman and M.H.S. Goldman (2010). Jasmonates are phytohormones with multiple functions, including plant defense and reproduction. *Genetics and Molecular Research* 9(1): 484-505.
- Balaguera, H.E., Y.A. Deaquiz y J.G. Álvarez (2009). Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (GA<sub>3</sub>). *Agronomía Colombiana* 27(1): 57-64.
- Bari, R., and J.D. Jones (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant molecular biology* 69(4): 473-488.
- Barraza, F.V., G. Fischer y C.E. Cardona (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana* 22(1): 81-90.
- Botta, E., L. Almaguel, I. Franco e Y. Díaz, (2012). Evaluación de la acción de diferentes fitorreguladores sobre las poblaciones de *Stenotarostrongylospora pinki smiley* en dos variedades comerciales de arroz. *Fitosanidad* 12(2): 109-116.
- Carranza, C., O. Lancho, D. Miranda y B. Chaves (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana* 27(1): 41-48.

- Casierra, F., M.C. Cardozo y J.F. Cárdenas (2007). Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana* 25(2): 299-305.
- Casierra, P. F. y C.M. Constanza (2009). Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 62: 4815-4822.
- Díaz, L.N. (2012). Resistencia sistémica adquirida mediada por el ácido salicílico. *Revista Biotecnológica en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 10(2): 257-267.
- Estrada, W., E. Lescay, L. Rodríguez, S. Infante, A. García y C.B.M.G. Postal (2013). Efecto de diferentes productos bioactivos sobre algunos indicadores agroproductivos en el cultivo del tomate, var. Amalia, en condiciones semicontroladas. *Revista Granma Ciencia* 17(3): ISSN 1027-975X.
- Gaitán, A.P., M.PA. González, C.E. Núñez, T.M. Saldaña y J.M. Cotes (2013). Análisis funcional de crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *andigena*). *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 9(2): 172-185.
- Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan and A. Ahmad (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environmental and experimental botany* 68(1): 14-25.
- Horváth, E., G. Szalai and T. Janda (2007). Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation* 26(3): 290-300.
- Hunt, R. (1981). Plant growth analysis. By Edward Arnold (Publishers) Ltd. The institute of biology's studies in biology N° 96. London, England. 67 p.
- Hunt, R. (2003). Growth analysis, individual plants. *Encyclopaedia of applied plant sciences* 2: 579-588.

- Hunt, R., D.R. Causton, B. Shipley and A.P. Askew (2002). A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany* 90(4): 485-488.
- Kazemi, M. (2014). Effect of foliar application with salicylic acid and methyl jasmonate on growth, flowering, yield and fruit quality of Tomato. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 3(2): 154-158.
- Kojima, K. (2005). Phytohormones in shoots and fruits of tomato; Apoplast solution and seedless fruit. *Japan International Research Center for Agricultural Sciences* 39(2): 77-81.
- Laiton P., M. Almanza y L. Balaguera (2012). Producción y calidad poscosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) larga vida sometido a la aplicación de ácido giberélico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6(2): 183-195.
- Larqué, A. (1978). The antitranspirant effect of acetylsalicylic acid on *Phaseolus vulgaris*. *Physiology Plant* 43: 126-128.
- Larqué, A., R. Martín, A. Nexticapan, S. Vergara y M. Gutiérrez (2010). Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(3):183-187.
- Lluna, R. (2006). Hormonas vegetales: crecimiento y desarrollo de la planta. *Industria Hortícola* 196: 22-26.
- Moreira M.A. (2004). Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) var. Caliente, en Alajuela, Costa Rica. *Revista Agronómica Costarricense* 2(5): 84-90.
- Ogawa, M., A. Hanada, Y. Yamauchi, A. Kuwahara, Y. Kamiya and S. Yamaguchi (2003). Gibberellin biosynthesis and response during *Arabidopsis* seed germination. *The Plant Cell* 15: 1591-1604.
- Olayinka, B., K. Olorunmaye and E. Etejere (2009). Influence of metolachlor on physiological growth character of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) *Journal of Ethnobotanical* 10:7-14.

- Páez, A., V. Paz y J. López (2000). Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río grande en la época mayo-julio. Efecto del sombreado. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 17: 173-184.
- Palomo, A., J. Arnaldo, E. Gutiérrez, A. Espinoza y S. Rodríguez (2003). Análisis de crecimiento de variedades de algodón transgénicas y convencionales. Tesis de Maestría en Producción Agrícola en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México. 130p.
- Radford, P.J. (1967). Growth analysis formula-their use and abuse. *Crop Science* 7(3): 171-175.
- Ramírez, H. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. En Memoria del Tercer Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México. En CD.
- Ramírez, R. y M. De La Rosa (2013). Efecto del ácido salicílico en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annum*L.) var. Júpiter. Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 35 p.
- Raskin, I. (1992). Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology* 43: 439-463.
- Rodríguez, L., Y. Matos, P. Santos y S. Infante (2008). Crecimiento, floración y fructificación en plantas de tomate (*Lycompersicom esculentum* L., var. Vyta) provenientes de semillas tratadas con ácido salicílico. *Centro Agrícola* 35(1): 29-34.
- Serrani, J.C., R. Sanjuan, O. Ruiz, M. Fos and J.L. García. 2007. Gibberellin regulation of fruit set and growth in tomato. *Plant Physiol* 145: 246-257.
- Slaymaker, D.H., D.A. Navarre, D. Clark, O. Del Pozo, G.B. Martin and D.F. Klessig (2002). The tobacco salicylic acid-binding protein 3 (SABP3) is the chloroplast carbonic anhydrase, which exhibits antioxidant capacity

and plays a role in the hypersensitive response. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 99: 11640-11645.

Srivastava, N.K. and A.K. Srivastava (2007). Influence of gibberellic acid on  $^{14}\text{CO}_2$  metabolism, growth, and production of alkaloids in *Catharanthus roseus*. *Photosynthetica* 45: 156-160.

Taiz, L. and E. Zeiger (2006). Plant physiology. 4th ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA. 690 p.

Vichiato, M.R.D.M., M. Vichiato, D.M.D. Castro, F. Dutra y M. Pasqual (2007). Alongamento de plantas de *Dendrobium nobile* Lindl. com pulverização de ácido giberélico. *Ciência e agrotecnologia* 31(1): 16-20.

Vlot, A.C., D.A. Dempsey and D.F. Klessig (2009). Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual Review of Phytopathology* 47: 177-206.

### Leyenda de Tabla

**Tabla 1:** Análisis de varianza y comparación de medias para los componentes del rendimiento de un cultivo de tomate bajo la aplicación exógena de diferentes concentraciones de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.

**Table 1:** Analysis of variance and mean for yield components of a tomato crop under the exogenous application of different concentrations of salicylic acid and salicylic acid plus gibberellic acid.

Tratamiento	Variable		
	No. De	No. De	Rendimiento (Ton Ha <sup>-1</sup> )
	Racimos Por Planta	Frutos Por Planta	
T1= TESTIGO	9.00 A <sup>a</sup>	22.33 AB	36.660 AB
T2= SA 1x10 <sup>-8</sup> M	10.66 A	20.33 AB	29.320 BCD
T3= AS 1x10 <sup>-10</sup> M	9.00 A	24.00 A	32.945 ABC
T4= AS 1x10 <sup>-8</sup> M + 12 ppm AG <sub>3</sub>	9.00 A	19.00 BC	28.668 CD
T5= AS 1x10 <sup>-8</sup> M + 25 ppm AG <sub>3</sub>	8.66 A	14.33 C	23.165 D
T6= AS 1x10 <sup>-10</sup> M + 12 ppm AG <sub>3</sub>	9.66 A	21.00 AB	39.123 A
T7= AS 1x10 <sup>-10</sup> M + 25 ppm AG <sub>3</sub>	9.00 A	22.00 AB	32.170 ABC
C.V. (%)	9.1	8.27	8.73
S.E.	NS	**	**

C.V.= Coeficiente de Variación. S.E.=Significancia Estadística. NS= Diferencia no Significativa. \*\*= Diferencia Altamente Significativa. <sup>a</sup>=Medias con la Misma

Letra Dentro de la Columna son Iguales (Tukey  $p < 0.01$ ). Cada valor de los diferentes tratamientos representa la media de tres repeticiones.

CV = Coefficient of Variation. S.E. = Statistical Significance. NS = Not Significant Difference. \*\* = Highly Significant Difference. <sup>a</sup> = Means with the same letter within the column are Equal (Tukey  $p < 0.01$ ). Each of the different treatments value represents the mean of three replicates.

### **Leyenda de Figuras**

**Figura 1:** Tasa de crecimiento relativo para un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine bajo el efecto de la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido giberélico.

**Figure 1:** Growth rate relative to a crop of tomato (*Solanum lycopersicon* L.) CV Brandywine under the effect of the exogenous application of gibberellic acid and salicylic acid.

**Figura 2:** Comportamiento de la tasa de asimilación neta de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine bajo la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.

**Figure 2:** Behavior of net assimilation rate of tomato (*Solanum lycopersicon* L.) CV Brandywine low exogenous application of salicylic acid and salicylic acid plus gibberellic acid.

**Figura 3:** Relación de Área Foliar para un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine bajo el efecto de la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.

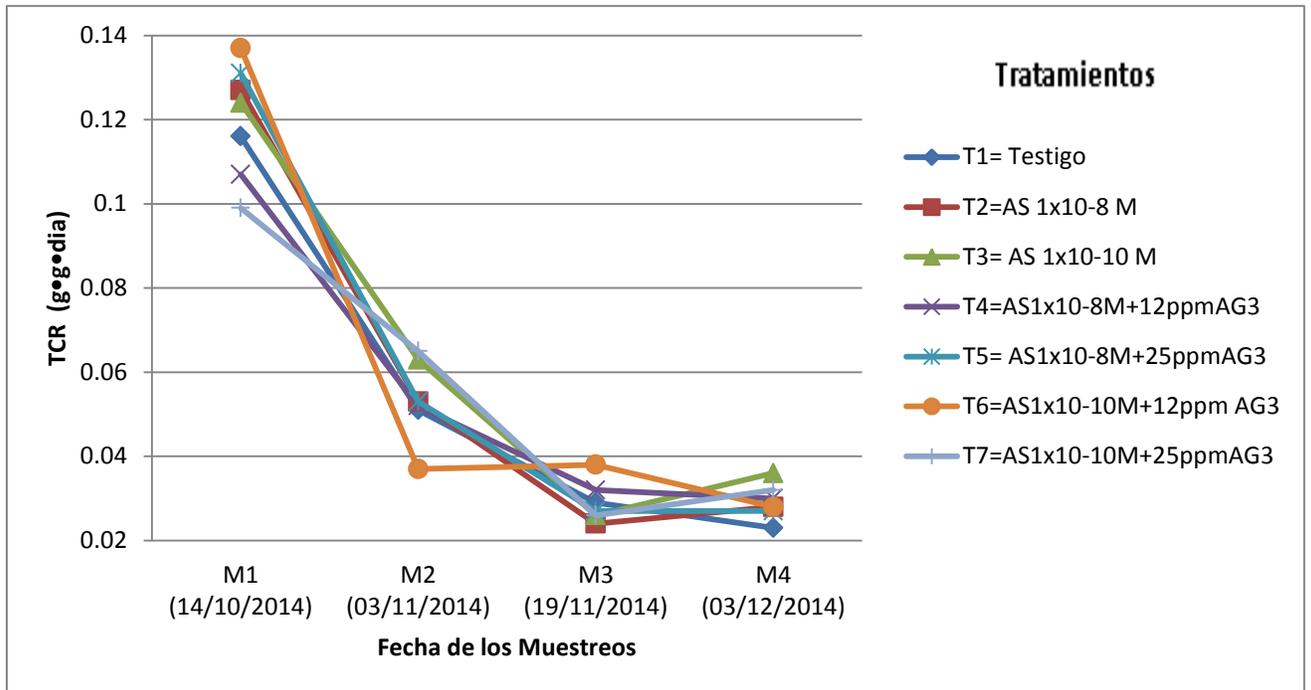
**Figure 3:** Relationship of Leaf Area for tomato (*Solanum lycopersicon* L.) CV Brandywine under the effect of the exogenous application of salicylic acid and salicylic acid plus gibberellic acid.

**Figura 4:** Relación de Peso Foliar para un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine bajo la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.

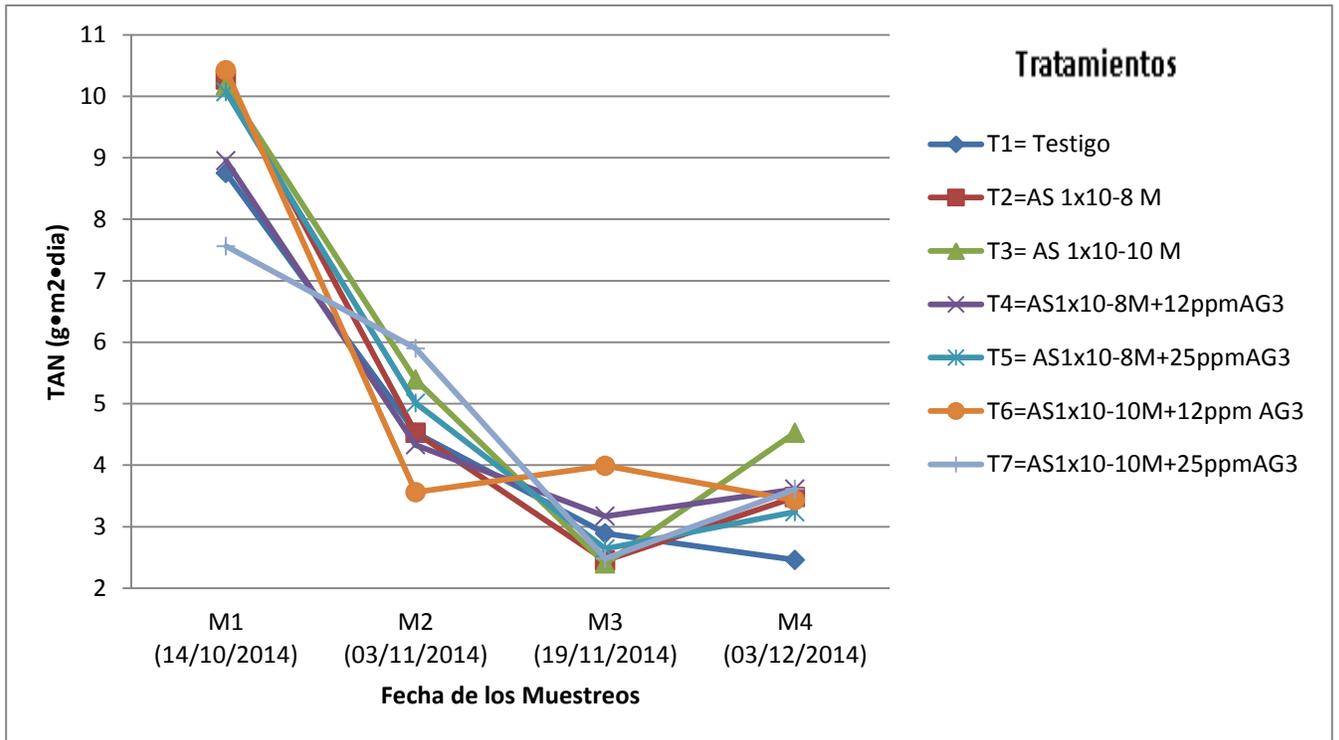
**Figure 4:** Relationship of Foliar weight for tomato (*Solanum lycopersicon* L.) CV Brandywine low exogenous application of salicylic acid and salicylic acid plus gibberellic acid.

**Figura 5:** Área Foliar Especifica de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine bajo el efecto de la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido giberélico.

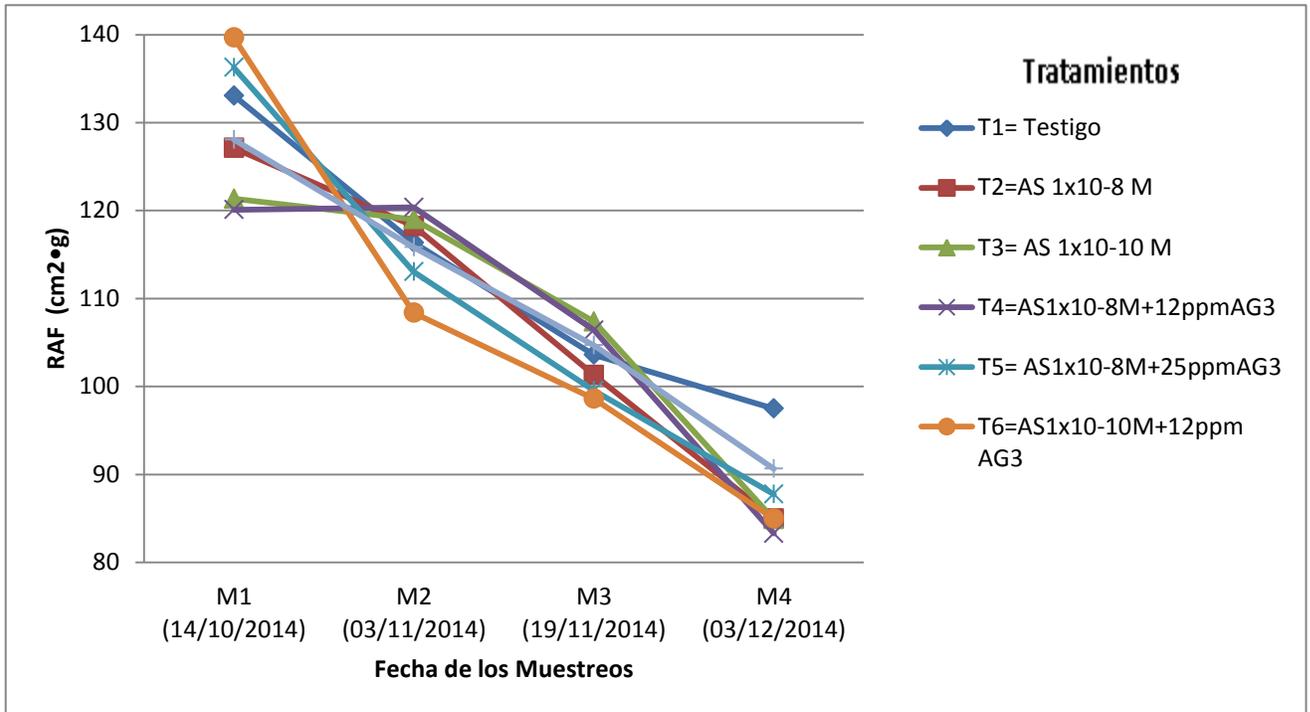
**Figure 5:** Leaf Area Specifies a tomato crop (*Solanum lycopersicon* L.) CV Brandywine under the effect of the exogenous application of gibberellic acid and salicylic acid.



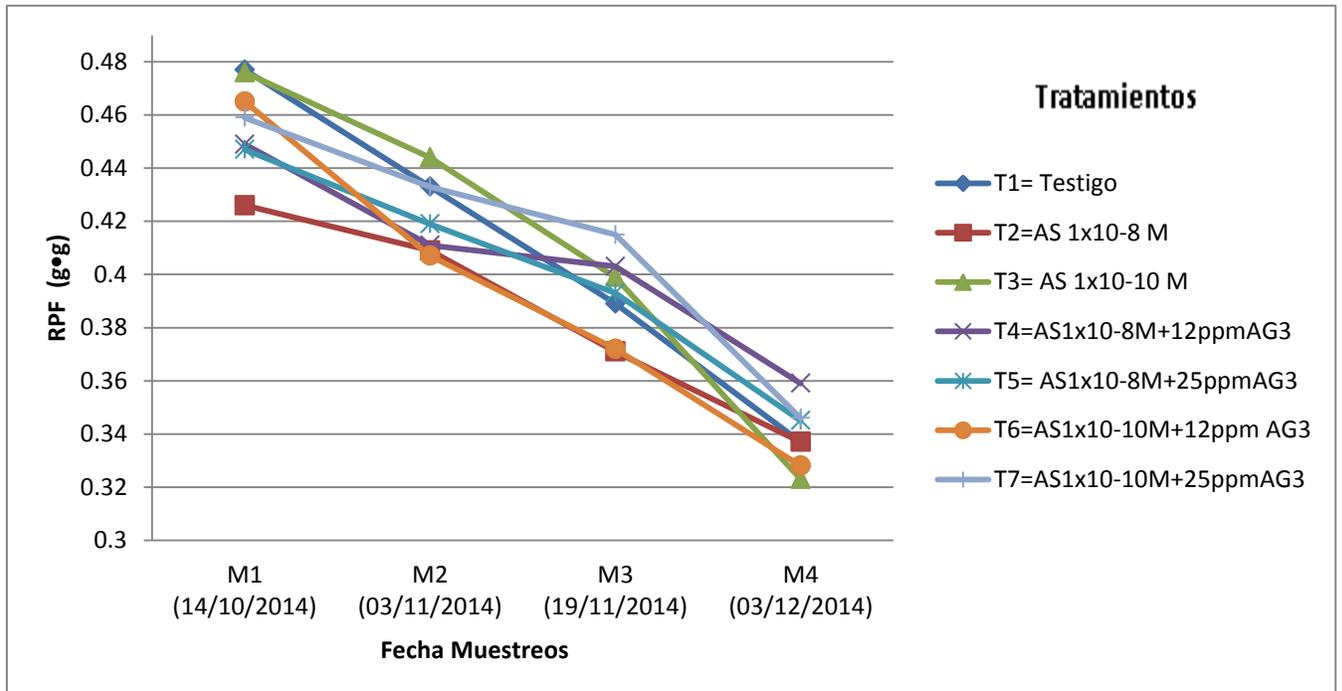
**Figura 1.** Tasa de Crecimiento Relativo



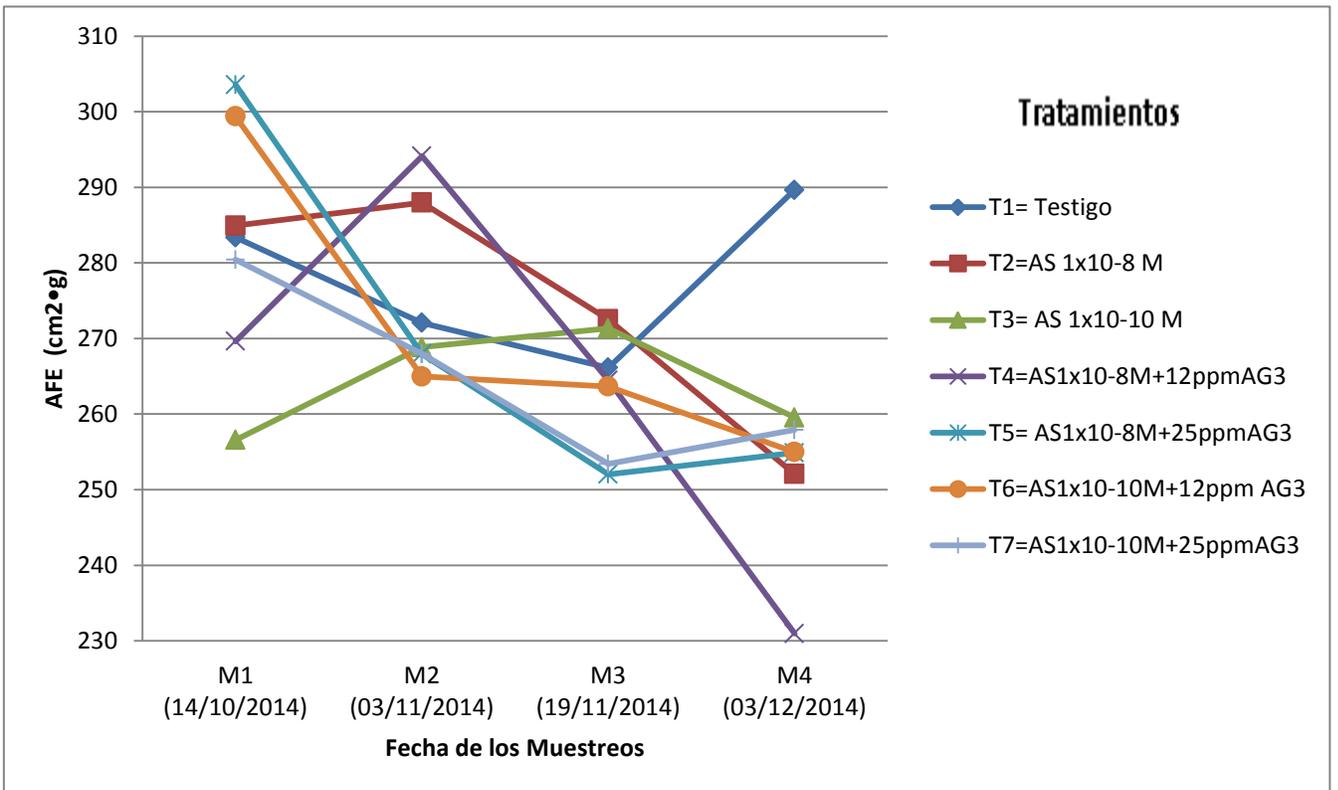
**Figura 2.** Tasa de Asimilación Neta



**Figura 3.** Relación de Área Foliar



**Figura 4.** Relación de Peso Foliar



**Figura 5. Área Foliar Especifica**

## ARTICULO

### **Aspectos Fisiológicos de Tomate con Biorreguladores ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE UN CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicon* L.) BAJO EL EFECTO DE DOS BIORREGULADORES**

### **PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF A CULTURE OF TOMATO (*Solanum lycopersicon* L.) UNDER THE INFLUENCE OF TWO BIOREGULATORS**

Ricardo Ramírez Zambrano<sup>1</sup>, Manuel De La Rosa Ibarra<sup>1\*</sup>, Adalberto Benavides Mendoza<sup>2</sup> y Alejandro Zermeño González<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Botánica, <sup>2</sup>Departamento de Horticultura, <sup>3</sup>Departamento de Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315, México.

<sup>1\*</sup>Autor para correspondencia [mribarra\\_18@yahoo.com](mailto:mribarra_18@yahoo.com)

## RESUMEN

En esta investigación se evaluó el crecimiento y rendimiento de un cultivo de tomate con aplicación de ácido salicílico (AS) y ácido giberélico (AG<sub>3</sub>). El trabajo se llevó a cabo en el periodo otoño-invierno del 2014, en el invernadero del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con siete tratamientos (T1=Testigo aplicando solo agua destilada, T2= AS 1x10<sup>-8</sup> mol L<sup>-1</sup>, T3= AS 1x10<sup>-10</sup> mol L<sup>-1</sup>, T4= AS 1x10<sup>-8</sup> mol L<sup>-1</sup> + 12 ppm de AG<sub>3</sub>, T5= AS 1x10<sup>-8</sup> mol L<sup>-1</sup> + 25 ppm de AG<sub>3</sub>, T6= AS 1x10<sup>-10</sup> mol L<sup>-1</sup> + 12 ppm de AG<sub>3</sub> y T7= AS 1x10<sup>-10</sup> mol L<sup>-1</sup> + 25 ppm de AG<sub>3</sub>) y tres repeticiones. Las variables de estudio fueron Tasa de Asimilación de CO<sub>2</sub> (P<sub>N</sub>),

Conductancia Estomática ( $gs$ ) y la Tasa de Transpiración ( $Trmmol$ ), el rendimiento y componentes del mismo. El análisis de varianza y comparación de medias para las variables fisiológicas solo mostro diferencias significativas para la  $P_N$ , pero no para  $gs$  y  $Trmmol$ . Sin embargo para el rendimiento y componentes del mismo mostraron diferencias altamente significativas a excepción del número de racimos por planta. Los resultados indican que la aplicación de AS y AS+AG<sub>3</sub> aumentan la Tasa de Asimilación de CO<sub>2</sub>, Conductancia Estomática y la Tasa de Transpiración con relación a las plantas testigo. De igual manera se encontró que la combinación de ambos ácidos a bajas concentraciones incrementa de manera significativa el rendimiento total y numero de frutos por planta, superando estadísticamente a las plantas control. Por lo que se pude concluir que el AS y AS+AG<sub>3</sub> influyen de manera positiva en el aumento de las variables fisiológicas, mejorando así la productividad y rendimiento del tomate.

**PALABRAS CLAVE.** Variables Fisiológicas, Biorreguladores, Rendimiento, Tomate.

## **ABSTRACT**

In this research the growth and yield of tomato crop with application of salicylic acid (SA) and gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) were evaluated. The work was carried out in the autumn-winter 2014, crop growing cycle in the greenhouse of the Forestry Department of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, in Saltillo, Coahuila, Mexico. The experimental design was completely randomized

with seven treatments (T1 = Control using only distilled water, T2 = SA  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup>, T3 = SA  $1 \times 10^{-10}$  mol L<sup>-1</sup>, T4 = SA  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup> + 12 ppm GA<sub>3</sub>, T5 = SA  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup> + 25 ppm GA<sub>3</sub>, T6 = SA  $1 \times 10^{-10}$  mol L<sup>-1</sup> + 12 ppm GA<sub>3</sub> and T7 = SA  $1 \times 10^{-10}$  mol L<sup>-1</sup> + 25 ppm GA<sub>3</sub>) and three replications. The study variables were CO<sub>2</sub> assimilation rate ( $P_N$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ) and transpiration rate ( $Trmmol$ ), yield and their components. Analysis of variance and mean for physiological variables showed significant differences only for the  $P_N$ , but not for  $g_s$  and  $Trmmol$ . However for the yield and components there were highly significant differences except for the number of clusters per plant. The results indicate that the application of SA and SA+GA<sub>3</sub> increase CO<sub>2</sub> assimilation rate, stomatal conductance and transpiration rate relative with respect to control plants. Similarly we found that the combination of both lower acid concentrations significantly increased throughput and number of fruits per plant, statistically overtaking control plants. The SA and SA+GA<sub>3</sub> positively influence the increased physiological variables, thus improving productivity and yield of tomatoes.

**KEYWORDS.** Physiological variables, Bioregulators, Yield, Tomato.

## INTRODUCCIÓN

Los biorreguladores son compuestos capaces de aumentar el desarrollo de las plantas, acelerar el alargamiento y la división celular, así como incrementar la producción de biomasa y rendimiento en cultivos de importancia económica (Botta *et al.* 2012), ya que regulan procesos de desarrollo así como

las redes de señalización implicadas en las respuestas de las plantas a una amplia gama de estrés biótico y abiótico (Bari y Jones 2009). Por esta razón, el actual uso de los biorreguladores en la agricultura es debido a que ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícola (Ramírez 2003).

El ácido salicílico (AS) y el ácido giberélico ( $AG_3$ ) han sido considerados como biorreguladores. El AS desempeña un papel crucial en la regulación de los procesos fisiológicos y bioquímicos durante toda la vida útil de la planta (Rivas y Plasencia 2011), tales como la germinación de semillas, crecimiento vegetativo, fotosíntesis, respiración, la termogénesis, la formación de flores, producción de semillas, la senectud, y un tipo de la muerte celular (Slaymaker *et al.* 2002). Por su parte Kazemi-Mohsen (2014) menciona que la aplicación exógena de SA en tomate aumenta significativamente el rendimiento así como la calidad del fruto.

El  $AG_3$  controla una gran cantidad de procesos muy importantes en las plantas, incluyendo el crecimiento, fotosíntesis, germinación, la altura de la planta, la floración y la fertilidad masculina así como la elongación del tallo (Aftab *et al.* 2010, Olszewski *et al.* 2002, Radi *et al.* 2006). De igual manera Laiton *et al.* (2012) al trabajar con tomate reportaron que el ácido giberélico incrementa de manera significativa el rendimiento total. Actualmente se sabe que ambos biorreguladores son compuestos capaces de aumentar significativamente la Tasa de Asimilación de  $CO_2$ , Conductancia Estomática, Tasa de Traspiración y Contenido de  $CO_2$  intracelular, mejorando de manera

significativa el rendimiento y productividad de los cultivos (Stevens *et al.* 2006, Yusuf *et al.* 2013, Aftab *et al.* 2010, Yuan y Xu 2001).

Considerando que el uso del AS y el AG<sub>3</sub> son una excelente alternativa para modificar y aumentar las variables fisiológicas mencionadas anteriormente así como el rendimiento en cultivos de importancia económica, se consideró realizar combinaciones de ambos biorreguladores, ya que se tiene poca información de que la combinación de ambos compuestos se ha capaz de aumentar las variables fisiológicas y como consecuencia el rendimiento, por lo que el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del AS y AS+AG<sub>3</sub> sobre el comportamiento de las variables fisiológicas y rendimiento de un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Área de Estudio.** La presente investigación se realizó en el periodo Otoño-Invierno del 2014 en el invernadero de alta tecnología correspondiente al Departamento de Forestal de la Universidad Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

**Siembra.** La siembra se efectuó el día cinco de agosto de 2014 en charolas de poliestireno con capacidad de 200 cavidades, utilizando semilla certificada de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom, el sustrato que se utilizó fue vermiculita para germinación, el trasplante se realizó el día ocho de septiembre de 2014 en macetas de polietileno de color negro con capacidad de 12 L, para el llenado de

macetas se utilizó como sustrato una mezcla de perlita con peat moss a una relación de 1:1 dicha mezcla se humedeció a capacidad de campo.

**Preparación y Aplicación de los Tratamientos.** La preparación de los tratamientos se realizó en el laboratorio de Fisiología Vegetal correspondiente al Departamento de Botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Considerando los siguientes tratamientos: T1=Testigo (aplicando solo agua destilada); T2= AS  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup>; T3= AS  $1 \times 10^{-10}$  mol L<sup>-1</sup>; T4= AS  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup> + 12 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub>; T5= AS  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup> + 25 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub>; T6= AS  $1 \times 10^{-10}$  mol L<sup>-1</sup> + 12 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub> y T7= AS  $1 \times 10^{-10}$  mol L<sup>-1</sup> + 25 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub>. Inicialmente se pesaron 0.136 g de ácido salicílico, asimismo se pesaron 2 veces 0.012 g de AG<sub>3</sub> y 0.025 g de AG<sub>3</sub>, en una balanza analítica marca AND, modelo GR-120, cada muestra se diluyó en 2 ml de alcohol etílico en un tubo de ensayo obteniendo cinco concentraciones base; una vez disuelto el AS se colocó en un vaso de precipitado con capacidad de 1 L y se aforo con agua destilada, obteniendo la concentración de AS  $1 \times 10^{-3}$  mol L<sup>-1</sup>, de esta solución se tomó 1 ml y se diluyó en 999 ml de agua destilada colocada en un vaso de precipitado de 1 L, resultando la concentración de AS  $1 \times 10^{-6}$  mol L<sup>-1</sup> posteriormente de esta solución se tomaron 2 muestras por separado de 10 ml, cada una se diluyó en un vaso precipitado de 1 L con 990 ml de agua destilada, obteniendo dos veces la concentración de AS  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup>. De cada una de las concentraciones anteriores resultantes se extrajeron nuevamente 10 ml y se diluyeron por separado en un vaso de precipitado de 1 L que ya contenían la cantidad de 990 ml de agua destilada, para obtener dos repeticiones con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10}$  mol L<sup>-1</sup>, posteriormente a una de las

concentraciones de  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup> de AS se le agregó la concentración base de 12 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub> y a la restante la concentración base de 25 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub>, de igual manera lo anterior se realizó para las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-10}$  mol L<sup>-1</sup> y con ello se obtuvo el total de tratamientos, posteriormente las concentraciones fueron trasladadas al invernadero para su aplicación, dicha actividad se realizó el día 16 de septiembre de 2014, realizándola solo una vez, asperjando las hojas por haz y envés utilizando un atomizador con capacidad de 500 mL, para cada una de las concentraciones.

**Labores culturales.** Las labores culturales que se realizaron en el transcurso del experimento fueron las siguientes, la demanda nutricional de la planta fue abastecida por medio de la solución Universal de Steiner que se proporcionó mediante un sistema de riego por goteo automatizado esto con el fin de que se mantuviera una humedad homogénea para el óptimo desarrollo del cultivo. Las podas se realizaron cada que se presentaron brotes nuevos en las axilas de la planta lo que ayuda a que el tallo tenga un crecimiento más vigoroso. El tutoreo se realizó cada vez que las plantas lo requerían ya que esta actividad da soporte y guía a la planta. El control fitosanitario se realizó de forma preventiva durante todo el desarrollo del cultivo.

**Variables de Estudio.** Las variables fisiológicas que se consideraron dentro de la investigación fueron las siguientes Tasa de Asimilación de CO<sub>2</sub> ( $P_N$ ), Conductancia Estomática ( $g_s$ ) y Tasa de Transpiración ( $Tr$  mmol). Que se evaluaron mediante un IRGA (Infra Red Gas Analyzer, LI-COR 6400 Portable System Fotosíntesis, Lincoln, Nebraska, EE.UU). El muestreo se realizó en un

día soleado a partir de las 11:30 durante la etapa de floración del cultivo, las hojas que se muestrearon fueron apical, media y basal de la planta, con una orientación hacia la entrada del invernadero. Para determinar el rendimiento y componentes del mismo se consideró número racimos por planta, número de frutos por planta y rendimiento total.

**Diseño Experimental.** La distribución de los tratamientos en el área experimental fue llevada a cabo mediante un diseño completamente al azar realizando un sorteo para el etiquetado de las macetas tomando en cuenta 7 tratamientos y 3 repeticiones, la unidad experimental fue una planta por cada tratamiento. A los resultados obtenidos se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey  $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos con el paquete estadístico SAS (SAS Institute 2002).

## RESULTADOS

**Variables Fisiológicas.** El análisis de varianza y comparación de medias entre tratamientos para dichas variables presentó diferencias significativas para la  $P_N$ , pero no para la  $g_s$ ,  $T_{mmol}$ ,  $T$  y  $PAR_i$  (Tabla 1). Donde las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup> + 25 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub> presentaron la mayor  $P_N$  para las hojas apicales con  $12.20 \mu\text{mol CO}_2^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  seguidas por las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup> con  $10.84 \mu\text{mol CO}_2^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , superando a las plantas testigo con  $3.39$  y  $2.03 \mu\text{mol CO}_2^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente. Sin embargo para estas mismas hojas se presentó el valor más bajo de la  $P_N$  en las plantas tratadas con la concentración de AS

$1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1} + 12 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$  con  $4.31 \mu\text{mol CO}_2^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Mientras que para las hojas del nivel medio la mayor tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  la obtuvieron las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$  superando a las plantas control con más de  $1.49 \mu\text{mol CO}_2^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Y en cuanto a las hojas basales las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1} + 12 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$  presentaron el valor más alto para la  $P_N$  con  $10.83 \mu\text{mol CO}_2^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , superando a las plantas testigo con  $2.25 \mu\text{mol CO}_2^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 1).

Para la conductancia estomatal las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$ , AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$  y AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1} + 12 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$  obtuvieron los valores más altos superando a las plantas control con más de 0.201, 0.106 y 0.087  $\text{mol H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente. En las hojas medias la mayor  $g_s$  se presentó para las plantas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$  y AS  $1 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1} + 25 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$  al obtener 0.547 y 0.412  $\text{mol H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente superando nuevamente a las plantas testigo. En cuanto a la conductancia estomatal para las hojas basales los mayores valores se presentaron nuevamente en las plantas tratadas con las concentraciones AS  $1 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1} + 25 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$ , seguidas por las plantas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1} + 25 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$ , AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$  y AS  $1 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1} + 12 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$  al obtener 0.428, 0.370, 0.365 y 0.355  $\text{mol H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente superando claramente a las plantas control (Figura 2).

En la tasa de transpiración para las hojas apicales los valores más altos los presentaron las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-8} \text{ mol}$

$L^{-1}$  y AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$  superando a las plantas testigo con 1.46 y 0.87  $\text{mmol H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente. Asimismo las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1} + 12 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$  superaron ligeramente a las plantas control, mientras que las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1} + 25 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$  igualaron la tasa de transpiración al de las plantas testigo. Para las hojas medias las plantas tratadas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$  obtuvieron la mayor tasa de transpiración superando a las plantas control con  $2.36 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , de igual manera las plantas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1} + 12 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$  superaron ligeramente a las plantas testigo mientras que las plantas con las concentraciones de AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1} + 12 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$  y AS  $1 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1} + 25 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{AG}_3$  presentaron similar tasa de transpiración a las plantas control. En cuanto a las hojas basales todas las plantas tratadas con AS y AS+ $\text{AG}_3$  superaron a las plantas testigo ya que presentaron una mayor tasa de transpiración que estas últimas, sin embargo solo las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$  fueron superadas por las plantas control (Figura 3).

**Correlación Entre Variables.** La correlación que se observó entre la temperatura de la hoja vs  $P_N$ ,  $gs$  y  $Trmmol$  fue de tipo inversa, siendo esta regular ya que los valores de correlación no fueron mayores del 70 % para todas las variables anteriores (Tabla 2), indicando que a mayores valores de temperatura menor serán los valores de la  $P_N$ ,  $gs$  y  $Trmmol$  y viceversa (Figura 1, 2 y 3 respectivamente). Sin embargo la correlación que se observó para la

$PARI$  vs  $P_N$ ,  $gs$  y  $Trmmol$  fue de tipo directa pero muy débil ya que los valores de correlación entre estas variables no supero el 25 %.

**Componentes del Rendimiento.** El análisis de varianza y comparación de medias entre tratamientos para los componentes del rendimiento mostro diferencias altamente significativas para el rendimiento total y numero de frutos por planta, pero no para el numero de racimos por planta sin embargo para este último componente existen diferencias numéricas ya que las plantas tratadas con  $AS\ 1 \times 10^{-8}\ mol\ L^{-1}$  presentaron el mayor número de racimos por planta, seguidas por las plantas tratadas con la concentración de  $AS\ 1 \times 10^{-10}\ mol\ L^{-1} + 12\ mg\ L^{-1}$  de  $AG_3$ , superando a las plantas control, de igual manera se encontró que estas últimas igualaron a las plantas tratadas con las concentraciones de  $AS\ 1 \times 10^{-10}\ mol\ L^{-1}$ ,  $AS\ 1 \times 10^{-8}\ mol\ L^{-1} + 12\ mg\ L^{-1}$  de  $AG_3$  y  $AS\ 1 \times 10^{-10}\ mol\ L^{-1} + 25\ mg\ L^{-1}$  de  $AG_3$  al obtener el mismo número de racimos por planta.

En cuanto a la variable del número de frutos por planta se encontró que las plantas tratadas con  $AS\ 1 \times 10^{-10}\ mol\ L^{-1}$  presentaron el valor más alto para esta variable, superando de manera significativa a las plantas control, además las plantas tratadas con la concentración de  $AS\ 1 \times 10^{-10}\ mol\ L^{-1} + 25\ mg\ L^{-1}$  de  $AG_3$  presentaron similar producción de frutos a las plantas testigo, sin embargo el resto de las plantas tratadas con  $AS$  y  $AS+AG_3$  fueron superadas por las plantas control.

En el rendimiento total, las plantas tratadas con la concentración más baja de  $AS\ 1 \times 10^{-10}\ mol\ L^{-1} + 12\ mg\ L^{-1}$  de  $AG_3$  superaron de manera

significativa a las plantas control al obtener 39.123 t ha<sup>-1</sup> ya que las plantas testigo solo alcanzaron 36.660 t ha<sup>-1</sup>. A demás estas últimas superaron estadísticamente al resto de las plantas tratadas con ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.

## DISCUSIÓN

**Variables Fisiológicas.** Con los resultados encontrados para la  $P_N$  se pone de manifiesto que existe un aumento significativo de la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> para los tres niveles de hojas de las plantas tratadas con AS y AS+AG<sub>3</sub> con respecto a las plantas control ya que incrementaron la  $P_N$ , lo cual podría atribuirse por un aumento en la actividad carboxilasa de la Rubisco inducida por el AS y el AS+AG<sub>3</sub> (Singh y Usha 2003; Aftab *et al.* 2010). Y con ello un incremento en la fijación de CO<sub>2</sub> por la Rubisco (Patishtan *et al.* 2010). O bien pudiera estar relacionado a factores metabólicos en los distintos pigmentos fotosintéticos (Arfan *et al.* 2007). Debido a la mejora de la morfogénesis estructural de los plástidos en los cloroplastos por el AG<sub>3</sub> (Aftab *et al.* 2010) y por un aumento en el contenido de clorofila inducido por el AS (Hayat *et al.* 2008).

Por lo general la conductancia estomatal fue incrementada en los tres niveles de las hojas por las plantas tratadas con AS y AS+AG<sub>3</sub>, superando a las plantas testigo. Lo cual coincide con el aumento de la  $P_N$  en los mismos niveles de las hojas, lo que indica que estos ácidos ayudan en el movimiento estomático (Hayat *et al.* 2008, Yuan y Xu 2001) generando así una mayor

conductancia estomatal y con ello una mayor entrada y asimilación de CO<sub>2</sub> (Patishtan *et al.* 2010).

En cuanto a la tasa de transpiración por lo general las plantas tratadas con AS y AS+AG<sub>3</sub> presentaron una mayor *Trmmol* que las plantas control, dejando de manifiesto que ambos biorreguladores si modifican la tasa de transpiración para los tres niveles de las hojas, por lo que existe una estrecha relación entre dicha variable, la conductancia estomatal y la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, ya que al existir una mayor transpiración, la *gs* será mayor, resultando así en un mayor intercambio de gases entre la hoja y la atmosfera que le rodea y como consecuencia de esto un mayor flujo de CO<sub>2</sub> al interior de la hoja aumentando así el CO<sub>2</sub> intracelular que posteriormente será demandado por la actividad de la Rubisco para realizar el proceso de la fotosíntesis. Como ya se mencionó anteriormente este comportamiento puede atribuirse a que ambos ácidos incrementan la conductancia estomatal y con ello la tasa de transpiración así como el aumento de CO<sub>2</sub> y su tasa de asimilación (Aftab *et al.* 2010, Stevens *et al.* 2006). Contrario a estos resultados Patishtan *et al.* (2010) afirman que cuando existe una reducción de la conductancia estomatal, disminuye la tasa de transpiración y con ello el intercambio de gases, y al mismo tiempo disminuyendo el suministro y asimilación de CO<sub>2</sub>, para la enzima Rubisco.

**Componentes del Rendimiento.** En el número de racimos por planta, fue aumentado por las plantas tratadas con la concentración de AS 1x10<sup>-8</sup> mol L<sup>-1</sup>, de igual manera existe un ligero aumento del número de racimos por planta para la concentración de AS 1x10<sup>-10</sup> mol + 12 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub>, superando a las

plantas control, debido a que dichos ácidos aumentan la producción de biomasa aérea así como el peso fresco y seco de las plantas (Larqué *et al.* 2010, Aftab *et al.* 2010), además las plantas tratadas con la concentración de AS  $1 \times 10^{-8}$  mol  $L^{-1}$  presentaron la mayor actividad fotosintética para las hojas apicales lo cual podría atribuirse a una mayor acumulación de biomasa debido al aumento de la actividad fotosintética (Sánchez *et al.* 2011). Asimismo las plantas tratadas con AS  $1 \times 10^{-10}$  mol  $L^{-1}$  + 12 mg  $L^{-1}$  de AG<sub>3</sub> presentaron la mayor actividad fotosintética para las hojas basales sin embargo podría decirse que aun así presentaron poco efecto aparente en el rendimiento por la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (Yuan y Xu 2001).

En la variable del número de frutos por planta solo las plantas tratadas con AS  $1 \times 10^{-10}$  mol  $L^{-1}$  superaron significativamente las plantas testigo, lo cual puede ser atribuido a que estas plantas presentaron la mayor actividad fotosintética en las hojas del nivel medio, dado que estas son las que se encargan de abastecer la demanda de fotoasimilados en los frutos en desarrollo. Estos resultados coinciden a lo reportado por Sánchez *et al.* (2011), ya que afirman que el AS aplicado en dosis bajas incrementa de manera significativa el número de frutos por planta en comparación con las plantas control.

Para el rendimiento total solo las plantas tratadas con AS  $1 \times 10^{-10}$  mol  $L^{-1}$  + 12 mg  $L^{-1}$  de AG<sub>3</sub> superaron significativamente a las plantas testigo, dejando de manifiesto que las dosis bajas de ambos biorreguladores podrían actuar de manera sinérgica al aumentar la actividad fotosintética en las hojas basales que

serían las que aportan mayor cantidad de fotoasimilados ya que están completamente desarrolladas, aumentando así el peso de los frutos y con ello el rendimiento. Por su parte Aftab *et al.* (2010) menciona que el AG<sub>3</sub> aumenta de manera significativa la actividad fotosintética y con ello el rendimiento global lo que se traduce en una mayor productividad agrícola. Por otra parte Hayat *et al.* (2008) afirman que el AS incrementa la actividad de la maquinaria fotosintética lo cual resulta en un aumento en el crecimiento de las plantas. De igual manera Fariduddin *et al.* (2003) mencionan que la aplicación exógena de AS incrementa la  $P_N$ , incrementando al mismo tiempo el rendimiento por planta en comparación con el control.

**Correlación entre variables.** La correlación que se presentó es de tipo inversa (Tabla 2) entre la temperatura de la hoja vs  $P_N$ ,  $gs$  y  $Trmmol$  indicando en la interacción (Figura 1) que a mayores valores de la temperatura se inhibe el proceso de la fotosíntesis, sin embargo a menores valores de temperatura la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> es mayor (Pimienta *et al.* 2001), dado a que si la temperatura es mayor esta impacta en todas las reacciones bioquímicas afectando así el proceso de  $P_N$  (Patishtán *et al.* 2010). Por lo que la estrecha relación que existe entre estas variables es que al aumentar la temperatura, tiende a disminuir la conductancia estomatal (Figura 2), de igual manera se reduce la transpiración (Figura 3), resultando así en la disminución de la asimilación del CO<sub>2</sub> (Doon *et al.* 2002), y viceversa.

La correlación que se observó para la  $PAR_i$  vs tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, conductancia estomatal y transpiración fue de tipo directa (Tabla 2), sin

embargo esta correlación entre variables es muy débil dado que no se presentó una clara correlación entre las variables debido a que los valores fueron muy bajos sin embargo esta podría relacionarse con la temperatura ya que al existir altos niveles de temperatura y radiación se favorece el proceso de la fotorrespiración (Doon *et al.* 2002), afectando de esta manera la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>.

## **CONCLUSIONES**

Con los resultados obtenidos se puede concluir que la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico, influyen de manera positiva ya que ambos biorreguladores son capaces de inducir un incremento en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, conductancia estomatal y la tasa de transpiración resultando así una mejora de la productividad del cultivo de tomate.

De igual manera ambos biorreguladores incrementaron el número de racimos por planta e incrementaron significativamente el número de frutos por planta y rendimiento total en comparación con las plantas control, por lo cual se recomienda la combinación de los dos biorreguladores en su concentración más baja para maximizar la productividad y rendimiento de los cultivos.

## LITERATURA CITADA

- Aftab T, Khan MMA, Idrees M, Naeem M, Singh M, Ram M (2010) Stimulation of crop productivity, photosynthesis and artemisinin production in *Artemisia annua* L. by triacontanol and gibberellic acid application. *Journal of Plant Interactions* 5(4): 273-281.
- Arfan M, Athar HR, Ashraf M (2007) Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? *Journal of Plant Physiology* 164(6): 685-694.
- Bari R, Jones JDG (2009) Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Molecular Biology* 69(4): 473-488.
- Botta E, Almaguel L, Franco I, Díaz Y (2012) Evaluación de la acción de diferentes fitorreguladores sobre las poblaciones de *Stenotaphrum spinki* Smiley en dos variedades comerciales de arroz. *Fitosanidad* 12(2): 109-116.
- Davies PJ (2004) *Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action!*. 3<sup>rd</sup> Edition. Kluwer Academic Publishers. 717 p.
- Dodd AN, Borland AM, Haslam RP, Griffiths H, Maxwell K (2002) Crassulacean acid metabolism: plastic, fantastic. *Journal Experimental Botanic* 53: 559-580.
- Fariduddin Q, Hayat S, Ahmad A (2003) Salicylic Acid Influences Net Photosynthetic Rate, Carboxylation Efficiency, Nitrate Reductase Activity, and Seed Yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica* 41(2): 281-284.
- Hayat S, Hasan SA, Fariduddin Q, Ahmad A (2008) Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions* 3(4): 297-304.
- Kazemi M (2014) Effect of foliar application with salicylic acid and methyl jasmonate on growth, flowering, yield and fruit quality of Tomato. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 3(2): 154-158.

- Larqué, A., R. Martín, A. Nexticapan, S. Vergara y M. Gutiérrez (2010). Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(3):183-187.
- Olszewski N, Sun T, Gubler F (2002) Gibberellin signaling: biosynthesis, catabolism, and response pathways. *The Plant Cell* 14(1): 61-80.
- Patishtán J, Rodríguez R, Zavala F, Jasso D (2010) Conductancia estomática y asimilación de CO<sub>2</sub> en sábila (*Aloe vera* Tourn) bajo sequía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4): 305-314.
- Pimienta BE, C Robles C, Nobel PS (2001) Net CO<sub>2</sub> uptake for *Agave tequilana* in a warm and a temperate environment *Biotropica* 33: 312-318.
- Radi A, Lange T, Niki T, Koshioka M, Pimenta MJ (2006) Ectopic Expression of Pumpkin Gibberellin Oxidases Alters Gibberellin Biosynthesis and Development of Transgenic Arabidopsis Plants. *Plant Physiology* 140(2): 528-536.
- Ramírez H (2003) El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. En Memoria del Tercer Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México. 22p.
- Rivas M, Plasencia J (2011) Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany* 62(10): 3321-3338.
- Sanchez E, Barrera R, Muñoz E, Ojeda DL, Anchondo A (2011) Efecto del ácido salicílico sobre biomasa, actividad fotosintética, contenido nutricional y productividad del chile jalapeño. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(1): 63-68.
- Singh B, Usha K (2003) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation* 39(2): 137-141.

Slaymaker DH, Navarre DA, Clark D, Del Pozo O, Martin GB, Klessig DF (2002) The tobacco salicylic acid-binding protein 3 (SABP3) is the chloroplast carbonic anhydrase, which exhibits antioxidant capacity and plays a role in the hypersensitive response. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA.* 99: 11640-11645.

Stevens J, Senaratna T, Sivasithamparam K (2006) Salicylic Acid Induces Salinity Tolerance in Tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): Associated Changes in Gas Exchange, Water Relations and Membrane Stabilisation. *Plant Growth Regulation* 49(1): 77-83.

Yuan L, Xu DQ (2001) Stimulation effect of gibberellic acid short-term treatment on leaf photosynthesis related to the increase in Rubisco content in broad bean and soybean. *Photosynthesis Research* 68(1): 39-47.

**Tabla 1.** Análisis de varianza y comparación de medias para tres niveles de las hojas en plantas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom con la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.

Tratamiento	Variable	Variables Fisiológicas				
		$P_N$ ( $\mu\text{mol CO}_2^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$g_s$ ( $\text{mol H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$Trmmol$ ( $\text{mmol H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$PARi$ ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
T1= TESTIGO	Hoja Apical	8.81 ab <sup>a</sup>	0.354 a	9.16 a	26.01 a	350.00 a
T2= AS $1 \times 10^{-8}$ mol L <sup>-1</sup>		10.84 ab	0.555 a	10.62 a	25.12 a	350.33 a
T3= AS $1 \times 10^{-10}$ mol L <sup>-1</sup>		9.74 ab	0.460 a	10.03 a	23.82 a	350.33 a
T4= AS $1 \times 10^{-8}$ mol L <sup>-1</sup> + 12 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		6.28 ab	0.077 a	3.20 a	27.66 a	350.33 a
T5= AS $1 \times 10^{-8}$ mol L <sup>-1</sup> + 25 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		12.20 a	0.367 a	9.15 a	25.57 a	350.66 a
T6= AS $1 \times 10^{-10}$ mol L <sup>-1</sup> + 12 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		4.31 b	0.441 a	9.83 a	24.66 a	350.00 a
T7= AS $1 \times 10^{-10}$ mol L <sup>-1</sup> + 25 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		8.85 ab	0.285 a	7.23 a	24.23 a	355.00 a
T1= TESTIGO	Hoja Media	9.89 ab	0.374 a	9.29 a	25.05 a	350.00 a
T2= AS $1 \times 10^{-8}$ mol L <sup>-1</sup>		8.85 ab	0.316 a	8.68 a	25.85 a	349.66 a
T3= AS $1 \times 10^{-10}$ mol L <sup>-1</sup>		11.38 ab	0.547 a	11.65 a	25.27 a	350.33 a
T4= AS $1 \times 10^{-8}$ mol L <sup>-1</sup> + 12 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		8.83 ab	0.378 a	9.86 a	26.11 a	351.33 a
T5= AS $1 \times 10^{-8}$ mol L <sup>-1</sup> + 25 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		8.67 ab	0.412 a	9.18 a	24.70 a	349.33 a
T6= AS $1 \times 10^{-10}$ mol L <sup>-1</sup> + 12 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		7.62 ab	0.387 a	9.22 a	25.11 a	350.00 a
T7= AS $1 \times 10^{-10}$ mol L <sup>-1</sup> + 25 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		8.28 ab	0.284 a	7.49 a	24.87 a	349.66 a
T1= TESTIGO	Hoja Basal	8.58 ab	0.279 a	7.84 a	27.67 a	350.00 a
T2= AS $1 \times 10^{-8}$ mol L <sup>-1</sup>		7.95 ab	0.365 a	9.09 a	24.75 a	349.00 a
T3= AS $1 \times 10^{-10}$ mol L <sup>-1</sup>		6.37 ab	0.252 a	6.97 a	26.43 a	349.67 a
T4= AS $1 \times 10^{-8}$ mol L <sup>-1</sup> + 12 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		9.57 ab	0.355 a	8.80 a	25.65	349.67 a
T5= AS $1 \times 10^{-8}$ mol L <sup>-1</sup> + 25 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		8.66 ab	0.428 a	9.35 a	23.81 a	349.67 a
T6= AS $1 \times 10^{-10}$ mol L <sup>-1</sup> + 12 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		10.83 ab	0.260 a	7.95 a	26.14 a	350.33 a
T7= AS $1 \times 10^{-10}$ mol L <sup>-1</sup> + 25 mg L <sup>-1</sup> AG <sub>3</sub>		9.11 ab	0.370 a	8.61 a	24.40 a	399.67 a
C.V. (%)		26.59	52.62	35.03	5.36	5.35
S. E.		*	NS	NS	NS	NS

$P_N$ = Tasa de Asimilación de CO<sub>2</sub>.  $g_s$ = Conductancia Estomatal,  $Trmmol$ = Tasa de Transpiración. T= Temperatura.  $PARi$ = Radiación Fotosintéticamente Activa. <sup>a</sup>=Medias con la Misma Letra Dentro de la Columna son Iguales (Tukey p<0.05). C.V.= Coeficiente de Variación. S.E.=Significancia Estadística. NS= Diferencia no Significativa. \*= Diferencia Significativa.

**Tabla 2.** Correlación entre las variables fisiológicas de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom bajo el efecto de AS y AS + AG3.

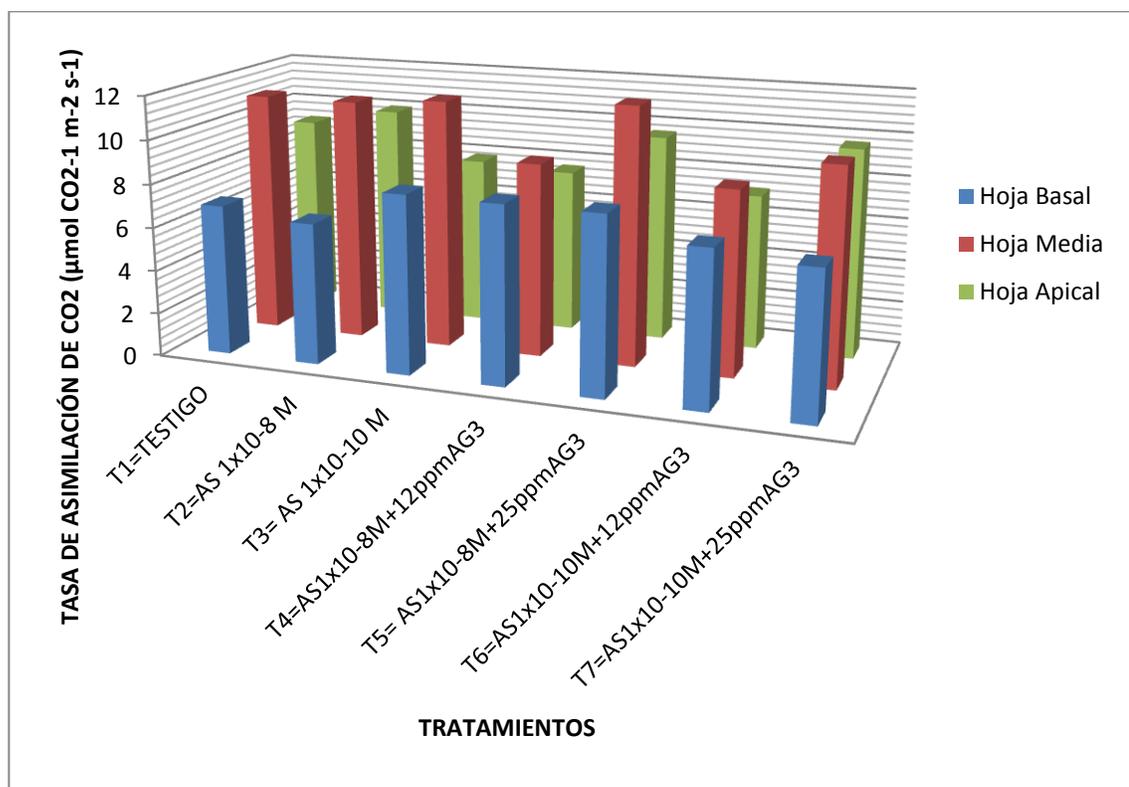
Correlación	Fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Conductancia ( $\text{mol H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Transpiración ( $\text{mmol H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
Temperatura (°C)	-0.53	-0.64	-0.55
PARi (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	0.12	0.23	0.19

PARi= Radiación Fotosintéticamente Activa.

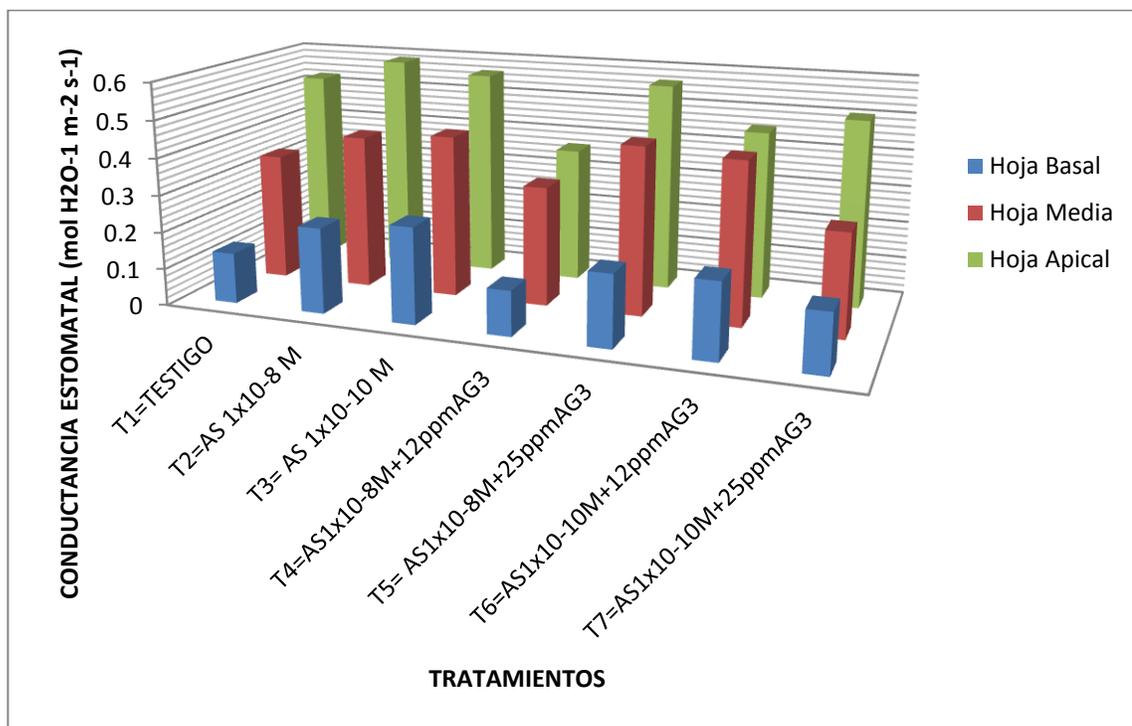
**Tabla 3:** Análisis de varianza y comparación de medias para los componentes del rendimiento de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) bajo la aplicación exógena de diferentes concentraciones de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.

Tratamiento	Variables		
	No. De Racimos Por Planta	No. De Frutos Por Planta	Rendimiento (Ton/Ha)
T1= TESTIGO	9.00 A <sup>a</sup>	22.33 AB	36.660 AB
T2= SA 1x10 <sup>-8</sup> M	10.66 A	20.33 AB	29.320 BCD
T3= AS 1x10 <sup>-10</sup> M	9.00 A	24.00 A	32.945 ABC
T4= AS 1x10 <sup>-8</sup> M + 12 ppm AG <sub>3</sub>	9.00 A	19.00 BC	28.668 CD
T5= AS 1x10 <sup>-8</sup> M + 25 ppm AG <sub>3</sub>	8.66 A	14.33 C	23.165 D
T6= AS 1x10 <sup>-10</sup> M + 12 ppm AG <sub>3</sub>	9.66 A	21.00 AB	39.123 A
T7= AS 1x10 <sup>-10</sup> M + 25 ppm AG <sub>3</sub>	9.00 A	22.00 AB	32.170 ABC
C.V. (%)	9.1	8.27	8.73
S.E.	NS	**	**

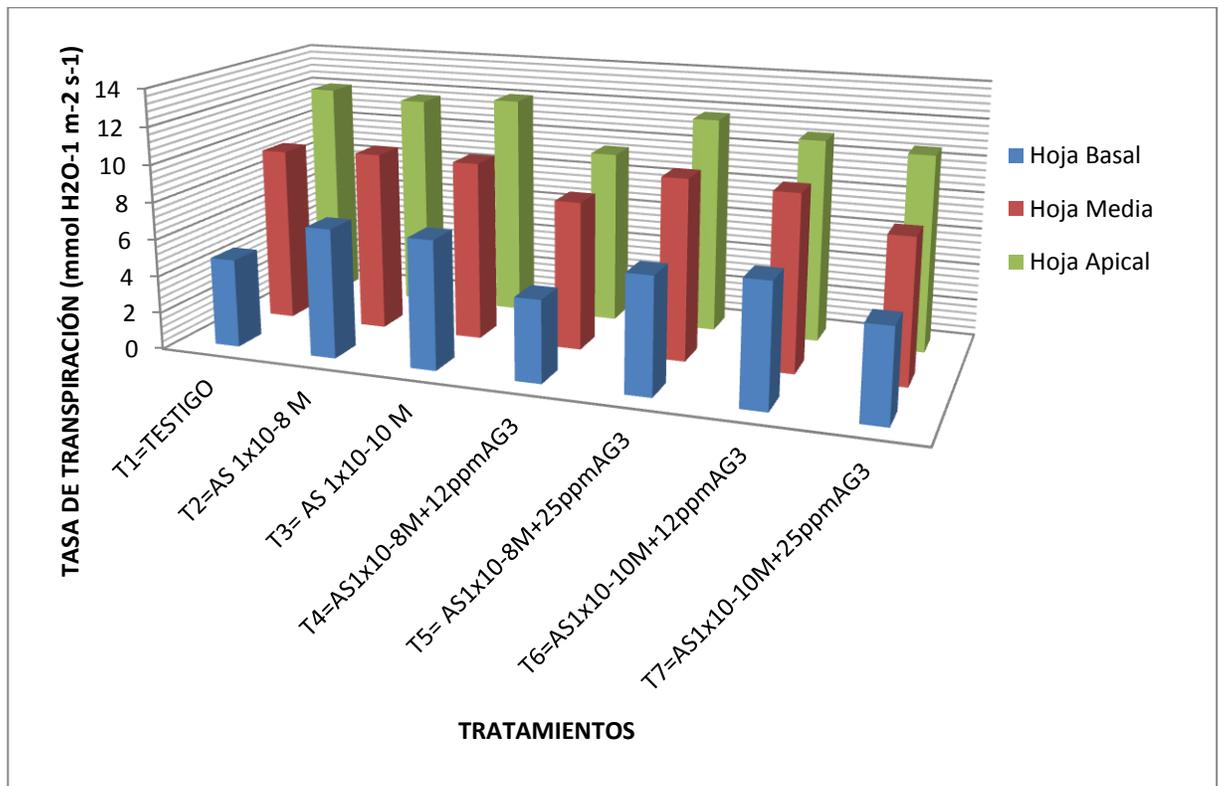
<sup>a</sup>=Medias con la Misma Letra Dentro de la Columna son Iguales (Tukey  $p < 0.01$ ). C.V.= Coeficiente de Variación. S.E.=Significancia Estadística. NS= Diferencia no Significativa. \*\*= Diferencia Altamente Significativa. Cada valor de los diferentes tratamientos representa la media de tres repeticiones.



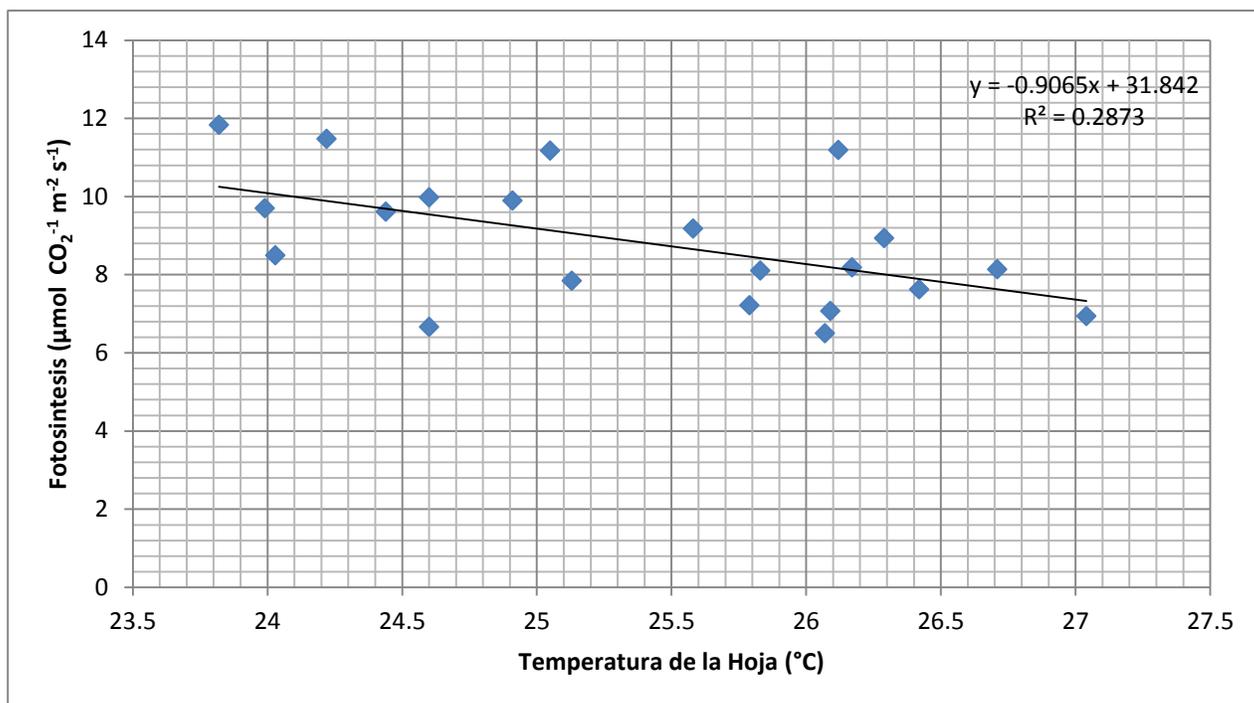
**Figura 1.** Tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> para tres niveles de hojas de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine bajo la aplicación exógena de diferentes concentraciones de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.



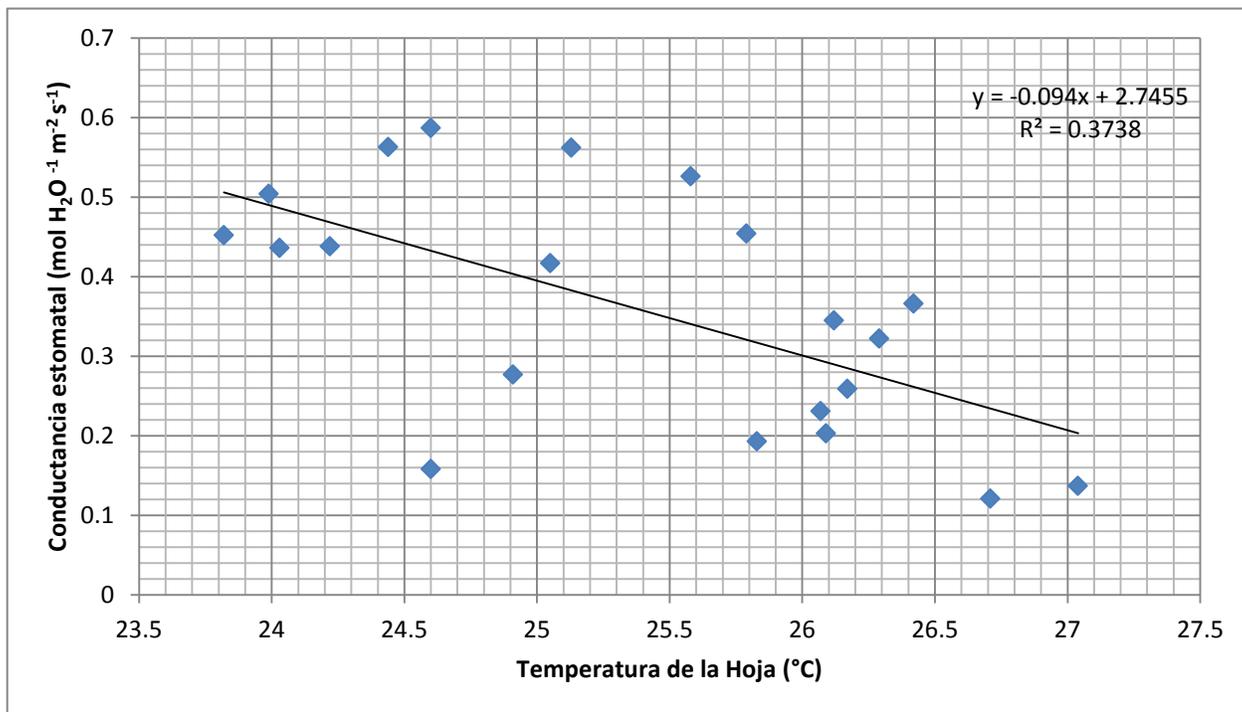
**Figura 2.** Conductancia estomatal en tres niveles de hojas de plantas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine con la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico.



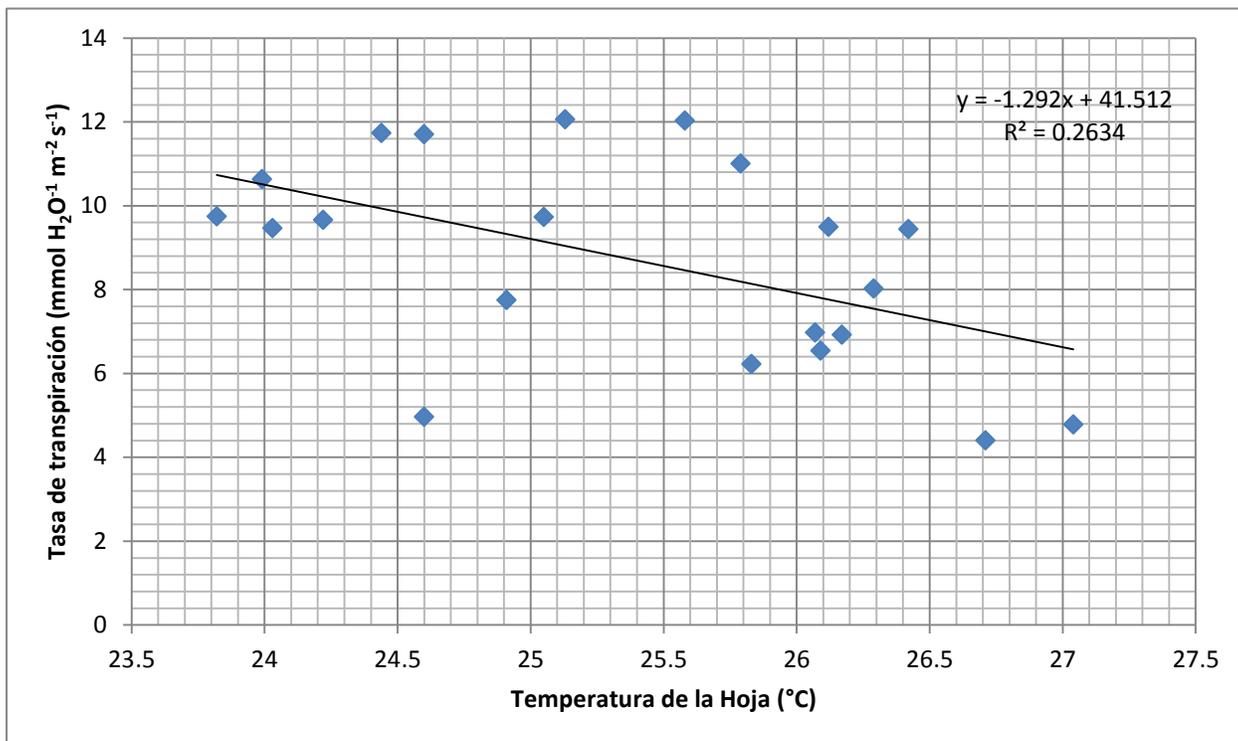
**Figura 3.** Tasa de transpiración de tres niveles de hojas de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom bajo el aplicación exógena de AS y AS + AG<sub>3</sub>.



**Figura 4.** Relación entre la temperatura de la hoja y la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> en plantas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom bajo el efecto de AS y AS + AG<sub>3</sub>.



**Figura 5.** Relación entre la temperatura de la hoja y la conductancia estomatal en las hojas de plantas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom bajo el efecto de AS y AS + AG<sub>3</sub>



**Figura 6.** Relación entre la temperatura de la hoja y la tasa de fotosíntesis para un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) C.V. Brandywine de especialidad tipo Heirloom con la aplicación exógena de AS y AS + AG<sub>3</sub>.

## CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se puede concluir que la aplicación de AS y AS+AG<sub>3</sub> favorece de manera positiva el crecimiento y desarrollo de un cultivo de tomate al cambiar el comportamiento normal de los índices de crecimiento.

De igual manera la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido salicílico más ácido giberélico, influyen de manera positiva ya que ambos biorreguladores son capaces de inducir un incremento en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, conductancia estomatal y la tasa de transpiración resultando así una mejora de la productividad del cultivo de tomate.

Por otra parte la aplicación de ácido salicílico aumenta significativamente el número de frutos y racimos por planta. Asimismo la combinación de ambos ácidos a bajas concentraciones incrementa de manera significativa el rendimiento por hectárea, obteniendo un rendimiento superior al control. Por lo cual se recomienda la combinación de los dos biorreguladores en su concentración más baja para maximizar la productividad y rendimiento de los cultivos.

## LITERATURA CITADA

- Abdalla, J. 2002. Absorcao de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condicoes de campo e de ambiente protegido. *Horticultura Brasileira* 20(1): 90-94.
- Aftab, T., M.M. Khan, M. Idrees, M. Naeem, M. Singh and R. Mauji (2010). Stimulation of crop productivity, photosynthesis and artemisinin production in *Artemisia annua* L. by triacontanol and gibberellic acid application. *Journal of Plant Interactions* 5(4): 273-281.
- Arfan, M., H.R. Athar & M. Ashraf (2007). Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? *Journal of Plant Physiology* 164(6): 685-694.
- Agüero, M., N. Miguelisse, G. Barral y O. Castillo (2007). Establecimiento y desarrollo en el cultivo forzado de tomate: aplicación de dosis variables de fitoreguladores. *Facultad de Ciencias Agrarias* 39(1): 123-131.
- Agustí, M. (2003). Aplicación de fitoreguladores Abdalla, en citricultura. 2ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 261 pp.
- Alberts, B., A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts y P. Walter (2010). *Biología molecular da célula* .5.ed. Porto Alegre: Artmed Editora. 1396 pp.

- Amarante, C.V.T., A.M.F. Drehmer, F. De Souza y P. Francescato (2005). Pulverización pré-colheita com ácido giberélico (GA3) e aminoetoxivinilglicina (AVG) retarda a maturação e reduz as perdas de frutos na cultura do pessegueiro. *Rev. Bras. Frutic.* 27(1): 1-5.
- Andreasson, E., T. Jenkins, P. Brodersen and J. Mundy (2005). The MAP kinase substrate MKS1 is a regulator of plant defense responses. *Embo Journal.*, 24(14): 2579-2589.
- Avanci, N.C., D.D. Luche, G.H. Goldaman and M.H.S. Goldman (2010). Jasmonates are phytohormones with multiple functions, including plant defense and reproduction. *Genetics and Molecular Research* 9: 484-505.
- Ayala, M., L. Gómez, N. Hidalgo y R. Valdever (2000). Efecto de la luz y del ácido giberélico sobre la germinación in vitro de jaul (*Alnus acuminata* L.). *Agronomía Costarricense* 24(1): 75-80.
- Azcon-Bieto, J. y M. Talon. (2000). *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Editorial McGraw Hill, Interamericana, Barcelona, España. 113-129.
- Azofeifa, A. y M.A. Moreira (2004). Analisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv.Hot), en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 57-67.
- Balaguera H.A., Y.A. Deaquiz y J.G. Álvarez (2009). Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (GA<sub>3</sub>). *Agronomía Colombiana* 27(1): 57-64.
- Ballaré, C.L. (2011). Jasmonate-induced defenses: a tale of intelligence, collaborators and rascals. *Trends Plant. Sciences In Press, Corrected Proof* 12: 133-137.
- Bari, R. and J.D.G. Jones (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Molecular Biology* 69: 473-488.

- Benavides, A. (2010). El ácido salicílico es un agente señalizador y promotor de resistencia biótica y abiótica en las plantas. Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 13pp.
- Botta E., L. Almaguel, I. Franco e Y. Díaz (2012). Evaluación de la acción de diferentes fitorreguladores sobre las poblaciones de *Stenotarsonemus pinki* Smiley en dos variedades comerciales de arroz. *Fitosanidad*, 12(2): 109-116.
- Brodersen, P., M. Petersen, H.B. Nielsen and J. Mundy (2006). Arabidopsis MAP kinase 4 regulates salicylic acid- and jasmonic acid/ethylene-dependent responses via EDS1 and PAD4. *Plant Journal* 47(4): 532-546.
- Carranza, C., O. Lancho, D. Miranda y B. Chaves (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana* 27(1): 41-48.
- Casierra, F. y M. Constanza (2009). Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 62(1): 41-47.
- Casierra, F., y Ó.E. Aguilar (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26(2): 300-307.
- Casierra, F., M.C. Cardozo and J.F. Cardenas (2007). Growth analysis of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivated in greenhouse. *Agronomy Colombiana* 25(2): 299-305.
- Chen, Z., Z. Zheng, J. Huang, Z. Lai and B. Fan (2009). Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant Signaling Behavior* 4 (6): 493-496.
- Choi, C., P.A. Wiersma, P. Toivonen and F. Kappel (2002). Fruit growth, firmness and cell wall hydrolytic enzyme activity during development of

sweet cherry fruit treated with gibberellic acid (GA<sub>3</sub>). *Journal Horticulture Scientific Biotechnology*. 77(5): 615-621

Closas, L., M.A. Bach and A.M. Palecho (2008). Biodegradable mulching in an organic tomato production system. *Acta. Hort.* (ISHS) 767:267-274.

Coletto, J. (1995). Crecimiento y desarrollo de las especies frutales. *Agroguías Mundi-Prensa. 2ª. Edición. Madrid, España*. 168pp.

Davies, P. J. (2004). Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action!. 3<sup>rd</sup> Edition. *Kluwer Academic Publishers*. 717 pp.

Dean, J., L., Mohammed and T. Fitzpatrick (2005). The formation, vacuolar localization, and tonoplast transport of salicylic acid glucose conjugates in tobacco cell suspension cultures. *Plant Physiology* 221(2): 287–296.

Desveaux D., R., Subramaniam, C., Despres and N. Brisson (2004). A "whirly" transcription factor is required for salicylic acid-dependent disease resistance in *Arabidopsis*. *Development Cellular* 6(2): 229-240.

Díaz, L.N. (2012). Resistencia sistémica adquirida mediada por el ácido salicílico. *Revista Biotecnologica en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 10(2): 257-267.

Dong, X. (2004). NPR1, all things considered. *Current Opinion in Plant Biology* 7: 547-552.

Durner, J. and D.F. Klessig (1995). Inhibition of ascorbate peroxidase by salicylic acid and 2,6-dichloroisonicotinic acid, two inducers of plant defense responses. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 92: 11312-11316.

Durner, J. and D.F. Klessig (1996). Salicylic acid is a modulator of tobacco and mammalian catalases. *Journal of Biological Chemistry* 271: 28492-28501.

Durrant, W.E. and X. Dong (2004). Systemic acquired resistance. *Annual Review Phytopathology* 42(1): 185-209.

- García, A., S. Montes, J.A. Rangel, E. García, y M. Mendoza (2010). Respuesta fisiológica de la semilla chile piquín (*Capsicum annuum*) var. glabriusculum al ácido giberélico e hidrotermia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(2): 203-216.
- Garza, T. (1993). Fermentación giberelínica en cultivo sólido por lote alimentado utilizando residuos agroindustriales. Tesis de Maestría en Ciencias en Especialidad en Microbiología Industrial. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México. 129 pp.
- Gomez, V., S. Fermas, P.B. Brewer, V. Puech, E.A. Dun, J.P. Pillot, F. Letisse, R. Matusova, S. Danoun, J.C. Portais, H. Bouwmeester, G. Becard, C.A. Beveridge, C. Rameau and S.F. Rochange (2008). Strigolactone inhibition of shoot branching. *Nature* 455: 189-194.
- Grant, M. and C. Lamb (2006). Systemic immunity. *Curr Opin Plant Biol* 9: 414-420.
- Hadley, C.W., S.K. Clinton, and S.J. Schwartz (2003). The Consumption of Processed Tomato Products Enhances Plasma Lycopene Concentrations in Association with a Reduced Lipoprotein Sensitivity to Oxidative Damage, en: *Journal of Nutrition* 133: 727-732.
- Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan and A. Ahmad (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany* 68(1): 14-25.
- Hayat, S., S.A. Hasan, Q. Fariduddin & A. Ahmad (2008). Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions* 3(4): 297-304.
- Hedden, P. and A.L. Phillips (2000). Gibberellin metabolism: new insights revealed by the genes. *Trends Plant Science* 5: 523–530.
- Hirano, K., K. Aya, T. Hobo, H. Sakakibara, M. Kojima, R.A. Shim, Y. Hasegawa, T.M. Ueguchi and M. Matsuoka (2008). Comprehensive transcriptome analysis of phytohormone biosynthesis and signaling genes

in microspore/pollen atapetum of rice. *Plant and Cell Physiology* 49: 1429-1450.

Horváth, E., G. Szalai and T. Janda (2007). Induction of Abiotic Stress Tolerance by Salicylic Acid Signaling. *Journal of Plant Growth Regulation* 26(3): 290-300.

Howe, G.A. and G. Jander (2008). Plant immunity to insect herbivores. *Annual Review Plant Biology* 59(1): 41-66.

Hu, J., M.G. Mitchum, N. Barnaby, B.T. Ayele, M. Ogawa, E. Nam, W. Lai, A. Hanada, J.M. Alonso, J.M. Ecker, S.M. Swain, S. Yamaguchi, Y. Kamiya and T. Sung (2008). Potential sites of bioactive gibberellin production during reproductive growth in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* 20: 320-336.

Hunt, R. (2003). Growth analysis, individual plants. *Encyclopaedia of applied plant sciences* 2: 579-588.

Hunt, R., D.R. Causton, B. Shipley and A.P. Askew (2002). A modern tool for classical plant growth analysis. *Annual Botonic* 90: 485-488.

Jaulneau, V., M. Cazaux, J.W.S. Hoi and B. Dumas (2010). Host and Nonhost Resistance in *Medicago-Colletotrichum* Interactions. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 23(9): 1107-1117.

Jordán, M. y J. Casaretto (2006). Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Etileno, Ácido Abscísico, Brasinoesteroides, Poliaminas, Ácido Salicílico y Ácido Jasmónico. En: Fisiología Vegetal. F.A . Squeo & L. Cardemil, Eds. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile. 280pp.

Kataoka, K., Y. Yashiro, T. Habu, K. Sunamoto and A. Kitajima (2009). The addition of gibberellic acid to auxin solutions increases sugar accumulation and sink strength in developing auxin-induced parthenocarpic tomato fruits. *Scientific Horticulture* 123: 228-233.

Khan, R., M. Khan, M. Singh, S. Nasir, M. Naeem, M. Siddiqui and F. Mohammad (2007). Gibberellic acid and triacontanol can ameliorate the

opium yield and morphine production in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Soil & Plant Science* 57(4): 307-312.

Khan, W., B. Prithviraj and D. Smith (2003). Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160: 485-492.

Kojima, K. (2005). Phytohormones in shoots and fruits of tomato; Apoplast solution and seedless fruit. *Japan Agricultural Research Quarterly* 39(2): 77-81.

Laiton, P., M. Almanza y L. Balaguera (2012). Producción y calidad poscosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) larga vida sometido a la aplicación de ácido giberélico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6(2): 183-195.

Larqué, A. y R.A. Martín (2007). Ácido salicílico afecta el rendimiento de chile bell en condiciones de invernadero, Fourth World Pepper Convention, Queretaro, Queretaro, México, pp. 2.

Larqué, A., R. Martín, A. Nexticapan, S. Vergara y M. Gutiérrez (2010). Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(3):183-187.

Larqué-Saavedra A., (1978). Efecto del ácido salicílico en *Phaseolus vulgaris*. *Physiologia Plantarum* 43(2): 126-128.

Lee, D.W., S.F. Oberbauer, P. Johnson, B. Krishnapilay, M. Mansor, H. Mohamad and S.K. Yap (2000). Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian Hopea (Dipterocarpaceae) species. *Amer. J. Bot.*, 87(4): 445-447.

Lin, C.H., and B.H. Chen (2003). Determination of carotenoids in tomato juice by liquid chromatography. *Journal of Chromatography* 1012: 103-109.

Linkies, A., K. Müller, K. Morris, V. Tureckova, C.S.C. Cadman, U.F. Corbinea, M. Strnad, J.R. Lynn, S. Finch and G. Leubner (2009).

Ethylene interacts with abscisic acid to regulate the endosperm rupture during Germination: a comparative approach *Lepidium sativum* and *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Cell* 21(12): 3803-3822.

Lluna, R. (2006). Hormonas vegetales: crecimiento y desarrollo de la planta. *Industria Hortícola* 196: 22-26.

Lopes, A.W.P., A. Seleguini, A.C. Boliari y L.S. Correa (2009). Estádio de maturação hacer fruto e uso do ácido giberelico na germinação de Semillas de mamoeiro. *Pesquisa Agropecuaria Tropical* 39(4): 278-284.

MacMillan, J. (2002). Occurrence of gibberellins in vascular plants, fungi and bacteria. *Journal Plant Growth Regulation* 20: 387-422.

MacMillan, J., and N. Takahashi (1968). Proposed procedure for the allocation of trivial names to the gibberellins. *Nature* 217: 170-171.

Márquez, C., P. Cano, Y.I. Chew, A. Moreno & N. Rodríguez (2006). Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2): 183-189.

Martín, R. y A. Larqué (2003). Efecto de salicilatos en la productividad de pepino europeo (*Cucumis sativus* L.). Memoria del X congreso nacional de la sociedad mexicana de ciencias hortícolas, IX congreso nacional y II internacional de la asociación mexicana de horticultur4a ornamental (20 al 24 de octubre del 2003). Chapingo, México. 389pp.

Mex, R.M., S. Vergara, A. Nexticapán, y A. Larqué (2010). Bajas concentraciones de ácido salicílico incrementan el número de flores en *Petunia hibrida*. *Agrociencia* 441: 773-778.

Moore, A.L., M.S. Albury, P.G. Crichton and C. Affourtit (2002). Function of the alternative oxidase: is it still a scavenger? *Trends in Plant Science* 7: 478-481.

Moreno, M.M. and A. Moreno (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Scientia Horticulturae* 116(3): 256-263.

- Müller, K., S. Tintelnot and G. Leubner (2006). Endosperm limited Brassicaceae seed germination: abscisic acid inhibits embryo-induced endosperm weakening of *Lepidium sativum* (cress) and endosperm rupture of cress and *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiology* 47(7): 864-877.
- Nexticapan, A., A. Wilber, H. Cat, R. Martín, C. Tucuch y A. Larqué (2009b). Efecto de aspersiones foliares de ácido salicílico en el rendimiento de chile Bell en invernadero en Yucatán. Sexta Convención Mundial del Chile. Mérida, Yucatán, México: 300-302.
- Nexticapan, G.A. M.R. Martín, T.R. Herrera y A. Larqué (2009a). Incremento del rendimiento de papaya maradol por efecto de salicilatos. Memorias en extenso. (17 al 21 de mayo del 2009). Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida. Yucatán, México.
- Ogawa, M., A. Hanada, Y. Yamauchi, A. Kuwahara, Y. Kamiya y S. Yamaguchi. (2003). Gibberellin biosynthesis and response during *Arabidopsis* seed germination. *Plant Cell* 15:1591-1604.
- Olszewski, N., T. Sun and F. Gubler (2002). Gibberellin signaling: biosynthesis, catabolism, and response pathways. *The Plant Cell* 14(1): 61-80.
- Peil, R. y J.R. Gálvez (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Rev. Bras. Agrociência* 11(1): 5-11.
- Peter, R. (2004). *Biology of Plants*, 7th edition, Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. 436 pp.
- Pimenta, M.J. and T. Lange (2006). Gibberellin biosynthesis and the regulation of plant development. *Plant Biology* 8(3): 281-90.
- Pimenta, M.J., K. Nicole and T. Lange (2012). Stamen-derived bioactive gibberellin is essential for male flower development of *Cucurbita maxima* L. *Journal of Experimental Botany* 63(7):2681-2691.

- Rademacher, W. (2000). Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual review of plant biology*, 51(1): 501-531.
- Radi, A., T. Lange, T. Niki, M. Koshioka and M.J. Pimenta (2006). Ectopic Expression of Pumpkin Gibberellin Oxidases Alters Gibberellin Biosynthesis and Development of Transgenic *Arabidopsis* Plants. *Plant Physiology* 140 (2): 528-536.
- Raffo, A., L.A.G. Malfa, V., Fogliano, G. Maiani and G. Quaglia (2006). Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 11-19.
- Ramírez H., Méndez O., Benavides A., y C. Amado (2009). Influencia de prohexadiona-ca y promotores de oxidación sobre el rendimiento, capsaicina y vitamina c en chile jalapeño. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*. 5(3) 231-236.
- Ramírez, H. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. En Memoria del Tercer Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México. En CD.
- Ramírez, H., Rancaño, A. J., Benavides M. A., Mendoza V.R. y C. E. Padrón. (2006). Influencia de promotores de oxidación controlada en hortalizas y su relación con antioxidantes. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 12(002): 189-195.
- Ramos, P., M.A. Rubio, G.S. Rodriguez, M. Rodriguez, V. Santana y A. Quintero (2010). Efecto del ácido giberélico sobre la producción hidropónica del tomate variedad Gabriela. *Tecnociencia Chihuahua* 4(2): 106-112.
- Raskin I. (1992). Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 43: 439-463.
- Retamales, J. (2007). Actualización en hormonas vegetales y reguladores de crecimiento, Aspectos básicos y modos de acción. Taller de reguladores de crecimiento y bioestimulantes en cultivos extensivos. Mar del Plata 29

de junio del 2007. Universidad de Chile. Valent BioSciences Corporation (CL) 86pp.

Rezende, P., J. Oliveira y G. Heringer (2007). Método dft para producción de tomate en ambiente protegido. *Cienciae Agrotecnología*. 31(3): 713-719.

Rivas M. and J. Plasencia (2011). Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany* 62(10): 3321-3338.

Riviere, M.P., A. Marais and E. Galiana (2008). Silencing of acidic pathogenesis-related PR-1 genes increases extracellular beta-(1 - 3)-glucanase activity at the onset of tobacco defence reactions. *Journal Experimental Botanic* 59(6):1225-1239.

Rodríguez, L. (2000). Densidad de población vegetal y producción de materia seca. *Rev. COMALFI* 27(1-2), 31-38.

Salisbury, F.B. y C.W. Ross (2000). Fisiología de las plantas. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Thompson Ediciones, Madrid. pp. 557-564.

Sánchez, E., R. Barrera, E. Muñoz, D. Ojeda y A. Anchond (2011). Efecto del ácido salicílico sobre biomasa, actividad fotosintética, contenido nutricional y productividad del chile jalapeño. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17: 63-68.

Santiago. J., M. Mendoza & F. Borrego (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9: 59-65.

Serrani, J.C., R. Sanjuan, O. Ruiz, M. Fos and J.L. García (2007). Gibberellin Regulation of Fruit Set and Growth in Tomato. *Plant Physiol* 145: 246-257.

Shah, J. (2003). The salicylic acid loop in plant defense. *Current Opinion in Plant Biology* 6: 365-371.

- Shulaev, V., P. Silverman and I. Raskin (1997). Airborne signalling by methyl salicylate in plant pathogen resistance. *Nature* 385: 718-721.
- Singh, G. and M. Kaur. 1980. Effect of growth regulators on padding and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.) Wilczek. *Indian J. Plant Physiol.* 23:366-70.
- Slaymaker, D.H., D.A. Navarre, D. Clark, O. del Pozo, G.B. Martin and D.F. Klessig (2002). The tobacco salicylic acid-binding protein 3 (SABP3) is the chloroplast carbonic anhydrase, which exhibits antioxidant capacity and plays a role in the hypersensitive response. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 99: 11640-11645.
- Song, J.T., Y.J. Koo, J.B. Park, Y.J. Seo, Y.J. Cho, H.S. Seo and Y.D. Choi (2009). The expression patterns of AtBSMT1 and AtSAGT1 encoding a salicylic acid (SA) methyltransferase and a SA glucosyltransferase, respectively, in Arabidopsis plants with altered defense responses. *Molecules and Cells* 28(2): 105-109.
- Song, J.T. (2006). Induction of a salicylic acid glucosyltransferase, AtSGT1, is an early disease response in *Arabidopsis thaliana*. *Molecules and Cells* 22: 233-238.
- Srivastava, N.K. and A.K. Srivastava (2007). Influence of gibberellic acid on <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> metabolism, growth, and production of alkaloids in *Catharanthus roseus*. *Photosynthetica* 45: 156-160.
- Tadmor, Y., S. King, A. Levi, A. Davis, A. Meir and B. Wasserman (2005). Comparative fruit colouration in watermelon and tomato. *Food Res Int.*, 38 (8-9): 837-41.
- Taiz, L. and E. Zeiger (2006). *Plant physiology. 4th ed.* Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA.690 pp.
- Terry, E., M. Núñez, M. Pino y N. Medina (2001). Efecto de la combinación biofertilizantes-analogo de brasinoesteroides en la nutrición del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Cultivos Tropicales* 22(2): 59-65.

- Tokuhisa, D., D.C.F.S. Días, E.M. Alvarenga, L.A.S. Días y S.L.D. Marin (2007). Tratamentos párrafo Superación da dormência em Sementes de mamão. *Revista Brasileira de Semillas* 29(1): 131-139.
- Umehara, M., A. Hanada, S. Yoshida, K. Akiyama, T. Arite, N. Takeda, H. Magome, Y. Kamiya, K. Shirasu, K. Yoneyama, J. Kyojuka and S. Yamaguchi (2008). Inhibition of shoot branching by new terpenoid plant hormones. *Nature* 455: 195-200.
- Usenik, V., D. Kastelec and F. Tampar (2005). Physicochemical changes of sweet cherry fruits related to application of gibberellic acid. *Food Chemistry* 90(4): 663-671.
- Verberne, M.C., R. Verpoorte, J.F. Bol, J. Mercado and H.J. Linthorst (2000). Overproduction of salicylic acid in plants by bacterial transgenes enhances pathogen resistance. *Nature Biotechnology* 18: 779-783.
- Vichiato, M., M. Vichiato, D.M. Castro, L.F. Dutra and M. Pasqual. (2007). Alongamento de plantas de *Dendrobium nobile* Lindl. com pulverização de ácido giberélico. *Ciênc. Agrotec.* 31(1), 16-20.
- Vieira, C.R.Y., E.J. Pires, M.M. Terra, M.A. Tecchiz y R.V. Botelho (2008). Efeitos do ácido giberélico e do thidiazuron sobre as características dos frutos e d mosto da uva 'Niagara Rosada'. *Rev. Bras. Frutic.* 30(1): 12-19.
- Vitale, A.A., E.A. Bernatene y A.B. Pomilio (2010). Carotenoides en quimioprevención: Licopeno. *Acta bioquím. Clín. Latinoam.*, 44(2): 195-238.
- Vlot, A., D. Dempsey and D. Klessig (2009). Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual Review of Phytopathology* 47: 177-206.
- Vlot, A.C., D.F. Klessig and S.W. Park (2008). Systemic acquired resistance: the elusive signal(s). *Curr. Op. Pl. Bio.*, 11(4): 436-442.

- Wildermuth, M.C., J. Dewdney, G. WU & F.M. Ausubel (2001). Isochorismate synthase is required to synthesize salicylic acid for plant defense. *Nature* 414: 562-565.
- Wu, J., J.H. Zhong, K. Xu, Q.P. Wei and Z.L. Wei (2001). Effect of exogenous GA3 on fruit development and endogenous hormones in *Fujiminori grape*. *Journal Fruit Tree* 18(4): 209-212.
- Xie, Z., B. Fan, C. Chen and Z. Chen (2001). An important role of an inducible RNA-dependent RNA polymerase in plant antiviral defense. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 98: 6516-6521.
- Yanishlieva, N. V. (2001). Inhibición de la oxidación. Yanishlieva N. y M. Gordon (Eds.). Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas. España. Editorial Acribia. 364 p.
- Yildirim, E. and A. Dursun (2009). Effect of foliar salicylic acid applications on plant growth and yield of tomato under greenhouse conditions. *Acta Hort.* 807: 395-400.
- Yildirim, E., M. Turan and I. Guvenc (2008). Effect of Foliar Salicylic Acid Applications on Growth, Chlorophyll, and Mineral Content of Cucumber Grown Under Salt Stress. *Journal of Plant Nutrition* 31(3): 593-612.
- Yokota, T. and N. Takahashi (1986). Chemistry, physiology and agricultural application of brassinolide and related steroids. In: Plant growth substances. M. Bopp ed. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. 330 pp.
- Zabadal, T.J. and T.W. Dittmer (2000). Influence of gibberellic acid sprays on berry size and shot berry on 'Vanessa' grapevines. *Act Horticulture* 527: 153-156.
- Zapata, L.M., L. Gerard, C. Davies & M.D.C. Schwab (2007). Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. *Ciencia, docencia y tecnología* 18(35): 173-193.
- Zhang, C., K. Tanabe, F. Tamura, A. Itai and M. Yoshida (2007). Roles of gibberellins in increasing sink demand in Japanese pear fruit during rapid fruit growth. *Plant Growth Regulates* 52: 161-172.

