

Efecto de la aplicación exógena de ácido benzoico y salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate, tomatillo y pimiento*

Effect of exogenous application of benzoic and salicylic acid on growth of tomato, tomatillo and pepper seedling

Lidia Valdez Sepúlveda¹, Susana González Morales², Luis Alonso Valdez-Aguilar¹, Francisca Ramírez-Godina³ y Adalberto Benavides-Mendoza^{1§}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Departamento de Horticultura. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, C. P. 25315. Tel. 528444110303. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Cátedras CONACYT-Departamento de Horticultura. ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Departamento de Fitomejoramiento. (lgvsk8@hotmail.com; qfb_sgm@hotmail.com; luisalonso_va@hotmail.com; godramf@gmail.com) [§]Autor para correspondencia: abenmen@gmail.com.

Resumen

El ácido benzoico y sus derivados tales como el ácido salicílico, son componentes metabólicos que realizan funciones críticas en las plantas. El objetivo del estudio fue verificar el efecto de la aplicación foliar de los ácidos benzoico y salicílico sobre el crecimiento y composición mineral de plántulas de tomate, tomatillo y pimiento. Las plántulas fueron cultivadas en invernadero y crecidas en contenedores de poliestireno utilizando como sustrato peat moss y perlita (80:20). Los riegos se realizaron con solución nutritiva Steiner. Los tratamientos consistieron en aplicaciones foliares semanales de AB y AS en concentraciones 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} M y un testigo con agua. Las variables analizadas fueron altura y diámetro de tallo, área foliar, biomasa aérea y de raíz y contenido de minerales. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 25 repeticiones por tratamiento, siendo la unidad experimental una plántula. La aplicación de AS y AB en plántulas de tomate y pimiento dio lugar a respuestas positivas en algunas variables de crecimiento y de composición mineral. En el tomatillo casi todas las variables respondieron de forma negativa frente al AS y AB. El patrón de respuesta de la biomasa aérea y de raíz de las tres especies no fue sistemático ni predecible, de manera que si una variable aumentaba otra podía disminuir.

Abstract

Benzoic acid and its derivatives, such as salicylic acid are metabolic components that perform critical functions in plants. The aim of the study was to verify the effect of foliar application of benzoic and salicylic acid on seedling growth and mineral composition of tomato, tomatillo and pepper. Seedlings were grown under greenhouse in polystyrene containers using as substrate peat moss and perlite (80:20). Irrigation was performed with Steiner nutrient solution. Treatments consisted on weekly foliar applications of AB and AS at concentrations 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} M and a control with water. The variables were height and stem diameter, leaf area, aerial and root biomass and mineral content. The experimental design was completely randomized with 25 replications per treatment, being the experimental unit a seedling. The application of AS and AB in tomato and pepper seedlings gave positive responses in some growth variables and mineral composition. In tomatillo most variables responded negatively to AS and AB. The response pattern of aerial and root biomass from the three species was not systematic or predictable, so that if a variable increased another could decrease. Zn and Ca content increased in tomato and pepper seedlings respectively, when applying AS and AB, while in tomatillo all mineral concentrations decreased when these compounds were applied.

* Recibido: agosto de 2015
Aceptado: noviembre de 2015

El contenido de Zn en las plántulas de tomate y de Ca en el pimiento aumentó al aplicar AS y AB, en cambio en el tomatillo todos los minerales disminuyeron su concentración al aplicar estos compuestos.

Palabras clave: absorción de minerales, ácidos orgánicos, benzoatos fenilpropanoides, salicilatos.

Introducción

Las plantas son organismos que continuamente producen compuestos químicos, volátiles y no volátiles que usan como señales para adaptarse y responder a los cambios del medio ambiente (Avanci *et al.*, 2010). Entre estos, las fitohormonas tienen un papel importante, ya que están involucradas en actividades que promueven el crecimiento y desarrollo, al inducir un despliegue de procesos celulares, fisiológicos y morfológicos (Ashraf *et al.*, 2010). Además, están implicadas en procesos cruciales relacionados al desarrollo y supervivencia de la planta, incluyendo mecanismos de defensa contra condiciones de estrés biótico (Zhang *et al.*, 2009) y abiótico (Ashraf *et al.*, 2010), metabolismo secundario, proceso reproductivo, desarrollo del fruto y senescencia (Wasternack, 2007). Dentro de estos compuestos se encuentra el ácido benzoico (AB) y derivados tales como el ácido salicílico (AS), metabolitos originados en la vía metabólica de los fenilpropanoides (Qualley *et al.*, 2012).

El AB es un ácido carboxílico aromático que se encuentra de forma natural en las plantas, desempeñando importantes funciones en el metabolismo y crecimiento; sus sales y ésteres son conocidos como benzoatos. El AB y sus derivados son elementos estructurales en un gran número de metabolitos y productos naturales que realizan funciones críticas en las plantas, como reguladores de crecimiento, compuestos defensivos y atrayentes de polinizadores (Qualley *et al.*, 2012). En los procesos industriales se utilizan como conservadores y potenciadores del sabor, analgésicos, antisépticos y quimioterapéuticos (Chipley, 2005). Los reportes indican que la aplicación exógena de esta sustancia, modifica la anatomía y morfología de especies comestibles y ornamentales, induce tolerancia al estrés y mejora la germinación en medios salinos (Benavides-Mendoza *et al.*, 2004; Ortega-Ortiz *et al.*, 2007). Asimismo, se ha documentado que el AB ejerce efectos positivos en las plantas bajo condiciones de crecimiento alejadas del óptimo, ya que modifica el perfil de nutrientes minerales

Keywords: mineral absorption, organic acids, phenylpropanoids benzoates, salicylates.

Introduction

Plants are organisms that continually produce chemical, volatile and nonvolatile compounds that are used as signals to adapt and respond to changes in the environment (Avanci *et al.*, 2010). Among these, plant hormones play an important role as they are involved in activities that promote growth and development by inducing an array of cellular, physiological and morphological processes (Ashraf *et al.*, 2010). These are also involved in crucial processes related to plant development and survival, including defense mechanisms against biotic (Zhang *et al.*, 2009) and abiotic (Ashraf *et al.*, 2010) stress, secondary metabolism, reproductive process, fruit development and senescence (Wasternack, 2007). Among these compounds is the benzoic acid (AB) and derivatives such as salicylic acid (AS), originated from the metabolic pathway of phenylpropanoid (Qualley *et al.*, 2012).

AB is an aromatic carboxylic acid found naturally in plants, playing an important role in metabolism and growth; its salts and esters are known as benzoates. AB and its derivatives are structural elements in a large number of metabolites and natural products that perform critical functions in plants, such as growth regulators, repellent compounds and pollinator attractors (Qualley *et al.*, 2012). In industrial processes are used as preservatives and flavor enhancers, analgesics, antiseptics and chemotherapy (Chipley, 2005). Reports indicate that exogenous application of this substance, modifies the anatomy and morphology of edible and ornamental species, induces stress tolerance and improves germination in saline mediums (Benavides-Mendoza *et al.*, 2004; Ortega-Ortiz *et al.*, 2007). Also, it has been documented that AB has positive effects on plants under growth conditions far from optimal, as it modifies the profile of mineral nutrients accumulation in the tissues. Furthermore, it has been reported that plants accumulate AB in the soil, where it works as an allelochemical (Kaur *et al.*, 2005); that is, as a compound released to the environment by plants that interferes with the growth of competing organisms.

Meanwhile AS is a phenolic compound that was initially identified in the bark from willow (*Salix* sp) (Raskin, 1992), it was subsequently isolated from the metabolism of salicin,

acumulados en los tejidos. Por otro lado, se ha reportado que las plantas acumulan AB en el suelo, en donde funciona como un aleloquímico (Kaur *et al.*, 2005); es decir, como un compuesto emitido al medio por las plantas que interfiere con el crecimiento de organismos competidores.

Por su parte, el AS es un compuesto fenólico que se identificó inicialmente en la corteza del sauce (*Salix* sp.) (Raskin, 1992), posteriormente fue aislado del metabolismo de la salicina, donde se le denominó salicil alcohol glucósido (Hayat *et al.*, 2007). El AS actúa como antioxidante no-enzimático, así como regulador del crecimiento vegetal, desempeñando un papel importante en la regulación de una serie de procesos fisiológicos de la planta incluyendo la fotosíntesis (Waseem *et al.*, 2006; Arfan *et al.*, 2007) y en general la actividad de los cloroplastos, la absorción y transporte de nutrientes, provoca asimismo cambios en la anatomía de las plantas e incrementa el rendimiento (Khan *et al.*, 2010; Purcărea and Cachita-Cosma, 2010).

Las aplicaciones exógenas de AS en plantas han mostrado inducir mayor tolerancia a las condiciones de estrés, como sequía (Horváth *et al.*, 2007; Xu and Tian, 2008), fitotoxicidad (Metwally *et al.*, 2003) y bajas temperaturas (López-Delgado *et al.*, 1998; Janda *et al.*, 1999; Farooq *et al.*, 2008; Mora-Herrera y López-Delgado, 2006). Entre otros reportes, se menciona que las aplicaciones foliares de este compuesto, aumentan la biomasa de plantas de soya (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998) y el rendimiento de trigo (López-Tejeda *et al.*, 1998). Además de aumentar la actividad enzimática (catalasa y peroxidasa) en tomate (Ortega-Ortiz *et al.*, 2007) extiende la vida de anaquel de plátano (Srivastava and Dwivedi, 2000).

Cabe resaltar que en comparación con el AS el AB es un compuesto que ha sido poco estudiado en cuanto a sus aplicaciones agrícolas (Valdez-Sepúlveda *et al.*, 2015). Si su aplicación ejerciera efectos positivos sobre las plantas sometidas a estrés biótico o abiótico, entonces pudiera constituirse en una alternativa más en el arsenal de compuestos naturales disponibles para la práctica agrícola. Sin embargo previo a ello son necesarios estudios acerca del efecto de este compuesto sobre el crecimiento de plantas de uso agrícola. Por lo anterior el presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación exógena de los ácidos benzoico y salicílico sobre el crecimiento de plántulas de tomate, tomatillo y pimiento. El AS fue incluido en el estudio como una referencia bien conocida ya que se ha publicado mucho acerca de sus efectos benéficos en plantas.

which was named salicyl alcohol glucoside (Hayat *et al.*, 2007). AS acts as a non-enzymatic antioxidant and as plant growth regulator, playing an important role in regulating a number of physiological processes of the plant, including photosynthesis (Waseem *et al.*, 2006; Arfan *et al.*, 2007) and overall chloroplast activity, absorption and nutrient transport, causes changes in plant anatomy and increases yield (Khan *et al.*, 2010; Purcărea and Cachita-Cosma, 2010).

Exogenous applications of AS on plants has shown to induce greater tolerance to stress conditions such as drought (Horváth *et al.*, 2007; Xu and Tian, 2008), phytotoxicity (Metwally *et al.*, 2003) and low temperatures (López Delgado *et al.*, 1998; Janda *et al.*, 1999; Farooq *et al.*, 2008; Mora-Herrera and Lopez-Delgado, 2006). Among other reports, it is mentioned that foliar applications of this compound, increases biomass in soybean plants (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998) and wheat yield (López-Tejeda *et al.*, 1998). Besides increasing enzyme activity (catalase and peroxidase) in tomato (Ortega-Ortiz *et al.*, 2007) extends shelf life of banana (Srivastava and Dwivedi, 2000).

It is worth noting that compared to AS, AB is a compound that has been little studied regarding its agricultural applications (Valdez-Sepúlveda *et al.*, 2015). If its application exerts positive effects on plants subjected to biotic or abiotic stress, then it could become another alternative in the arsenal of natural compounds available for agricultural practice. However prior to this, it is necessary to carry studies regarding the effect of this compound on plant growth in agriculture. Therefore the aim of this study was to evaluate the effect of exogenous application of salicylic and benzoic acid on seedlings growth of tomato, tomatillo and pepper. AS was included in the study as a reference well known since a lot has been published about its beneficial effects on plants.

Materials and methods

The experiment was conducted under greenhouse conditions at the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, located in Saltillo, Coahuila, Mexico, with warm semiarid climate according to Köppen (BSH). Tomato seed Saladette type (*Solanum lycopersicum* L.) variety "Rio Grande" tomatillo seeds (*Physalis ixocarpa* Brot) variety "Gran Esmeralda" and seed pepper (*Capsicum annum*) variety "Sven RZ". These were germinated in a mixture of peat moss and perlite

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Saltillo, Coahuila, México, lugar con clima semiárido cálido según la clasificación de Köppen (BSh). Se utilizaron semillas de tomate tipo saladette (*Solanum lycopersicum* L.) var. "Rio Grande", semillas de tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot) var. "Gran Esmeralda" y semillas de pimiento (*Capsicum annuum*) var. "Sven RZ". Estas fueron germinadas en una mezcla de peat moss y perlita (80:20) en contenedores de poliestireno. El riego se realizó mediante goteo utilizando solución Steiner (Steiner, 1961) con una conductividad eléctrica de $1\ 500\ \mu\text{S cm}^{-1}$ tres veces por semana en cada tratamiento.

Los tratamientos consistieron en aplicaciones foliares de AB y AS en concentraciones 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} M y un testigo con agua. Las aplicaciones se iniciaron a los 13 días después de la emergencia con periodicidad semanal; realizándose seis aplicaciones. Siete días después de la última aspersión, las plántulas fueron cosechadas para determinar el efecto de los tratamientos. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 25 repeticiones por tratamiento, siendo la unidad experimental una plántula. Durante el desarrollo del experimento se realizaron tres muestreos de cuatro plántulas cada 14 días.

Las variables evaluadas fueron: altura, medida con una regla desde la base del tallo hasta el ápice terminal de la plántula; diámetro de tallo, para lo cual se tomaron lecturas en la parte media del tallo utilizando un vernier digital (Autotec Caliper 150mm) y área foliar, determinada con un medidor de área foliar (LI-3100, LI-COR). Posteriormente, las cuatro plántulas fueron seccionadas en hojas, tallos y raíces. El peso fresco de hojas (PFH), tallo (PFT) y raíz (PFR) se obtuvo con una balanza analítica (Ohaus Pioneer) y para el peso seco de hojas (PSH), tallos (PST) y raíces (PSR) estas se deshidrataron en un horno de secado con circulación forzada de aire (Lindberg Blue) a una temperatura de $70\ ^\circ\text{C}$ durante 72 h. El contenido de minerales (K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cu y Mn) se analizó en cuatro plántulas por espectrofotometría de absorción atómica (Varian AA-1275) (Fick *et al.*, 1976); el P se determinó mediante espectrofotometría visible (AOAC, 1980b) y el N se cuantificó por el método de micro Kjeldahl (AOAC, 1980a). Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza y la comparación de medias por el método LSD ($p \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (2001).

(80:20) in polystyrene containers. Irrigation was carried through drip using Steiner solution (Steiner, 1961) with an electrical conductivity of $1500\ \mu\text{S cm}^{-1}$ three times a week in each treatment.

Treatments consisted in foliar applications of AB and AS at concentrations 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} M and a control with water. The applications initiated at 13 days after emergence on weekly basis; performing six applications. Seven days after the last spraying, the seedlings were harvested to determine treatments effect. The experimental design was completely randomized with 25 replications per treatment, being the experimental unit a seedling. During the course of the experiment three samplings of four seedlings were performed every 14 days.

Variables evaluated were: height, measured with a ruler from stem base to the terminal apex of the seedling; stem diameter, using a digital vernier on the mid area of the stem (Autotec Caliper 150mm) and leaf area, using a leaf area meter (LI-3100, LI-COR). Subsequently, the four seedlings were sectioned in leaves, stems and roots. The fresh leaf weight (PFH), stem (PFT) and root (PFR) was obtained with an analytical scale (Ohaus Pioneer) and dry weight of leaves (PSH), stems (PST) and roots (PSR), these were dehydrated in a drying oven with forced air circulation (Lindberg Blue) at a temperature of $70\ ^\circ\text{C}$ for 72 h. The mineral content (K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cu and Mn) was analyzed in four seedlings through atomic absorption spectrophotometry (Varian AA-1275) (Fick *et al.*, 1976); P was determined through visible spectrophotometry (AOAC, 1980b) and N was quantified by the micro Kjeldahl (AOAC, 1980a). The results were analyzed through an analysis of variance and means comparison by LSD ($p \leq 0.05$) with the statistical package SAS (2001).

Results and discussion

The results indicate that exogenous application of AB and AS in tomato, tomatillo and pepper seedlings caused significant changes in seedling height, leaf area and stem diameter with some of the concentrations but not for the three variables mentioned simultaneously; that is, a positive response in one of the variables are not necessarily accompanied by the same response in the other two (Table 1). It is known that depending on the concentration of AS and AB, induces certain responses that do not occur consistently

Resultados y discusión

Los resultados señalan que la aplicación exógena del AB y AS en plántulas de tomate, tomatillo y pimiento causó cambios específicos significativos para la altura de plántula, área foliar y diámetro del tallo con algunas de las concentraciones pero no para las tres variables mencionadas al mismo tiempo; es decir, una respuesta positiva en una de las variables no se acompañó necesariamente de la misma respuesta en las dos restantes (Cuadro 1). Se sabe que dependiendo de la concentración el AB y AS inducen ciertas respuestas que no ocurren de forma sistemática ni predecible. Por ello es posible encontrar una respuesta en cierta concentración, por ejemplo 10^{-6} M, pero no observarla en 10^{-5} M, ya que los componentes celulares que responden con un umbral de 10^{-6} M no necesariamente son los mismos activados en 10^{-5} M.

Del mismo modo, la aplicación 10^{-4} M probablemente desencadene respuestas distintas a las observadas en 10^{-6} M, porque los componentes celulares activados o desactivados son diferentes. Actualmente se dispone de gran cantidad de estudios fisiológicos y bioquímicos acerca del efecto del AS en las plantas, pero se carece de modelos completos de la respuesta genómica o transcriptómica frente a estos compuestos (Rivas-San Vicente y Plasencia, 2011). Por lo tanto, las respuestas morfológicas o en la composición son complejas y difíciles de encuadrar en un modelo sencillo.

El efecto de la aplicación exógena del AS en el crecimiento de las plantas, depende de la especie, la etapa de desarrollo y la concentración aplicada (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). La altura de las plántulas de tomate, incrementó 13.32% respecto al control aplicando AS 10^{-5} M; estos resultados son similares a los conseguidos por Larqué-Saavedra *et al.* (2010) quienes reportan un aumento de altura del 14.8% aplicando $1\mu\text{M}$ de AS. Entre los efectos benéficos de las aplicaciones de AS, se tienen los reportados en crisantemos, en donde se favoreció el crecimiento de la planta en diámetro y altura (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009).

Los efectos estimulantes del AS en el crecimiento de las plantas también se han reportado en soya (Zhao *et al.* 1995; Gutiérrez-Coronado *et al.* , 1998), trigo (Shakirova *et al.*, 2003), maíz (Gunes *et al.*, 2007) y manzanilla (Kováčik *et al.*, 2009). Del mismo modo, el área foliar de las plántulas de tomate aumentó por los tratamientos llegando hasta 56.85 y 47.43% respecto al control con los tratamientos AS

or predictable. Therefore it is possible to find an answer in a given concentration, that is, 10^{-6} M, but not observed at 10^{-5} M, since the cellular components that respond to a threshold of 10^{-6} M are not necessarily the same activated at 10^{-5} M.

Cuadro 1. Efecto de diferentes concentraciones de AB y AS asperjados en plántulas de tomate, tomatillo y pimiento en variables de altura de plántula, diámetro de tallo y área foliar.

Table 1. Effect of different concentrations of AB and AS sprayed on tomato seedlings, tomatillo and pepper variables seedling height, stem diameter and leaf area.

Tratamiento (M)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área foliar (cm ²)
Tomate			
AB 10^{-6}	31.21 ab*	0.97 a	2154.25 abc
AB 10^{-5}	31.21 ab	0.96 a	2342.91 ab
AB 10^{-4}	31.38 ab	0.9 a	1524.66 c
AS 10^{-6}	29.75 ab	0.96 a	1738.36 bc
AS 10^{-5}	32.67 a	0.97 a	1696.89 bc
AS 10^{-4}	30.02 ab	0.9 a	2492.67 a
Control	28.83 b	0.88 a	1589.19 c
Tomatillo			
AB 10^{-6}	67.67 a	1.03 a	1430.78 a
AB 10^{-5}	61.63 abc	0.98 abc	1155.89 a
AB 10^{-4}	65.71 abc	0.9 c	1318.65 a
AS 10^{-6}	61.25 bc	0.99 ab	1268.6 a
AS 10^{-5}	59.67 c	0.97 abc	1326.07 a
AS 10^{-4}	64.46 abc	0.94 bc	1315.49 a
Control	67 ab	0.93 bc	1170.44 a
Pimiento			
AB 10^{-6}	32.08 a	0.71 ab	1574.98 abc
AB 10^{-5}	29.02 b	0.7 b	1640.93 ab
AB 10^{-4}	28.88 b	0.7 b	1242.24 c
AS 10^{-6}	30.68 ab	0.76 a	1707.79 a
AS 10^{-5}	32.05 a	0.75 ab	1445.06 abc
AS 10^{-4}	32.31 a	0.71 ab	1345.87 bc
Control	28.79 b	0.75 ab	1329.02 bc

*Valores con la misma literal dentro de columnas para cada especie son iguales de acuerdo a la prueba LSD ($p \leq 0.05$). Cada valor es la media de 4 repeticiones.

Similarly, the application 10^{-4} M is likely to trigger different responses to those observed in 10^{-6} M, because the cellular components activated or deactivated are different. Currently there are many physiological and biochemical studies on the effect of AS in plants, but it lacks of a full model of genomic or transcriptomic response to these compounds (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). Therefore, morphological or composition responses are complex and difficult to fit into a simple model.

10^{-4} M y AB 10^{-5} M respectivamente. Estos resultados son superiores a los obtenidos por Larqué-Saavedra *et al.* (2010), quienes consiguieron un incremento del área foliar de 38.6% respecto al control, aplicando AS 1 μ M. Es importante resaltar el número de aplicaciones necesarias para producir efectos positivos en las plantas, ya que en el presente estudio el AB y AS se aplicaron en seis ocasiones, en tanto que en el estudio de Larqué-Saavedra *et al.* (2010) se realizaron dos aplicaciones.

En cambio, en las plántulas de tomatillo la aplicación de AS 10^{-5} M redujo la altura 7.33 cm respecto al control. No obstante, en esta hortaliza la aplicación de AB 10^{-6} M, incrementó 10.75% el diámetro del tallo. El patrón de respuesta de esta variable, indica que las bajas concentraciones de AB, afectan positivamente el crecimiento de esta hortaliza, de manera que se confirma que la aplicación exógena de esta sustancia, modifica la anatomía y morfología de especies comestibles (Ortega-Ortiz *et al.*, 2007).

Finalmente, las plántulas de pimienta se vieron afectadas positivamente al aumentar su altura en un rango del 11 al 12% respecto al control por los tratamientos AB 10^{-6} , AS 10^{-5} y AS 10^{-4} M. Estudios realizados por Sánchez-Chávez *et al.* (2011) reportan un incremento significativo de la biomasa foliar de chile jalapeño aplicando AS 0.1 y 0.2 mM. Del mismo modo, el área foliar de las plántulas aumentó 28.50% respecto al control con el tratamiento AS 10^{-6} M. Cabe mencionar, que no se tenía información de patrones de respuesta de AB aplicados a *Capsicum annuum* y la presente información resalta que es una especie sensible a estos reguladores de crecimiento.

El AS tiene variaciones de concentración naturales derivadas de eventos de desarrollo como diferentes etapas fenológicas y de floración (Abreu and Munne, 2009). Por lo tanto, se espera que la concentración de AB también varíe en el tejido de la planta. Además se sabe que los constantes ajustes tienen lugar en la concentración de AS en función de las condiciones de temperatura e irradiación (Mateo *et al.*, 2006). En el Cuadro 2, se observa el efecto de las aplicaciones foliares del AB y AS en plántulas de tomate, tomatillo y pimienta sobre la biomasa aérea y de raíz. De nuevo, en función de la cantidad de AB y AS aplicada se promueven ciertas respuestas que no se ajustan a un patrón lineal. Actualmente se carece de modelos de la respuesta genómica o transcriptómica frente a estos compuestos, lo que lleva a que los estudios y aplicaciones se realicen bajo un esquema de ensayo y error. Por lo tanto las respuestas morfológicas o en la composición son complejas y difíciles de enmarcar en un modelo sencillo.

The effect of exogenous application of AS in plant growth depends on the species, stage of development and concentration applied (Rivas-San Vicente and Piacenza, 2011). The height of tomato seedlings, increased 13.32% compared to control applying AS 10^{-5} M; these results are similar to those achieved by Larqué-Saavedra *et al.* (2010) who reported a height increase of 14.8% applying 1 μ M AS. Among the beneficial effects of AS are those reported in chrysanthemums, favoring plant growth in diameter and height (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009).

The stimulatory effects of AS on plant growth have also been reported in soybean (Zhao *et al.* 1995; Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998), wheat (Shakirova *et al.*, 2003), corn (Gunes *et al.*, 2007) and chamomile (Kováčik *et al.*, 2009). Similarly, leaf area from tomato seedlings increased by treatments reaching 56.85 and 47.43% compared to control, with AS 10^{-4} M and AB 10^{-5} M respectively. These results are superior to those obtained by Larqué-Saavedra *et al.* (2010), who managed an increase of leaf area by 38.6% compared to control, applying 1 μ M AS. It is worth noting the number of applications needed to produce positive effects on plants, as in the present study AB and AS were applied six times, while in the study from Larqué-Saavedra *et al.* (2010) two applications were made.

In contrast, on tomatillo seedlings AS 10^{-5} M reduced height by 7.33 cm compared to control. However, on this vegetable the application of AB 10^{-6} M, increased stem diameter 10.75%. The response pattern of this variable indicates that low concentrations of AB, has positive effects on growth, confirming that exogenous application of this substance, modifies the anatomy and morphology of edible species (Ortega-Ortiz *et al.*, 2007).

Finally, pepper seedlings were affected positively by increasing its height in a range of 11 to 12% regarding to control by treatments AB 10^{-6} , AS 10^{-5} and AS 10^{-4} M. Studies made by Sánchez-Chávez *et al.* (2011) reported a significant increase of leaf biomass in jalapeño pepper using AS 0.1 and 0.2 mM. Similarly, leaf area from seedlings increased 28.50% compared to control with treatments AS 10^{-6} M. It is worth mentioning that there was no information of response patterns from AB applied to *Capsicum annuum* and the current information highlights that it is a sensitive specie to these growth regulators.

AS has natural variations in concentration resulting from developing events such as different phenological and flowering stages (Abreu and Munne, 2009). Therefore, it

Cuadro 2. Efecto de aplicaciones foliares de AB y AS sobre biomasa aérea y de raíz de plántulas de tomate, tomatillo y pimiento.**Table 2. Effect of foliar application of AB and AS on biomass and root seedlings of tomato, tomatillo and pepper.**

Tratamiento (M)	PFR (g)	PSR (g)	PFT (g)	PST (g)	PFH (g)	PSH (g)	PFP (g)	PSP (g)	COC (g)
Tomate									
AB 10 ⁻⁶	31.43 a*	3 a	18.82 ab	4.65 a	59.12 ab	5.54 c	109.37 ab	13.19 b	0.29 a
AB 10 ⁻⁵	23.8 c	2.27 b	20.05 a	4.78 a	64.65 a	7.78 a	108.51 ab	14.83 ab	0.21 c
AB 10 ⁻⁴	31.08 ab	3.03 a	14.5 bcd	5.5 a	46.71 c	5.86 bc	92.29 bc	14.38 ab	0.31 a
AS 10 ⁻⁶	22.78 c	2.17 b	11.61 c	4.63 a	45.34 c	7.1 ab	79.73 c	13.9 ab	0.22 bc
AS 10 ⁻⁵	31.13 ab	3.07 a	20.55 a	5.05 a	64.77 a	7.51 a	116.46 a	15.62 a	0.3 a
AS 10 ⁻⁴	25.06 bc	2.47 ab	17.09 abc	4.75 a	54.82 abc	6.79 abc	96.97 bc	14.01 ab	0.23 bc
0	35.44 a	2.98 a	13.37 cd	4.97 a	51.68 bc	6.88 abc	100.49 ab	14.84 ab	0.26 ab
Tomatillo									
AB 10 ⁻⁶	36.37 ab	2.58 a	22.65 ab	7.34 b	28.87 abc	3.72 a	87.89 ab	13.64 ab	0.22 a
AB 10 ⁻⁵	32.29 abc	2.63 a	20.7 ab	8.11 ab	25.26 bcd	3.53 a	78.25 bc	14.27 ab	0.22 a
AB 10 ⁻⁴	31.95 abc	2.28 a	22.83 ab	8.05 ab	24.18 cd	3.18 a	78.96 bc	13.52 b	0.19 a
AS 10 ⁻⁶	27.05 c	2.67 a	22.96 ab	6.95 b	29.9 ab	3.7 a	79.91 bc	13.32 b	0.22 a
AS 10 ⁻⁵	28.17 bc	2.24 a	24.92 a	8.6 ab	26.39 bcd	4.03 a	79.48 bc	14.87 ab	0.19 a
AS 10 ⁻⁴	31.84 abc	2.52 a	18.21 b	7.23 b	22.83 d	3.18 a	72.87 c	12.93 b	0.23 a
0	38.26 a	2.95 a	23.71 ab	10.13 a	31.23 a	3.87 a	93.2 a	16.95 a	0.22 a
Pimiento									
AB 10 ⁻⁶	25.59 ab	1.96 bc	22.49 ab	3.07 a	34.28 a	4.62 a	82.35 ab	9.66 a	0.27 b
AB 10 ⁻⁵	25.24 ab	1.66 c	21.67 ab	2.79 a	32.64 a	4.5 a	79.54 ab	8.95 a	0.25 b
AB 10 ⁻⁴	21.23 b	2.23 abc	24.84 a	2.87 a	25.94 b	4.46 a	72.01 b	9.56 a	0.36 ab
AS 10 ⁻⁶	23.2 ab	2.35 abc	23.64 ab	2.96 a	33.02 a	4.31 a	79.86 ab	9.62 a	0.31 b
AS 10 ⁻⁵	29.74 a	2.78 ab	23.61 ab	3.08 a	31.18 ab	4.33 a	84.53 a	10.19 a	0.37 ab
AS 10 ⁻⁴	28.3 a	2.22 abc	22.08 ab	2.72 a	30.81 ab	4.32 a	81.19 ab	9.25 a	0.3 b
0	29.08 a	3.08 a	19.83 b	2.78 a	32.4 a	4.41 a	81.31 ab	10.28 a	0.46 a

*Valores con la misma literal dentro de columnas para cada especie son iguales de acuerdo a la prueba LSD ($p \leq 0.05$). Cada valor representa la media de cuatro plantas. PFR: Peso fresco raíz; PSR: Peso seco raíz; PFT: Peso fresco tallo; PST: Peso seco tallo; PFH: Peso fresco hojas; PSH: Peso seco hojas; PFP: Peso fresco planta; PSP: Peso seco planta; COC: Cociente de la biomasa de la raíz y biomasa aérea.

En las plántulas de tomate, el tratamiento AB 10⁻⁶ M disminuyó 5.45 g el PFT y aumentó 0.03 g el COC; el tratamiento AB 10⁻⁵ M redujo 11.64 g el PFR y 0.71 g el PSR; en cambio aumentó 6.68 g el PFT y 12.97 g el PFH; por su parte el tratamiento AB 10⁻⁴ M incrementó 0.05 g el COC. En cuanto a las aplicaciones de AS, la concentración 10⁻⁶ M redujo 12.66 g el PFR y 0.81 g el PSR y aumentó 20.76 g el PFP; por el contrario el tratamiento AS 10⁻⁵ M incrementó significativamente 7.18 g el PFT, 13.09 g el PFH y 0.04 g el COC; finalmente el tratamiento AS 10⁻⁴ M redujo 10.38 g el PFR. Se puede observar que no hay una tendencia sistemática y se aprecia que cierta concentración aumenta o disminuye alguna de las variables. La mayor parte de la literatura indica que el efecto del AS en el crecimiento de las raíces es positivo (Gemmes *et al.*, 2008; Umebese *et al.*, 2009; Ahmad *et al.*, 2013). Los reportes indican que el AS incrementa significativamente el crecimiento radical de

is expected that the concentration of AB will vary in plant tissue. It is also known that constant adjustments take place in the concentration of AS according to temperature and irradiation conditions (Mateo *et al.*, 2006). Table 2, shows the effect of foliar applications of AB and AS in tomato, tomatillo and pepper seedlings on aerial and root biomass. Again, depending on the amount applied of AB and AS, certain responses are promoted that do not fit to a linear pattern. Currently there is a lack of models on genomic or transcriptomic response towards these compounds, leading to carry studies and applications under a system of trial and error. Therefore morphological responses or composition are complex and difficult to frame in a simple model.

In tomato seedlings, treatment AB 10⁻⁶ M decreased 5.45 g PFT and increased 0.03 g COC; treatment AB 10⁻⁵ M reduced 11.64 g PFR and 0.71 g PSR; instead it increased 6.68 g PFT

soya (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998) y pino (*Pinus patula*) Schiede ex Schltdl & Cham (San Miguel *et al.*, 2003). Por otro lado, se ha reportado (Ramírez *et al.*, 2006) que las aplicaciones de AB 10^{-6} M aumentan significativamente el PFR de repollo (*Brassica oleracea*).

De acuerdo a Salisbury y Ross (1994), las modificaciones conseguidas en el crecimiento, se deben a que el AS fomenta la producción de ácido indolacético y de ácido naftalenacético que son reportados como los principales reguladores de crecimiento vegetal. Se ha documentado que los niveles de AS son inversamente proporcionales a los niveles de lignina y al crecimiento en algunas plantas (Gallego *et al.*, 2011).

Asimismo, las plántulas de tomatillo fueron afectadas por las aplicaciones exógenas de AS y AB. Para el caso de las aplicaciones de AB, la concentración 10^{-6} M disminuyó 2.79 g el PST; la concentración 10^{-5} M redujo 5.97 g el PFH y 14.95 g el PFP; un comportamiento similar ocurrió al aplicar AB 10^{-4} M donde se disminuyó 7.05 g el PFH, 14.24 g el PFP y 3.42 g el PSP. Por su parte, los tratamientos con AS presentaron un patrón de respuesta similar al descrito anteriormente. El tratamiento AS 10^{-6} M redujo 11.21 g el PFR, 3.18 g el PST, 13.29 g el PFP y 3.63 g el PSP; la concentración 10^{-5} M disminuyó 10.09 g el PFR, 4.84 g el PFH y 13.72 g el PFP y por último, el tratamiento AS 10^{-4} M redujo 2.9 g el PST, 8.4 g el PFH, 20.33 g el PFP y 4.02 g el PSP. Estos resultados sugieren la importancia de realizar experimentos para despejar interrogantes como la concentración de AB y AS, y el número de aplicaciones necesarias para producir efectos positivos en esta hortaliza. Entre otros reportes se han documentado los efectos positivos al aplicar AS en otras especies vegetales; por ejemplo, en pino y crisantemo estudios realizados sobre el uso de diferentes dosis de AS mostraron incrementos en la producción de raíz (San Miguel *et al.*, 2003; Echeverría-Machado *et al.*, 2007; Villanueva-Couoh *et al.*, 2009).

En las plántulas de pimiento, las aplicaciones de AB causaron cambios específicos significativos en algunas de las variables. El tratamiento AB 10^{-6} M disminuyó 1.12 g respecto al control el PSR; un comportamiento similar se observó al aplicar AB 10^{-5} M en donde se redujo 1.42 g respecto al control el PSR; por su parte, la aplicación de AB 10^{-4} M redujo 7.85 g respecto al control el PFR y aumentó el PFT y PFH 5.01 y 6.46 g respectivamente. Estos resultados sugieren que la aplicación exógena de AB (10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} M) en esta hortaliza, no incrementa el sistema radical de las

and 12.97 g PFH; meanwhile treatment AB 10^{-4} M increased 0.05 g COC. Regarding AS applications, concentration 10^{-6} M reduced 12.66 g PFR and 0.81 g PSR and increased 20.76 g PFP; on the contrary treatment AS 10^{-5} M significantly increased 7.18 g PFT, 13.09 g PFH and 0.04 g COC; finally treatment AS 10^{-4} M reduced 10.38 g PFR. It can be seen that there is no systematic trend and shows that certain concentration increases or decreases some of the variables. Most of the literature indicates that the effect of AS on root growth is positive (Gemés *et al.*, 2008; Umebese *et al.*, 2009; Ahmad *et al.*, 2013). Reports indicate that AS significantly increases soybean root growth (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998) and pine (*Pinus patula*) Schiede ex Schltdl & Cham (San Miguel *et al.*, 2003). On the other hand, it has been reported (Ramírez *et al.*, 2006) that applications of AB 10^{-6} M significantly increase PFR on cabbage (*Brassica oleracea*).

According to Salisbury and Ross (1994), modifications achieved in growth are due to AS favors the production of indole acetic acid and naphthalene acetic acid which are reported as key regulators of plant growth. It has been documented that AS levels are inversely proportional to lignin levels and to growth in some plants (Gallego *et al.*, 2011).

Also, tomatillo seedlings were affected by the exogenous application of AS and AB. For AB, 10^{-6} M concentration decreased 2.79 g PST; 10^{-5} M concentration reduced 5.97 g PFH and 14.95 g PFP; a similar behavior occurred when applying AB 10^{-4} M where PFH decreased 7.05 g, 14.24 g PFP and 3.42 g PSP. Meanwhile, treatments with AS showed a response pattern similar to that described above. Treatment AS 10^{-6} M reduced 11.21 g PFR, 3.18 g PST, 13.29 g PFP and 3.63 g PSP; 10^{-5} M concentration decreased 10.09 g PFR, 4.84 PFH g and 13.72 g PFP and finally treatment AS 10^{-4} M reduced 2.9 g PST, 8.4 g PFH, 20.33 g PFP and 4.02 g PSP. These results show the importance of carrying out experiments to answer questions like concentration of AB and AS, and the number of applications needed to produce positive effects in this vegetables. Other reports have documented the positive effects when applying AS in other plant species; for example, in pine and chrysanthemum studies made on the use of different AS doses, showed increases in root production (San Miguel *et al.*, 2003; Echeverría-Machado *et al.*, 2007; Villanueva-Couoh *et al.*, 2009).

In pepper seedlings, AB applications caused significant changes in some variables. Treatment AB 10^{-6} M decreased 1.12 g compared to control from PSR; a similar behavior

plántulas. En cambio, Ramírez *et al.* (2006) afirman que la aplicación de AB 10^{-6} M incrementa el peso fresco total de plántulas de repollo.

En el Cuadro 3 se muestran los resultados del contenido de minerales de las plántulas de tomate, tomatillo y pimiento asperjadas con AB y AS en donde se encontraron diferencias significativas entre algunos de los minerales. En general los resultados mostraron diferencias ($p \leq 0.05$) entre los minerales analizados (K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Cu) y las especies estudiadas. En tomate, las plántulas tuvieron un incremento significativo en el contenido de Ca por los tratamientos AB 10^{-5} y AB 10^{-4} M; el Mg aumentó por el tratamiento AS 10^{-5} M; el Na incrementó por los tratamientos AB 10^{-6} y AS 10^{-5} M; el contenido de Zn fue mayor en todos los tratamientos respecto al control; el Mn incrementó por los tratamientos AB 10^{-5} y las tres concentraciones de AS; por último el Cu aumentó por los tratamientos AB 10^{-5} M, AS 10^{-6} y AS 10^{-5} M.

was observed when applying AB 10^{-5} M decreasing 1.42 g compared to the control from PSR; meanwhile, the application of AB 10^{-4} M decreased 7.85 g compared to the control from PFR and increased PFT and PFH, 5.01 and 6.46 g respectively. These results suggest that exogenous application of AB (10^{-4} , 10^{-5} and 10^{-6} M) in this vegetable does not increase the root system from the seedlings. Instead, Ramírez *et al.* (2006) state that the application of AB 10^{-6} M increases total cabbage seedling fresh weight.

Table 3 shows the results of mineral content from tomato, tomatillo and pimiento seedlings sprinkled with AB and AS where significant differences between some of the minerals were found. Overall results showed differences ($p \leq 0.05$) among the analyzed minerals (K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Cu) and species studied. In tomato, the seedlings had a significant increase in Ca content by treatments AB 10^{-5} and AB 10^{-4} M; Mg increased by treatment AS 10^{-5} M; Na increased by treatments AB 10^{-6} and AS 10^{-5} M; Zn content

Cuadro 3. Efecto de diferentes concentraciones de AB y AS en el contenido de minerales en plántulas de tomate, tomatillo y pimiento.

Table 3. Effect of different concentrations of AB and AS in the mineral content of tomato seedlings, tomatillo and pepper.

Tratamiento (M)	N (gkg ⁻¹)	P (gkg ⁻¹)	K (gkg ⁻¹)	Ca (gkg ⁻¹)	Mg (gkg ⁻¹)	Na (gkg ⁻¹)	Fe (gkg ⁻¹)	Zn (gkg ⁻¹)	Mn (mgkg ⁻¹)	Cu (mgkg ⁻¹)
Tomate										
AB 10^{-6}	2.73 a*	3.25 a	28.08 bc	105 c	9.03 bc	6.68 a	283 a	57.5 c	35.5 c	6.75 c
AB 10^{-5}	2.82 a	3.42 a	30.38 ab	148.75 a	8.63 bc	2.3 c	213.5 b	64 bc	62.75 a	11.75 a
AB 10^{-4}	3.08 a	3.16 a	31.73 ab	151.25 a	9.53 bc	2.39 c	183.5 b	58.5 c	39 c	9.75 b
AS 10^{-6}	3.18 a	3.28 a	31.93 ab	125 b	9.95 ab	2.36 c	195 b	69.5 ab	57.25 ab	11 ab
AS 10^{-5}	2.97 a	3.1 a	32.35 a	120 bc	11.18 a	3.59 b	222 b	76.75 a	64.25 a	10.75 ab
AS 10^{-4}	3.2 a	3.21 a	29.78abc	102.5 c	9.43 bc	2.3 c	203 b	71.25 ab	51.25 b	10.25 ab
0	3.05 a	3.26 a	26.03 c	102.5 c	8.13 c	1.43 c	216.75 b	40.75 d	34 c	8 c
Tomatillo										
AB 10^{-6}	2.79 a	2.65 b	22.65 b	113.75 ab	6.80 a	0.51 b	216.5 abc	56 ab	36 d	9.75 ab
AB 10^{-5}	2.66 a	2.92 ab	28.5 ab	93.75 b	5.15 b	0.56 ab	205.25 bcd	55.25 ab	55 bc	8.75 ab
AB 10^{-4}	2.92 a	3.23 ab	22.08 b	111.25 ab	5.03 b	0.41 c	183.25 cd	54 ab	58 b	9 ab
AS 10^{-6}	3.18 a	2.67 b	29.93 ab	120 a	6.23 ab	0.49 bc	224.75 ab	57 ab	41.75 cd	10.25 ab
AS 10^{-5}	2.99 a	3.45 ab	26.9 ab	110 ab	6.08 ab	0.5 bc	229 ab	61.5 a	40 cd	12.5 a
AS 10^{-4}	2.66 a	2.63 b	24.73 ab	111.25 ab	7.03 a	0.54 ab	177.75 d	48 b	43 bcd	8 b
0	3.19 a	3.66 a	31.03 a	93.75 b	7.5 a	0.63 a	241.25 a	61.25 a	92 a	12.5 a
Pimiento										
AB 10^{-6}	1.69 bc	3.27 ab	60.98 a	105 a	15.33 a	0.61 a	132.75 b	91.75 a	25.75 abc	5.25 c
AB 10^{-5}	2.32 abc	2.9 c	37.58 b	83.75 b	5.65 c	0.65 a	142.75 ab	71.5 d	34.75 a	3.75 d
AB 10^{-4}	2.49 abc	2.76 c	31.05 bc	83.75 b	5.98 bc	0.6 a	138.25 ab	78 cd	33 ab	3.5 d
AS 10^{-6}	2.9 a	3.44 a	35.15 bc	93.75 ab	6.15 bc	0.59 a	166.5 a	88.5 ab	31.5 ab	7.5 a
AS 10^{-5}	2.51 abc	3.37 ab	26.85 c	83.75 b	5.75 c	0.55 a	141.25 ab	85.5 abc	18.75 c	6.75 ab
AS 10^{-4}	1.36 c	3.07 bc	37.93 b	82.5 b	6.15 bc	0.66 a	153.75 ab	82.25 bc	22.25 bc	7 a
0	2.76 ab	3.27 ab	40.63 b	57.5 c	7.25 b	0.55 a	142.25 ab	89.25 ab	33.25 ab	5.5 bc

*Valores con la misma literal dentro de columnas para cada especie son iguales de acuerdo a la prueba LSD ($p \leq 0.05$). Cada valor representa la media de cuatro plantas.

Es importante señalar que cada especie demanda requerimientos particulares de nutrimentos que permiten un crecimiento y un vigor óptimo, estos requerimientos no son constantes y cambian según las plantas y el medio donde crecen y se desarrollan (Timmer and Armstrong, 1987). En términos generales el uso de AS asperjado de forma foliar muestra un beneficio en el crecimiento de las partes aéreas de las plantas en situaciones en donde algunos factores de estrés están presentes (Khodary, 2004; Najafian *et al.*, 2009; Azooz and Youseef, 2010; Wang *et al.*, 2010); sin embargo, en el presente estudio las plántulas no se sometieron a algún tipo de estrés.

En contraste, en las plántulas de tomatillo se puede apreciar un efecto negativo por efecto de los tratamientos. El contenido de Na redujo significativamente con el tratamiento AB 10^{-4} M; este mismo tratamiento disminuyó significativamente el contenido de Fe. Igualmente, el contenido de Mn fue afectado negativamente por todos los tratamientos. La aplicación de los tratamientos modificó el perfil de los nutrientes minerales acumulados en los tejidos. Posiblemente a través de efectos interactivos entre los propios elementos minerales en la planta esto se tradujo en una disminución general en la concentración de aquellos.

Para el caso de las plántulas de pimiento, estas incrementaron el contenido de K y Mg con el tratamiento AB 10^{-6} M; el contenido de Ca aumentó significativamente por efecto de todos los tratamientos; finalmente el contenido de Zn fue menor al aplicar AB 10^{-5} M. Los reportes señalan que la aplicación de AS 10^{-8} M en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) incrementa el contenido de K, Fe, Zn y Cu (Guzmán-Antonio *et al.*, 2012). Del mismo modo, en plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), Preciado *et al.* (2007) reportaron contenidos entre 12.6 y 28.7 mg por planta de N; entre 0.93 y 1.11 mg de P y entre 9.9 y 14 mg de K, cabe destacar que estas diferencias se atribuyen a la biomasa producida. En el presente estudio, las aplicaciones de AB y AS no mostraron una tendencia clara en cuanto al contenido de minerales en las hortalizas evaluadas, por lo que a futuro se deberá explorar un rango de varias concentraciones y aumentar el número de aplicaciones.

Conclusiones

La aplicación de AS y AB en plántulas de tomate y pimiento dio lugar a respuestas positivas en algunas variables de crecimiento y de composición mineral. En el tomatillo casi todas las variables respondieron de forma negativa frente al AS y AB.

was higher across all treatments compared to control; Mn increased by treatment AB 10^{-5} and the three concentrations of AS; finally Cu increased by treatments AB 10^{-5} M, AS 10^{-6} and AS 10^{-5} M.

It is important to note that each species demands nutrient requirements that allow optimal growth and vigor, these requirements are not constant and change according to the species and the environment in which they grow and develop (Timmer and Armstrong, 1987). The use of sprinkled AS on leaves has a benefit on growth of the aerial parts of the plants in situations where some stresses are present (Khodary, 2004; Najafian *et al.*, 2009; Azooz and Youseef, 2010; Wang *et al.*, 2010); however, in this study the seedlings were not subjected to any stress.

In contrast, on tomatillo seedlings can be seen a negative effect by effect of treatment. Na content decreased significantly with treatment AB 10^{-4} M; this treatment significantly decreased Fe content. Similarly, Mn content was adversely affected by all treatments. Treatments application modified the profile of mineral nutrients accumulation in the tissues. Possibly through interactive effects between the same mineral elements in the plant resulted on an overall decrease in their concentration.

For pepper seedlings, K and Mg content increased with treatment AB 10^{-6} M; Ca content significantly increased by effect of all treatments; finally Zn content was lower when applying AB 10^{-5} M. Reports indicate that the application of AS 10^{-8} M in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq) increases K, Fe, Zn and Cu content (Guzmán-Antonio *et al.*, 2012). Similarly, for jalapeno pepper seedlings (*Capsicum annuum* L.), Preciado *et al.* (2007) reported contents between 12.6 and 28.7 mg per plant of N; between 0.93 and 1.11 mg of P and between 9.9 and 14 mg of K, it is worth noting that these differences are attributed to the biomass produced. In the present study, applications of AB and AS showed no clear trend regarding mineral content in vegetables evaluated, so in the future should explore a range of various concentrations and increase the number of applications.

Conclusions

The application of AS and AB in tomato and pepper seedlings resulted in positive responses in some growth variables and mineral composition. In tomatillo almost all variables responded negatively to AS and AB.

Las plántulas de tomate incrementaron la altura al ser asperjadas con AS 10^{-5} M; además el área foliar fue mayor al aplicar AB 10^{-5} y AS 10^{-4} M. Las plántulas de tomatillo redujeron la altura con el tratamiento AS 10^{-5} M, por el contrario el AB 10^{-6} M incrementó el diámetro de tallo de esta hortaliza. Por otro lado, las plántulas de pimiento fueron mayores con los tratamientos AB 10^{-6} , AS 10^{-5} y AS 10^{-4} M; asimismo, el área foliar fue mayor en el tratamiento AS 10^{-6} M. El patrón de respuesta de la biomasa aérea y de raíz de las tres especies no fue sistemático ni predecible, de manera que si una variable aumentaba otra podía disminuir.

El contenido de Zn en las plántulas de tomate fue significativamente mayor respecto al control en todos los tratamientos. La aplicación de AS y AB disminuyó el contenido de los minerales en las plántulas de tomatillo. Por último el contenido de Ca en las plántulas de pimiento fue significativamente mayor respecto al control en todos los tratamientos.

Literatura citada

- Abreu, M. E. and Munne, B. S. 2009. Salicylic acid deficiency *NahG* transgenic lines and *sid2* mutants increases seed yield in the annual plant *Arabidopsis thaliana*. *J. of Experimental Botany*. 60(4):1261-1271.
- Ahmad, I.; Basra, S. M. A.; Afzal, I.; Farooq, M. and Wahid, A. 2013. Growth improvement in spring maize through exogenous application of ascorbic acid, salicylic acid and hydrogen peroxide. *International J. of Agriculture and Biology*. 15: 95-100.
- AOAC (Association of official analytical chemists). 1980a. Official Methods of Analysis 13th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC., USA. 547-562 pp.
- AOAC (Association of official analytical chemists). 1980b. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 30th edition. Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C. USA. 39 pp.
- Arfan, M.; Athar H. R. and 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? *J. Plant Physiol*. 6(4):685-694.
- Ashraf, M.; Akram, N. A.; Arteca, R. N. and Foolad, M. R. 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Cri. Rev. Plant Sci*. 29(3):162-190.
- Avanci, N. C.; Luche, D. D.; Goldman, G. H. and Goldman, M. H. S. 2010. Jasmonates are phytohormones with multiple functions, including plant defense and reproduction. *Genet. Mol. Res*. 9(1):484-505.
- Azooz, M. and Youseef, M. 2010. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in wheat. *American J. of Plant Physiol*. 5:56-70.
- Tomato seedlings increased height when sprayed with AS 10^{-5} M; in addition leaf area was greater when applying AS 10^{-5} and AB 10^{-4} M. Tomatillo seedlings reduced height with treatment AS 10^{-5} M, however AB 10^{-6} M increased stem diameter on this vegetable. Furthermore, pepper seedlings were higher with treatments AB 10^{-6} , AS 10^{-5} AS 10^{-4} M; also, leaf area was higher with treatment AS 10^{-6} M. The response pattern of aerial and root biomass of the three species was not systematic or predictable, so if a variable increased the other could decrease.
- Zn content in tomato seedlings was significantly higher compared to control in all treatments. The application of AS and AB decreased mineral content in tomatillo seedlings. Finally Ca content in pepper seedlings was significantly higher than control in all treatments.

End of the English version



- Benavides-Mendoza, A.; Salazar-Torres, A. M.; Ramírez-Godina, F.; Robledo-Torres, V.; Ramírez-Rodríguez, H. y Maiti, R. 2004. Tratamiento de semilla de chile con ácidos salicílico y sulfosalicílico y respuesta de las plántulas al frío. *Terra Latinoamericana*. 22(1):41-47.
- Chipley, J. 2005. Sodium benzoate and benzoic acid. *In: Antimicrobials in foods*. Davidson, P. M.; Sofos, J. N. and Branen, A. L. (eds.). Third edition. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 11-48 pp.
- Echeverría-Machado, I.; Escobedo, G. M. R. M. and Larqué-Saavedra, A. 2007. Responses of transformed *Catharanthus roseus* roots to femtomolar concentrations of salicylic acid. *Plant Physiology and Biochemistry*. 45:501-507.
- Farooq, M.; Aziz, T.; Basra, S. M. A.; Cheema, M. A. and Rehman, H. 2008. Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. *J. Agron. Crop. Sci*. 194(2):161-168.
- Fick, K. R.; Miller, S. M.; Funk, J. D.; McDowell, L. R. and Houser, R. H. 1976. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. University of Florida institute of food and agriculture. Sciences, Department of Animal Sciences, Gainesville, FL. USA. 81 p.
- Gallego, G. L.; Escamilla, T. L.; Jackson, L. A. and Dixon, R. A. 2011. Salicylic acid mediates the reduced growth of lignin down-regulated plants. *Plant Biology*. 108(51):20814-20819.
- Gemes, K., Poor, P., Sulyok, Z., Szepesi, A., Szabo, M. and Tari, I. 2008. Role of salicylic acid pre-treatment on the photosynthetic performance of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill. L. cv. Rio Fuego) under salt stress. *Acta Biologica Szegediensi*. 52:161-162.
- Gunes, A.; Inal, A.; Alpaslan, M.; Eraslan, F.; Guneri Bagci E. and Cicek, N. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *J. of Plant Physiol*. 164:728-736.
- Gutiérrez-Coronado, M. A.; Trejo-López, C. and Larqué-Saavedra, A. 1998. Effect of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiol. and Biochem*. 36(8):563-565.

- Guzmán-Antonio, A.; Borges-Gómez, L.; Pinzón-López, L.; Ruiz-Sánchez, E. y Zúñiga-Aguilar, J. 2012. Efecto del ácido salicílico y la nutrición mineral sobre la calidad de plántulas de chile habanero. *Agronomía mesoamericana*. 23(2):247-257.
- Hayat, S.; Ali, B. and Ahmad, A. 2007. Salicylic acid: biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. *In: Salicylic acid a plant hormone*. Hayat, S. and Ahmad, A. (eds). Springer. Dordrecht, The Netherlands. 1-14 pp.
- Horváth, E.; Pál, M.; Szalai, G.; Páldi, E. and Janda T. 2007. Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. *Biol. Plant*. 51(3):480-487.
- Janda, T.; Szalai, G.; Tari, I. and Paldi, E. 1999. Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta*. 208:175-180.
- Kaur, H.; Inderjit and Kaushik, S. 2005. Cellular evidence of allelopathic interference of benzoic acid to mustard (*Brassica juncea* L.) seedling growth. *Plant Physiol. Biochem.* 43(1):77-81.
- Khodary, S. 2004. Effect of salicylic acid on growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *International J. of Agriculture and Biology*. 6:5-8.
- Khan, N.; Syeed, S.; Masood, A.; Nazar, R. and Iqbal, N. 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *Int. J. Plant Biol.* 1(e1): 1-9.
- Kováčik, J.; Grúz, J.; Backor, M.; Strnad, M. and Repečák, M. 2009. Salicylic acid-induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant Cell Reports*. 28:135-143.
- Larqué-Saavedra, A.; Martín-Mex, R.; Nexticapan-Garcéz, A.; Vergara-Yoisura, S. y Gutiérrez-Rendón, M. 2010. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 16(3):183-187.
- López-Delgado, H.; Dat, J. F.; Foyer, C. H. and Scott, I. M. 1998. Induction of thermotolerance in potato microplants by acetylsalicylic acid and H₂O₂. *J. of Experimental Botany*. 49(321):713-720.
- López-Tejeda, R.; Camacho-Rodríguez, V. y Gutiérrez-Coronado, M. A. 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. *Terra Latinoamericana*. 16(1):43-48.
- Mateo, A.; Funck, D.; Mühlenbock, P.; Kular, B.; Mullineaux, P. M. and Karpinski, S. 2006. Controlled levels of salicylic acid are required for optimal photosynthesis and redox homeostasis. *J. of Experimental Botany*. 57:1795-1807.
- Metwally, A.; Finkemeier, I.; Georgi, M. and Dietz, K. J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Plant Physiol.* 132(1):272-281.
- Mora-Herrera, M. E. y López-Delgado, H. A. 2006. Tolerancia a baja temperatura inducida por ácido salicílico y peróxido de hidrógeno en microplantas de papa. *Fitotecnia Mexicana*. 29(2):81-85.
- Najafian, S.; Khoshkhui, M.; Tavallali, V. and Saharkhiz, M. J. 2009. Effect of salicylic acid and salinity in thyme (*Thymus vulgaris* L.): Investigation on changes in gas exchange, water relations, and membrane stabilization and biomass accumulation. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3:2620-2626.
- Ortega-Ortiz, H.; Benavides-Mendoza, A.; Mendoza-Villarreal, R.; Ramírez-Rodríguez, H. and De Alba, R. K. 2007. Enzymatic activity in tomato fruits as a response to chemical elicitors. *J. Mex. Chem. Soc.* 51(3):141-144.
- Preciado, R. P.; Lara-Herrera, A.; Segura, C. M. A.; Rueda, P. E. O.; Orozco, V. J. A.; Yescas, C. P. and Montemayor, T. J. A. 2007. Amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño. *Terra Latinoamericana*. 26:37-42.
- Purcărea, C. and Cachiță-Cosma, D. 2010. Studies regarding the effects of salicylic acid on maize (*Zea mays* L.) seedling under salt stress. *Studia Universitatis Vasile Goldiș Seria Științele Vieții*. 20(1):63-68.
- Qualley, A. V.; Widhalm, J. R.; Adebesein, F.; Kish, C. M. and Dudareva, N. 2012. Completion of the core β -oxidative pathway of benzoic acid biosynthesis in plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 109(40):16383-16388.
- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43:439-463.
- Ramírez, H.; Rancaño-Arrijo, J. H.; Benavides-Mendoza, A.; Mendoza-Villarreal, R. y Padrón-Corral, E. 2006. Influencia de promotores de oxidación controlada en hortalizas y su relación con antioxidantes. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12(2):189-195.
- Rivas-San Vicente, M. and Plasencia, J. 2011. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *J. of Experimental Botany*. 62(10):3321-3338.
- Salisbury, F. B. and Ross, C. W. 1994. Fisiología vegetal. Traducido por González, V. V. Edit. Iberoamérica, México. 673 p.
- San Miguel, R.; Gutiérrez, M. and Larqué-Saavedra, A. 2003. Salicylic acid increases the biomass accumulation of *Pinus patula*. *Southern J. of Applied Forestry* 27:52-54.
- Sánchez-Chávez, E.; Barrera-Tovar, R.; Muñoz-Márquez, E.; Ojeda-Barrios, D. L. and Anchondo-Nájera, Á. 2011. Efecto del ácido salicílico sobre biomasa, actividad fotosintética, contenido nutricional y productividad del chile jalapeño. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 17(1):63-68.
- Statistical Analysis System Institute (SAS). 2001. PROC user's manual. 6th ed. SAS Institute. Cary, NC, USA. 252 p.
- Shakirova, F. M.; Sakhabutdinova, A. R.; Bezrukova, V.; Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*. 164:317-322.
- Srivastava, M. K. and Dwivedi, U. N. 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Sci.* 158(1-2):87-96.
- Steiner, B. 1961. A universal method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. *Plant and Soil*. 16(2):134-154.
- Timmer, V. R. and Armstrong, G. 1987. Growth and nutrition of containerized *Pinus resinosa* at exponentially increasing nutrient additions. *Canadian J. of Forest Research*. 17:644-647.
- Valdez-Sepúlveda, L.; González-Morales, S. and Benavides-Mendoza, A. 2015. Ácido benzoico: biosíntesis, modificación y función en plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(7):1667-1678.
- Villanueva-Couoh, E.; Alcántar-González, G.; Sánchez-García, P.; Soria-Fregoso, M. y Larqué-Saavedra, A. 2009. Efecto del ácido salicílico y dimetilsulfóxido en la floración de [*Chrysanthemum morifolium* (Ramat) Kitamura] en Yucatán. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15(2):25-31.
- Wang, L. J.; Fan, L.; Loescher, W.; Duan, G. J.; Cheng, J. S.; Luo, H. B. and Li, S. H. 2010. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *BMC Plant Biology*. 10:34.

- Waseem, M.; Athar H. U. R. and Ashraf, M. 2006. Effect of salicylic acid applied through rooting medium on drought tolerance of wheat. *Pak. J. Bot.* 38(4):1127-1136.
- Wasternack, C. 2007. Jasmonates: an update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. *Ann. Bot.* 100:681-697.
- Xu, X. and Tian, S. 2008. Salicylic acid alleviated pathogen induced oxidative stress in harvested sweet cherry fruit. *Postharvest biology and technology.* 49:379-385.
- Zhang, Z.; Li, Q.; Li, Z.; Staswick, P.; Wang, M.; Zhu, Y. and He, Z. 2009. Dual regulation role of GH3.5 in salicylic acid and auxin during *Arabidopsis-Pseudomonas* *siringae* interaction. *Plant Physiology.* 145:450-464.
- Zhao, H. J.; Lin, X. W.; Shi, H. Z. and Chang, S. M. 1995. The regulating effects of phenolic compounds on the physiological characteristics and yield of soybeans. *Acta Agronómica Sinica.* 21:351-355.