

EFFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO EN EL CRECIMIENTO, ESTATUS NUTRIMENTAL Y RENDIMIENTO EN MAÍZ (*Zea mays*)

EFFECT OF SALICYLIC ACID ON GROWTH, NUTRITIONAL STATUS, AND PERFORMANCE OF MAIZE (*Zea mays*)

Cesar Tucuch-Haas¹, Gabriel Alcántar-González^{1*}, Libia I. Trejo-Téllez¹, Hugo Volke-Haller¹, Yolanda Salinas-Moreno², Alfonso Larqué-Saavedra³

¹Edafología, Colegio de Postgraduados. Carretera Federal México-Texcoco km 36.5. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. (tucuch.cesar@colpos.mx) (alcantar@colpos.mx) (vvolke@colpos.mx) (tlibia@colpos.mx). ²Campo Experimental Valles altos de Jalisco. INIFAP. Km.8 de la Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno. 47600. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. (salinas.yolanda@inifap.gob.mx). ³Recursos Naturales-Centro de Investigación Científica de Yucatán Chuburna de Hidalgo Mérida. 97200. Yucatán, México. (larque@cicy.mx).

RESUMEN

El ácido salicílico (AS) participa en diversos procesos fisiológicos y bioquímicos en algunas especies de plantas, favoreciendo el rendimiento. En el cultivo de maíz (*Zea mays*) estos procesos también son favorecidos, pero se conoce poco sobre los efectos causados en la bioproductividad. Por tal razón, el efecto de AS aplicado a las hojas de maíz se evaluó en el crecimiento, el estatus nutricional y la producción de grano, de la variedad local Xmejen-nal, estado de Yucatán, México. Dos experimentos independientes se realizaron con arreglo de bloques completos al azar, en condiciones de campo, usando dos concentraciones de AS (0.1 y 1 μ M) y agua destilada como testigo. Las soluciones se asperjaron a plántulas de 7 d de edad, durante 7 d. Los resultados de ambos experimentos se analizaron mediante ANDEVA y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Al momento de la cosecha se midió: altura y diámetro de la planta; biomasa seca aérea; diámetro, longitud y peso de la mazorca; rendimiento del grano (g planta⁻¹); contenido de nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O) en tejido aéreo y grano. La aplicación de 1 μ M de AS aumentó ($p \leq 0.05$) la producción del grano por planta, la biomasa seca total y el contenido de N, P₂O₅ y K₂O. Además, la longitud de la mazorca de las plantas asperjadas con 1 μ M y 0.1 μ M de AS fue 29 % y 21 % fue mayor ($p \leq 0.05$) que el testigo. El rendimiento del grano presentó una correlación altamente significativa y positiva con todas las variables de la mazorca, lo cual indica que el aumento del rendimiento del grano está ligado al efecto del AS sobre la mazorca.

ABSTRACT

Salicylic acid (AS) may modulate several physiological and biochemical processes in plants, and may contribute to improve crop yield. These processes are also induced in maize (*Zea mays*) cultivation, but their effects on bioproductivity are not very well known. Therefore, we evaluated the effect of applying AS to maize leaves on growth, nutrient status, and yield of the local variety Xmejen-nal, State of Yucatan, Mexico. We conducted two independent experiments with randomized complete block designs, under field conditions, using two AS concentrations, 0.1 and 1 μ M, and distilled water as control. Seven day-old plants were sprayed daily with this solution, for a week. The following variables were measured during harvest: plant height and diameter; above-ground dry biomass; cob diameter, length, and weight; grain yield (g plant⁻¹); nitrogen, phosphorus (P₂O₅) and potassium (K₂O) content, in above-ground tissue and grain. Applying 1 μ M of AS increased ($p \leq 0.05$) grain yield per plant, total dry biomass, and N, P₂O₅ and K₂O content. Additionally, spraying maize plants with 1 μ M and 0.1 μ M AS resulted in 29 and 21 % increases ($p \leq 0.05$) in cob length, respectively, as compared to the control. Grain yield showed a highly significant and positive correlation with all cob variables, suggesting that the increase of grain yield may be linked with the effect of AS on the cob.

Key words: *Zea mays*, biomass, cob, nitrogen, phosphorus, potassium.

INTRODUCTION

Salicylic acid (AS) is a phenolic compound resulting from the secondary metabolism (Hayat *et al.*, 2010), present in vegetable tissues

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2016. Aprobado: mayo, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 771-781. 2017.

Palabras clave: *Zea mays*, biomasa, mazorca, nitrógeno, fósforo, potasio.

INTRODUCCIÓN

El ácido salicílico (AS) es un compuesto fenólico producto del metabolismo secundario (Hayat *et al.*, 2010), presente en tejidos vegetales (Raskin, 1992). El AS regula el crecimiento en las plantas e incrementa el rendimiento de los cultivos cuando se suministran bajas concentraciones exógenas (Rivas-San Vicente y Plasencia, 2011). Este compuesto beneficia la longitud, peso, perímetro y área de la raíz (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998; Larqué-Saavedra *et al.*, 2010), modificando su morfología (Echevarría-Machado *et al.*, 2007) y, además, aumenta la biomasa fresca y seca del tallo (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009) y los nutrimentos en el tejido (Khan *et al.*, 2010).

El AS participa en procesos fisiológicos como el cierre estomático (Larqué-Saavedra, 1978), mejoramiento de la carboxilación y la actividad de la nitrato reductasa (Fariduddin *et al.*, 2003), aumento de la actividad fotosintética (Arfan *et al.*, 2007; Sánchez-Chávez *et al.*, 2011) y reducción del rendimiento fotoquímico operacional (Janda *et al.*, 2012). Además, estimula la producción de metabolitos secundarios (Bennet y Wallsgrove, 1994), como la capsaicina (Sandoval-Rangel *et al.*, 2011), bacosida A (Largia *et al.*, 2015), witaferina A (Piñeros-Castro *et al.*, 2009), flavonoides (Pachecho *et al.*, 2013), y fenoles totales (Burbano y Garcés, 2007; Rodrigues-Brandao *et al.*, 2014).

Aplicaciones de concentraciones bajas de AS aumentan el rendimiento y calidad de pimienta (*Capsicum annuum*), chile (*Capsicum chinense*), tomate (*Solanum lycopersicum*), pepino (*Cucumis sativus*) y papaya (*Carica papaya*) (Martín-Mex *et al.*, 2013). En el arroz (*Oryza sativa*), trigo (*Triticum aestivum*) y cebada (*Hordeum vulgare*), el AS protege contra daños causados por cadmio (Cd) (Fatima *et al.*, 2014), arsénico (As) (Singh *et al.*, 2015), plomo (Pb) (Chen *et al.*, 2007) y boro (B) (El-Feky *et al.*, 2014). Además induce la aparición de proteínas relacionadas con la patogénesis en plantas (PR), responsables de la resistencia sistemática adquirida; estimula la actividad de las enzimas peroxidasa (EC 1.11.1.7), β -1,3-glucanasa (EC 3.2.1.58) y catalasa (EC 1.11.1.6) (Shi *et al.*, 1999; Mutlu *et al.*, 2013); reduce los efectos adversos causados por salinidad (Fayez y Bazaid,

(Rasking, 1992). Salicylic acid regulates plant growth and may increase crop yield, when low concentrations are supplied exogenously (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). This compound may increase length, weight, perimeter, and root area (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998; Larqué-Saavedra *et al.*, 2010), may modify its morphology (Echevarría-Machado *et al.*, 2007), and may also increase stalk's fresh and dry biomass (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009), while improving the nutrient status of the plant (Khan *et al.*, 2010).

Physiological processes triggered by AS include stomatal closure (Larqué-Saavedra, 1978), improvement of carboxylation and nitrate reductase activity (Fariduddin *et al.*, 2003), increase of photosynthetic activity (Arfan *et al.*, 2007; Sánchez-Chávez *et al.*, 2011), and reduction of photochemical capacity (Janda *et al.*, 2012). Additionally, it stimulates the production of secondary metabolites (Bennet and Wallsgrove, 1994), such as capsaicine (Sandoval-Rangel *et al.*, 2011), bacoside A (Largia *et al.*, 2015), withaferin A (Piñeros-Castro *et al.*, 2009), flavonoids (Pachecho *et al.*, 2013), and total phenols (Burbano and Garcés, 2007; Rodrigues-Brandao *et al.*, 2014).

Applying low AS concentrations increases the yield and quality of pepper (*Capsicum annuum*), (*Capsicum chinense*), tomato (*Solanum lycopersicum*), cucumber (*Cucumis sativus*), and papaya (*Carica papaya*) (Martín-Mex *et al.*, 2013). AS protects rice (*Oryza vulgare*), wheat (*Triticum aestivum*), and barley (*Hordeum vulgare*) against the damages caused by cadmium (Cd) (Fatima *et al.*, 2014), arsenic (As) (Singh *et al.*, 2015), lead (Pb) (Chen *et al.*, 2007), and boron (B) (El-Feky *et al.*, 2014). Additionally, it induces the appearance of proteins linked to plant pathogenesis (PR)—which are responsible for systemic acquired resistance—; it stimulates the activity of the peroxidase (EC 1.11.1.7), β -1,3-glucanase (EC 3.2.1.58), and catalase (EC 1.11.1.6) enzymes (Shi *et al.*, 1999; Mutlu *et al.*, 2013); and it contributes to the accumulation of magnesium (Mg), calcium (Ca), and potassium (K) (El Tayeb and Ahmed, 2010). It also improves vigour and height of seedlings (Anwar *et al.*, 2013), fresh and dry weight of the roots and shoots (Deef, 2007) fresh and dry biomass (Haya *et al.*, 2005; Tucuch *et al.*, 2015), chlorophyll (a and b) and carbohydrate content (El-Feky *et al.*, 2014), as well as grain yield in rice and wheat (López *et al.*, 1998; Tavares *et al.*, 2014).

2014; Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2014), sequía (Habibi, 2012; Farzane *et al.*, 2014) y frío (Mutlu *et al.*, 2013); y favorece la acumulación de Mg, Ca y K (El Tayeb y Ahmed, 2010). También aumenta el vigor y la altura en plántulas (Anwar *et al.*, 2013), la longitud, peso seco y fresco de la raíz (Deef, 2007), biomasa seca y fresca aérea (Hayat *et al.*, 2005; Tucuch *et al.*, 2015), contenido de clorofila (a y b) y carbohidratos (El-Feky *et al.*, 2014) y el rendimiento del grano en arroz y trigo (López *et al.*, 1998; Tavares *et al.*, 2014).

Aplicaciones foliares de AS en la etapa de plántula del maíz aceleran la actividad de la enzima Rubisco, aumentan la actividad fotosintética, aumentan el contenido de clorofila a y b, carotenoides y carbohidratos, la longitud, peso fresco y seco de la raíz, así como la altura, biomasa seca y fresca de la parte aérea de la planta y área foliar, bajo condiciones de salinidad (Khodary, 2004). Además favorecen la acumulación de N, K⁺, Fe²⁺, Mg²⁺ y Cu²⁺ en el tejido vegetal en las mismas condiciones de estrés salino (Gunes *et al.*, 2007; Fahad y Bano, 2012).

La participación del AS en procesos fisiológicos y bioquímicos en las plantas, en particular en gramíneas, sugiere que este compuesto puede inducir un rendimiento mayor de grano en el cultivo de maíz. Para verificar esta hipótesis, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto en el rendimiento del grano y sus componentes en maíz, en etapa de plántulas, con bajas concentraciones foliares de AS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para analizar el efecto del AS en el crecimiento, rendimiento del grano, contenido de N, P₂O₅ y K₂O en tejido (parte aérea) y grano de plantas de maíz, se realizaron dos experimentos, a cielo abierto, en los terrenos del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). El primero se estableció el 30 de agosto de 2013 y el segundo el 19 de enero de 2014. Para ambos experimentos se emplearon semillas de maíz criollo local Xmejen-nal (Nal-tel×Tuxpeño), muy importante en el estado de Yucatán. Las siembras se realizaron en el suelo, en camas de 1 m de ancho×10 m de largo, con distancias entre plantas de 0.30 m y entre hileras de 0.50 m.

Para ambos experimentos los tratamientos fueron concentraciones de 0.1 y 1 μM de AS, más un testigo (agua destilada), preparadas según la metodología descrita por Gutiérrez-Coronado *et al.* (1998). Las aplicaciones se realizaron al dosel de las plántulas hasta punto de rocío durante una semana con intervalos de aplicación de 24 h, a las 8:00 h, iniciando 7 d después de la siembra

Applying AS to the leaves of maize seedlings exposed to saline stress accelerates the enzymatic activity of Rubisco, increases photosynthetic activity, activity of chlorophylls a and b, carotenoids and carbohydrates concentrations, length and fresh and dry weight of roots, as well as height, fresh and dry biomass of plants aerial part and foliage area, under salinity conditions (Khodary, 2004). Additionally, it contributes to the accumulation of N, K⁺, Fe²⁺, Mg²⁺, and Cu²⁺ in plant tissue, under the same saline stress conditions (Gunes *et al.*, 2007; Fahad and Bano, 2012).

AS participation in physiological and biochemical processes in plants—particularly in graminaceous—suggests that this compound may induce greater grain yield in maize crops. In order to verify this hypothesis, the objective of this study was to evaluate the effect of applying low foliar AS concentrations to maize leaves during the seedling stage on grain yield and its components.

MATERIALS AND METHODS

In order to analyze the effect of AS on plant growth, grain yield, N, P₂O₅ and K₂O contents in (above-ground) shoot tissue and grain in maize plants, two open-air experiments were carried out in the Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). The first experiment began on August 30, 2013, and the second, in January 19, 2014. Both experiments used local Xmejen-nal (Nal-tel×Tuxpeño) native maize seeds, which are very important in Yucatan. The seeds were sown in the ground, in 1-m wide×10-m long beds; the plants were sown 0.30 m apart from each other, in 0.50 m rows.

For both experiments (1 and 2), 0.1 and 1 μM AS concentration were prepared following the methodology described by Gutiérrez-Coronado *et al.* (1998). Additionally, distilled water was used as control spray. The treatments were applied daily for a week on the leaves of the seedlings, up to dew point, with 24 h application intervals, at 08:00 h, starting 7 d after sowing (dds). After the plants were sprinkled with AS for the last time, the only activities that were carried out were weeding, watering—to keep the ground humid at field capacity—, and one fertilizer application (17 N, 17 P₂O₅, 17 K₂O, 20 g plant⁻¹, 20 dds).

The following data was collected 140 dds (end of the experiment) for both experiments: plant height; distance from the stalk base to the apex terminal; stalk diameter, measured 10 cm from the soil; dry weight of total biomass; length, diameter, and weight of the cob; and grain yield per

(dds). Después de la última aspersión de AS, en las plantas se realizaron solo deshierbes, riegos para mantener el suelo húmedo a capacidad de campo y una aplicación de fertilizantes con 17 N, 17 P₂O₅, 17 K₂O, 20 g planta⁻¹ a los 20 dds.

A los 140 dds (final del experimento), en ambos experimentos se recabaron datos de: altura de planta, medida de la base del tallo hasta el ápice terminal; diámetro de tallo, tomado a 10 cm del suelo; peso seco de la biomasa total; longitud, diámetro, peso de la mazorca y rendimiento del grano por planta, para lo cual se usó una balanza analítica (Sartorius, BL3100), flexómetro y vernier digital (Truper, CALDI-6MP). Para determinar los contenidos de N, P₂O₅ y K₂O en tejido y grano, se tomó la parte aérea de las plantas y 100 g de grano de cada tratamiento, se colocaron en un horno (Binder, FED720) a 70 °C hasta peso constante y se molieron para el análisis en laboratorio. La concentración de N se determinó por el método micro-Kjeldahl y el P₂O₅ y K₂O mediante lecturas de extractos de digestión húmeda diácida según Alcántar y Sandoval (1999), en un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma (ICP-OES, Agilent 725-OES, Australia). Las concentraciones de cada elemento en tejido y grano y los pesos de biomasa seca aérea y de los granos de maíz, se usaron para estimar los contenidos totales.

El diseño estadístico fue de bloques completos al azar con 20 repeticiones y una planta como unidad experimental. Los datos reportados son los registrados de cuatro plantas en el experimento 1 y de 10 plantas del experimento 2. Los resultados de ambos experimentos se analizaron mediante ANDEVA y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Además, los datos de rendimiento se correlacionaron con las variables de la mazorca, y con el contenido nutricional. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura media durante el experimento 1 fluctuó de 21 a 28 °C, fue mayor al inicio del cultivo y menor al final. Al contrario, en el experimento 2 las temperaturas menores ocurrieron al inicio del experimento y las mayores al final, en un intervalo de 20 a 25 °C. La lluvia promedio en todo el ciclo completo de desarrollo del maíz fue 5 mm d⁻¹ en el experimento 1 porque se condujo en el ciclo primavera verano de 2013, cuando la precipitación total fue 599 mm. Pero en el experimento 2 las lluvias fueron escasas, (159 mm total) y la mayor parte del tiempo se usaron dos riegos de auxilio cada segundo día a punto de saturación, ya que el experimento se condujo en el ciclo otoño invierno 2014.

plant; using an analytical balance (Sartorius, BL3100), and a digital flexometer and vernier caliper (Truper, CALDI-6MP). In order to determine N, P₂O₅, and K₂O concentrations in tissue and grain, the above-ground part of the plant was taken, and 100 g of grain from each treatment were placed in an oven (Binder, FED720), at 70 °C, until a constant weight was reached; they were ground and analyzed in the laboratory. Nitrogen concentration was determined using the micro-Kjeldahl method, while P₂O₅ and K₂O concentration was measured using readings from extracts taken from diacid wet digestion, as described by Alcántar and Sandoval (1999), in an atomic spectroscopy equipment with plasma induction (ICP-OES, Agilent 725-OES, Australia). The concentration of each element in tissue and grain and the weight of dry above-ground biomass and maize grains were used to estimate total contents.

The statistical design was randomized complete blocks with 20 repetitions and one plant as experimental unit. The data collected belong to 4 and 10 plants, for experiments 1 and 2, respectively. ANOVA was used to analyze the results of both experiments and means were compared using the Tukey test ($p \leq 0.05$). Additionally, yield data were correlated with cob variables and nutritional content. Statistical analysis were carried out using the SAS software (2004).

RESULTS AND DISCUSSION

The average temperature for experiment 1 fluctuated between 21 and 28 °C, and was higher in the early stages of cultivation, and lower at the end. On the contrary, in experiment 2, lower temperatures were recorded in the early stages, while the higher temperatures were recorded at the end, with an interval between 20 and 25 °C. The average rainfall during the whole maize development cycle was 5 mm d⁻¹, because experiment 1 was carried out during the 2013 spring-summer cycle, when the overall rainfall was 599 mm. However, during experiment 2, rainfall was scarce (overall: 159 mm), and support irrigation was used most of the time (two irrigations every second day, up to saturation point), since the experiment was carried out during the 2014 autumn-winter cycle.

Table 1 includes the results for plant height, stalk diameter, and dry weight for the total dry biomass for both experiments. Plant height and stalk diameters means were higher when AS concentrations were added, but only in experiment 1 the application of 1 μ M SA resulted in greater height (14.3 %) and diameter (41.2 %) with regard to control ($p \leq 0.05$).

Los resultados de altura de planta, diámetro del tallo y peso seco de la biomasa seca total de ambos experimentos, se presentan en el Cuadro 1. En altura de planta y diámetro de tallo hubo medias más altas al adicionar las concentraciones de AS, pero solo en el experimento 1 la concentración de $1\ \mu\text{M}$ causó mayor altura (14.3 %) y diámetro (41.2 %) respecto al testigo ($p \leq 0.05$). En ambos experimentos la biomasa seca total aumentó 48 % ($p \leq 0.05$) con $1\ \mu\text{M}$ de AS, comparado con el testigo.

Los resultados muestran el efecto del AS para estimular el crecimiento, desarrollo y acumulación de biomasa de las plantas adultas de maíz, que coinciden con las repuestas publicados por Farahbakhsh y Saiid (2011) y Singh *et al.* (2015a) en estudios en condiciones de salinidad, y con los de Zamaninejad *et al.* (2013) en sequía, para esta misma especie. También son congruentes con los datos reportados para trigo (Sayede y Mujahed, 2016; Tucuch *et al.*, 2015), papaya (Martín-Mex *et al.*, 2012), pepino (Singh y Chaturvedi, 2012), pimiento (Qados, 2015) y cilantro (*Coriandrum sativum*) (Hesami *et al.*, 2012).

La longitud de la mazorca de las plantas asperjadas con AS (Cuadro 2) es diferente ($p \leq 0.05$) al testigo, independiente de la concentración asperjada de AS en ambos experimentos; la concentración de $1\ \mu\text{M}$ de AS superó en 29 % al testigo y la de $0.1\ \mu\text{M}$ de AS en 21 %. En las otras variables de la mazorca y en particular la producción de grano (Cuadro 2), solo el

In both experiments, total dry biomass increased 48 % ($p \leq 0.05$) with $1\ \mu\text{M}$ of AS, with regard to control.

The results show that AS stimulates growth, development, and biomass accumulation in mature maize plants, which is in full agreement with those published by Farahbakhsh and Saiid (2011) and Singh *et al.* (2015a) in maize under salt stress, and by Zamaninejad *et al.* (2013), in this species under drought stress. Similarly, our results match those reported in wheat (Sayede and Mujahed, 2016; Tucuch *et al.*, 2015), papaya (Martín-Mex *et al.*, 2012), cucumber (Singh and Chaturvedi, 2012), pepper (Qados, 2015), and coriander (*Coriandrum sativum*) (Hesami *et al.*, 2012).

The length of plant cobs were sprinkled with AS is different ($p \leq 0.05$) than the control, regardless of the AS concentration sprayed in both experiments: the 1 and the $0.1\ \mu\text{M}$ AS concentrations surpassed control by 29 and 21 %, respectively (Table 2). With regard to other cob variables—particularly grain production (Table 2)—, only the $1\ \mu\text{M}$ AS concentration was higher ($p \leq 0.05$). The grain length, width, and thickness values did not show significant differences between treatments, in neither experiment.

Our results also agree with those reported by El-Wahed *et al.* (2006), who found out that applying 1, 2, or 3 mM AS in maize leaves 45 dds, increased cob length and diameter. This has a positive effect in grain

Cuadro 1. Efecto de la aplicación de ácido salicílico al dosel de plantas de maíz criollo Xmejen-nal, en la altura de planta, diámetro del tallo y biomasa seca aérea en dos experimentos realizados en el CICY en los ciclos 2013 y 2014.

Table 1. Effect of applying salicylic acid to the leaves of native Xmejen-nal maize plants, on plant height, stalk diameter, and above-ground dry biomass, in two experiments carried out in the CICY, during the 2013 and 2014 cycles.

	Tratamiento	AP (cm)	DT (mm)	BT (g planta ⁻¹)
Exp. 1	Testigo	213.50 b	16.03 b	218.4 b
	$0.1\ \mu\text{M}$	224.50 ab	17.69 b	279.0 b
	$1.0\ \mu\text{M}$	244.00 a	22.65 a	368.50 a
Exp. 2	Testigo	206.22 a	19.98 a	229.03 b
	$0.1\ \mu\text{M}$	205.77 a	20.04 a	242.65 b
	$1.0\ \mu\text{M}$	218.40 a	20.28 a	347.49 a

AP: altura de planta; DT: diámetro del tallo; BT.: biomasa seca total. Medias con letra diferente en una columna para cada experimento, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). ♦ AP: plant height; DT: stalk diameter; BT: total dry biomass. Means with different letters in a column for each experiment are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

tratamiento de 1 μM de AS fue superior ($p \leq 0.05$). Los valores de longitud, ancho y grosor del grano no mostraron diferencias significativas entre tratamientos en los dos experimentos.

Nuestros resultados coinciden con los reportados por El-Wahed *et al.* (2006) quienes encontraron que la aplicación foliar de 1, 2 o 3 mM de AS a los 45 dds a plantas de maíz, aumenta la longitud y el diámetro de la mazorca, con efecto positivo en el rendimiento del grano hasta 25.7 %. Además, se ratifica lo reportado por Zamaninejad *et al.* (2013), quienes observaron el mismo patrón de incremento en rendimiento de grano (59 % más que el testigo) al asperjar 1 mM de AS a plantas con 10 a 12 hojas expuestas a condiciones de sequía. En una caracterización morfológica para la misma variedad de maíz (Chávez-Servia *et al.*, 2004), los valores de longitud y diámetro de la mazorca y rendimiento del grano coinciden con los de las plantas testigo y son inferiores a los tratadas con AS en nuestro estudio.

Los datos del Cuadro 3 muestran que el rendimiento del grano presenta una correlación altamente significativa y positiva con todas las variables de la mazorca, excepto el grosor del grano que tuvo un comportamiento negativo en los dos experimentos y no fue significativa en el experimento 1; además, la respuesta en ancho del grano no fue significativa en el experimento 2. Estos resultados son similares al

yield (up to 25.7 %). Additionally, this information confirms the results reported by Zamaninejad *et al.* (2013), who observed the same grain yield increase pattern (59 % more than control), when 1 mM of AS is sprinkled in plants with 10 to 12 leaves exposed to drought conditions. Chávez-Servia *et al.* (2004) carried out a morphological characterization of the same maize variety and found out that length and diameter values of the cob and grain yield match the results of control plants and are lower than those of plants treated with AS in our study.

The data in Table 3 shows that grain yield has a highly significant and positive correlation with all cob variables, except for grain thickness, which had a negative behavior in both experiments and it was not significant for experiment 1; additionally, grain width response was not significant for experiment 2. These results are similar to those reported by El-Wahed *et al.* (2006) and Zamaninejad *et al.* (2013) who correlated grain yield with cob length and diameter in maize plants treated with AS, indicating that grain yield increase is linked with the effect of AS on the cob.

Table 4 includes the results of the N, P_2O_5 , and K_2O contents in above-ground dry biomass and in grain for both experiments. The 1 μM AS treatment contributed to the accumulation of these three elements ($p \leq 0.05$); additionally, in both

Cuadro 2. Efecto sobre la mazorca y grano del cultivo de maíz criollo (Xmejen-nal), evaluado a los 140 días de edad, con asperisiones foliares de AS a los 7 días después de la siembra, en dos experimentos realizados en el CICY en los ciclos 2013 y 2014.

Table 2. Effect of applying salicyclic acid to the leaves of native Xmejen-nal maize plants, on cob and the grain parameters, in two experiments carried out in the CICY, during the 2013 and 2014 cycles.

	Trat.	LM (cm)	DM (mm)	PM (g)	NG (#)	RG (g planta ⁻¹)	LG (cm)	AG (cm)	GG (cm)
Exp. 1	Testigo	13.0 b	36.4 b	79.4 b	240.0 b	57.5 b	0.87 a	0.82 a	0.50 a
	0.1 μM	15.7 a	43.7 ab	141.8 ab	362.5 ab	109.2 ab	1.02 a	0.87 a	0.44 a
	1 μM	18.0 a	44.9 a	164.5 a	374.5 a	120.2 a	1.04 a	0.91 a	0.48 a
Exp. 2	Testigo	14.6 b	38.6 b	106.9 b	134.5 b	62.6 b	1.02 a	0.97 a	0.65 a
	0.1 μM	17.8 a	42.1 ab	134.8 ab	192.8 b	90.9 ab	1.02 a	0.98 a	0.50 a
	1 μM	17.5 a	45.0 a	185.9 a	349.3 a	140.1 a	1.12 a	0.97 a	0.60 a

LM: longitud de mazorca; DM: diámetro de mazorca; PM: peso de mazorca; NG: número de granos; LG: longitud de grano; AG: ancho de grano; GG: grosor de grano; RG: rendimiento de grano por mazorca. Medias con letra diferente en una columna para cada experimento son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). ♦ LM: cob length; DM: cob diameter; PM: cob weight; NG: number of grains; LG: grain length; AG: grain width; GG: grain thickness; RG: grain yield per cob. Means with different letters in a column for each experiment are significantly different (Tukey, $p \leq 0.05$).

reportado por El-Wahed *et al.* (2006) y Zamaninejad *et al.* (2013) al correlacionar el rendimiento del grano con la longitud y diámetro de la mazorca en plantas de maíz tratadas con AS, lo cual indica que el incremento del rendimiento del grano está ligado al efecto que el AS ejerce sobre la mazorca.

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de los contenidos de N, P₂O₅ y K₂O en la biomasa seca aérea y en el grano de ambos experimentos. El tratamiento 1 μ M de AS favoreció la acumulación de estos tres elementos ($p \leq 0.05$); además, en la biomasa seca aérea el aumento promedio fue 75, 85 y 67 %, y en grano 59, 129 y 116 % para N, P₂O y K₂O respectivamente, en los dos experimentos.

Con 0.1 μ M de AS no hubo consistencia en el comportamiento del efecto entre experimentos. En el experimento 1 el AS afectó ($p \leq 0.05$) la biomasa seca aérea, el contenido de N y K₂O con aumentos de 37.5 y 59.0 %, respectivamente; pero en el experimento 2 no hubo efectos significativos. En el grano, las concentraciones de N y P₂O₅ fueron significativamente mayores en 79 y 29 %, respectivamente, respecto al testigo en el experimento 1; y los valores de K₂O en ambos experimentos fueron 29 % mayores.

experiments, the average increase of N, P₂O₅, and K₂O was 75, 85, and 67 % in above-ground dry biomass, and 59, 129, and 116 % in grain, respectively.

When 0.1 μ M AS was applied, the effect between experiments did not show a consistent behavior. In experiment 1, AS affected ($p \leq 0.05$) above-ground dry biomass: the content of N and K₂O increased by 37.5 and 59.0 %, respectively; however, there were no significant effects in experiment 2. In grains, N and P₂O₅ concentrations in experiment 1 were significantly greater (79 and 29 %, respectively) than control; K₂O values in both experiments were 29 % higher.

Vazirimehr and Rigi (2014) reviewed the responses of several agricultural important crops treated with AS, under salinity conditions, and reported that the total ion content in treated plants was higher than that found in control plants. Gunes *et al.* (2005) reported that the N, P₂O₅, K₂O, Mg, and Mn content in maize increased, under different stress conditions, which is consistent with our results. Data in our experiment might be explained because AS promoted greater root development (for the same species and variety), increasing the exploration area

Cuadro 3. Correlación entre el rendimiento del grano y variables de la mazorca en dos experimentos con maíz criollo Xmejen-nal realizados en el CICY en los ciclos 2013 y 2014.

Table 3. Correlation between grain yield and cob variables in two experiments with Xmejen-nal native maize, carried out in the CICY, during the 2013 and 2014 cycles.

	DM	PM	NG	LG	AG	GG	RG
Experimento 1							
LM	0.560**	0.672*	0.687*	0.522**	0.252ns	0.087ns	0.666**
DM		0.940**	0.730**	0.861**	0.652**	-0.156ns	0.938**
PM			0.698**	0.865**	0.658**	0.014nn	0.989**
NG				0.549**	0.107ns	-0.453*	0.722**
LG					0.783**	-0.165ns	0.899**
AG						0.168ns	0.896**
GG							-0.029ns
Experimento 2							
LM	0.553**	0.642**	0.543**	0.399*	0.183ns	0.463*	0.582**
DM		0.901**	0.843**	0.793**	0.342ns	-0.815**	0.910**
PM			0.922**	0.778**	0.235ns	-0.743**	0.975**
NG				0.764**	0.098ns	-0.798**	0.970**
LG					0.388ns	-0.615**	0.800**
AG						0.120ns	0.205ns
GG							-0.789**

LM: longitud de mazorca; DM: diámetro de mazorca; PM: peso de mazorca; NG: número de granos; LG: longitud de grano; AG: ancho de grano; GG: grosor de grano; RG: rendimiento de grano por mazorca. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; ns: no significativo. ♦ LM: cob length; DM: cob diameter; PM: cob weight; NG: number of grains; LG: grain length; AG: grain width; GG: grain thickness; RG: grain yield per cob. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; ns: not significant.

Cuadro 4. Contenido promedio de N, P₂O y K₂O en la biomasa seca aérea y grano, de dos experimentos, en el cultivo de maíz (var. Xmejen-nal) tratadas con ácido salicílico.**Table 4. Average N, P₂O, and K₂O content in above-ground dry biomass and grain, in two experiments, in maize (var. Xmejen-nal) crops, treated with salicylic acid.**

Experimento	Tratamiento	NF	PF	KF	NG	PG	KG
		g planta ⁻¹			g mazorca ⁻¹		
1	Testigo	1.41 c	0.13 b	0.64 c	1.02 c	0.14 c	0.06 b
	0.1 μ M	1.94 b	0.13 b	1.02 b	1.83 b	0.31 b	0.14 a
	1.0 μ M	2.79 a	0.26 a	1.34 a	2.09 a	0.39 a	0.14 a
2	Testigo	2.01 b	0.24 b	1.04 b	2.20 b	0.23 b	0.08 c
	0.1 μ M	2.25 b	0.23 b	0.84 ab	1.65 c	0.30 b	0.12 b
	1.0 μ M	3.10 a	0.42 a	1.31 a	2.58 a	0.42 a	0.16 a

NF: nitrógeno foliar; PF: fósforo foliar; KF: potasio foliar; NG: nitrógeno en grano; PG: fósforo en grano y KG: potasio en grano. Medias con letra diferente en una columna para cada experimento son significativamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$). ♦ NF: leaf nitrogen; PF: leaf phosphorus; KF: leaf potassium; NG: grain nitrogen; PG: grain phosphorus; and KG: grain potassium. Means with different letters in a column for each experiment are significantly different (Tukey, $p \leq 0.05$).

Vazirimehr y Rigi (2014) en una revisión realizada para varios cultivos de interés agrícola tratados con AS, bajo condiciones de salinidad, encontraron que el contenido de total de iones en las plantas tratadas fue superior con respecto a las sin AS. Gunes *et al.* (2005) reportan incrementos en el contenido de N, P₂O, K₂O, Mg y Mn en maíz bajo diferentes condiciones de estrés, lo cual es congruente con nuestros resultados. Los datos en nuestro estudio podrían explicarse porque el AS promueve mayor desarrollo en las raíces, para esta misma especie y variedad, aumenta el área de exploración en el suelo y por ende la tasa de absorción de nutrientes (Tucuch-Haas *et al.*, 2016).

Al correlacionar los contenidos de N, P₂O₅ y K₂O con el rendimiento del grano y biomasa seca aérea (Cuadro 5), los valores fueron significativamente diferentes, excepto en P para la biomasa seca aérea. Lo anterior permite suponer una mayor absorción de estos elementos y que contribuyen a incrementar la biomasa seca aérea y el rendimiento del grano. Es preciso destacar que para esta misma especie, hay una mayor tasa fotosintética al aplicar AS al dosel del cultivo en etapa de plántula (Khodary, 2004), lo que también contribuiría a favorecer el rendimiento del grano y la biomasa seca aérea.

Los resultados del efecto del AS en maíz permiten ratificar el impacto de este regulador del crecimiento sobre la producción de las gramíneas, como lo señalaron López *et al.* (1998) y Tavares *et al.* (2014).

in the soil and, therefore, the nutrient absorption rate (Tucuch-Haas *et al.*, 2016).

When N, P₂O₅, and K₂O content was correlated with grain yield and above-ground dry biomass (Table 5), values were significantly different, except for P in above-ground dry biomass. Therefore, we can assume that there is a greater absorption of these elements and that they contribute to greater above-ground dry biomass and grain yield. We must emphasize that there is a greater photosynthesis rate for this same species, when AS is applied on the crop's canopy during the seedling stage (Khodary, 2004), which would also contribute to improving grain yield and above-ground dry biomass.

The results of the effect of AS in maize confirm the impact of this growth regulator on graminaceous production, as pointed out by López *et al.* (1998) and Tavares *et al.* (2014). Additionally, this confirms their usefulness in the bioproductivity of other species, such as *C. annuum* (Elwan and El-Hamahny, 2009; Martín-Mex *et al.*, 2004; Martín *et al.*, 2005), *S. lycopersicum* (Javaheri *et al.*, 2012), and *C. papaya* (Martín-Mex *et al.*, 2012).

CONCLUSION

Salicylic acid increases the production of total dry biomass, grain yield, as well as N, P₂O₅, and K₂O contents in tissue and grain, when the canopy of

Cuadro 5. Correlación de los contenidos de N, P₂O₅ y K₂O del tejido y grano, entre la biomasa seca aérea y el peso del grano en dos experimentos con el maíz criollo Xmejen-nal realizados en el CICY en los ciclos 2013 y 2014.

Table 5. Correlation of N, P₂O₅ y K₂O contents in tissue and grain, between above-ground dry biomass and grain weight, in two experiments with maize var. Xmejen-nal native maize, carried out in the CICY, during the 2013 and 2014 cycles.

	NF	NG	PF	PG	KF	KG
BA	0.563**	0.744**	0.322 ns	0.559**	0.696**	0.430*
RG	0.465*	0.750**	0.348*	0.661**	0.618**	0.612**

BA: biomasa seca aérea; RG: rendimiento de grano; NF: nitrógeno foliar; NG: nitrógeno en grano; PF: fósforo foliar; PG: fósforo en grano; KF: potasio foliar y KG: potasio en grano. *p≤0.05; **p≤0.01; ns: no significativo. ♦ BA: above-ground dry biomass; RG: grain yield; NF: leaf nitrogen; NG: grain nitrogen; PF: leaf phosphorus; PG: grain phosphorus; KF: leaf potassium; and, KG: grain potassium. *p≤0.05; **p≤0.01; ns: not significant.

Además, dan mayor sustento de su utilidad en la bioproductividad de otras especies como *C. annuum* (Elwan y El-Hamahmy, 2009), *C. chinense* (Martín-Mex *et al.*, 2004; Martín *et al.*, 2005), *S. lycopersicum* (Javaheri *et al.*, 2012) y *C. papaya* (Martín-Mex *et al.*, 2012).

CONCLUSIÓN

El ácido salicílico incrementa la producción de biomasa seca total, el rendimiento del grano y el contenido de N, P₂O₅ y K₂O en tejido y grano, en el cultivo de maíz, cuando se asperja al dosel en etapa de plántula. Ambas dosis de ácido salicílico favorecen la longitud de la mazorca. El rendimiento del grano de maíz está ligado al efecto que el AS ejerce sobre la mazorca.

LITERATURA CITADA

- Alcántar G., G., y M. Sandoval V. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo. México. Chapingo, México. 156 p.
- Anwar, S., M. Iqbal, S. H. Raza, and N. Iqbal. 2013. Efficacy of seed preconditioning with salicylic and ascorbic acid in increasing vigor of rice (*Oryza sativa* L.) Seedling. Pak. J. Bot. 45: 157-162.
- Arfan, M., H. R. Athar, and 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? J. Plant Physiol. 164: 687-694.
- Bennet, R. N., and R. M. Wallsgrove. 1994. Secondary metabolites in plant defense mechanisms. New Phytol. 127: 617-633.
- Burbano, C., y F. Garcés. 2007. Control del virus de la hoja amarilla de la caña de azúcar (SCYLIV) mediante técnicas

maize seedlings is sprinkled with AS. Both salicylic acid doses tested produced longer cobs. Maize grain yield is linked with the effect of AS on the cob.

—End of the English version—



- de cultivo de tejidos en la variedad CR74-250. Rev. Tecnol. ESPOL 20: 0257-1749.
- Chávez-Servia, J. L., T. C. Camacho-Villa, y L. A. Burgos-May. 2004. Patrones de variabilidad genotípica de maíz y su potencial para mejorar la producción en Yucatán. Memoria del foro-taller Problemática campesina, retos y perspectivas de la investigación y el servicio para el mejoramiento de la milpa en Yucatán. Mérida Yucatán. pp: 22-30.
- Chen, J., C. Zhu, L. Li, Z. Sun, and X. Pan. 2007. Effects of exogenous salicylic acid on growth and H₂O₂ metabolizing enzymes in rice seedlings under lead stress. J. Environ. Sci. 19: 44-49.
- Deef, H. E. 2007. Influence of salicylic acid on stress tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. Advan. Biol. Res. 1: 40-48.
- Echevarría-Machado, I., R. M. Escobedo-G.M., and A. Larqué-Saavedra. 2007. Responses of transformed *Catharanthus roseus* roots to femtomolar concentrations of salicylic acid. Plant Physiol. Biochem. 45: 501-507.
- El Tayeb, M. A., and A. N. Ahmed. 2010. Response of wheat cultivars to drought and salicylic acid. Am-Euras. J. Agron. 3: 01-07.
- El-Feky, S. S., F. A. El-Shintinawy, and E. M. Shaker. 2014. Role of CaCl₂ and salicylic acid on metabolic catabolic and productivity of boron stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 3: 368-380.
- El-Wahed, M. S. A., A. A. Amin, and El-Sh. M. Rashad. 2006. Physiological effect of some bioregulators on vegetative growth, yield and chemical constituents of yellow maize plants. World J. Agric. Sci. 2: 149-155.

- Elwan, M. W. M, and M. A. M. El-Hamahmy. 2009. Improved productivity and quality associated with salicylic acid application in greenhouse pepper. *Sci. Hortic.* 122: 521-526.
- Fahad, S., and A. Bano. 2012. Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize grown in saline area. *Pak. J. Bot.* 44: 1433-1438.
- Farahbakhsh, H., and M. S. Saiid. 2011. Effects of foliar application of salicylic acid on vegetative growth of maize under saline conditions. *Afr. J. Plant Sci.* 5: 575-578.
- Fariduddin, Q., S. Hayat, and A. Ahmad. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica* 41: 281-284.
- Farzane, M. H., R. Monem, S. M. Mirtaheri, and S. F. Kashani. 2014. Effect of Salicylic acid on germination and growth seedling of 10 variety barley (*Hordeum vulgare* L.) under drought stress. *Int. J. Biosci.* 5: 445-448.
- Fatima, R. N., F. Javed, and A. Wahid. 2014. Salicylic acid modifies growth performance and nutrient status of rice (*Oryza sativa*) under cadmium stress. *Int. J. Agric. Biol.* 16: 1083-1090.
- Fayez, K. A., and S. A. Bazaid. 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *J. Saudi Soc. Agri. Sci.* 13: 45-55.
- Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, N. Cicek, E. Guneri, F. Eraslan, and T. Guzelordu. 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). *Arch. Agron. Soil Sci.* 51: 687-695.
- Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, F. Eraslan, E. G. Bagci, and N. Cicek. 2007. Salicylic acid changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *J. Plant Physiol.* 164: 728-736.
- Gutiérrez-Coronado, M. A., C. Trejo-López, and A. Larqué-Saavedra. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiol. Biochem.* 36: 563-565.
- Habibi, G. 2012. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. *Acta Biol. Szeged.* 56: 57-63.
- Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan, and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environ. Exp. Bot.* 68: 14-25.
- Hayat, S., Q. Fariduddin, B. Ali, and A. Ahmad. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agron. Hung.* 53: 433-437.
- Hesami, S., E. Nabizadeh, A. Rahimi, and A. Rokhzadi. 2012. Effects of salicylic acid levels and irrigation intervals on growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum*) in field conditions. *Environ. Exp. Biol.* 10: 113-116.
- Janda, K., E. Hideg, G. Szalai, L. Kovács, and T. Janda. 2012. Salicylic acid may indirectly influence the photosynthetic electron transport. *J. Plant Physiol.* 169: 971-978.
- Javaheri, M., K. Mashayekhi, A. Dadkhah, and F. T. Zaker. 2012. Effects of salicylic acid on yield quality characters of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Int. J. Agric. Crop Sci.* 4: 1184-1187.
- Khan, N. A., S. Syeed, A. Masood, R. Nazar, and N. Iqbal. 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: 1-8.
- Khodary, S. E. A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *Int. J. Agri. Biol.* 6: 5-8.
- Largia, M. J. V., G. Pothiraj, J. Shilpha, and M. Ramesh. 2015. Methyl jasmonate and salicylic acid synergism enhances bacoside a content in shoot cultures of *Bacopa monnieri* (L.). *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 122: 9-20.
- Larqué-Saavedra, A., R. Martín-Mex, A. Nexticapan-Garcéz, S. Vergara-Yoisura, y M. Gutiérrez-Rendón. 2010. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16: 183-187.
- Larqué-Saavedra, A. 1978. The antitranspirant effect of acetylsalicylic acid on *Phaseolus vulgaris* L. *Physiol. Plant* 43: 126-128.
- López T., R., V. Camacho R., y M. A. Gutiérrez C. 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. *Terra Latinoam.* 16: 43-48.
- Martín-Mex, R., R. López-Gutiérrez, J. Medina-Arceo, J. Cruz-Campos, A. Nexticapan-Garcés, F. González-Rodríguez, y A. Larqué-Saavedra. 2004. Incremento en la productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por aspersiones de ácido salicílico. *Primera Convención Mundial del chile.* León, Guanajuato, México. pp: 326.
- Martín M., R., A. Nexticapan G., L. Vega M., A. Baak P., y A. Larqué S. 2005. Efecto del ácido salicílico en la floración y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Segunda Convención Mundial del chile.* Zacatecas, Zacatecas, México. pp: 325-326.
- Martín-Mex, R., A. Nexticapan-Garcéz, R. Herrera-Tuz, S. Vergara-Yoisura, y A. Larqué-Saavedra. 2012. Efecto positivo de aplicaciones de ácido salicílico en la productividad de papaya (*Carica papaya*). *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 18: 1637-1643.
- Martín-Mex, R., A. Nexticapan-Garcéz, and A. Larqué Saavedra. 2013. Potential benefits of salicylic acid in food production. *In: Hayat S., A. Ahmad, and M. N. Alyemeni (eds). Salicylic Acid.* Springer publishers, Dordrech, The Netherlands. pp: 299-213.
- Mutlu, S., Ö. Karadagoglu, Ö. Atici, and B. Nalbantoglu. 2013. Protective role of salicylic acid applied before cold stress on antioxidative system and protein patterns in barley apoplast. *Biol. Plant* 57: 507-513.
- Pacheco, A. C., C. da Silva C., E. S. da Silva F., and A. Alemán C. 2013. Salicylic acid-induced changes to growth, flowering and flavonoids production in marigold plants. *Glob. J. Med. Plant Res.* 7: 3158-3163.
- Piñeros-Castro, Y., A. Otálvaro-Álvarez, y M. Velásquez-Lozano. 2009. Efecto de la aplicación de elicitores sobre la producción de 4B-hidroxiwithanólido E, en raíces transformadas de *Physalis peruviana* L. *Universitas Scientiarum* 14: 23-28.
- Pirasteh-Anosheh, H., G. Ranjbar, Y. Emam, and M. Ashraf. 2014. Salicylic-acid-induced recovery ability in salt-stressed *Hordeum vulgare* plants. *Turk. J. Bot.* 38: 112-121.
- Qados, A. M. S. A. 2015. Effects of salicylic acid on growth, yield and chemical contents of pepper (*Capsicum annum*

- L.) plants grown under salt stress conditions. *Intl J. Agri. Crop Sci.* 8: 107-113.
- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annu. Rev. Plant physiol. Plant Mol. Biol.* 43: 439-463.
- Rivas-San Vicente, M., and J. Plasencia. 2011. Salicylic acid beyond: its role in plant growth and development. *J. Exp. Bot.* 1: 1-18.
- Rodrigues-Brandao, I., A. Moraes K., A. Millech E., M. Conceicao L., L. Amarate, J. A. Peters, and E. J. Bolacel B. 2014. Salicylic acid on antioxidant activity and betacyanin in production from leaves of *Alternanthera tenella*. *Ciencia Rural* 44: 1893-1898.
- Sánchez-Chávez, E., R. Barrera-Tovar, E. Muñoz-Márquez, D. L. Ojeda-Barrios, y A. Anchondo-Nájera. 2011. Efecto del ácido salicílico sobre biomasa, actividad fotosintética, contenido nutricional del chile jalapeño. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17: 63-66.
- Sandoval-Rangel, A., A. Benavides-Mendoza, M. A. Alvarado-Vázquez, R. Foroughbakhch-Pournavab, M. A. Núñez-González, y V. Robledo-Torres. 2011. Influencia de ácidos orgánicos sobre el crecimiento, perfil bromatológico y metabolitos secundarios en chile piquín. *Terra Latinoam.* 29: 395-401.
- SAS, 2004. Statistical Analysis System Institute. SAS Proceeding Guide, Version 8.1. SAS Institute. Cary, NC. USA
- Sayede, H. E. A., and H. M. Mujahed. 2016. Exogenous application of salicylic acid for stimulates germination, growth and yield production of wheat (*Triticum aestivum* L.) plant under Water Stress. *Int. J. Life Sci.* 5: 88-104.
- Shi, S., M. Pan, T. Lu, H. Chen, M. Zhu, and J. Liu. 1999. Analysis of salicylic acid induced proteins in rice. *Tsinghua Sci. Technol.* 4: 519-1523.
- Singh, P. K., and V. K. Chaturvedi 2012. Effects of salicylic acid on seedling growth and nitrogen use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Biosyst.* 146: 302-308.
- Singh, A. P., G. Dixit, S. Mishra, S. Dwivedi, M. Tiwari, S. Mallick, V. Pandey, P. K. Trivedi, D. Chakrabarty, and R. D. Tripathi. 2015. Salicylic acid modulates arsenic toxicity by reducing its root to shoot translocation in rice (*Oryza sativa* L.). *Front. Plant Sci.* 6: 1-28.
- Singh, P. K., S. K. Shahi, and A. P. Singh. 2015a. Effects of salt stress on physico-chemical changes in maize (*Zea mays* L.) plants in response to salicylic acid. *Indian J. Plant Sci.* 4: 2319-3824.
- Tavares L. C., C. Araújo R., S. de Olivera, A. Pich B., and F. Amaral V. 2014. Treatment of rice seeds with salicylic acid: seed physiological quality and yield. *J. Seed Sci.* 36: 356-356.
- Tucuch H., C. J., G. Alcántar G., y A. Larqué S. 2015. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de la raíz y biomasa total de plántulas de trigo. *Terra Latinoam.* 33: 63-68.
- Tucuch-Haas, C. J., G. Alcántar-González, V. H. Volke-Haller, Y. Salinas-Moreno, L. I. Trejo-Téllez, y A. Larqué-Saavedra. 2016. Efecto del ácido salicílico sobre el crecimiento de raíz de plántulas de maíz. *Rev. Mex. Ciencias Agric.* 7: 709-716.
- Vazirimehr, M. R., and K. Rigi. 2014. Effect of salicylic acid in agriculture. *Int. J. Plant Anim. Environ. Sci.* 4: 291-296.
- Villanueva-Couoh, E., G. Alcántar-González, P. Sánchez-García, M. Soria-Fregoso, y A. Larqué-Saavedra. 2009. Efecto del ácido salicílico y dimetilsulfóxido en la floración de *Chrysanthemum morifolium* (Ramat) Kitamura en Yucatán. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15: 25-31.
- Zamaninejad, M., S. K. Khorasani, M. J. Moeini, and A. R. Heidarian. 2013. Effect of salicylic on morphological characteristics, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) under drought condition. *Eur. J. Exp. Bio.* 3: 153-161.