

Efecto del ácido salicílico sobre el crecimiento de raíz de plántulas de maíz*

Effect of salicylic acid on growth root maize seedlings

César J. Tucuch-Haas¹, Gabriel Alcántar-González¹, Victo Hugo Volke-Haller¹, Yolanda Salinas-Moreno², Libia I. Trejo-Téllez¹ y Alfonso Larqué-Saavedra^{3§}

¹Colegio de Postgraduados- Edafología. Carretera Federal México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P.56230. Tel: 01 595 952 02 00. (tucuch.cesar@colpos.mx; alcantar@colpos.mx; vvolke@colpos.mx; tlibia@colpos.mx). ²Campo Experimental Valles Altos de Jalisco-INIFAP. Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno, km. 8. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. C. P. 47600. Tel: 01 378 782 46 38. (salinas.yolanda@inifap.gob.mx). ³Recursos Naturales-Centro de Investigación Científica de Yucatán Chuburna de Hidalgo Mérida, Yucatán, México. C. P. 97200. Tel: 01 999 942 83 30. [§]Autor para correspondencia: larque@cicy.mx.

Resumen

Se presentan los resultados obtenidos en plántulas de maíz (*Zea mays*), de dos experimentos independientes en los que se evaluó el efecto en el crecimiento de la raíz y del vástago por la aplicación foliar de concentraciones de ácido salicílico (AS) (0.01, 0.1 y 1 μ M). Las plántulas dispuestas completamente al azar con siete repeticiones se cultivaron en vasos de unicely en tubos de PVC, con agrolita como sustrato, en dos condiciones ambientales. En el experimento en cuarto de crecimiento el tratamiento con 1 μ M de AS incrementó significativamente la longitud de la raíz en 30.6% y el de 0.1 μ M de AS su volumen en 24.7% en comparación con el control. En el experimento en condiciones de cielo abierto el tratamiento con 0.1 μ M de AS incrementó significativamente la longitud de raíz en 18% y en 35% su peso fresco en comparación con el control. Esta concentración también incrementó significativamente la biomasa fresca total de las plántulas hasta 42%.

Palabras clave: *Zea mays* L., ácido salicílico, biomasa, gramíneas, plántulas, raíz.

Abstract

The results obtained in maize seedlings (*Zea mays*), two independent experiments in which the effect was evaluated effect on the growth of root and shoot by foliar application of concentrations of salicylic acid (AS) (0.01, 0.1 and 1 μ M). The Seedlings completely randomly arranged with seven repetitions were cultured in foam cups and PVC pipes, with perlite as substrate, two environmental conditions. In the experiment in growth room with 1 μ M treatment of AS significantly increased root length in 30.6% and 0.1 μ M of AS 24.7% in volume compared to the control. In the experiment in open sky conditions treatment with 0.1 μ M of AS significantly increased root length by 18% and 35% fresh weight compared with the control. This concentration also significantly increased total fresh biomass of seedlings up to 42%.

Keywords: *Zea mays* L., biomass, grasses, salicylic acid, seedling root.

* Recibido: enero de 2016
Aceptado: abril de 2016

Introducción

El ácido salicílico (AS) es un compuesto fenólico que se encuentra de forma natural en numerosas especies vegetales y en la actualidad es considerada como una hormona vegetal (Raskin, 1992, 1992a). Aplicaciones de bajas concentraciones de AS principalmente en etapa de plántula, regulan diversos procesos fisiológicos y bioquímicos que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas (Larqué-Saavedra y Martín-Mex, 2007; Hayat *et al.*, 2010). Estudios realizados en una gran variedad de plantas, han demostrado que el AS incrementa la respuesta al control de patógenos e induce resistencia a enfermedades (Rivas-San Vicente y Plasencia, 2011) y al estrés (térmico, hídrico y salino) (Rivas-San Vicente y Plasencia, 2011) (Joseph *et al.*, 2010); acelera la floración (Martín-Mex *et al.*, 2012); regula la fotosíntesis y la respiración (Joseph *et al.*, 2010; Hayat *et al.*, 2010); e incrementa la biomasa aérea (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009) y de raíz (Martín-Mex *et al.*, 2013).

En una revisión hecha por Vazirimehr y Rigi (2014) de trabajos publicados con diferentes cultivos de interés agrícola (maíz, trigo, soya, pepino y tomate), encontraron que el AS estimula e incrementa el contenido de clorofila, flavonoides, minerales, área foliar y peso seco de la planta y de igual manera regula la tasa de fotosíntesis, contenido de agua en las hojas y funciones de la membrana. El AS afecta el crecimiento de la raíz (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998) induciendo cambios en la longitud, peso, perímetro, área (Villanueva-Cohuo *et al.*, 2009; Larqué-Saavedra *et al.*, 2010) y morfología de la raíz (Echeverría-Machado *et al.*, 2007). Esta cascada de respuestas pueden ser las responsables del incremento en el rendimiento de frutos encontrada en *Lycopersicon esculentum* Mill. (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010), *Capsicum annum* (Elwan y El-Hamahmy, 2009; Sánchez-chávez *et al.*, 2011), *Caricapapaya* (Martín-Mex *et al.*, 2012) *Capsicum chinense* y *Cucumis sativus* (Martín-Mex *et al.*, 2013), por citar algunos ejemplos.

Por otro lado, especialmente en gramíneas se ha reportado que al embeber semillas de trigo en una solución de 0.01 mM de AS se incrementa la actividad de la nitrato reductasa, el número de hojas y materia seca y fresca por planta (Hayat *et al.*, 2005); mientras que con 0.5 mM de AS se presenta una mayor acumulación de proteínas, azúcares y minerales en la planta bajo condiciones de estrés por sequía (El Tayeb y Ahmed, 2010). En este mismo contexto Tucuch *et al.* (2015) mencionan que con 1 μ M de AS asperjado al dosel en etapa de plántula, hay un aumento significativo en el peso fresco

Introduction

The salicylic acid (AS) is a phenolic compound found naturally in many plant species and today is regarded as a plant hormone (Raskin, 1992, 1992a). Applications of low concentrations of AS mainly in seedling stage, regulate various physiological and biochemical processes that affect the growth and development of plants (Larqué-Saavedra and Martín-Mex, 2007; Hayat *et al.*, 2010). Studies in a variety of plants, have shown that AS increases the response to control pathogens and induces disease resistance (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011) and stress (heat, water and salt) (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011) (Joseph *et al.*, 2010); accelerates flowering (Martín-Mex *et al.*, 2012); regulates photosynthesis and respiration (Joseph *et al.*, 2010; Hayat *et al.*, 2010); and increases the aboveground biomass (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009) and root (Martín-Mex *et al.*, 2013).

In a review by Vazirimehr and Rigi (2014) published with different crops of agricultural interest (corn, wheat, soybean, cucumber and tomato) work, they found that the AS stimulates and increases the content of chlorophyll, flavonoids, minerals, leaf area dry weight of the plant and similarly regulates the rate of photosynthesis, water content in leaves and membrane functions. AS affects root growth (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998) inducing changes in the length, weight, perimeter, area (Villanueva-Cohuo *et al.*, 2009; Larqué-Saavedra *et al.*, 2010) and morphology root (Machado-Echeverría *et al.*, 2007). This cascade of responses may be responsible for the increase in yield of fruits found in *Lycopersicon esculentum* Mill (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010), *Capsicum annum* (Elwan and El-Hamahmy, 2009; Sánchez-Chavez *et al.*, 2011), *Caricapapaya* (Martín-Mex *et al.*, 2012) *Capsicum chinense* and *Cucumis sativus* (Martín-Mex *et al.*, 2012), to name a few examples.

Furthermore, particularly in grasses it has been reported that the imbibing wheat seeds in a solution of 0.01 mM of AS activity is incremented nitrate reductase, leaf number and fresh and dry matter per plant (Hayat *et al.*, 2005); while with 0.5 mM of AS greater accumulation of proteins, sugars and minerals in the plant under drought stress conditions (El Tayeb and Ahmed, 2010) is presented. In this context Tucuch *et al.* (2015) mention that 1 μ M of AS canopy sprinkled the seedling stage, there is a significant increase in fresh root weight, plant height and biomass and fresh whole-Tejeda Lopez *et al.* (1998) found that when applying AS (0.1 mM) on a leaf at the beginning of fertilization, the yield in seed production is raised to 15%. Corn some work done under salt

de la raíz, altura de la planta y biomasa fresca total y López-Tejeda *et al.* (1998) encontraron que al aplicar AS (0.1 mM) de forma foliar al inicio de la fecundación, el rendimiento en la producción de semillas es elevado hasta 15%. En maíz algunos trabajos realizados bajo condiciones de estrés salino y no salino, sugieren que esta molécula participa en la resistencia al estrés por salinidad, induce el incremento de la biomasa fresca y seca total (Gunes *et al.*, 2007; Khodary, 2004) y estimula una mayor tasa fotosintética (Tucuch-Haas *et al.*, 2015).

El maíz es uno de los alimentos básicos de la población mexicana (Morris y López, 2012), estimándose que el 59% de la energía que se requiere en la vida cotidiana son obtenidas de este grano (Sierra-Macías *et al.*, 2004). En los últimos años del presente siglo, el aumento de la población ha traído consigo el incremento en la demanda de este cereal, de tal forma que los rendimientos no son suficientes, importándose aproximadamente 30.5% del total que se consume en el país (Morris y López, 2012), lo que ha llevado a la búsqueda de nuevas alternativas que contribuyan en la producción.

Con los antecedentes antes mencionados y por la importancia del cultivo, el presente estudio se realizó con plántulas de una raza de maíz de la península de Yucatán, con el objeto de evaluar el efecto de aspersiones de bajas concentraciones de AS sobre el tamaño de la raíz.

Metodología

Para la presente investigación se utilizaron semillas de maíz criollo conocida localmente como Xmejen-naal (Nal-tel x Tuxpeño) proporcionada por un agricultor del estado. Se establecieron dos experimentos independientes en esta gramínea con el objeto de evaluar el efecto de aspersiones, con bajas concentraciones, de ácido salicílico (AS) al dosel de las plántulas en el tamaño de la raíz.

Ambos experimentos se desarrollaron durante el mes de septiembre del 2013 en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, el primer experimento se llevó a cabo en un cuarto de crecimiento vegetal, con un fotoperiodo de 12 h luz/12 oscuridad, con un flujo fotónico de $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y temperatura de $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Las semillas germinaron y las plántulas crecieron en agrolita contenidas en vasos de unicel con capacidad de 1 L. El segundo experimento se estableció en condiciones de cielo abierto con una temperatura promedio de $28 \text{ }^\circ\text{C}$ y precipitación de 13 mm. Las semillas

stress conditions and non-saline, suggest that this molecule is involved in resistance to salt stress induces increased fresh biomass and total dry (Gunes *et al.*, 2007; Khodary, 2004) stimulates greater photosynthetic rate (Tucuch-Haas *et al.*, 2015).

Corn is one of the staples of the Mexican population (Morris and Lopez, 2012), estimated that 59% of the energy required in everyday life are obtained from this grain (Sierra *et al.*, 2004). In the last years of this century, the population increase has led to the increased demand for cereal, so that yields are not enough, be imported approximately 30.5% of the total consumed in the country (Morris and Lopez, 2012), which has led to the search for new alternatives that contribute to production.

With the above and the importance of culture background, the present study was carried out with seedlings of a race of corn Yucatan Peninsula, in order to evaluate the effect of spraying low concentrations of AS on the size of the root.

Methodology

For this investigation landrace seed known locally as Xmejen-naal (Nal-tel x Tuxpeño) provided by a farmer of the state they were used. The two independent experiments in this grass in order to evaluate the effect of spraying, with low concentrations of salicylic acid (AS) to the canopy in the seedling root length were established.

Both experiments were conducted during the month of September 2013 at the Center for Scientific Research of Yucatan, the first experiment was conducted in a quarter of plant growth, with a photoperiod of 12 h light/12 dark, with a photonic flow $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and temperature of $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. The seeds germinated and seedlings grown in perlite contained in foam cups with a capacity of 1 L. The second experiment was set in open sky conditions with an average temperature of $28 \text{ }^\circ\text{C}$ and rainfall of 13 mm. The seeds were germinated and seedlings grown in perlite contained in PVC pipe 4 cm diameter and 23 cm long. Seedlings of both experiments were watered in the morning with $20 \text{ mL plant}^{-1} \text{ day}^{-1}$ of distilled water.

The AS concentrations tested were 0.01, 0.1 and $1 \mu\text{M}$ of AS and control that was only applied water, it should be mentioned that under field conditions for treatment 0.01

se germinaron y las plántulas crecieron en agrolita contenida en tubos de PVC de 4 cm de diámetro y 23 cm de longitud. Las plántulas de ambos experimentos fueron regadas por las mañanas con 20 mL planta⁻¹ día⁻¹ de agua destilada.

Las concentraciones de AS analizadas fueron 0.01, 0.1 y 1 μM de AS y un control al que solo se le aplicó agua, es preciso mencionar que bajo condiciones de campo para el tratamiento 0.01 μM , no se obtuvieron datos. Para la preparación de las soluciones de AS se siguió la metodología descrita por Gutiérrez-Coronado y colaboradores (1998). Las aspersiones se hicieron al dosel de las plántulas cuando estas presentaron la primera hoja completa con lígula, durante cinco días consecutivos entre las 8-9 h. Cinco o diez días posteriores a la última aplicación de AS, las plántulas de ambos experimentos, fueron cosechadas para realizar las mediciones de la raíz y del vástago. La medición de longitud de la raíz y altura de la planta se realizó con una regla milimétrica; el peso fresco de la raíz y la biomasa fresca total, con una balanza analítica (Sartorius, BP221S); el volumen de la raíz con una probeta graduada, utilizando el método por desplazamiento; y por último el diámetro del tallo con un vernier digital (Truper, CALDI-6MP).

En ambos experimentos se empleó un diseño estadístico completamente al azar con siete repeticiones por tratamiento, cada repetición constó de una planta. Los resultados se analizaron mediante ANOVA y cuando se detectaron diferencias estadísticas, se realizó la comparación de medias por el método de Tukey ($P=0.05$) con el paquete estadístico SAS.

Discusiones

Los datos de la longitud, peso fresco y volumen de la raíz de ambos experimentos se presentan en la Figura 1. Como se puede apreciar el AS favoreció el incremento de la longitud en ambos casos en comparación con el control. En condiciones controladas (cuarto de crecimiento), la concentración 1 μM de AS incrementó significativamente la longitud en 30.6% respecto al control, en tanto que el tratamiento de 0.1 μM de AS aumentó la longitud en 19.3% y con el tratamiento de 0.01 μM de AS no se detectó efecto alguno. Por otra parte, el tratamiento de 1 μM de AS favoreció en 7.4% el peso fresco de la raíz en comparación con el control, aunque tal diferencia no fue significativa. El volumen de la raíz, de las plántulas tratadas con 0.1 μM de AS se incrementó 24.7% y con 1 μM de AS 14.9%, respecto al control.

μM , no data were collected. For the preparation of solutions AS the methodology described by Gutiérrez-Coronado *et al.* (1998) he was followed. Sprays were made to the canopy of the seedlings when they presented the first full leaf with ligule, for five consecutive days between 8-9 h. Five or ten days after the last application of AS, seedlings of both experiments were harvested for measurements of root and shoot. Measuring root length and plant height was performed with a millimeter ruler; fresh root weight and total fresh biomass, with an analytical balance (Sartorius, BP221S); the volume of the root with a graduated cylinder using the method displacement; and finally stem diameter with a digital vernier (Truper, CALDI-6MP).

In both experiments a completely randomized statistical design with seven replicates per treatment, each group contained repetition of a plant was used. The results were analyzed by ANOVA and when statistical differences were detected, the comparison of means was performed by the method of Tukey ($p=0.05$) with the SAS statistical package.

Discussions

The data length, fresh weight and volume of the root of both experiments are presented in Figure 1. As shown AS favored length increased in both cases compared to control. Under controlled conditions (growth chamber), concentration 1 μM of AS significantly increased length in 30.6% compared to control, whereas treatment of 0.1 μM of AS increase the length in 19.3% and treatment of 0.01 μM of AS no effect was detected. Moreover, treatment of 1 μM of AS 7.4% favored in fresh root weight compared with the control, although this difference was not significant. The volume of the root-treated seedlings 0.1 μM of AS increased 24.7% and 1 μM of AS 14.9% compared to control.

In the open sky conditions AS increase the root length significantly by 18% when 0.1 μM of AS and 10% was sprayed, although not significantly, with 1 μM treatment of AS compared to the control. The fresh root weight (Figure 1) was significantly increased up to 35% with 0.1 μM of AS compared to control, with 1 μM of AS favored it by 19%, which was not significant. No significant differences in the root volume in any of the treatments were found AS although the stimulation pattern by the effect of AS compared to the control was maintained. Values of 15.5 and 13% increase over control for the effect of 1 μM and 0.1 μM of AS were recorded.

En condiciones de cielo abierto el AS incremento la longitud de la raíz significativamente en 18% cuando se asperjó 0.1 μM de AS y de 10%, aunque no significativo, con el tratamiento de 1 μM de AS en comparación con el control. El peso fresco de la raíz (Figura 1) se incrementó significativamente hasta en 35% con 0.1 μM de AS en comparación con el control, mientras que con 1 μM de AS lo favoreció en 19%, que no fue significativo. No se encontraron diferencias significativas en el volumen de la raíz en ninguno de los tratamientos de AS aunque el patrón de estimulación por el efecto del AS en comparación con el control se mantuvo. Valores de 15.5 y 13% de incremento sobre el control por el efecto de 1 μM y 0.1 μM de AS fueron registrados.

Se puede apreciar en las gráficas el efecto que ejerce el AS en el crecimiento de la raíz en esta gramínea a pesar que las respuestas de los bioensayos nos señala un patrón ligeramente diferente en la curva dosis respuesta. El efecto encontrado en el presente estudio, en ambos experimentos, concuerda con lo ya reportado en otras especies como en *Glycine max* (L.) (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998), *Lycopersicum esculentum* (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010), *Triticum aestivum* (Arfan *et al.*, 2007), *Zea mays* bajo condiciones de estrés salino (Khodary, 2004), *Catharanthus roseus* (Echeverría-Machado *et al.*, 2007) y *Chrysanthemum morifolium* (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009). Aunque se desconoce el mecanismo de acción de cómo es que el AS aplicado en el dosel de las plántulas estimula el desarrollo de las raíces, datos publicados señalan que el AS promueve la división celular del meristemo apical de la raíz (Shakirova *et al.*, 2003), así como el aumento del tamaño de la cofia y la aparición de raíces laterales (Echeverría-Machado *et al.*, 2007), lo que pudo ocurrir en el presente experimento.

Otras variables que fueron estimadas en el dosel de las plántulas, en los dos experimentos reseñados en párrafos anteriores se presentan en el Cuadro 1. Se puede apreciar que la altura de la planta se incrementa en 22.1% con el tratamiento de 1.0 μM de AS en tanto que con 0.1 μM de AS dicho incremento fue de 23% respecto al control. De manera semejante el diámetro del tallo se estimuló en 12.3% y en 19% en comparación con el control con los tratamientos 1.0 y 0.1 μM de AS respectivamente, diferencias sin embargo, que no fueron significativas. A diferencia de las variables anteriores, el peso fresco de la biomasa de las plántulas presentó un incremento significativo destacándose la concentración 0.1 μM de AS con un aumento de hasta 42% en el experimento desarrollado en condiciones de campo. Este efecto no fue detectado en el experimento desarrollado en el cuarto de crecimiento.

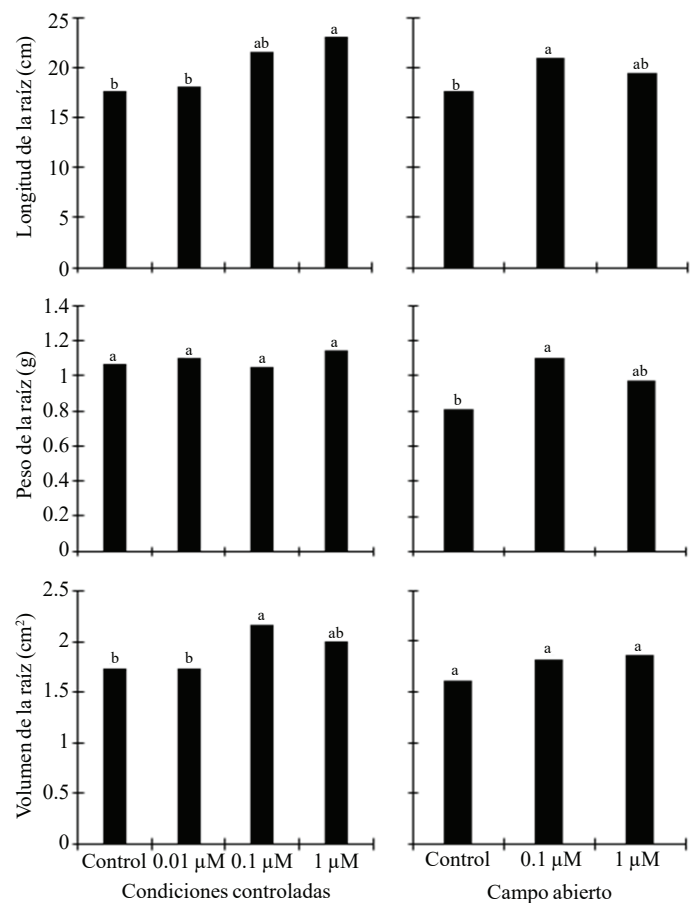


Figura 1. Efecto de diferentes concentraciones de ácido salicílico asperjado a plántulas de maíz en la longitud, peso fresco y volumen de la raíz. Cada bloque es la media de 7 individuos. Medias con letras diferentes significan que son significativamente diferentes.

Figure 1. Effect of different concentrations of salicylic acid to corn seedlings sprayed on the length, fresh weight and root volume. Each block is the average of seven individuals. Means with different letters mean they are significantly different.

It can be seen in the graphs the effect that the AS on root growth in this grass although responses bioassay shows us a slightly different pattern in the dose response curve. The effect found in the present study, in both experiments, consistent with what has already been reported in other species as *Glycine max* (L.) (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998), *Lycopersicum esculentum* (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010), *Triticum aestivum* (Arfan *et al.*, 2007), *Zea mays* under salt stress conditions (Khodary, 2004), *Catharanthus roseus* (Echeverría-Machado *et al.*, 2007) and *Chrysanthemum morifolium* (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009). Although unknown the mechanism of action of

Cuadro 1. Aspersiones con diferentes concentraciones de ácido salicílico, en el diámetro, altura y biomasa fresca total de plántulas de maíz, cultivadas en cuarto de crecimiento (CC) o en cielo abierto (CA).

Table 1. Spray with different concentrations of salicylic acid in the diameter, height and total fresh biomass of corn seedlings grown in growth chamber (CC) or in open air (CA).

Tratamientos	Altura de planta (cm)		Diámetro del tallo (mm)		Biomasa fresca total (g) (raíz y parte aérea)	
	CC	CA	CC	CA	CC	CA
Control	13.7 a	32.0 a	2.34 a	1.94 a	1.70 ab	1.83 b
0.01µM	14.3 a		2.26 a		1.50 b	
0.1µM	14.5 a	39.4 a	2.26 a	2.31 a	1.58 ab	2.60 a
1µM	12.9 a	39.1 a	2.31 a	2.18 a	1.77 a	2.27 ab

Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $p=0.05$. Cada valor es la media de 7 individuos. Las determinaciones fueron realizadas 14 días después de la siembra en las plántulas crecidas en CC y 20 días para las plántulas crecidas en CA.

Los resultados del efecto del AS en el dosel de las plantas reportadas en el presente estudio coinciden con lo publicado por Khodary (2004), quien reporta diferencias significativas en estas mismas variables para maíz desarrollado en condiciones de salinidad en respuesta a aplicaciones de 10^{-2} M de AS. El mismo efecto se ha reportado en otras especies como *Carica papaya* (Matin-Mex *et al.*, 2012), *Lycopersicum esculentum* (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010) y *Chrysanthemum morifolium* (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009), en los que se reportan incrementos en la altura y diámetro del tallo. Sin embargo debe de señalarse que nuestros datos difieren de lo publicado por Khan *et al.* (2003), quienes reportan que no encontraron diferencias significativas en altura y biomasa fresca total en maíz asperjado con 1.0 y 0.01 mM de AS en plantas crecidas en suelo en condiciones de invernadero.

Los resultados del presente estudio principalmente los relacionados con el efecto en longitud y volumen de la raíz, órgano de vital importancia para todo organismo vegetal, apoyan la propuesta de que aplicaciones foliares de AS, en etapa de plántula, favorecerían una mayor absorción de iones del suelo debido a que el área de exploración de la planta es mayor, planteamiento que fue publicado por Larqué-Saavedra y Martín-Mex (2007), quienes mencionan que uno de los mecanismos por el cual se incrementa la bioproductividad con AS, es a través de la modificación de la raíz. De manera semejante está sustentada por los datos publicados por Gunes *et al.* (2007), El Tayeb y Ahmed (2010); Sánchez-Chávez *et al.* (2011) y Fahad y Bano (2012) quienes han reportado incrementos en el contenido de iones esenciales en los tejidos de plantas tratadas con AS.

how the AS applied in the canopy seedling stimulates root development, published data indicate that the AS promotes cell division apical root meristem (Shakirova *et al.*, 2003), as well as increasing the size of the cap and the emergence of lateral roots (Echeverria-Machado *et al.*, 2007), which could happen in this experiment.

Other variables that were estimated in the canopy of seedlings in the two experiments reported in previous paragraphs are presented in Table 1. It can be seen that the plant height increases by 22.1% with the treatment of 1.0 µM of AS in whereas with 0.1 µM of AS this increase it was 23% compared to control. Similarly stem diameter was stimulated in 12.3% and 19% compared to control treatments with 1.0 and 0.1 µM of AS respectively, differences however, were not significant. Unlike the above variables, the fresh weight of biomass of seedlings showed a significant increase in the concentration highlighting 0.1 µM of AS with an increase of up to 42% in the experiment developed under field conditions. This effect was not detected in the experiment developed in the growth room.

The results of the effect of AS in the canopy of the plants reported in this study are consistent with published by Khodary (2004), who reported significant differences in these variables for corn developed in conditions of salinity in response to applications 10^{-2} M of AS. The same effect has been reported in other species as *Carica papaya* (Matin-Mex *et al.*, 2012), *Lycopersicum esculentum* (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010) and *Chrysanthemum morifolium* (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009), which reported increases in height and stem diameter. However it should be noted that our data differ from those published by Khan *et al.* (2003), who report

Estos resultados confirman la importancia de esta molécula como un regulador de crecimiento vegetal y pone en evidencia su uso potencial para incrementar la bioproduktividad de las gramíneas, tal como lo ha sugerido Larqué-Saavedra y Martín-Mex (2007).

Conclusión

Aspersiones de bajas concentraciones de ácido salicílico a plántulas de maíz incrementan el tamaño de sus raíces, independientemente de las condiciones de cultivo.

Agradecimientos

Al CONACYT por la beca de doctorado otorgada a César Tucuch y a Silvia Vergara por su apoyo en la realización del presente estudio.

Literatura citada

- 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.* 164(6):687-694.
- Echevarría-Machado, I.; Escobedo, R. M. and Larqué-Saavedra, A. 2007. Responses of transformed *Catharanthus roseus* roots to femtomolar concentrations of salicylic acid. *Plant Physiol. Biochem.* 45(6):501-507.
- El Tayeb, M. A. and Ahmed, A. N. 2010. Response of wheat cultivars to drought and Salicylic acid. *Am. Eur. J. Agron.* 3(1):01-07.
- Elwan, M. W. M and El-Hamahmy, M. A. M. 2009. Improved productivity and quality associated with salicylic acid application in greenhouse pepper. *Scientia Hort.* 122(4):521-526.
- Fahad, S. and Bano, A. 2012. Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize grown in saline area. *Pak. J. Bot.* 44(4):1433-1438.
- Gunes, A.; Inal, A.; Alpaslan, M.; Eraslan, F.; Bagci, E. G. and Cicek, N. 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(6):728-736.
- Gutiérrez-Coronado, M. A.; Trejo-López, C. and Larqué-Saavedra, A. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiol. Biochem.* 36(8):563-565.
- Haas, C. J. T.; González, G. A. y Saavedra, A. L. 2015. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de la raíz y biomasa total de plántulas de trigo. *Terra Latinoam.* 33(1):63-68.

that found no significant differences in overall height and biomass fresh corn sprinkled with 1.0 and 0.01 μM of AS in plants grown in soil under greenhouse conditions.

The results of this study mainly related to the effect on length and root volume, organ of vital importance for the whole plant organism, support the proposal that foliar applications of AS in seedling stage, favor a greater absorption of the ions soil because the scanning area of the plant is greater, an approach that was published by Larque-Saavedra and Martin-Mex (2007), who mentioned that one of the mechanisms by which bio-productivity increases with AS, is through modification of the root. Similarly it is supported by data published by Gunes *et al.* (2007), and Ahmed El Tayeb (2010); Sanchez-Chavez *et al.* (2011) and Fahad and Bano (2012) who have reported increases in the content of essential ions in the tissues of plants treated with AS.

These results confirm the importance of this molecule as a plant growth regulator and highlights its potential use to increase bio-productivity of grasses, as has suggested Larque-Saavedra and Martin-Mex (2007).

Conclusion

Spraying of low concentrations of salicylic acid to increase corn seedlings rooted size, regardless of the culture conditions.

End of the English version



- Hayat, Q.; Hayat, S.; Irfan, M. and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environ. Exp. Bot.* 68(1):14-25.
- Hayat, S.; Fariduddin, Q.; Ali, B. and Ahmad, A. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agron. Hungarica* 53(4):433-437.
- Joseph, B.; Jini, D. and Sujatha, S. 2010. Insight into role of exogenous salicylic acid on plants grown under salt environment. *Asian J. Crop Sci.* 2(4):226-235.
- Khan, W.; Prithviraj, B. and Smith, D. L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *J. Plant Physiol.* 160(5):485-492.
- Khodary, S. E. A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *Int. J. Agric. Biol.* 6(1):5-8.
- Larqué-Saavedra, A. and Martín-Mex, R. 2007. Effects of salicylic acid on the bioproduktividad of the plants. *In: Salicylic acid: a plant hormone.* Hayat S. y Ahmad, A. (Eds.). Springer publishers. Dordrecht, Netherlands. 15-23 pp.

- 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.). Rev. Chapingo Ser. Hortic. 16(3):183-187.
- López-Tejeda, R.; Camacho, V. R. y Gutiérrez, C. M. A. 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. Terra Latinoam. 16(1):43-48.
- Martín-Mex, R.; Nexticapan-Garcéz, A. and Larqué-Saavedra, A. 2013. Potential benefits of salicylic acid in food production. *In: salicylic acid*. Hayat, S.; Ahmad, A. y Alyemeni, M. N. (Eds.). Springer publishers. Dordrech, Netherlands. 299-313 pp.
- Martín-Mex, R.; Nexticapan-Garcéz, A.; Herrera-Tuz, R.; Vergara-Yoisura, S. y Larqué-Saavedra, A. 2012. Efecto positivo de aplicaciones de ácido salicílico en la productividad de papaya (*Carica papaya*). Rev. Mex. Cienc. Agríc. 3(8):1637-1643.
- Morris, M. L. y López, P. M. 2012. Impactos del mejoramiento del maíz en América Latina 1966-1997. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Texcoco, Estado de México. 45 p.
- Raskin, I. 1992. Salicylate, a new plant hormone. Plant Physiol. 99(3):799-803.
- Raskin, I. 1992a. Role of salicylic acid in plants. Annual review of plant physiology and plant molecular biology. 43(1):439-463.
- Rivas-San Vicente, M. and Plasencia, J. 2011. Salicylic acid beyond: its role in plant growth and development. J. Exp. Bot. 62(10): 1-18.
- Sánchez-Chávez, E.; Barrera-Tovar, R.; Muñoz-Márquez, E.; Ojeda-Barrios, D. L. y Anchondo-Nájera, A. 2011. Efecto del ácido salicílico sobre biomasa, actividad fotosintética, contenido nutricional del chile jalapeño. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 17(1):63-66.
- Shakirova, F.M.; Sakhabutdinova, A. R.; Bezrukova, M. V.; Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Sci. 164(3):317-322.
- Sierra-Macías, M.; Becerra-Leor, E. N.; Palafox-Caballero, A.; Barrón-Freyre, S.; Cano-Reyes, O.; Zambada-Martínez, A.; Sandoval-Rincón, A. y Romero-Mora, J. 2004. Caracterización de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) con alta calidad de proteína por su rendimiento y tolerancia a pudrición de mazorca en el sureste de México. Rev. Mex. Fitopatol. 22(2):268-276.
- Tucuch-Haas, C.; Alcántar-González, G.; Volke-Haller, H.; Salinas-Moreno, Y.; Trejo-Téllez, L. and Larqué-Saavedra, A. 2015. Photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and chlorophyll content in a maya landrace of maize treated with salicylic acid. Wulfenia J. 22:375-381.
- Vazirimehr, M.; Rigi, K. and Branch, Z. 2014. Effect of salicylic acid in agriculture. Int. J. Plant Anim. Environ. Sci. 4:291-296.
- 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. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 15:25-31.