

Use of Aspirine® (Acetylsalicylic acid) in the yield of grain of corn crop

Uso de Aspirina® (Ácido acetilsalicílico) en el rendimiento del grano del cultivo de maíz

Tucuch-Haas, C. J.¹; Angulo-Castro A.^{2*}, Tucuch-Haas, J. I.³, Mejía-Delgadillo, M. A.², López-Orona, C. A.².

¹Tecnológico Nacional de México/ITS del Sur del Estado de Yucatán, Carretera Muna-Felipe Carrillo Puerto Tramo Oxcutzcab-Akil, Km 41+400, Oxcutzcab, Yucatán, México. ²Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Km.17.5 Carretera Culiacán-Eldorado, 80000 Culiacán, Sinaloa, México. ³Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria. Campo Experimental Mocochoa, Km 25 Carretera Mérida-Motul, Yucatán, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Tucuch-Haas, C. J.; Angulo-Castro A., Tucuch-Haas, J. I., Mejía-Delgadillo, M. A., López-Orona, C. A. (2021). Use of Aspirine® (Acetylsalicylic acid) in the yield of grain of corn crop. *Revista Bio Ciencias* 8, e1035. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1035>



ABSTRACT

Concentrations of 100, 1, 0.01 and 0.0001 μM of acetylsalicylic acid (ASA), using tablets of effervescent Aspirin® (500 mg of ASA) and well water as control, were applied in a foliar way to the canopy of corn plants, with seven days of age, established in field under an experimental design of randomized blocks, to test the tissue sensitivity of this cultivation and grain yield, starting from the premise that it has similar effects to its precursor molecule (salicylic acid). At the time of harvesting, data were collected on length and diameter of the cob, number of grains per row, weight of the seed and cob yield, by experimental plot and hectare. The results of this study indicate that plants were more sensitive to the application of 1 μM of ASA from commercial tablets, promoting a greater vegetative

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: July 17th 2020

Accepted/Aceptado: January 29th 2021.

Available on line/Publicado: February 10th 2021.

RESUMEN

Concentraciones de 100, 1, 0.01 y 0.0001 μM de ácido acetilsalicílico (ASA), proveniente de pastillas de Aspirina® efervescente (500 mg de ASA) y agua de pozo como control, se aplicaron de manera foliar al dosel de plantas de maíz, con siete días de edad, establecidas en campo bajo un diseño experimental de bloques al azar, para probar la sensibilidad del tejido de este cultivo y rendimiento del grano, partiendo de la premisa, que posee efectos similares a su molécula precursora (ácido salicílico). Al momento de la cosecha se recolectaron datos de longitud y diámetro de la mazorca, número de granos por hilera, peso de la semilla y rendimiento de mazorca, por parcela experimental y hectárea. Los resultados de este estudio indican que las plantas tuvieron mayor sensibilidad a la aplicación de 1 μM de ASA de pastillas comerciales, promoviendo un mayor desarrollo vegetativo, rendimiento del grano, y contenido nutricional (N, P y K) en el grano y tejidos vegetal.

PALABRAS CLAVE

Ácido acetilsalicílico, *Zea mays*, rendimiento de grano.

*Corresponding Author:

A. Angulo-Castro. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Km.17.5 Carretera Culiacán-Eldorado, 80000 Culiacán, Sinaloa, México. E-mail: azareel.angulo@uas.edu.mx

development, grain yield, and nutritional content (N, P and K) in the grain and vegetable tissues.

KEY WORDS

Acetylsalicylic acid, *Zea mays*, grain yield.

Introduction

Currently, corn is the cereal with the highest production worldwide, in which, curiously, Mexico occupies the fifth place (FAOSTAT, 2020a), despite the great importance of its consumption (76 %) (Martínez & Villezca, 2005; Jaramillo *et al.*, 2018) and energy contribution in the Mexican diet (59 %) (Sierra *et al.*, 2004), besides being considered one of the centers of origin and domestication (Carrillo, 2009). Corn production in Mexico since the opening of trade and especially since the North American Free Trade Agreement (NAFTA) has been insufficient to meet domestic demand (Moreno-Sáenz *et al.*, 2016), such that the volume of imports is currently estimated at 36 % (SIAP, 2018; FAOSTAT, 2020b), despite the efforts that have been made to counteract this deficit (Cadet-Díaz & Guerrero-Escobar, 2018), so it is advisable to develop new technologies that contribute to increasing supply.

Salicylic acid (SA), is a secondary metabolite synthesized, naturally, by plants as a defense mechanism against the attack of pathogens and environmental stress (Muthulakshmi & Lingakumar, 2017; Ding & Ding, 2020). However, when supplied exogenously and in low concentrations, it potentiates several physiological and biochemical processes that affect crop yields, suggesting its potential use in agricultural production (Tucuch-Haas *et al.*, 2017a). This is in the same way that its analogue acetylsalicylic acid (ASA), commonly known as aspirin (Shinwari *et al.*, 2018), which, although it has not been identified as a natural plant product, has been used in some research as a substitute for SA, without any risk of phytotoxicity and with similar effects (Raskin, 1992).

Answers such as the control in the opening and closing of the stomatal that regulate the rate of perspiration (Larqué-Saavedra, 1978; 1979), have been documented

Introducción

En la actualidad, el maíz es el cereal con mayor producción a nivel mundial, en la cual, curiosamente, México ocupa el quinto lugar (FAOSTAT, 2020a), a pesar de la gran importancia de su consumo (76 %) (Martínez y Villezca, 2005; Jaramillo *et al.*, 2018) y aporte energético en la dieta de los mexicanos (59 %) (Sierra *et al.*, 2004), además de ser considerado uno de los centros de origen y domesticación (Carrillo, 2009). La producción de maíz en México a partir de la apertura comercial y en especial desde el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (NAFTA) ha sido insuficiente para abastecer la demanda interna (Moreno-Sáenz *et al.*, 2016), de tal forma que actualmente se estima que el volumen de importación asciende al 36 % (SIAP, 2018; FAOSTAT, 2020b), a pesar de los esfuerzos que se han realizado para contrarrestar este déficit (Cadet-Díaz & Guerrero-Escobar, 2018), por lo que es conveniente desarrollar nuevas tecnologías que contribuyan a incrementar la oferta.

El ácido salicílico (SA), es un metabolito secundario sintetizado, de forma natural, por las plantas como mecanismo de defensa contra el ataque de patógenos y estrés ambiental (Muthulakshmi & Lingakumar, 2017; Ding & Ding, 2020). Sin embargo, cuando se suministra de forma exógena y en bajas concentraciones, potencializa diversos procesos fisiológicos y bioquímicos que inciden en el rendimiento de los cultivos, sugiriendo su uso potencial en la producción agrícola (Tucuch-Haas *et al.*, 2017a). Esto de la misma forma que su análogo el ácido acetilsalicílico (ASA), comúnmente conocido como aspirina (Shinwari *et al.*, 2018), el cual, aunque no ha sido identificado como un producto vegetal natural, se ha empleado en algunas investigaciones como sustituto de SA, sin ningún riesgo de fitotoxicidad y con similares efectos (Raskin, 1992).

Respuestas como el control en la apertura y cierre estomático que regulan la tasa de transpiración (Larqué-Saavedra, 1978;1979), han sido documentados ante el suministro de ASA. De igual forma se ha reportado su participación en la protección contra daños causados por patógenos (White,1979; Mills & Wood,1983) debido a su capacidad para producir proteínas (PR) relacionadas con la patogénesis (Jung *et al.*, 1993), inducir una muerte celular programada (García-Heredia *et al.*, 2008) y actuar como un inductor biótico en la producción de metabolitos secundarios (Godoy-Hernández & Loyola-Vargas, 1996); estas últimas ligadas a la activación de la expresión de

before the supply of ASA. Likewise, it has been reported its participation in the protection against damages caused by pathogens (White, 1979; Mills & Wood, 1983) due to its capacity to produce pathogenesis-related (PR) proteins (Jung et al., 1993), induce a programmed cell death (García-Heredia et al., 2008) and act as a biotic inducer in the production of secondary metabolites (Godoy-Hernández & Loyola-Vargas, 1996); the latter linked to the activation of the expression of genes that regulate biosynthetic pathways (Qin et al., 2014). It has also been suggested to intervene in reducing the impact of environmental stress (Cai et al., 2006; Shinwari et al., 2018) by relieving damage to photosynthetic pigment content, increasing proline content and stimulating the antioxidant system (Daneshmand et al., 2009; Mahmoud, 2019) that inhibits the accumulation of superoxide free radicals and reduces the activity of phenylalanine ammonia-lyase, cinnamyl-alcohol dehydrogenase, and guaiacol peroxidase (Soliman et al., 2018).

In the corn crop (*Zea mays* L.), it has been documented that the supply of SA acts as an effective regulator of several physiological processes that favor plant development (Tucuch-Haas et al., 2016), yield (Tucuch-Haas et al., 2017b) and grain quality (Tucuch-Haas et al., 2017c). It is not known if commercial ASA (Aspirin) tablets express the same response. For this reason, based on the benefits reported for ASA and given the availability, easy acquisition of aspirin tablets and the search for easy application techniques, without having negative repercussions on the environment, this research was developed.

Material and Methods

The experiment was carried out in the town of La Rosita Angostura, Sinaloa, during the agricultural cycle autumn-winter 2017-2018, in a plot of agricultural use (clay texture, EC 1.70 dS m⁻¹ and pH 7.6), whose maximum average relative humidity was 92.80 ± 14.99 and minimum 33.89 ± 12.44, the maximum average temperature was 37.82 ± 8.45 °C and minimum 11.22 ± 6.34 °C. Hybrid corn seed was used, commercially known as Armadillo (Asgrow®). Soil preparation consisted of double subsoiling, cross-harrowing, soil leveling and marking. Planting was carried out on December 8th, 2017 with a precision seed drill at a furrow spacing of 0.80 m and a density of eight seeds per linear meter in incoming soil. Two fertilizations were made with ammonia as a

genes que regulan las rutas biosintéticas (Qin et al., 2014). También se ha sugerido su intervención en la disminución del impacto por estrés ambiental (Cai et al., 2006; Shinwari et al., 2018) mediante el alivio al daño en el contenido de pigmento fotosintético, aumento del contenido de prolina y estimulación del sistema antioxidante (Daneshmand et al., 2009; Mahmoud, 2019) que inhibe la acumulación de radicales libres de superóxido y reduce la actividad de fenilalanina amoníaco liasa, alcohol cinnamílico deshidrogenasa y guaiacol-peroxidasa (Soliman et al., 2018).

En el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se ha documentado que el suministro de SA, actúa como un efectivo regulador de diversos procesos fisiológicos que favorecen el desarrollo de la planta (Tucuch-Haas et al., 2016), el rendimiento (Tucuch-Haas et al., 2017b) y la calidad del grano (Tucuch-Haas et al., 2017c). Se desconoce si las pastillas comerciales de ASA (Aspirina) expresan la misma respuesta. Por tal motivo, con base en los beneficios reportados para ASA y dada la disponibilidad, fácil adquisición de las pastillas de aspirina y la búsqueda de técnicas de fácil aplicación, sin repercutir de manera negativa en el ambiente, se desarrolló la presente investigación.

Material y Métodos

El experimento se desarrolló en la localidad de La Rosita Angostura, Sinaloa, durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2017-2018, en una parcela de uso agrícola (textura arcillosa, CE 1.70 dS m⁻¹ y pH 7.6), cuya humedad relativa promedio máxima fue de 92.80 ± 14.99 y mínima de 33.89 ± 12.44, la temperatura promedio máxima fue de 37.82 ± 8.45 y mínima de 11.22 ± 6.34. Se utilizó semilla de maíz híbrido conocida comercialmente como Armadillo (Asgrow®). La preparación del terreno consistió de un subsoleo doble, un paso de rastra cruzado, nivelación del terreno y marcación. La siembra se realizó el 8 de diciembre de 2017 con una sembradora de precisión a una separación entre surcos de 0.80 m y una densidad de ocho semillas por metro lineal en tierra venida. Se realizaron dos fertilizaciones con amoníaco como fuente de nitrógeno (200 kg ha⁻¹ en pre siembra y 200 kg ha⁻¹ en la etapa fenológica (v6).

Los tratamientos fueron concentraciones de 100, 1, 0.01 y 0.0001 µM de ASA y agua de pozo como control. Estas concentraciones, así como el control, se asperjaron con una fumigadora de mochila (Swissmex®) dirigido a la parte aérea hasta punto de rocío en plantas de maíz establecidas

nitrogen source (200 kg ha⁻¹ in pre-sowing and 200 kg ha⁻¹ in the phenological stage (v6).

The treatments were concentrations of 100, 1, 0.01 and 0.0001 µM ASA and well water as control. These concentrations, as well as the control, were sprayed with a backpack fumigator (Swissmex®) directed to the aerial part up to dew point in corn plants established in the field, during one week, in 24 hours intervals, starting seven days after germination. Bayer branded effervescent soluble Aspirin® tablets containing 500 mg of ASA were used as a source of ASA. To obtain the different ASA concentrations, the molecular weight of the ASA (180,158 g M⁻¹) as well as the concentration and weight of the tablets were taken into account. These were diluted in well water until reaching the desired concentration, and the pH was adjusted to 5.5 with 1N HCL or 1N NaOH to lower or raise the pH of the solution, respectively, and surfactant (TWEEN® 20) was added at 0.1 %.

After 180 days after sowing (end of the experiment) six plants were evaluated at random from each experimental plot. The experimental plot was made up of four eight-meter-long furrows, and the plants evaluated came from the central furrows to avoid errors in the results, due to the contamination of the different treatments. There was collected data on plant height, measured from the base of the stem to the terminal apex; stem diameter, taken at 10 cm from the ground; dry weight of total biomass; length, diameter, weight of the cob and grain yield per plant. An analytical balance (Sartorius®), flexometer and digital vernier (Truper®, Mexico) were used to make the measurements. To determine the nutrient contents of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in plant tissue and grain, a sample was taken from the aerial part of the plants and 100 g of grain from each treatment; these were placed in a forced circulation oven at 70 °C until they reached a constant weight and were ground for laboratory analysis.

The evaluation of the nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) content was carried out under the following methodologies: N was determined by the semi-micro Kjeldahl procedure (Etchevers, 1987). The P was determined by colorimetry of molybdophosphoric complexes reduced with ascorbic acid (AOAC, 1980). The K by flame photometry according to Rodríguez & Rodríguez (2015). For K and P extracts from dry digestion were used. For the estimation of total contents, it was considered the concentrations of each element in the plant tissue and grains, as well as the weights of dry biomass of the aerial part and the grain.

en campo, durante una semana, en intervalos de 24 horas, iniciando a los siete días después de la emergencia. Como fuente de ASA se utilizaron tabletas efervescentes solubles de Aspirina® de la marca Bayer con un contenido de 500 mg de ASA. Para la obtención de las diferentes concentraciones de AAS, se tomó en cuenta el peso molecular del ASA (180.158 g M⁻¹), así como la concentración y peso de las tabletas. Estas fueron diluidas en agua de pozo hasta llegar a la concentración deseada, se les ajustó el pH a 5.5 con HCL 1N o NaOH 1N para bajar o subir respectivamente el pH de la solución y se les añadió surfactante (TWEEN® 20) al 0.1 %.

Después de 180 días después de la siembra (final del experimento) se evaluaron seis plantas al azar de cada parcela experimental. La parcela experimental estuvo conformada por cuatro surcos de ocho metros de largo, y las plantas evaluadas provenían de los surcos centrales para evitar errores en los resultados, por la contaminación de los diferentes tratamientos. Se recabaron datos de altura de planta, medida de la base del tallo hasta el ápice terminal; diámetro de tallo, tomado a los 10 cm del suelo; peso seco de la biomasa total; longitud, diámetro, peso de la mazorca y rendimiento del grano por planta. Para realizar las mediciones se empleó una balanza analítica (Sartorius®), flexómetro y vernier digital (Truper®, México). Para determinar los contenidos nutrimentales de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en tejido vegetal y grano, se tomó una muestra de la parte aérea de las plantas y 100 g de grano, de cada tratamiento; se colocaron en un horno de circulación forzada a 70 °C hasta alcanzar peso constante y se molieron para su análisis en laboratorio.

La evaluación del contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) se realizó bajo las siguientes metodologías: El N se determinó por el procedimiento semi-micro Kjeldahl (Etchevers, 1987). El P por colorimetría de complejos molibdo-fosfóricos reducidos con ácido ascórbico (AOAC, 1980). El K por fotometría de llama según Rodríguez y Rodríguez (2015). Para K y P se utilizaron extractos provenientes de digestión seca. Para la estimación de los contenidos totales, se consideró las concentraciones de cada elemento en el tejido vegetal y granos, así como los pesos de biomasa seca de la parte aérea y del grano.

El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar con cinco repeticiones, cada repetición estuvo conformada por seis plantas. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) y una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) usando SAS.

The experimental design used was a randomized block with five repetitions, each repetition was made up of six plants. The results were analyzed by an analysis of variance (ANOVA) and a Tukey mean comparison test ($p \leq 0.05$) using SAS software.

Results and Discussion

For plant height variable (Figure 1a) a significant increase of 8 to 12 % was observed with respect to the control, where the maximum value was registered with 1 μM , however, between treatments they were not significant, although it can be seen that there is a slight variation between treatments. The lowest values correspond to the treatments with lower (0.0001 μM) and higher concentration (100 μM), which suggests that the highest expression of sensitivity to height increase, is subject to the concentration applied. These values allow reaffirming the capacity of ASA to regulate plant growth, as it has been pointed out for *Solanum bulbocastanum* cultivation (Daneshmand et al., 2009), *Pisum sativum* (El-Shraiy & Hegazi, 2009) and *Lycopersicon esculentum* (Shinwari et al., 2018), in which they found the induction of significant effects on plant height.

With respect to the dry biomass of the aerial part of the plant (Figure 1b), the concentration of 1 μM of ASA presented a statistically significant value with respect to the control with a 21.1 % difference, not so for the rest of the treatments, which, although not significant, the values exceeded the

Resultados y Discusión

Para la variable altura de planta (Figura 1a) se observó un incremento significativo de 8 a 12 % con respecto al control, donde el máximo valor fue registrado con 1 μM , sin embargo, entre tratamientos no fueron significativos, aunque se puede apreciar que hay una ligera variación entre estos. Los valores más bajos correspondieron a los tratamientos con menor (0.0001 μM) y mayor concentración (100 μM), lo cual sugiere que la mayor expresión de sensibilidad al incremento de la altura, está sujeta a la concentración aplicada. Estos valores permiten reafirmar la capacidad de ASA para regular el crecimiento en la planta, tal como ha sido señalado para el cultivo de *Solanum bulbocastanum* (Daneshmand et al., 2009), *Pisum sativum* (El-Shraiy & Hegazi, 2009) y *Lycopersicon esculentum* (Shinwari et al., 2018), en las cuales encontraron la inducción de efectos significativos en la altura de la planta.

Con respecto a la biomasa seca de la parte aérea de la planta (Figura 1b), la concentración de 1 μM de ASA presentó un valor estadísticamente significativo respecto al control con un 21.1 % de diferencia, no así para el resto de los tratamientos, que, aunque no fueron significativos, los valores superaron a la del control de 6 a 15 %, lo anterior concuerda con los trabajos de Daneshmand et al. (2009) y Soliman et al. (2018), quienes reportaron la misma tendencia de comportamiento en *Solanum bulbocastanum* y *Phaseolus vulgaris* cuando se suministró esta misma concentración.

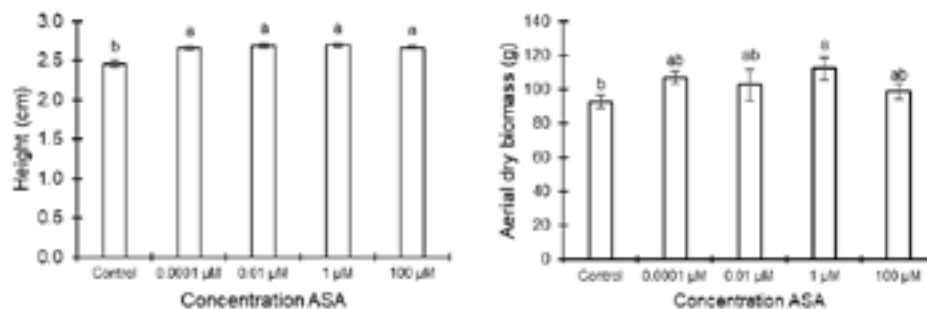


Figure 1. Effect of different concentrations of acetylsalicylic acid sprayed on corn seedlings on plant height (a) and total dry biomass (b). Means \pm standard error are shown; $n = 5$. Identical letters on the bars indicate absence of significant difference (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Figura 1. Efecto de diferentes concentraciones de ácido acetilsalicílico asperjados a plántulas de maíz en la altura de la planta (a) y biomasa seca total (b). Se muestran medias \pm error estándar; $n = 5$. Letras idénticas sobre las barras indican ausencia de diferencia significativa (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Table 1.
Average content of N, P and K in the aerial dry biomass and grain, in the corn crop, treated with acetylsalicylic acid in the seedling stage.

Tabla 1.
Contenido promedio de N, P y K en la biomasa seca aérea y grano, en el cultivo de maíz, tratadas con ácido acetilsalicílico en etapa de plántulas.

Treatment	-----mg plant ⁻¹ -----			-----g plant ⁻¹ -----		
	FN	FP	FK	NG	PG	KG
control	900.0±49.4c	61.2±3.3b	1774.3±96.5a	2.53±0.14b	0.30±0.016c	0.40±0.021c
0.0001 µM	1282.8±109.3ab	84.1±7.1a	2082.3±177.5a	2.70±0.12b	0.38±0.016b	0.42±0.019 bc
0.01 µM	1041.0±93.3bc	80.2±7.1a	2055.6±184.3a	3.60±0.16a	0.40±0.017b	0.47±0.022 ab
1 µM	1337.5±110.9a	87.2±7.2a	2127.6±176.4a	3.56±0.14a	0.46±0.018a	0.53±0.021a
100 µM	968.2±44.5c	61.5±2.8b	1865.4±85.7a	3.26±0.15a	0.36±0.017b	0.47±0.021b

FN: foliar nitrogen; FP: foliar phosphorus; FK: foliar potassium; NG: nitrogen in grain; PG: phosphorus in grain and KG: potassium in grain. Equal letters in a column after means ± standard error indicate absence of significant difference (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

NF: nitrógeno foliar; PF: fósforo foliar; KF: potasio foliar; NG: nitrógeno en grano; PG: fósforo en grano y KG: potasio en grano. Letras iguales en una columna a continuación de medias ± error estándar indican ausencia de diferencia significativa (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

control from 6 to 15 %, which is consistent with the work of Daneshmand *et al.* (2009) and Soliman *et al.* (2018), who reported the same trend of behavior in *Solanum bulbocastanum* and *Phaseolus vulgaris* when this same concentration was supplied.

Regarding the accumulation of macroelements, in the aerial dry biomass (Table 1) 1 µM of ASA showed the best results with increases of 48.6, 42.5 and 19 %, respectively, for N, P and K, however, for K concentrations no statistical difference was observed. In the grain (Table 1), it can be seen that, for all the elements evaluated, the values of the treatments were above the control. However, greater significant impact was observed with the concentrations 0.01 and 1 µM with increases of 42.3 and 40.7 % for N, 33.3 and 53.3 % for P and 17.5 and 32.5 % for K respectively. The demonstration of the ability of ASA to intervene in the accumulation of nutrients supports the results of Daneshmand *et al.* (2009) who reported a significant increase (9.2 % under normal conditions and 44.2 % under salinity stress) of K in the dry biomass of *Solanum bulbocastanum* with 1.0 µM AAS.

Figure 2 shows the yield behavior with respect to ASA concentrations, in which it is observed that all treatments exceeded the control with 35.7 % (with 0.0001 and 1.0 µM ASA) and 32.4 % (with 0.01 and 100 µM ASA). For the weight of the cob, only 0.01 µM ASA concentration was not significant regarding the control, with 19 g equivalent to 12.9 %; while for the rest of the treatments, the differences

Respecto a la acumulación de macroelementos, en la biomasa seca aérea (Tabla 1) 1 µM de ASA mosteó los mejores resultados con incrementos de 48.6, 42.5 y 19 %, respectivamente, para N, P y K, sin embargo, para las concentraciones de potasio no se observó diferencia estadística. En el grano (Tabla 1), se puede apreciar que, para todos los elementos evaluados, los valores de los tratamientos estuvieron por encima del control. Sin embargo, se observó mayor impacto significativo con las concentraciones 0.01 y 1 µM con incrementos de 42.3 y 40.7 % para N, 33.3 y 53.3 % para P y 17.5 y 32.5 % para K respectivamente. La demostración de la capacidad de ASA para intervenir en la acumulación de elementos nutritivos, apoyan los resultados de Daneshmand *et al.* (2009) quienes reportaron un aumento significativo (9.2 % en condiciones normales y 44.2 % bajo estrés por salinidad) del K en la biomasa seca de *Solanum bulbocastanum* con 1.0 µM de ASA.

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del rendimiento respecto a las concentraciones de ASA, en la cual se observa que todos los tratamientos superaron al control con 35.7 % (con dosis 0.0001 y 1.0 µM de ASA) y 32.4 % (con 0.01 y 100 µM de ASA). Para el peso de la mazorca, solo la concentración de 0.01 µM de ASA no fue significativo respecto al control, con 19 g equivalente a 12.9 %; mientras que para el resto de los tratamientos las diferencias fueron de 14.5, 16.1 y 15.3 % respectivamente para 0.0001, 1.0 y 100

were 14.5, 16.1 and 15.3 % respectively for 0.0001, 1.0 and 100 μM . On the other hand, for the yield per hectare, only the treatment with 1 μM presented statistically significant differences with a difference of 957 kg ha^{-1} ; the rest of the treatments, although they were not significant, their values were above the control with a difference of 821.0, 73.4 and 439.9 kg ha^{-1} , for 0.0001, 0.01, and 100 μM , respectively. This behavior allows corroborating the action of ASA, in the yield and quality of grains and fruits reported for *Pisum sativum* (El-Shraiy & Hegazi, 2009), *Prunus cerasu* (Giménez et al., 2014) and *Hordeum vulgare* (Kabiry & Naghisadeh, 2015).

μM . Por otra parte, para el rendimiento por hectárea, solo el tratamiento con 1 μM presentó diferencias estadísticamente significativas con una diferencia de 957 kg ha^{-1} ; el resto de los tratamientos, aunque no fueron significativos, sus valores estuvieron por encima del control con una diferencia de 821.0, 73.4 y 439.9 kg ha^{-1} , para 0.0001, 0.01, y 100 μM , respectivamente. Este comportamiento permite corroborar la acción del ASA, en el rendimiento y calidad de granos y frutos reportados para *Pisum sativum* (El-Shraiy & Hegazi, 2009), *Prunus cerasu* (Giménez et al., 2014) y *Hordeum vulgare* (Kabiry & Naghisadeh, 2015).

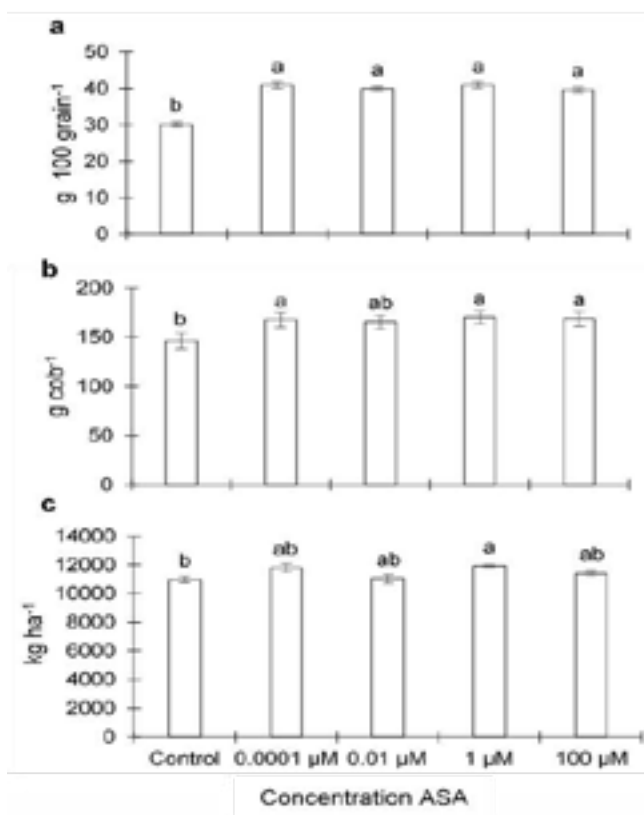


Figure 2. Effect of the spraying of different concentrations of acetylsalicylic acid on the grain yield in the corn crop (a. Weight of 100 grains, b. Grams per ear and c. Kilograms per ha), sprayed in the seedling stage. Means \pm standard error are shown; $n = 5$. Identical letters on the bars indicate absence of significant difference (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Figura 2. Efecto de la aspersión de diferentes concentraciones de ácido acetilsalicílico en el rendimiento del grano en el cultivo de maíz (a. Peso de 100 granos, b. gramos por mazorca y c. kilogramos por ha), asperjadas en etapa de plántula. Se muestran medias \pm error estándar; $n = 5$. Letras idénticas sobre las barras indican ausencia de diferencia significativa (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

The data reported in this study allow pointing out the sensitivity of corn culture tissues to both ASA and SA at low concentrations, which can be corroborated with the results reported by Tucuch-Haas *et al.* (2017b) who indicated a similar behavior in height, diameter and dry biomass of the plants; in accumulation of N, P, K, both in the biomass and in the grain; and in cob weight, number of grains per ear and grain yield of two harvest periods, with a foliar spray of 1.0 μM , in seedling stage (Tucuch-Haas *et al.*, 2016). This is attributed to the rapid transformation of ASA, by the plant cell, into SA (Raskin, 1992), triggering a series of physiological responses such as the regulation of the ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) enzymatic activity (Wang *et al.*, 2010) and control of electron transport of photosystem II, which favor photosynthesis (Janda *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2010); intervention on the control of osmotic and water potentials (Khan *et al.*, 2013), regulating transpiration and stomatal conductance (Fahad & Bano, 2012); and increasing root mass, allowing a greater area of exploration in the soil (Tucuch *et al.*, 2015; Tucuch-Haas *et al.*, 2016), favoring the absorption of ions such as: NO_3 , H_2PO_4 , Ca, Mg, K, mostly (Fahad & Bano, 2012; Tucuch-Haas *et al.*, 2019).

Likewise, it is observed that biochemical responses controlling the activity of oxidative enzymes such as catalase (CAT), guaiac peroxidase (POD), superoxide reductase (SOD) and proline oxidase (PO) (Wang *et al.*, 2010; Fahad & Bano, 2012; Ghasemzade & Jaafar, 2013) intervening in oxidation-reduction processes (Mateo *et al.*, 2006); and participating in the accumulation of sugars, proteins, abscisic (ABA) and indoleacetic (IAA) acids and proline (Shakirova *et al.*, 2003; Fahad & Bano, 2012); it also promotes the production of secondary metabolites such as flavonoids (Pacheco *et al.*, 2013) and total phenols (Tucuch-Haas *et al.*, 2017a) that participate in the protection of crops against pathogens.

Conclusion

Corn plants show a positive response to the application of 1 μM of acetylsalicylic acid from tablets commercially known as Aspirin® (effervescent), when sprayed to the canopy in seedling stage, promoting a higher vegetative development (12 %), grain yield (35.7), and N,

Los datos reportados en el presente estudio permiten señalar la sensibilidad de los tejidos del cultivo de maíz tanto al ASA como al SA a bajas concentraciones, lo cual puede ser corroborado con los resultados reportados por Tucuch-Haas *et al.* (2017b) quienes señalaron un comportamiento similar en la altura, el diámetro y la biomasa seca de la plantas; en acumulación de N, P, K, tanto en la biomasa como en el grano; y en el peso de la mazorca, número de granos por mazorca y rendimiento del grano de dos periodos de cosecha, con una aspersión foliar de 1.0 μM , en etapa de plántula (Tucuch-Haas *et al.*, 2016). Esto se atribuye a la rápida transformación de ASA, por la célula vegetal, en SA (Raskin, 1992), desencadenando una serie de respuestas fisiológicas como la regulación de la actividad enzimática de la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (Rubisco) (Wang *et al.*, 2010) y control del transporte de electrones del fotosistema II, que favorecen la fotosíntesis (Janda *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2010); intervención sobre el control de los potenciales osmótico y de agua (Khan *et al.*, 2013), regulando la transpiración y la conductancia estomática (Fahad & Bano, 2012); e incremento de la masa radicular, permitiendo una mayor área de exploración en el suelo (Tucuch *et al.*, 2015; Tucuch-Haas *et al.*, 2016), favoreciendo la absorción de iones tales como: NO_3 , H_2PO_4 , Ca, Mg, K, principalmente (Fahad & Bano, 2012; Tucuch-Haas *et al.*, 2019).

Así mismo, se observan que respuestas bioquímicas controlando la actividad de enzimas oxidativas como la catalasa (CAT), Guayacol peroxidasa (POD), superóxido dismutasa (SOD) y prolina oxidasa (PO) (Wang *et al.*, 2010; Fahad & Bano, 2012; Ghasemzade & Jaafar, 2013) interviniendo en procesos de óxido-reducción (Mateo *et al.*, 2006); y participando en la acumulación de azúcares, proteínas, ácidos abscisico (ABA) e indolacético (IAA) y prolina (Shakirova *et al.*, 2003; Fahad & Bano, 2012); además favorece la producción de metabolitos secundarios como flavonoides (Pacheco *et al.*, 2013) y fenoles totales (Tucuch-Haas *et al.*, 2017a) que participan en la protección de los cultivos contra patógenos.

Conclusión

Las plantas de maíz presentan una respuesta positiva a la aplicación de 1 μM de ácido acetilsalicílico provenientes de pastillas comercialmente conocidas como Aspirina® (efervescente), cuando se asperja al dosel en etapa de plántula, promoviendo un mayor desarrollo vegetativo (12

P and K content, both in the grain (40.7, 53.3 and 32.5 %, respectively) and in the rest of its tissues (48.6, 42.5 and 19.9 %, respectively).
 %), rendimiento del grano (35.7 %), y contenido de N, P y K, tanto en el grano (40.7, 53.3 y 32.5 %, respectivamente) como en el resto de sus tejidos (48.6, 42.5 y 19.9 %, respectivamente).

References

- AOAC. (1980). Official methods of analysis. 13 ed. Washington: AOAC, 1018p.
- Bokshi, A. I, Morris, S. C. & Deverall, B. J. (2003). Effects of benzothiadiazole and acetylsalicylic acid on β -1,3-glucanase activity and disease resistance in potato. *Plant Pathology*, 52: 22-27. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2003.00792.x>
- Cadet-Díaz, S. & Guerrero-Escobar, S. (2018). Factores que determinan los rendimientos de la producción de maíz en México: evidencia del censo agropecuario 2007. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15: 311-337. <http://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v15n3/1870-5472-asd-15-03-311-en.pdf>
- Cai, C., Li, X. & Chen, K. (2006). Acetylsalicylic acid alleviates chilling injury of postharvest loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) fruit. *European Food Research and Technology*, 223: 533-539. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0233-5>
- Carrillo, T. C. (2009). Origen del maíz naturaleza y cultura en Mesoamérica. *Ciencias*, 92: 4-13. <https://www.redalyc.org/pdf/644/64412119003.pdf>
- Daneshmand, F., Arvin, M. J. A. & Kalantari, K. M. (2009). Effect of Acetylsalicylic Acid (Aspirin) on Salt and Osmotic Stress Tolerance in *Solanum bulbocastanum* in Vitro: Enzymatic Antioxidants. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 6 (1): 92-99. [https://idosi.org/aejaes/jaes6\(1\)/14.pdf](https://idosi.org/aejaes/jaes6(1)/14.pdf)
- Ding, P. & Ding Y. (2020). Stories of Salicylic Acid: A Plant Defense Hormone. *Trends in plant science*, 25(6): 549-565. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.004>
- El-Shraiy, A. M. & Hegazi, A. M. (2009). Effect of Acetylsalicylic Acid, Indole-3-Bytric Acid and Gibberellic Acid on Plant Growth and Yield of Pea (*Pisum Sativum* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3 (4): 3514-3523. <http://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2009/3514-3523.pdf>
- Etchevers, J. D. (1987). Determinación de nitrógeno en suelos. In: Aguilar, S. A.; Etchevers, J. D. & Castellanos, R. J. Z. (Eds.). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación Especial Núm. 1. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. 45-83 pp.
- Fahad, S. & 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. [https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/44\(4\)/41.pdf](https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/44(4)/41.pdf)
- Food and Agricultural Organization of United Nations - Statistical Database [FAOSTAT]. (2020a). Cultivos. Retrieved from: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize> . [Last check: March 15th 2020].
- Food and Agricultural Organization of United Nations - Statistical Database [FAOSTAT]. (2020b). Series temporales anuales. Retrieved from: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/OA> . [Last check: March 15th 2020].
- García-Heredía, J. M., Hervás, M., De la Rosa, M. A. & Navarro, J. A. (2008). Acetylsalicylic acid induces programmed cell death in *Arabidopsis* cell cultures. *Planta*, 228: 89-97. <https://doi.org/10.1007/s00425-008-0721-5>
- Ghasemzadeh, A. & Jaafar, H. Z. E. (2013). Interactive Effect of Salicylic Acid on Some Physiological Features and Antioxidant Enzymes Activity in Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Molecules*, 18(5): 5965-5979. <https://doi.org/10.3390/molecules18055965>
- Giménez, M. J., Valverde, J. M., Valero, D., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Serrano, M. & Castillo, S. (2014). Quality and antioxidant properties on sweet cherries as affected by preharvest salicylic and acetylsalicylic acids treatments. *Food Chemistry*, 160(1): 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.107>
- Godoy-Hernandez, G. & Loyola-Vargas, V. M. (1997). Effect of acetylsalicylic acid on secondary metabolism of *Catharanthus roseus* tumor suspension cultures. *Plant Cell Reports*, 16: 287-290. <https://doi.org/10.1007/BF01088282>
- Janda, K., Hideg, E., Szalai, G., Kovács, L. & Janda, T. (2012). Salicylic acid may indirectly influence the photosynthetic electron transport. *J. Plant Physiol*, 169 (10): 971-978. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.02.020>
- Jaramillo, A. J. G., Peña, O. B. V., Hernández, S. J. H., Díaz R. R. & Espinosa C. A. (2018). Caracterización de productores de maíz de temporal en Tierra Blanca, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5): 911-923. <https://doi.org/10.2923/rmca.2018.9.5.911-923>

- doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1501
- Jung, J. L., Fritig, B. & Hahne, C. (1993). Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Pathogenesis-Related Proteins. *Plant Physiol*, 101: 873-880. <https://doi.org/10.1104/pp.101.3.873>
- Kabiri, R. & Naghizadeh, M. (2015). Exogenous Acetylsalicylic Acid Stimulates Physiological Changes to Improve Growth, Yield and Yield Components of Barley under Water Stress Condition. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 5(1): 35-45. https://breeding.tabrizu.ac.ir/article_3795_0.html
- Khan, M., Iqbal N., Masood A., Per T. S. & Khan N. A. (2013). Salicylic acid alleviates adverse effects of heat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation. *Plant Signaling & Behavior*, 8(11) e26374. <https://doi.org/10.4161/psb.26374>
- Larque-Saavedra, A. (1978). The Antitranspirant Effect of Acetylsalicylic Acid on *Phaseolus vulgaris*. *Physiologia Plantarum*, 43 (2): 126-128. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1978.tb01579.x>
- Larqué-Saavedra, A. (1979). Stomatal Closure in Response to Acetylsalicylic Acid Treatment. *Zeitschrift Für Pflanzenphysiologie*, 93 (4): 371-375. [https://doi.org/10.1016/S0044-328X\(79\)80271-8](https://doi.org/10.1016/S0044-328X(79)80271-8)
- Mahmoud, R. A. (2019). Enhancing Pear Tolerance to Salinity Using Salicylic Acid, Acetylsalicylic Acid and White Willow Extract. *International Journal of ChemTech Research* 12 (03): 188-201 <http://dx.doi.org/10.20902/IJCTR.2019.120326>
- Martínez, J. I. & Villezca, B. P. A. (2005). La alimentación en México: Un estudio a partir de la encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares y de las hojas de balance alimenticio de las FAO. *Ciencia UANL*. 8 (1): 196-208. http://eprints.uanl.mx/1659/1/art_de_la_fao.pdf
- Mateo, A., Funck D., Mühlbock P., Kular B., Mullineaux P. M. & Karpinski S. (2006). Controlled levels of salicylic acid are required for optimal photosynthesis and redox homeostasis. *J. Exp. Bot*, 57(8): 1795-1807. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj196>
- Mills, P. R. & Wood, R. K. S. (1984). The Effects of Polyacrylic Acid, Acetylsalicylic Acid and Salicylic Acid on Resistance of Cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. *Journal of Phytopathology*, 111 (3-4): 209-216. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1984.tb00763.x>
- Moreno-Sáenz, L. I., González-Andrade, S. & Matus-Gardea, J. A. (2016). Dependencia de México a las importaciones de maíz en la era del TLCAN. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, 7 (1): 115-126. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n1/2007-0934-remexca-7-01-00115-en.pdf>
- Muthulakshmi, S. & K Lingakumar, k. (2017). Role of salicylic acid (SA) in plants – A review. *International Journal of Applied Research*, 3: 33-37. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.002255>
- Pacheco, A. C., Da Silva, C., Da Silva, F. & Alemán A. C. (2013). Salicylic acid-induced changes to growth, flowering and flavonoids production in marigold plants. *Glob. J. of Med. Plant Res*, 7(42): 3158-3163. <https://doi.org/10.5897/JMPR2013.5208>
- Qin, B., Ma, L., Wang, Y., Chen, M., Lan, X., Wu, N. and Liao, Z. (2014). Effects of acetylsalicylic acid and UV-B on gene expression and tropane alkaloid biosynthesis in hairy root cultures of *Anisodus luridus*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 117: 483-490. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0454-z>
- Raskin I. (1992). Role of salicylic acid in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43: 439-463. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.002255>
- Rodríguez, F. H. & Rodríguez, A. F. (2015). Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación. 3ª ed. México: trillas: UANL. 288 p.
- Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. & Fatkhutdinova, D. R. (2003). Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sci*, 164 (3): 317-322. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00415-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6)
- Shinwari, A., Ahmad, I., Khan, I., Khattak, H. & Azimi, A. S. (2018). Thermo-Tolerance in Tomato: Acetyl Salicylic Acid Affects Growth and Yield of Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) Under the Agro-Climatic Condition of Islamabad, Pakistan. *Adv Agr Environ Sci*. 1 (3): 102-107. https://ologyjournals.com/aaeoa/aaeoa_00017.php
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2018). Atlas Agroalimentario 2012-2018. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018
- Sierra, M. M., Becerra, E. L., Palafox, A. C., Barron, S. F., Cano, O. R., Zambada, A. M., Sandoval, A. E. R. & Romero, J. M.

- 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. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61222214>
- Soliman, M. H., Alayaf, A. A. M., El Kelish, A. A. & AbuElsoud A. M. (2018). Acetylsalicylic acid enhance tolerance of *Phaseolus vulgaris* L. to chilling stress, improving photosynthesis, antioxidants and expression of cold stress responsive genes. *Botanical Studies*, 59: 6. <https://doi.org/10.1186/s40529-018-0222-1>
- Tucuch, H., C. J., Alcántar, G. G. & Larqué, S. A. (2015). Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de la raíz y biomasa total de plántulas de trigo. *Terra Latinoamericana*, 33: 63-68. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57335800005>
- Tucuch-Haas, C. J., Alcántar-González, G., Volke-Haller, H. V., Salinas-Moreno, Y., Trejo-Téllez, L. I. & Larqué-Saavedra A. (2016) Efecto del ácido salicílico sobre el crecimiento de raíz de plántulas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7 (3): 709-716. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n3/2007-0934-remexca-7-03-709.pdf>
- Tucuch-Haas, C. J., Pérez-Balam, J. V., Díaz-Magaña, K. B., Castillo-Chuc, J. M., Dzib-Ek, M. G., Alcántar-González, G. & Larqué-Saavedra, A. (2017a). Role of Salicylic Acid in the Control of General Plant Growth, Development, and Productivity. In: Nazar, R., Iqbal, N., Khan, N. (eds) *Salicylic Acid: A Multifaceted Hormone*. Springer, Singapore *Salicylic Acid: A Multifaceted Hormone*, 1-15. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6068-7_1
- Tucuch-Haas, C., Alcántar-González, G., Salinas-Moreno, Y., Trejo-Téllez, L. I., Volke-Haller, V. H. & Larqué-Saavedra, A. (2017c). Aspersión foliar de ácido salicílico incrementa la concentración de fenoles en el grano de maíz. *Rev. Fitotec. Mex*, 40 (2): 235-238. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61051413015.pdf>
- Tucuch-Haas, C., Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I., Volke-Haller, H., Salinas-Moreno, Y. & Larqué-Saavedra, A. (2017b). Efecto del ácido salicílico en el crecimiento, estatus nutricional y rendimiento en maíz (*Zea mays*). *Agrociencia*, 51 (7): 771-781. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30253291006>
- Tucuch-Haas, C., Pérez-Balam, J. V., Dzib-Ek, M.G., Alcántar-González, G. & Larqué-Saavedra A. (2019). El ácido salicílico aumenta la acumulación de macro y micronutrientes en chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10 (4): 839-847. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1694>
- Wang, L., Fan L., Loescher, W., Duan, W., Liu, G., Cheng, J. & Luo, H. S. L. (2010). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *BMC Plant Biology*, 10: 34. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-34>
- White, R. F. (1979). Acetylsalicylic acid (aspirin) induces resistance to tobacco mosaic virus in tobacco. *Virology*, 99 (2): 410-412. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(79\)90019-9](https://doi.org/10.1016/0042-6822(79)90019-9)