

Efecto positivo de aplicaciones de ácido salicílico en la productividad de papaya (*Carica papaya*)*

Positive effect of salicylic acid application on productivity of papaya (*Carica papaya*)

Rodolfo Martín-Mex¹, Ángel Nexticapan-Garcéz¹, Rubí Herrera-Tuz¹, Silvia Vergara-Yoisura¹ y Alfonso Larqué-Saavedra^{1§}

¹Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., Calle 43 no. 130, Chuburná de Hidalgo, C. P. 97200, Mérida, Yucatán, México. (rodolfo@cicy.mx) (angar@cicy.mx) (rubi.herrera@yucatan.gob.mx) (silvana@cicy.mx). Tel. (999) 942-8330 Ext. 260 y 259. [§]Autor para correspondencia: larque@cicy.mx.

Resumen

Durante dos años se realizó un experimento con papaya (*Carica papaya*) cv. Maradol en condiciones de campo en Yucatán en el que se estudio el efecto de aspersiones de bajas concentraciones de ácido salicílico (AS), en la productividad del frutal. El AS a concentraciones de 0.01 μ M incremento el porcentaje de plantas hermafroditas en 20% sobre el control e incremento significativamente la altura y grosor de la planta. Esta misma concentración incremento 19.7% el número de frutos por planta, en 2% el peso de los frutos y en 21.9% el rendimiento por hectárea. El AS a todas las concentraciones probadas incremento significativamente la variable de productividad analizada.

Palabras clave: ácido salicílico, frutos papaya maradol, productividad.

Introducción

La papaya (*Carica papaya*) es un frutal tropical originario de Centroamérica y sur de México que en los últimos años ha cobrado mucho interés por su demanda internacional (SIAP, 2010; FAO, 2012).

Abstract

For two years, was conducted an experiment with papaya (*Carica papaya*) cv. Maradol under field conditions in Yucatan in which was studied the effect of spraying low concentrations of salicylic acid (SA), in the productivity of fruit. The SA to concentrations of 0.01 μ M increased the percentage of hermaphroditic plants in 20% over the control and significantly increased the height and thickness of plants. This same concentration increased 19.7% the number of fruits per plant, in 2% of the fruit weight and 21.9% the yield per hectare. The SA at all concentrations tested, significantly increased the productivity variable analyzed.

Key words: salicylic acid, fruit of papaya maradol, productivity.

Introduction

Papaya (*Carica papaya*) is a tropical fruit native from Central America and southern Mexico that in recent years has gained a lot of interest for its international demand (SIAP, 2010; FAO, 2012).

* Recibido: enero de 2011
Aceptado: junio de 2012

El fruto tiene un alto valor nutritivo y la agroindustria derivada de esta planta es fundamental por ser proveedora de la papaína, enzima utilizada como ablandador natural de carnes y en la industria cervecera como clarificador. La papaya se propaga fundamentalmente por semilla. Uno de los enigmas más complejos para su manejo agrícola es la sexualidad de la planta. Hay plantas con flores hermafroditas o masculinas o femeninas. Como no se puede seleccionar por sexo a nivel de semilla o plántula se tiene que esperar a que la planta crezca hasta que se muestran las inflorescencias. El productor ha resuelto que para sus plantaciones comerciales en campo, siembra 3 plántulas por poceta y al momento de la floración, selecciona las hermafroditas o las femeninas, porque forman fruto y buscan siempre que este tenga la forma más deseable.

Hay diferentes variedades de papaya reportada como la Graham, Puna, Fairchild, Solo y otras, pero en México la principal variedad de papaya cultivada es la Maradol (SIAP, 2010).

En trabajos previos hechos por nuestro grupo de investigación se ha señalado que la característica más utilizada para evaluar la maduración del fruto de la papaya es el color de cascara, que es un importante marcador para su cosecha, comercialización y consumo y se precisaron seis estadios así como su correlación con el ataque del patógeno *Colletotrichum* (Santamaría-Basulto *et al.*, 2011a y b).

Dada la problemática señalada en la sexualidad de la papaya, así como el interés permanente de incrementar el rendimiento del cultivo, se estableció el presente estudio. Para tal efecto se seleccionó al AS por los antecedentes reportados de su efecto en la floración de plantas ornamentales y en la producción de frutos (Martínez *et al.*, 2004; Martín-Mex *et al.*, 2003, 2005, 2010; Larqué-Saavedra y Martín-Mex, 2007).

Materiales y métodos

El experimento se desarrolló durante dos años en el ejido San Pedro (21° 07' latitud norte, 88° 16' longitud oeste) en el municipio de Sucilá, Yucatán, México, a 12 msnm, con un clima tropical subhúmedo con lluvias en verano y otoño Aw₁ (García, 1988); con promedio de temperatura y precipitación media anual de 26 °C y 1 200 mm, respectivamente. Tiene suelos pedregosos con alto contenido de materia orgánica, alcalinos, de poca profundidad y buen drenaje.

The fruit has a high nutritional value and agribusiness derived from this plant is fundamental for being a supplier of papain, an enzyme used as a natural meat tenderizer and in brewing as clarifier. The papaya is spread primarily by seed. One of the most complex puzzles for agricultural management is plant sexuality. There are plants with hermaphrodites or male or female flowers. Because it cannot be selected by sex at seed or seedling level, it has to wait for the plant to grow until the inflorescences are shown. The producer has decided that for his commercial plantations in field, planting three seedlings per poceta (furrows with different widths) and at flowering time, selects the hermaphrodite or female flower, because it forms fruit and always looking that this has the most desirable form.

There are different varieties of papaya reported as Graham, Puna, Fairchild, Solo and others, but in Mexico the main variety grown is Maradol (SIAP, 2010).

In previous work done by our research group has noted that the characteristic most used to assess fruit ripening of papaya is the color of skin, which is an important marker for harvesting, marketing and consumption and thus were specified six stages as its correlation with the attack of the pathogen *Colletotrichum* (Santamaría-Basulto *et al.*, 2011a and b).

Given the problems identified in the sexuality of the papaya and the permanent interest of increasing crop yield, this study was established. For this purpose was selected SA for its reported effect on flowering on ornamentals and fruit production (Martínez *et al.*, 2004, Martín-Mex *et al.*, 2003, 2005, 2010; Larqué-Saavedra and Martín-Mex, 2007).

Material and methods

The experiment was conducted for two years in the locality San Pedro (21° 07' north latitude, 88° 16' west longitude) in the municipality of Sucila, Yucatán, Mexico, at 12 meters above sea level, with a humid tropical climate with summer rains and autumn Aw₁ (García, 1988), with an average annual rainfall and temperature of 1 200 mm and 26 °C, respectively. It has stony soils with high content of organic matter, alkali, shallow and well drained.

The nursery was established with certified seed of papaya (*Carica papaya* L.) cv. red Maradol (Carisen) in polystyrene bags of 1 liter, containing a mixture of soil with bovine

El vivero se estableció con semilla certificada de papaya (*Carica papaya* L.) cv. Maradol roja (Carisen) en bolsas de poliestireno de 1 litro, que contenían una mezcla de suelo con bovinaza como sustrato (1:1), se mantuvieron húmedas hasta la germinación de las semillas. Después de la emergencia, las plántulas se mantuvieron en condiciones de 40% sombra, con buenas condiciones de sanidad y humedad y se fertilizaron semanalmente con 130 mg/L⁻¹ de nitrógeno, fósforo y potasio (Haifa Chemicals Ltd.).

Para el establecimiento de las parcelas en campo, se trasplantaron tres plantas por cepa. A los tres meses después del trasplante una vez iniciada la diferenciación floral, se eliminaron plantas femeninas y masculinas dejando una planta hermafrodita o femenina por cepa. Quedando las plantas en un marco de plantación de 1.8 m entre plantas y 3.5 m entre hileras, con una densidad de 1.587 plantas por hectárea. La irrigación fue realizada con microaspersores en un intervalo de 2 a 3 días durante 2-4 h cada vez, con esta frecuencia se garantizó una buena humedad.

Las labores culturales durante el desarrollo del experimento como riego por microaspersión, fertilización, control de malezas, raleo de frutos, poda de chupones y saneamiento, deshoje y cosecha, se realizaron conforme a las técnicas de producción del rancho San Pedro. El manejo de enfermedades foliares y de los frutos durante el desarrollo del experimento fue con mancozeb 3 g/L, clorotalonil 3.5 ml/L, pyraclostrobin 1 ml/L y tiabendazole 2.5 g/L de y para el manejo de plagas malation 1 ml/L, fepropatrin 1 ml/L y oxido de fenbutatin 1 ml/L.

Las soluciones de ácido salicílico (Merck, Co.) se aplicaron como tratamientos a concentraciones de 0.01 µM, 0.001 µM y 0.0001 µM, y se usó agua como testigo. Se añadió Tween-20 a la solución como tensoactivo. Todos los tratamientos se asperjaron simultáneamente a las plántulas hasta escurrir, a las 7 a.m. Las aplicaciones se realizaron a los 15, 22, 29, 36 y 57 días de edad de las plantas.

Para todos los tratamientos se realizaron las siguientes evaluaciones: floración (50% de flores abiertas), porcentaje de plantas de cada sexo (p.e. femeninas y hermafroditas), altura de planta (m), diámetro de tallo, número de frutos por planta, peso promedio por fruto (kg) y rendimiento por hectárea, al final del tiempo de cosecha.

manure as substrate (1:1), were kept moist until germination of the seeds. After emergence, seedlings were kept under conditions of 40% shade, with good health and moisture and fertilized weekly with 130 mg/L⁻¹ of nitrogen, phosphorus and potassium (Haifa Chemicals Ltd.).

For the establishment of field plots were transplanted three plants per strain. Three months after transplantation, once floral differentiation began, were removed female and male plants leaving an hermaphrodite or female plant per strain. Leaving the plants in a plantation frame of 1.8 m between plants and 3.5 m between rows, with a density of 1 587 plants per hectare; the irrigation was carried out with micro-sprinklers in an interval of 2 to 3 days for 2-4 hours each time, with this frequency is guaranteed good moisture.

The agronomic practices during the development of the experiment such as the irrigation by micro sprinkler, fertilization, weed control, pruning and sanitation, defoliation and harvest were performed according to the production techniques of Rancho San Pedro. The management of foliar and fruit diseases during development of the experiment was made with mancozeb 3 g/L, chlorothalonil 3.5 ml/L, pyraclostrobin 1 ml/L and thiabendazole 2.5 g/L and pest management was used malathion 1 ml / L, fepropatrin 1 ml/L and fenbutatin oxide 1 ml/l.

The solutions of salicylic acid (Merck Co.) were used as treatments at concentrations of 0.01 µM, 0.001 µM and 0.0001 µM, and water was used as control. Tween-20 was added to the solution as surfactant. All treatments were sprayed simultaneously to seedlings until drain, at 7 am. The applications were made at 15, 22, 29, 36 and 57 days old plants.

For all treatments were performed the following evaluations: flowering (50% open flowers), percentage of plants of each sex (eg, female and hermaphrodite), plant height (m), stem diameter, number of fruits per plant, weight average per fruit (kg) and yield per hectare, at the end of harvest time.

The experimental design was a randomized block with eleven replicates per treatment and 10 plants as experimental unit. The experimental data were analyzed with ANOVA (Tukey, $p < 0.05$) using SAS (2004).

El diseño experimental fue de bloques al azar con once réplicas por tratamiento y como unidad experimental 10 plantas. Los datos del experimento se analizaron con ANOVA (Tukey, $p=0.05$), usando SAS (2004).

Resultados y discusión

Efecto del AS en la floración y el sexado de plantas de papaya

El efecto de las diferentes concentraciones de AS sobre los días a floración y sexo de las plantas se muestra en el Cuadro 1. Resulta claro que el AS, no favorece la precocidad en floración en papaya, contrariamente a lo reportado en plantas ornamentales (Martín-Mex *et al.*, 2005, 2010). Sin embargo, el AS estimuló la presencia de plantas hermafroditas de manera significativa. El tratamiento de plántulas que fueron asperjadas con $0.01 \mu\text{M}$ de AS favoreció que se presentaran hasta 70% de flores hermafroditas en tanto que el control solo mostró 50%. Como puede observarse en el Cuadro 1, en todos los tratamientos asperjados con AS se favoreció el hermafroditismo. El método tradicional de producción comercial de papaya, que privilegia que solo las plantas femeninas o hermafroditas permanezcan en la plantación hasta la cosecha permite resaltar el valioso efecto del AS en el sexado para la producción comercial.

Se desconoce el mecanismo por el cual el AS favorece el proceso de diferenciación de flores hermafroditas, pero necesariamente el balance hormonal se ve afectado para favorecer esta tendencia.

En *Arabidopsis* y en otras especies como *Sinningia speciosa*, violeta africana y *Petunia hybrida* se ha reportado que el AS favorece la precocidad (Martínez *et al.*, 2004; Martín-Mex *et al.*, 2003, 2005, 2010; Shimakawa *et al.*, 2012), hecho que no pudo ser apreciado durante la presente investigación. Consideramos que los resultados del presente trabajo dejan vacante la incógnita de que se pueda trabajar en tener plantas precoces. El sexo como es sabido depende del balance hormonal de las plantas el cual no ha sido descrito suficientemente. Sin embargo resalta y consideramos como una contribución del presente trabajo el hecho de que el AS favorece la tendencia a la formación de plantas hermafroditas, lo que indica que efectivamente la sexualidad está ligada al balance hormonal en este caso de la papaya.

Results and discussion

Effect of SA in flowering and papaya plants sexing

The effect of different concentrations of SA on the days to flowering and plants sex are shown in Table 1. It is clear that SA does not favor the precocity to flowering in papaya, contrary to what was reported in ornamental plants (Martín-Mex *et al.*, 2005, 2010). However, SA stimulated the presence of hermaphroditic plants significantly. Treatment of seedlings was sprayed with $0.01 \mu\text{M}$ of SA, favored that up to 70% presented hermaphrodite flowers while the control showed only 50%. As shown in Table 1, all treatments sprinkled with SA favored hermaphroditism. The traditional method of commercial production of papaya, which favors only female or hermaphrodite plants remain in planting to harvest can highlight the valuable effect of SA in sexing for commercial production.

Cuadro 1. Efecto de aspersiones foliares de AS, en los días a floración de papaya Maradol desarrolladas bajo condiciones de campo. Se señalan los porcentajes de plantas hermafroditas y femeninas, afectadas al tratamiento con AS

Table 1. Effect of foliar sprays of SA in the days to flowering of papaya Maradol grown under field conditions. Is indicated the percentages of female and hermaphrodite plants, affected by treatment with SA.

Tratamiento	Días a floración	Plantas hermafroditas (%)	Plantas femeninas (%)
0.01 μM AS	97 $\pm$ 3 a	70	30
0.001 μM AS	96 $\pm$ 3 a	66	34
0.0001 μM AS	95 $\pm$ 2 a	65	35
Testigo	96 $\pm$ 1 a	51	49

Valores con la misma letra, son estadísticamente iguales (Tukey 0.05). Cada valor es la media de 110 plantas $\pm$ error estándar.

The mechanism by which SA promotes the differentiation process of hermaphrodite flowers, but necessarily the hormonal balance is affected for such development.

In *Arabidopsis* and other species as *Sinningia speciosa*, African Violet and *Petunia hybrid* has reported that SA promotes precocity (Martínez *et al.*, 2004; Martín-Mex *et al.*, 2003, 2005, 2010; Shimakawa, *et al.*, 2012), fact that could not be appreciated during this investigation. It is believed

Efecto del AS en la altura y diámetro del tallo de papaya Maradol

En el Cuadro 2, se presentan los resultados en el que evidencia el efecto positivo de cualquiera de las concentraciones probadas del AS en las variables de altura y diámetro del tallo de la papaya. El hecho notorio es que aplicaciones de concentraciones de femtomolas fue el mejor tratamiento. Incremento en 10% la altura de la planta en comparación con el control, en tanto que la concentración de 0.01 µM en 8% dicho crecimiento.

El diámetro de las plantas también se vio favorecido significativamente por el efecto de cualquiera de las concentraciones del AS probadas. Femtomolas son suficientes para incrementar en 3.5% el diámetro. Estos resultados coinciden con lo reportado por Echevarría *et al.* (2007), para el caso de raíces de *Catharanthus roseus*, en el sentido de resaltar la alta sensibilidad de los sistemas vegetales a las bajas concentraciones de AS.

Cuadro 2. Efecto de aspersiones foliares de AS, en altura y diámetro de tallo de papaya Maradol desarrolladas en condiciones de campo.

Table 2. Effect of foliar sprays of SA, in height and stem diameter of papaya Maradol grown under field conditions.

Tratamiento	Altura (m)	Diámetro Tallo (cm)
0.01 µM AS	2.97 ± 0.02 a	49.44 ± 0.26 a
0.001 µM AS	2.96 ± 0.01 a	49.6 ± 0.17 a
0.0001 µM AS	3.03 ± 0.03 a	50.15 ± 0.24 a
Testigo	2.75 ± 0.02 b	48.44 ± 0.31 b

Valores con la misma letra, son estadísticamente iguales (Tukey 0.05). Cada valor es la media de 110 plantas ± error estándar.

Efecto del AS en la productividad de frutos de papaya Maradol

En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos en el experimento. Todas las concentraciones probadas aumentaron significativamente el número de frutos, el peso del fruto y el rendimiento por hectárea.

El tratamiento que tuvo el mayor efecto fue el de 0.01µM de AS, que incremento en cerca de 19.7% el número de frutos; 2% el peso del fruto y 21.9% el rendimiento por hectárea.

that the results of this study leave vacant the incognita that can be worked on having precocious plants. Sex as we know depends on the hormonal balance of the plant which has not been sufficiently described. However, highlights and considered as a contribution of this work the fact that SA favors the tendency to form hermaphrodite plants, which effectively indicates that sexuality is linked to hormonal balance in the case of papaya.

Effect of SA on height and stem diameter of papaya maradol

Table 2 shows the results in which evidence the positive effect of any of the evaluated concentrations of SA in the variables of height and stem diameter of papaya. The remarkable fact is that applications of femtomoles concentrations were the best treatment. 10% increase in plant height in comparison with the control, whereas the concentration of 0.01 µM in 8% such growth.

The diameter of the plants is also significantly favored by the effect of any of the concentrations tested of SA. Femtomoles are enough to increase 3.5% the diameter. These results agree with those reported by Echevarria *et al.* (2007), for the case of roots of *Catharanthus roseus*, in the sense to highlight the effect of the high sensitivity of plant systems to low concentrations of SA.

Effect of SA on productivity of papaya Maradol fruits

Table 3 presents the results obtained in the experiment. All tested concentrations significantly increased the number of fruits, fruit weight and yield per hectare.

Cuadro 3. Efecto de aspersiones foliares de AS, en el rendimiento de papaya Maradol bajo condiciones de campo.

Table 3. Effects of foliar sprays of SA in yield of papaya Maradol under field conditions.

Tratamiento	Número frutos/planta	Peso por fruto (kg)	Rendimiento t ha ⁻¹
0.01 µM AS	55.2± 1.2 a	2.01 ± 0.2 a	175.9 ± 4.2 a
0.001 µM AS	52.5± 2.1 a	1.99 ± 0.1 a	165.8 ± 4.6 a
0.0001 µM AS	51.9± 2.5 a	2.00 ± 0.3 a	164.9 ± 5.3 a
Testigo	46.1± 2.5 b	1.97 ± 0.3 b	144.2 ± 5.3 b

Valores con la misma letra, son estadísticamente iguales (Tukey 0.05). Cada valor es la media de 110 plantas ± error estándar.

No existen reportes en la literatura consultada que informen del efecto reportado en el presente ensayo para papaya, aunque se ha señalado que AS también afecta la producción de frutos en tomate y en pepino (Larqué-Saavedra y Martín-Mex, 2007).

Los resultados presentados permiten señalar que el efecto del AS en la productividad de la papaya maradol es significativo y tal efecto seguramente tendrá efectos económicos para el productor.

Los efectos reportados en el presente trabajo no permite señalar o proponer a nivel molecular, cual es el mecanismo de acción del AS, como podría ser el plantear si existe una o varias proteínas clave que se verían estimuladas por el AS. Se han reportado proteínas que se unen al ácido salicílico. Es claro que la curva respuesta que se reporta en el presente escrito, anticipa que la señal se puede amplificar dependiendo de la concentración utilizada.

Agradecimientos

Al Profesor Raúl Monforte Peniche, por las facilidades otorgadas en las instalaciones del Rancho San Pedro durante el desarrollo del experimento y a Raymundo López Gutiérrez, por su apoyo técnico.

Literatura citada

- Echevarría-Machado, I.; Escobedo-G. M. and Larqué-Saavedra, A. 2007. Responses of transformed *Catharanthus roseus* roots to femtomolar concentrations of salicylic acid. *Plant Physiol. Biochem.* 45:501-507.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2012. Consulta de bases de indicadores de producción mundial y comercio internacional de Papaya. <http://apps.fao.org/faostat>.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 276 p.
- Larqué-Saavedra, A. and Martín-Mex, R. 2007. Effect of salicylic acid on the bioproductivity of plants. In: *Salicylic acid: A Plant Hormone*. (Eds.) Hayat, S. and Ahmad, A.. Springer. The Netherlands. 5-24 pp.
- The treatment that had the greatest effect was 0.01 μ M of SA, which increased by about 19.7% the number of fruits; 2% fruit weight and 21.9% yield per hectare.
- There are no reports in the literature that report the effect reported in this trial for papaya, but noted that SA also affects fruit production in tomato and cucumber (Larqué-Saavedra and Martín-Mex, 2007).
- The results presented allow noting that the effect of SA on productivity of papaya maradol is significant and such effect will likely have economic effects for the producer.
- The effects reported in the present study did not indicate or suggest to a molecular level, what is the mechanism of action of SA, as might be the question if there is one or more key proteins that would be stimulated by the SA. Proteins have been reported which bind to the salicylic acid. It is clear that the response curve that is reported in this paper, anticipates that the signal can be amplified depending on the concentration used.

End of the English version



- Martín-Mex, R.; Vergara-Yoisura, S.; Nexticapán-Garcés, A. and Larqué-Saavedra, A. 2010. Application of low concentrations of salicylic acid increases the number of flowers in *Petunia* Híbrida. *Agrociencia.* 44(7):773-778.
- Martín-Mex, R.; Villanueva-Couoh, E.; Herrera-Campos, T. and Larqué-Saavedra, A. 2003. Positive effects of salicylic acid on the flowering of gloxinia. *Thirtieth Annual Meeting Plant Growth Regulation Society of America.* 149-151 pp.
- Martín-Mex, R.; Villanueva-Couoh, E.; Herrera-Campos, T. and Larqué-Saavedra, A. 2005. Positive effect of salicylates on the flowering of African violet. *Sci. Hortic.* 103:499-502.
- Martínez, C.; Pons, E.; Prats, G. and León, J. 2004. Salicylic acid regulates flowering time and links defense responses and reproductive development. *The Plant J.* 37:209-217.
- Statistical Analysis System (SAS). 2004. *Statistical Analysis System Institute. SAS Proceeding Guide, Version 8.1.* SAS Institute. Cary, NC. USA. 100-120 pp.

- Santamaría, B. F.; Díaz, P. R.; Gutiérrez, A. O.; Santamaría, F. J. y Larqué, S. A. 2011a. Control de dos especies de *Colletotrichum* y su efecto sobre el color y sólidos solubles totales en frutos de papaya maradol. Rev. Iber. Tecnología Postcosecha. 12(1):19-27.
- Santamaría, B. F.; Díaz, P.; Gutiérrez, A. O.; Santamaría, F. J. y Larqué, S. A. 2011b. Control de dos especies de *Colletotrichum* causantes de Antracnosis en frutos de papayamaradol. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 2:(5):631-643.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. indicadores de producción nacional, precios y márgenes de comercialización de papaya. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Shimakawa, A.; Shiraya, T.; Ishizuka, Y.; Wada, K. C. and Mitsui, T.; Takeno, K. 2012. Salicylic acid is involved in the regulation of starvation stress-induced flowering in *Lemna paucicostata*. J. Plant Physiol. 169:987-991.