

DELAYING SENESCENCE OF 'RUBY RED' GRAPEFRUIT AND 'VALENCIA' ORANGES BY GIBBERELIC ACID APPLICATIONS*

USO DE ÁCIDO GIBERÉLICO PARA RETRASAR LA SENESCENCIA DE TORONJA 'RUBY RED' Y NARANJA 'VALENCIA'

Martín Aluja^{1§}, Everardo Bigurra¹, Andrea Birke¹, Patrick Greany² and Roy McDonald³

¹Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. A. P. 63. C. P. 91000. ²Formerly, USDA - ARS Center for Medical, Agricultural & Veterinary Entomology. 1700 SW 23rd. Gainesville, Florida 32608, USA Retired. ³Formerly, U. S. Horticultural Research Laboratory, ARS, USDA, 2120 Camden Road, Orlando Florida 32803, USA Retired. [§]Corresponding author: martin.aluja@inecol.edu.mx.

ABSTRACT

The demonstrate the effectiveness of gibberellic acid (GA₃) in delaying fruit senescence in 'Ruby Red' grapefruit and 'Valencia' oranges under sub-optimal orchard management conditions in tropical Veracruz, Mexico. For grapefruit, one or two applications of three different GA₃ doses (15, 20 and 40 mg L⁻¹) with or without surfactant (Silwet® L77) at 0.035, 0.05 or 0.1%, were tested. For oranges, one or two applications of three different GA₃ doses (10, 15 and 20 mg L⁻¹) with or without surfactant at 0.05%, were tested. Pre-color break application of GA₃, at 10 mg L⁻¹ and 15 mg L⁻¹ with surfactant (0.05%), was sufficient to sustain peel firmness and delay colour development in oranges and grapefruit, respectively. GA₃ treatments with surfactant caused increased leaf drop in both citrus cultivars, although this was only noticed in trees treated with the highest surfactant dosages and mainly involved photosynthetically inactive leaves. One application of GA₃ at 15 mg L⁻¹ with surfactant (0.05%) significantly increased orange and grapefruit weights, resulting in yield increases of ca. 1.7 t ha⁻¹ for oranges and 1.87 t ha⁻¹ for grapefruit. A significant decrease in orange drop during the late harvest season in GA₃ treated trees, resulted in a harvest period that could be extended by up

RESUMEN

Los datos demuestran la efectividad del ácido giberélico (AG₃) para retrasar la senescencia del fruto en toronja 'Ruby Red' y naranja 'Valencia', aún bajo condiciones sub-óptimas de manejo en la región tropical de Veracruz, México. En toronja, experimentamos con una o dos aplicaciones de tres dosis de AG₃ (15, 20 y 40 mg L⁻¹) con o sin surfactante (Silwet® L77) a 0.035, 0.05 ó 0.1%. En el caso de la naranja, experimentamos con una o dos aplicaciones de tres dosis de AG₃ (10, 15 and 20 mg L⁻¹) con y sin surfactante a 0.05%. La aplicación de AG₃ en etapa de pre-coloración, a 10 mg L⁻¹ y 15 mg L⁻¹ con surfactante (0.05%), fue suficiente para mantener la firmeza del epicarpio (cáscara) y retrasar el desarrollo del color en naranjas y toronjas, respectivamente. El tratamiento de AG₃ con surfactante provocó un incremento en la caída de las hojas en ambos cítricos, aún cuando esto fue especialmente observado en árboles tratados con dosis elevadas de AG₃ y surfactante, principalmente en el caso de hojas con inactividad fotosintética. Una aplicación de AG₃ a 15 mg L⁻¹ con surfactante (0.05%), incrementó significativamente el peso de la naranja y la toronja, resultando a su vez en un incremento en la cosecha alrededor de 1.7 t ha⁻¹ de naranja y 1.9 t ha⁻¹ de toronja. Debido a la reducción significativa en la caída de la fruta de la naranja durante la última temporada de cosecha en

* Recibido: agosto de 2010
Aceptado: febrero de 2011

to six weeks. The market value of fruit harvested late in the season is up to eight times the value of fruit harvested when the market is saturated.

Keywords: *Citrus*, economic benefit, harvest delay, increase of fruit weight.

INTRODUCTION

Citrus growers in Veracruz, Mexico, the largest citrus producing region of the country and one of the largest in the world, often attempt to keep their fruit on the tree as long as possible to obtain better prices and avoid oversupplied domestic markets. However, a large percentage of citrus production in Veracruz (25%) is lost to premature fruit drop caused in part by the attack of the Mexican fruit fly, *Anastrepha ludens* (Loew) (Ortíz-Moreno, 2009). Thus, products that can delay senescence, and at the same time decrease the fruit's susceptibility to fruit fly attack, are potentially important to growers (Aluja, 1994; 1999).

Plant growth regulators, including gibberellic acid (GA₃) and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), have been widely used to maintain rind firmness and peel colour and reduce fruit drop in California (Coggins, 1973), Florida (Ali Dinar *et al.*, 1976; Ferguson *et al.*, 1982; McDonald *et al.*, 1987), and Australia (Considine and El-Zeftawi, 1971). These compounds have also been used to extend postharvest shelf life (El-Otmani and Coggins, 1991; El-Otmani *et al.*, 2000; Ritenour *et al.*, 2005; Davies and Zalman, 2007), due to reduced susceptibility to post-harvest bacterial and fungal attack in treated fruits (Lewis *et al.*, 1967; Coggins and Hield, 1968; Coggins, 1973). Importantly, while fruit senescence is delayed and citrus peel remains firmer and greener for a longer period, the internal fruit ripening process is not halted (Coggins and Lewis, 1965; Lewis *et al.*, 1967; Coggins, 1973; Ferguson *et al.*, 1982; Birke *et al.*, 2006).

Previous studies have also shown that GA₃ can reduce citrus fruit susceptibility to the Caribbean fruit fly, *Anastrepha suspensa* (Loew) (Greany *et al.*, 1987; 1991; 1994; McDonald *et al.*, 1988) and the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Rössler and Greany, 1990). A similar effect was recently observed in the case of the Mexican fruit fly, *A. ludens* but only when fly populations were extremely low.

los árboles tratados con AG₃, la cosecha podría extenderse por seis semanas adicionales. Los frutos cosechados tardíamente podrían alcanzar un valor de ocho veces mayor que aquellos cosechados cuando el mercado está saturado de producto.

Palabras clave: *Citrus*, beneficio económico, incremento en peso del fruto, retraso en la cosecha.

INTRODUCCION

Los citricultores de Veracruz, México (la región productora de cítricos más grande del país y una de las más grandes del mundo), intentan con frecuencia retener la fruta en el árbol el mayor tiempo posible para obtener mejores precios, evitando con ello colocar la fruta en mercados locales sobresaturados. Sin embargo, una gran proporción de la producción de cítricos en Veracruz (25%) se pierde por la caída prematura ocasionada en parte al ataque de la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* (Loew) (Ortíz-Moreno, 2009). Es por ello que, los productos agrícolas que retarden la senescencia del fruto y al mismo tiempo reduzcan la susceptibilidad de estos al ataque de moscas de la fruta, son de enorme interés para los productores (Aluja, 1994; 1999).

Los reguladores de crecimiento vegetal, incluyendo el ácido giberélico (AG₃) y el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), han sido utilizados en California (Coggins, 1973), Florida (Ali Dinar *et al.*, 1976; Ferguson *et al.*, 1982; McDonald *et al.*, 1987) y Australia (Considine y El-Zeftawi, 1971), para mantener la firmeza y el color verde del epicarpio de la fruta y evitar la caída prematura de ésta. Estos compuestos se han usado para extender la vida en anaquel después de la cosecha (El-Otmani y Coggins, 1991; El-Otmani *et al.*, 2000; Ritenour *et al.*, 2005; Davies y Zalman, 2007), debido a una reducida susceptibilidad de los frutos tratados, al ataque postcosecha por bacterias y hongos (Lewis *et al.*, 1967; Coggins y Hield, 1968; Coggins, 1973). Un efecto del AG₃ está vinculado al hecho que mientras la senescencia de frutos tratados es retrasada y la cáscara de cítricos permanece más firme y verde por un periodo más largo, el proceso interno de maduración no se detiene (Coggins y Lewis, 1965; Lewis *et al.*, 1967; Coggins, 1973; Ferguson *et al.*, 1982; Birke *et al.*, 2006).

Estudios previos mostraron que la aplicación de AG₃ reduce la susceptibilidad de cítricos al ataque de la mosca del Caribe, *Anastrepha suspensa* (Loew) (Greany *et al.*, 1987; 1991; 1994; McDonald *et al.*, 1988) y a la mosca del Mediterráneo,

In Mexico, no prior use of plant growth regulators to reduce fruit drop, or delay the harvest period of oranges and grapefruit, has been formally documented. Based on the above, and given the demonstrated potential of GA₃ to delay fruit senescence in other parts of the world, we decided to determine the efficiency of this approach in citrus groves in Veracruz, Mexico. Veracruz has the largest planted surface of citrus in the entire country (200 000 ha) and is one of the largest citrus growing regions in the world if one considers lime, tangerine in addition to various cultivars of oranges and grapefruit (SAGARPA, 2009).

Citrus production in Veracruz is concentrated over a short time period during which, due to oversupply, prices are low. But towards the end of the season, as prices increase, fruit rind has become senescent, and ripening fruit becomes highly susceptible to bacterial, fungal and fruit fly attack causing dramatic increases in fruit drop. Rössler and Greany (1990) have shown that GA₃ can also enhance citrus natural resistance (toxic citrus oils remain concentrated for several weeks) and fruit senescence is delayed. If GA₃ in Mexico shows to be as effective as in Florida, growers could be benefited by an extended harvest period, and concomitant access to higher prices.

Here, we report the results of a three-year study (1992-1995), conducted to determine the effect of GA₃ on specific physical characteristics of 'Ruby Red' grapefruit (*Citrus paradisi* MacFadyen) and 'Valencia' orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) trees. For oranges, we also evaluated the optimal dose rates for GA₃ and surfactant applications that could reduce fruit drop and extend the harvest period.

MATERIALS AND METHODS

In both grapefruit and oranges we assessed the effect of GA₃ on peel puncture resistance, coloration, leaf drop and fruit weight. In the case of oranges, we also evaluated the effect that GA₃ could have on reducing fruit drop and extending the harvest period. This could not be evaluated in grapefruit due to high fruit drop caused by increased fruit fly attack towards the end of the season (Birke *et al.*, 2006).

Study sites. Experiments were conducted in two commercial citrus groves, Finca "Montecristo" ('Valencia' oranges), and Finca "La Florida" ('Ruby Red' grapefruit), located in Congregación de Cañadas, Martínez de la Torre, Veracruz, Mexico (400 masl; 96° 47' West Longitude; 19° 58 North

Ceratitis capitata (Wiedemann) (Rössler y Greany, 1990). Un efecto similar fue observado recientemente en el caso de la mosca mexicana de la fruta, *A. ludens* pero sólo cuando los niveles poblacionales fueron extremadamente bajos.

En México, no se ha documentado formalmente el uso de reguladores de crecimiento para reducir la caída prematura de frutos, o para prolongar la cosecha de naranjas y toronjas. Basado en lo anterior, y considerando el uso potencial, ha demostrado que AG₃ reduce la senescencia del fruto en otras partes del mundo, por ello decidimos determinar la eficacia de este producto en huertos citrícolas de Veracruz, México. Veracruz, cuenta con la mayor superficie sembrada de cítricos del país (200 000 ha), y es una de la regiones citrícolas más grandes del mundo, si se considera la producción de limón y mandarina; además de los diversos cultivares de naranja y toronja (SAGARPA, 2009).

La producción citrícola en Veracruz se concentra en un periodo corto, durante el cual, debido a la sobreoferta, los precios son bajos. A finales de la temporada, los precios se incrementan, el epicarpio se torna senescente y la fruta en maduración se vuelve altamente susceptible al ataque de bacterias, hongos y moscas de la fruta, provocando incrementos dramáticos en la caída de éstos. Rössler y Greany (1990) demostraron que el AG₃ también puede fortalecer la resistencia natural de los cítricos. Los aceites esenciales tóxicos del epicarpio que confieren resistencia, permanecen concentrados por varias semanas. Aunado a lo anterior, la senescencia de los frutos se retrasa. En el caso de demostrarse que el AG₃ en México es tan efectivo como en Florida, los productores podrían beneficiarse al extender por un periodo más largo la época de cosecha y por lo tanto, tendrían acceso a mejores precios.

Aquí, reportamos los resultados de un estudio realizado por un periodo de tres años (1992-1995), llevado a cabo para determinar el efecto del AG₃ sobre características específicas de frutos en árboles de toronja 'Ruby Red' (*Citrus paradisi* MacFadyen) y naranja 'Valencia' (*Citrus sinensis* L. Osbeck). Para naranjas, también evaluamos la aplicación de distintas dosis de AG₃ y surfactante, que pudiesen reducir la caída de frutos y extender el periodo de cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Evaluamos, tanto para toronjas como para naranjas el efecto de AG₃ sobre la resistencia del epicarpio a la punción de una

Latitude). This area has a dry season that can last between four and five months from the middle of March to the middle of July. The mean annual rainfall is 1 600 mm and the average temperature is 22 °C (INEGI, 1984).

Application of GA₃ and surfactant in the grapefruit and orange orchards. The gibberellic acid used was ProGibb® Plus 2X wettable powder (Abbott Laboratories, North Chicago, IL). The organosilicone surfactant used was Silwet® L-77 (dimethyl polysiloxane modified with alkylene oxide) (Osi Specialties, Inc., Danbury, CT).

‘Ruby Red’ grapefruit orchard. Experiments were carried out from 1992 to 1995 using a random block design. During the 1992-1993 harvest seasons, 15 trees per treatment were used comprising five replicates of three trees each. During the following season (1993-1994), 162 trees per treatment were used comprising nine replicates of 18 trees each. For the 1994-1995 seasons, 30 trees per treatment were used comprising five replicates of 6 trees each. In all cases, approximately 30 litres of GA₃ solution were applied per treatment tree using a manual sprayer (JACTO AteSa S. A., Torreón, Mexico) (at 36 s L⁻¹) attached to a 1 500 litres tank pulled by a tractor. Control trees were sprayed with water using the same equipment described above. Fruit were always treated before colour break, on 03 August (first application) and 03 September (second application) in 1992, on 05 August in 1993, and on 09 August in 1994 (Table 1).

aguja (firmeza de fruto), coloración, caída de hojas y peso de fruto. En el caso de las naranjas, también evaluamos el efecto potencial del AG₃ en la reducción de la caída de fruto y la extensión del periodo de cosecha. Lo anterior, no pudo evaluarse en toronjas, debido a los altos niveles de caída de fruto provocados por el ataque de moscas de la fruta a finales de temporada (Birke *et al.*, 2006).

Sitios de estudio. Los experimentos se llevaron a cabo en dos huertos comerciales de cítricos, finca “Montecristo” (naranjas ‘Valencia’), y finca “La Florida” (toronjas ‘Ruby Red’), localizados en la Congregación de Cañadas, Martínez de la Torre, Veracruz, México (400 msnm; 96° 47’ W; 19° 58’ N). Esta área tiene una estación seca que puede durar de cuatro a cinco meses, desde mediados de marzo hasta mediados de julio. La precipitación media anual es de 1 600 mm y la temperatura media de 22 °C (INEGI, 1984).

Aplicación de AG₃ y surfactante en huertos de toronja y naranja. El ácido giberélico utilizado fue el polvo humectable ProGibb® Plus 2X (Abbott Laboratories, North Chicago, IL). El surfactante organosiliconado fue Silwet® L-77 (dimetil polisiloxano modificado con óxido alcaleno) (Osi Specialties, Inc., Danbury, CT).

Huerto de toronja ‘Ruby Red’. Los experimentos se llevaron a cabo de 1992 a 1995 usando un diseño en bloques al azar. Durante la temporada 1992-1993, se trataron 15

Table 1. Gibberellic acid (GA₃) and surfactant (Silwet L-77) concentrations used to treat ‘Ruby Red’ grapefruit and ‘Valencia’ oranges.

Cuadro 1. Concentraciones de ácido gibérellico (AG₃) y surfactante (Silwet L-77), para tratar toronja ‘Ruby Red’ y naranja ‘Valencia’.

Grapefruit	Oranges
1992-1993	1992-1993
Absolute control (water)	Absolute control (water)
20 mg L ⁻¹ GA ₃ (2 applications)*	10 mg L ⁻¹ GA ₃
20 mg L ⁻¹ GA ₃	20 mg L ⁻¹ GA ₃ (2 applications)*
20 mg L ⁻¹ GA ₃ + 0.1% L-77 (2 applications)*	20 mg L ⁻¹ GA ₃
20 mg L ⁻¹ GA ₃ + 0.1% L-77	10 mg L ⁻¹ GA ₃ + 0.05% L-77
40 mg L ⁻¹ GA ₃ + 0.1% L-77	20 mg L ⁻¹ GA ₃ + 0.05% L-77
1993-1994	1993-1994
Absolute control (water)	Absolute control (water)
15 mg L ⁻¹ GA ₃ + 0.05% L-77	15mg L ⁻¹ GA ₃ + 0.05% L-77
1994-1995	
Absolute control (water)	
15 mg L ⁻¹ GA ₃ + 0.035% L-77	
15 mg L ⁻¹ GA ₃ + 0.05% L-77	

*= treatment repeated one month later on grapefruit and 45 days later on orange trees.

'Valencia' orange orchard. A random block design was used in the experimental plot. Experiments were conducted during two seasons. During the 1992-1993 seasons, 80 trees per treatment were used comprising 5 replicates of 16 trees each. For 1993-1994, a total of 440 trees were employed per treatment comprising 4 replicates of 110 trees each. GA₃ was applied during 1992-1993 with a manual sprayer (JACTO AteSa S. A. Torreón, Mexico) (at 36 s L⁻¹) attached to a 1 500 liter tank pulled by a tractor. During 1993-1994, a speed sprayer was used. Control trees were sprayed with water using the same equipment described above. The first year (1992), GA₃ was applied twice, on 15 October and 30 November, whereas in 1993, the compound it was applied only once on 19 October (Table 1).

Evaluation of peel firmness and fruit colour. Grapefruits were sampled monthly from November through February for 1992-1993 (N= 75 per treatment). Five fruits were sampled from each tree. For the 1993-1994 season, fruits were sampled from October through January (N= 164 per treatment), four fruits were sampled from 41 trees selected randomly. For the 1994-1995 season, fruits were also sampled from October through January (N= 20 per treatment); two fruits were sampled from 10 randomly selected trees.

Oranges were sampled monthly from December to March for 1992-93 (N= 80 per treatment); one fruit was harvested from each tree. For the 1993-1994 seasons (N= 144 per treatment) three fruit were harvested from 48 randomly sampled trees from December through May. Fruit harvested from the experimental plots was transported to the Instituto de Ecología, A. C. laboratories in Xalapa (3 h drive), to assess peel firmness and fruit colour. All measurements were taken within a 48 h period post-harvest.

Rind firmness was determined using a 1 mm flat-tip, metal probe (4 equatorial punctures per fruit) connected to a force gauge (Accuforce gauge III, model AF3010CE, Ametek, Mansfield & Green Division, Largo, FL) on a motorized test stand (model 4665, Ametek, Mansfield & Green Division, Largo, FL).

Evaluation of leaf drop. For grapefruit trees, leaf drop was assessed by placing two plastic baskets (15*20 cm) underneath tree canopies (N= 10 baskets per treatment) and monthly counts the number of fallen leaves inside the containers from October to December. For orange trees,

árboles, cinco réplicas cada una con tres árboles. Durante la siguiente temporada (1993-94), se utilizaron 162 árboles por tratamiento comprendiendo nueve réplicas de 18 árboles cada una. Para la temporada 1994-95, se usaron 30 árboles por tratamiento comprendiendo cinco réplicas de seis árboles cada una. En todos los casos, se aplicaron aproximadamente 30 litros de solución de AG₃ por árbol tratado. Durante 1992-93 se utilizó una bomba aspersora manual (JACTO AteSa S. A., Torreón, México) y durante 1993-94 y 1994-95 una bomba de aspersión (36 s L⁻¹) fijada a un tanque de 1500 litros jalado por un tractor. Los árboles control fueron asperjados con agua utilizándose el equipo antes descrito. La fruta fue tratada antes del proceso de maduración fisiológico (antes que cambiara de color). Las aplicaciones se realizaron en 1992, el 03 de agosto (primera aplicación) y el 03 de septiembre (segunda aplicación), en 1993 el 05 de agosto y en 1994 el 09 de agosto (Cuadro 1).

Huerto de naranja 'Valencia'. Se utilizó un diseño de bloques al azar. Los experimentos se llevaron a cabo durante dos temporadas. Durante la temporada 1992-93, se usaron 80 árboles por tratamiento que comprendían cinco réplicas de 16 árboles cada una. Para 1993-94, se usaron un total de 440 árboles por tratamiento divididos en cuatro réplicas de 110 árboles cada una. El AG₃ fue aplicado en 1992-93 con una bomba aspersora manual (JACTO AteSa S. A. Torreón, México). Durante 1993-94, se uso una bomba de aspersión (36 s L⁻¹) fijada a un tanque de 1500 litros jalado por un tractor. Los árboles control fueron asperjados con agua usando el mismo equipo descrito. El primer año (1992), se aplicó AG₃ en dos ocasiones, en octubre 15 y noviembre 30, mientras que en 1993, el producto fue aplicado una sola vez, el 19 de octubre (Cuadro 1).

Evaluación de la firmeza y coloración del epicarpio. Las toronjas fueron muestreadas mensualmente durante los tres años. Durante 1992-1993 de noviembre a febrero (N= 75 por tratamiento) y se muestrearon cinco frutos por árbol. Para la temporada 1993-1994 de octubre a enero, se muestrearon cuatro frutos de 41 árboles (N= 164 por tratamiento) seleccionados al azar. Para la temporada 1994-1995 de frutos también se colectaron de octubre a enero (N= 20 por tratamiento) y se muestrearon dos frutos de 10 árboles seleccionados al azar.

Las naranjas fueron muestreadas mensualmente de diciembre a marzo 1992-1993 (N= 80 por tratamiento); se seleccionó un fruto por árbol. Para la temporada 1993-94 (N= 144 por tratamiento) tres frutos fueron cortados de 48 árboles muestreados al azar de diciembre a mayo. La fruta muestreada de las parcelas experimentales fue transportada a los

leaf drop was assessed during the 1992-1993 season, one month after the final GA₃ application. Two wooden squares (50 cm²) were randomly thrown underneath the canopy of 20 orange trees per treatment and the total number of fallen leaves inside the squares was counted.

Determination of fruit weight. To determine whether GA₃ had an effect on fruit weight, groups of 14 grapefruit from 41 trees per treatment (N= 41 groups of fruit per treatment), and groups of three oranges per tree from 48 randomly selected trees per treatment (N= 48 groups of fruit per treatment) were sampled from the experimental orchard during the 1993-1994 season and were transported to the laboratories in Xalapa. Fruit were weighed using an electronic digital precision balance (OHAUS® Precision plus TP4KD, OHAUS Corporation, Florham Park, N. J. USA).

Quantification of fruit drop. Orange drop was quantified by counting and removing fallen fruits beneath tree canopies each month. During 1992-1993, we assessed fruit drop regularly from December through March. After March, fruit drop was counted daily until a 13 fruit per tree “harvest threshold” was reached. Grapefruit drop was not assessed because late in the season, the few remaining fruit on the tree were heavily infested by *A. ludens* larvae and therefore tended to drop prematurely. The fruit fly population was extremely high during this season (Birke *et al.*, 2006).

Determination of optimal orange harvest period. The effect that GA₃ had on the length of the orange harvest period was assessed during the 1992-1993 season in an experimental plot in which fruit was not harvested to determine whether GA₃ treatments would allow trees to retain fruit past the conventional harvest period in the region. The harvest threshold was set by local growers at 13 fallen fruits per tree after 31 March which is when the harvest season normally ends (i.e., all ripe fruit still on the tree are usually harvested by this date). Growers considered that more than 13 fallen fruit per tree resulted in an economic loss (Bigurra, 1995).

Statistical analysis. All results were rank-transformed to ranks (Zar, 1999) and were subjected to two-way analyses of variance (ANOVA) (SAS, 1998), with the exception of leaf drop and fruit drop that were not transformed prior to ANOVA. Posthoc comparisons were performed using Scheffé tests ($p < 0.05$).

laboratorios del Instituto de Ecología, A. C. en Xalapa (3 h de distancia), donde se midió la firmeza del epicarpio y coloración del fruto. Todas las medidas fueron tomadas dentro un periodo no mayor a 48 h posterior al corte.

La firmeza del epicarpio fue determinada usando un penetrómetro que presentaba una aguja metálica plana de 1 mm de diámetro conectada a un medidor de fuerza (Accuforce gauge III, model AF3010CE, Ametek, Mansfield & Green Division, Largo, FL) sobre un soporte motorizado (model 4665, Ametek, Mansfield & Green Division, Largo, FL). En cada fruto se realizaron cuatro perforaciones ecuatoriales.

Evaluación de la caída de hojas. Para árboles de toronja, la caída de hojas fue medida mediante el conteo mensual de hojas en dos canastas plásticas (15*20 cm) que previamente se colocaron bajo la copa de los árboles (N= 10 canastas por tratamiento). El conteo de hojas se realizó de octubre a diciembre. Para los árboles de naranja, la caída de hojas se determinó durante la temporada 1992-93, un mes después de la última aplicación de AG₃. Para ello, se lanzó al azar bajo la copa de los árboles dos bastidores de madera (50 cm²), se utilizaron 20 árboles de naranja por tratamiento y se registró el número total de hojas dentro del bastidor.

Determinación de peso del fruto. Para determinar si el AG₃ tuvo efecto en el incremento en peso del fruto, se muestrearon grupos de 14 toronjas de 41 árboles por tratamiento (N= 41 grupos de fruta por tratamiento), y grupos de tres naranjas por árbol de 48 árboles seleccionados al azar por tratamiento (N= 48 grupos de fruta por tratamiento) durante la temporada 1993-1994. Estos frutos se transportaron a los laboratorios de Xalapa. La fruta se pesó usando una balanza electrónica digital de precisión (OHAUS® Precision plus TP4KD, OHAUS Corporation, Florham Park, N. J. USA).

Cuantificación de la caída de frutos. La caída de naranjas fue cuantificada mensualmente, para ello se contó y retiró la fruta bajo la copa de los árboles. Durante 1992-1993, evaluamos la caída de frutos de diciembre a marzo. Después de marzo la fruta caída fue contada diariamente hasta alcanzar el “umbral de cosecha” de 13 frutos por árbol. En el caso de toronja, la caída de frutos no fue evaluada ya que a finales de la temporada los pocos frutos que quedaban en el árbol estaban altamente infestados con larvas de *A. ludens* y por lo tanto tendían a caer prematuramente. Los niveles poblacionales de moscas de la fruta fueron muy altos durante ese año (Birke *et al.*, 2006).

RESULTS

Various GA₃ and surfactant doses proved to be effective in maintaining fruit firmness and delaying fruit color change in both 'Valencia' oranges and 'Ruby Red' grapefruit. However, GA₃ treatments with surfactant also increased leaf drop within weeks of application. Importantly, a dose of 15 mg L⁻¹ GA₃ and surfactant significantly increased fruit weight in both oranges and grapefruit. Finally, and in the case of oranges, GA₃ in combination with a surfactant significantly diminished fruit drop late in the harvest season for a period of up to six weeks.

GA₃ effect on peel firmness and peel coloration. GA₃ significantly delayed peel fruit softness and skin coloration (Figure 1). During the 1992-1993 season, grapefruit peel was firmer (two-way ANOVA, $F_{3,1681}=213.18$, $p<0.0001$ months; $F_{5,1681}=127.39$, $p<0.0001$ treatment; $F_{15,1681}=2.26$, $p=0.0038$ monthstreatment). Fruit treated with GA₃ plus surfactant was firmer than those treated only with GA₃, while control fruit was the least hard. Peel coloration was also dose-dependent, (two-way ANOVA, $F_{3,1681}=618.73$, $p<0.0001$ months; $F_{5,1681}=99.23$, $p<0.0001$ treatment; $F_{15,1681}=14.67$, $p<0.0001$ months*treatment), fruit treated with two applications of 20 mg L⁻¹ + 0.1% L77 maintained greenness for a longer period than fruit treated with other doses.

Determinación del periodo óptimo de cosecha de naranja.

El efecto del AG₃ sobre la extensión de la cosecha de naranja fue evaluado durante la temporada 1992-1993, en una parcela experimental cuya fruta no fue cosechada, con el fin de determinar si el tratamiento con AG₃ permitiría retener la fruta en los árboles más allá del periodo convencional de cosecha en la región. El umbral de cosecha fue fijado por productores locales, en 13 frutos caídos por árbol, a partir del 31 de marzo (i.e., toda la fruta que queda en el árbol es usualmente cosechada en esa fecha). Los productores consideraban que más de 13 frutos caídos por árbol resultaba en pérdidas económicas (Bigurra, 1995).

Análisis estadístico. Con excepción de los datos de hojas y frutos caídos, todos los resultados fueron convertidos a rangos (Zar, 1999) y sometidos a análisis de varianza de dos vías (ANDEVA) (SAS, 1998). Las comparaciones posthoc se hicieron mediante pruebas de Scheffé ($p<0.05$).

RESULTADOS

El AG₃ con surfactante probó ser altamente efectivo para mantener la firmeza del fruto y retrasar el cambio de color del epicarpio, tanto para naranjas 'Valencia' como para toronjas

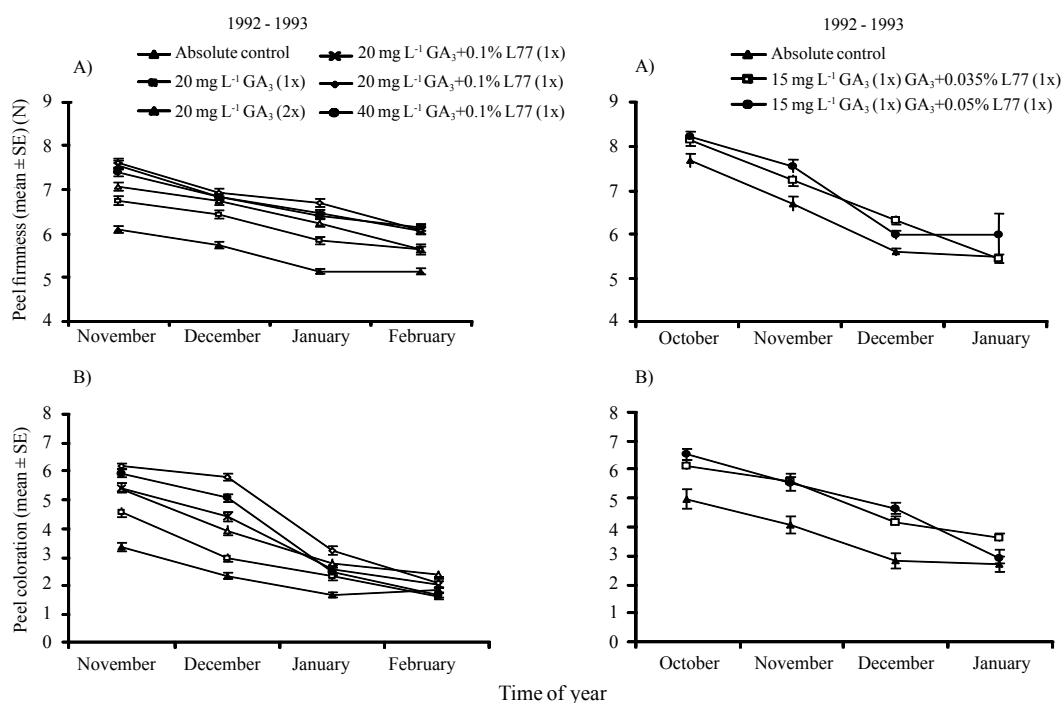


Figure 1. Doses of GA₃ and surfactant applications on 'Ruby Red' grapefruit peel firmness (A) and coloration (B) during the 1992-1993 and 1994-1995. 1x or 2x= 1 or 2 applications of the substances.

Figura 1. Dosis de aplicación de AG₃ y surfactante sobre la firmeza del epicarpio (A) y la coloración (B) de toronja 'Ruby Red' durante 1992-93 y 1994-95. 1x o 2x= 1 ó 2 aplicaciones de productos.

Control fruit senesced faster than GA₃-treated fruit. In the 1994-1995 season, peel firmness also differed significantly (two-way ANOVA, $F_{3,228}=124.33, p<0.0001$ months; $F_{2,228}=26.16, p<0.0001$ treatment; $F_{6,173}=1.58, p<0.154$ months*treatment). Fruit coloration during this year was also significantly different between months and treatments (two-way ANOVA, $F_{3,228}=82.82, p<0.0001$ months; $F_{2,228}=34.12, p<0.0001$ treatment; $F_{6,228}=2.43, p=0.027$ months*treatment); all treated fruit was greener than control fruit.

In 1992-1993 season, oranges were firmer when treated with GA₃ (two-way ANOVA, $F_{3,1896}=121.11, p<0.0001$ months; $F_{5,1896}=25.65, p<0.0001$ treatment; $F_{15,1896}=1.19, p=0.27$ months*treatment) (Figure 2). Fruit coloration also showed significant differences between treatments (two-way ANOVA, $F_{3,1894}=286.87, p<0.0001$ months; $F_{5,1894}=206.21, p<0.0001$ treatment; $F_{15,1894}=9.44, p<0.0001$ months*treatment). In 1993-1994 season, a similar effect was observed in both peel firmness (two-way ANOVA, $F_{5,1716}=70.91, p<0.0001$ months; $F_{1,1716}=250.31, p<0.0001$ treatment; $F_{5,1716}=9.44, p<0.0067$ months*treatment) and peel coloration (two-way ANOVA, $F_{5,1715}=287.66, p<0.0001$ months; $F_{1,1715}=801.6, p<0.0001$ treatment; $F_{5,1715}=801.6, p<0.000007$ months*treatment) (Figure 2). Dependent effects on peel firmness and color were detected in relation to GA₃, surfactant concentrations.

‘Ruby Red’. Sin embargo, la aplicación conjunta de AG₃ con surfactante causó un incremento significativo en la caída de hojas pocas semanas después de la aplicación. La dosis de 15 mg L⁻¹ AG₃ y surfactante incrementó significativamente el peso del fruto, esto se observó tanto para toronjas como para naranjas. Finalmente, en el caso de las naranjas, el AG₃ en combinación con surfactante disminuyó significativamente la caída de frutos al final de la temporada, la extensión de la cosecha se prolongó por un periodo de hasta seis semanas.

Efecto del AG₃ en la firmeza y coloración del epicarpio.

El AG₃ retrasó significativamente el reblandecimiento y la coloración del epicarpio de la fruta (Figura 1). Durante la temporada 1992-93, el epicarpio de toronjas tratadas fue más firme (ANDEVA, de dos vías, $F_{3,1681}=213.18, p<0.0001$ mes; $F_{5,1681}=127.39, p<0.0001$ tratamiento; $F_{15,1681}=2.26, p=0.0038$ mes*tratamiento). La fruta tratada con AG₃ y surfactante fue más firme que aquella tratada solamente con AG₃, mientras que la fruta control fue la menos firme. El efecto sobre la coloración del epicarpio dependió de la dosis (ANDEVA, de dos vías, $F_{3,1681}=618.73, p<0.0001$ mes; $F_{5,1681}=99.23, p<0.0001$ tratamiento; $F_{15,1681}=14.67, p<0.0001$ mes*tratamiento), la fruta tratada con dos aplicaciones de 20 mg L⁻¹ + 0.1% L77 mantuvo su verdor por un periodo más prolongado que aquella tratada con otras dosis.

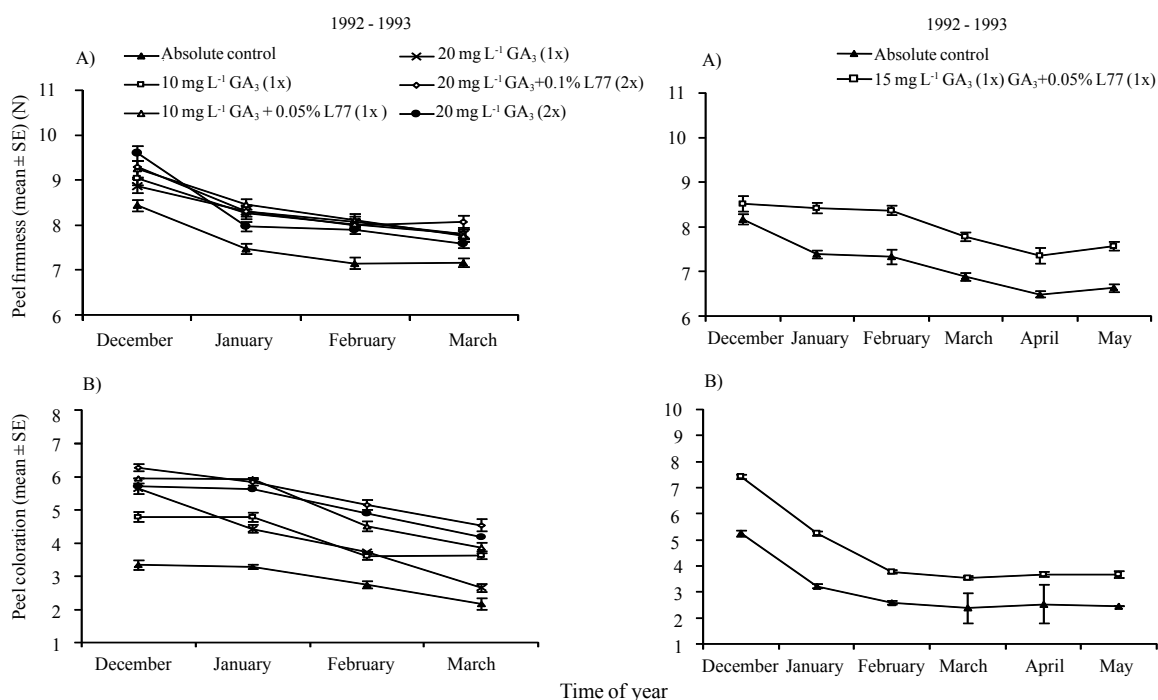


Figure 2. Doses of GA₃ and surfactant applications on ‘Valencia’ orange peel firmness (A) and coloration (B) during 1992-1993 and 1993-1994. 1x or 2x= 1 or 2 applications of the substances.

Figura 2. Dosis de aplicación de AG₃ y surfactante sobre la firmeza del epicarpio (A) y coloración (B) de naranja ‘Valencia’ durante 1992-1993 y 1993-1994. 1x o 2x= 1 ó 2 aplicaciones de los productos.

GA₃ effect on leaf drop. During our three-year study, treatments with GA₃ plus surfactant caused significant increases in leaf drop shortly after application in grapefruit (Figure 3A) (two-way ANOVA, $F_{2,81} = 108.92$, $p < 0.0001$ months; $F_{2,81} = 19.42$, $p < 0.0001$ treatment; $F_{4,81} = 24.19$, $p < 0.0001$ months treatment). In the case of grapefruit, GA₃-treatments caused an increase in leaf drop compared to control trees. For oranges (Figure 3B) leaf drop also increased in trees treated with GA₃ and surfactant (two-way ANOVA, $F_{1,228} = 113.48$, $p < 0.0001$ months; $F_{5,228} = 22.98$, $p < 0.0001$ treatment; $F_{5,228} = 35.65$, $p < 0.0001$ months*treatment).

La fruta control senesció más rápido que la tratada con AG₃. En la temporada 1994-95, la firmeza del epicarpio también difirió significativamente entre tratamientos (ANDEVA, de dos vías, $F_{3,228} = 124.33$, $p < 0.0001$ mes; $F_{2,228} = 26.16$, $p < 0.0001$ tratamiento; $F_{6,173} = 1.58$, $p < 0.154$ mes*tratamiento). La coloración del fruto ese año también fue diferente entre meses y tratamientos (ANDEVA, de dos vías, $F_{3,228} = 82.82$, $p < 0.0001$ mes; $F_{2,228} = 34.12$, $p < 0.0001$ tratamiento; $F_{6,228} = 2.43$, $p = 0.027$ mes*tratamiento); en todos los casos la fruta tratada se mantuvo más verde que el control.

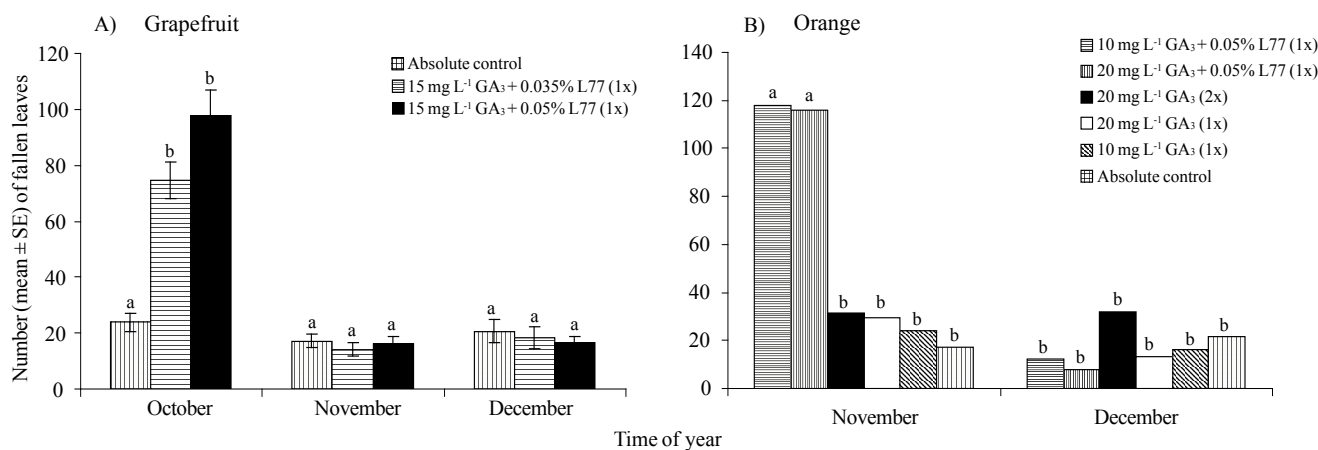


Figure 3. GA₃ and surfactant doses on 'Ruby Red' grapefruit (A) and 'Valencia' orange (B) leaf drop one month after applications, during the 1994-1995 and 1992-1993. 1x or 2x = 1 or 2 applications. Columns bearing same letter are not statistically different (Scheffe posthoc comparison test, $\alpha > 0.05$).

Figura 3. Dosis de AG₃ y surfactante sobre la caída de hojas en toronjos 'Ruby Red' (A) y naranjos 'Valencia' (B), un mes después de las aplicaciones durante 1994-1995 y 1992-1993. 1x o 2x = 1 ó 2 aplicaciones. Columnas con la misma letra no son estadísticamente diferentes (comparaciones posthoc con pruebas de Scheffe, $\alpha > 0.05$).

GA₃ effect on fruit weight. From a grower's perspective, a highly positive effect of GA₃ and surfactant applications was a significant increase in grapefruit weight during the 1993-94 seasons (two-way ANOVA, $F_{3,320} = 50.4$, $p < 0.0001$ months; $F_{1,320} = 31.376$, $p < 0.0001$ treatment; $F_{3,320} = 2.263$, $p < 0.081$ months*treatment) (Figure 4A). On average, grapefruit weight increased 53 g per fruit, equivalent approximately 1.87 t ha⁻¹. Treated orange (same dose as above) also weighed significantly more than untreated ones (two-way ANOVA, $F_{5,564} = 1.178$, $p < 0.015$ months; $F_{1,564} = 4.636$, $p < 0.0001$ treatment; $F_{5,564} = 2.439$, $p < 0.0001$ months*treatment) (Figure. 4B). On average, orange weight increased 34 g per fruit, equivalent approximately 1.7 t ha⁻¹.

GA₃ effect on fruit drop. Throughout the orange harvest period, from December through March, fruit drop was reduced in treated trees at the end of the harvest season, when

En la temporada 1992-1993, las naranjas fueron más firmes cuando fueron tratadas con AG₃ (ANDEVA, de dos vías, $F_{3,1896} = 121.11$, $p < 0.0001$ mes; $F_{5,1896} = 25.65$, $p < 0.0001$ tratamiento; $F_{15,1896} = 1.19$, $p = 0.27$ mes*tratamiento) (Figura 2). La coloración del fruto también mostró diferencias significativas entre tratamientos (ANDEVA, de dos vías, $F_{3,1894} = 286.87$, $p < 0.0001$ mes; $F_{5,1894} = 206.21$, $p < 0.0001$ tratamiento; $F_{15,1894} = 9.44$, $p < 0.0001$ mes*tratamiento). En la temporada 1993-1994, se observó un efecto similar para firmeza del epicarpio (ANDEVA, de dos vías, $F_{5,1716} = 70.91$, $p < 0.0001$ mes; $F_{1,1716} = 250.31$, $p < 0.0001$ tratamiento; $F_{5,1716} = 9.44$, $p < 0.0067$ mes*tratamiento) como para la coloración del epicarpio (ANDEVA, de dos vías $F_{5,1715} = 287.66$, $p < 0.0001$ mes; $F_{1,1715} = 801.6$, $p < 0.0001$ tratamiento; $F_{5,1715} = 801.6$, $p < 0.000007$ mes*tratamiento) (Figura 2). Se detectaron efectos dependientes sobre firmeza del epicarpio y color en relación a la concentración de AG₃ con surfactante y aplicaciones repetidas.

control trees did not retain fruit (two-way ANOVA, $F_{3,1896}=39.6$, $p<0.0001$ months; $F_{5,1896}=11.13$, $p<0.0001$ treatment; $F_{15,1896}=1.63$, $p=0.06$ months*treatment) (Figure 5A).

Efecto de AG₃ sobre la caída de hojas. Durante los tres años de estudio, todos los tratamientos con AG₃ en combinación con surfactante causaron en toronja, poco después de

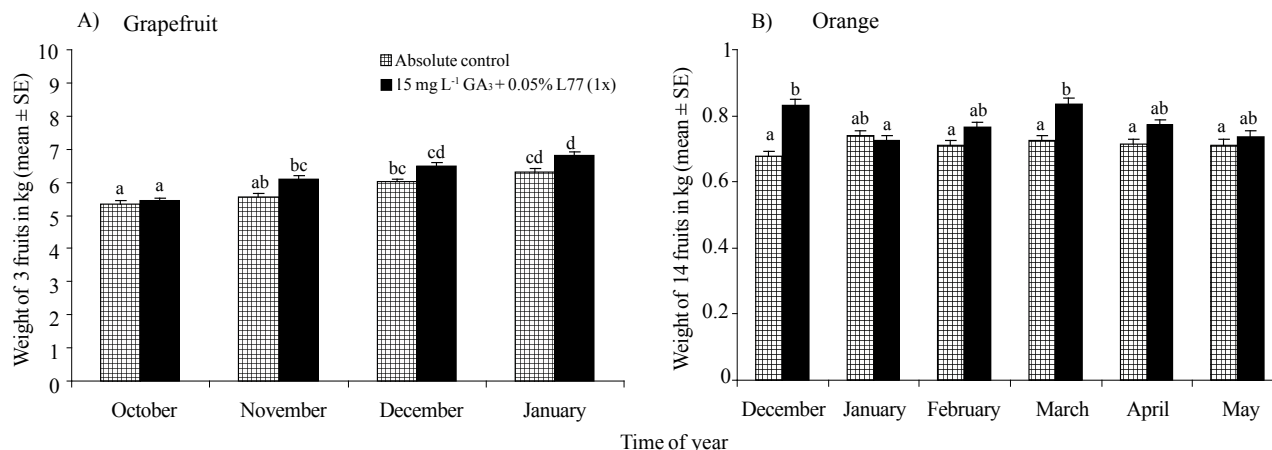


Figure 4. Effect of 15 mg L⁻¹ GA₃ and 0.05% Silwet L-77 on 'Ruby Red' (A) and 'Valencia' orange (B) weight during the 1993-1994. Columns headed by the same letter are not statistically different (scheffe posthoc test, $\alpha > 0.05$).

Figura 4. Efecto de 15 mg L⁻¹ de AG₃ y 0.05% Silwet L-77 sobre el peso de toronja 'Ruby Red' (A) y naranja 'Valencia' (B) durante 1993-1994. Las columnas con la misma letra no son significativamente distintas (pruebas de Scheffe, $\alpha > 0.05$).

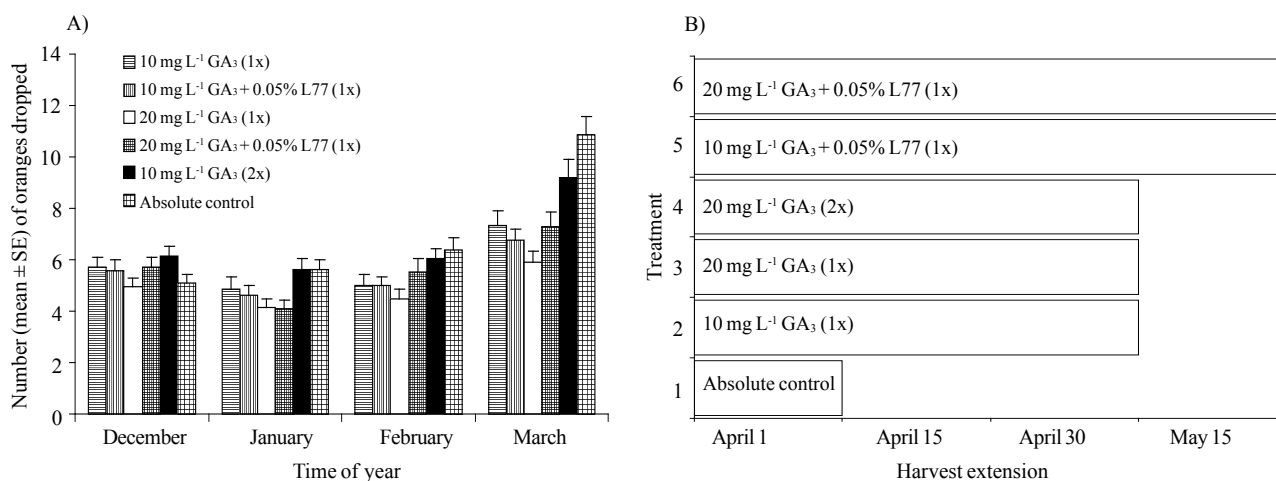


Figure 5. A) Five GA₃ doses and surfactant applications on 'Valencia' orange fruit drop in 1992-1993. B) effect of same five different GA₃ and surfactant doses in an experimental plot in which fruit were not harvested to determine if GA₃ treatments would allow trees to retain fruit past the conventional harvest period in the region. 1x or 2x= 1 or 2 applications.

Figura 5. A) Cinco dosis de AG₃ y surfactante sobre la caída de frutos de naranjas 'Valencia' en 1992-1993. B) efecto de tratamiento con las mismas cinco dosis de AG₃ y surfactante en una parcela experimental, donde no se cosechó la fruta para determinar si los tratamientos con AG₃ permitían retener la fruta más allá del periodo convencional de cosecha en la región. 1x o 2x= 1 ó 2 aplicaciones.

GA₃ effect on orange harvest delay. Results obtained during the 1992-1993 season, indicated that GA₃ significantly delayed the time at which the predetermined harvest threshold was reached i. e., 13 fallen fruit under the canopy of a tree after 31 March. Treatments that combined GA₃

su aplicación, un incremento significativo en la caída de hojas (Figura 3A) (ANDEVA, de dos vías $F_{2,81}=108.92$, $p<0.0001$ mes; $F_{2,81}=19.42$, $p<0.0001$ tratamiento; $F_{4,81}=24.19$, $p<0.0001$ mes*tratamiento). Para naranjas (Figura 3B) la caída de hojas se incrementó únicamente en árboles tratados con

with a surfactant allowed the grower to harvest fruit up to six weeks later than control trees and 15 days later than trees treated with GA₃ alone (without surfactant). Treatments that retained fruit on the tree for the longest time were 10 mg L⁻¹ GA₃ plus 0.05% L-77 (1 application) and 20 mg L⁻¹ GA₃ plus 0.05% L-77 (1 application) (Figure 5B).

DISCUSSION

An economic perspective on the results of the application of AG₃ in citric orchards in the State of Veracruz.

Believe that results have important practical implications in terms of orchard management and economics. First, GA₃ applications significantly increased the average weight of fruit. On average, weight increased 34 g and 29 g per fruit, for oranges and grapefruit, respectively. We highlight the fact that the weight increase alone can be potentially important in terms of economic gains. Considering a mean average yield of 50 000 oranges ha⁻¹ for a small producer with a limited amount of capital (Aluja *et al.*, 1996), 34 g per fruit would entail an increase in total yield of approximately 1.7 t ha⁻¹. Considering a mean size of 50 ha per citrus grove, there is a potential 85 tons yield increase, which represents thousands of US dollars at current prices. We note further, that the significant increase in fruit weight, could be achieved with a relatively low GA₃ dose of 15 mg L⁻¹ + 0.05% L-77.

Another positive effect of GA₃ and surfactant treatment was that it reduced orange drop, particularly at the end of the harvest season (Figure 5A). This effect, plus the fact that significantly more GA₃-treated fruit maintained market quality (i. e., heavier, tougher skin and better coloration) after the peak harvesting period was over, opens up a possibility for the Veracruz orange growers to extend the harvest season into the month of May. The most effective doses were 10 mg L⁻¹ GA₃ + 0.05% L77 (1 application) and 20 mg L⁻¹ GA₃ + 0.05% L-77 (1 application). In both of these cases, the surfactant Silwet L-77 appeared to enhance the effectiveness of GA₃ treatments (Figure 5B).

According to an economic study conducted by us (Aluja *et al.*, 1996), delaying the harvest could help growers substantially raise their profits. In Mexico, prices increase up to eight-fold late in the season (May through August). For example, an extra gain of \$190 US dollars ha⁻¹ could be obtained if fruit were offered to the national market in May. This, added to the fact that yield increases of up to 8.5 t ha⁻¹

AG₃ en combinación con surfactante (ANDEVA, de dos vías, $F_{1,228}=113.48, p<0.0001$ mes; $F_{5,228}=22.98, p<0.0001$ tratamiento; $F_{5,228}=35.65, p<0.0001$ mes*tratamiento).

Efecto de AG₃ sobre el incremento en peso del fruto. Desde la perspectiva del productor un efecto altamente benéfico de las aplicaciones de AG₃ y surfactante fue el incremento significativo en el peso de las toronjas durante la temporada 1993-94 (ANDEVA, de dos vías, $F_{3,320}=50.4, p<0.0001$ mes; $F_{1,320}=31.376, p<0.0001$ tratamiento; $F_{3,320}=2.263, p<0.081$ mes*tratamiento) (Figura 4A). En promedio, el peso de las toronjas se incrementó en 53 g por fruto, cuyo equivalente aproximado fue de 1.9 t ha⁻¹. El peso de la naranja tratada (misma dosis) también mostró un incremento significativo en comparación con la fruta sin tratar (ANDEVA, de dos vías, $F_{5,564}=1.178, p<0.015$ mes; $F_{1,564}=4.636, p<0.0001$ tratamiento; $F_{5,564}=2.439, p<0.0001$ mes*tratamiento) (Figura 4B). En promedio, el peso de la naranja se incrementó en 34 g por fruta, equivalente aproximado 1.7 t ha⁻¹.

Efecto de AG₃ en la caída de fruta. Durante el periodo de cosecha de naranja (diciembre a marzo), la caída de fruta se redujo principalmente en árboles tratados al final de la temporada; los árboles control no retuvieron la fruta (ANDEVA, de dos vías, $F_{3,1896}=39.6, p<0.0001$ mes; $F_{5,1896}=11.13, p<0.0001$ tratamiento; $F_{15,1896}=1.63, p=0.06$ mes*tratamiento) (Fig. 5A).

Efecto de AG₃ sobre la extensión de la cosecha de naranja.

Los resultados obtenidos durante la temporada 1992-1993, indicaron que el AG₃ retrasó significativamente el tiempo preestablecido para alcanzar el umbral de cosecha (i. e., 13 frutos caídos bajo la copa de árboles después de marzo 31). Los tratamientos de AG₃ en combinación con surfactante permitieron al productor extender la cosecha hasta por seis semanas en comparación con el control y 15 días más en comparación con los árboles únicamente tratados con AG₃ (sin surfactante). Los tratamientos que retuvieron la fruta en el árbol por más tiempo fueron 10 mg L⁻¹ AG₃ + 0.05% L-77 (1 aplicación) y 20 mg L⁻¹ AG₃ más 0.05% L-77 (1 aplicación) (Figura 5B).

DISCUSIÓN

Una perspectiva económica sobre los resultados de la aplicación de AG₃ en huertos cítricos en el estado de Veracruz. Creemos que los resultados tienen implicaciones prácticas en términos económicos y de manejo de huertos.

can be obtained by the increase in treated fruit weight when compared with untreated plots (7 t ha^{-1}) represents an average increase of 17% in overall yield. In our opinion, such a scenario would render the GA_3 applications highly profitable.

In addition to the above, GA_3 (applied with or without a surfactant) is not toxic and does not harm beneficial insects (Greany *et al.*, 1994). Furthermore, GA_3 has been proven to be an effective means of control against *A. suspensa* when fly populations are very low (Greany *et al.*, 1994). In the case of the Mexican fly of the fruit, *A. ludens*, the effect of the GA_3 is much less effective, had that the females manage to evade the toxic barrier of the fruit being deposited their less egg far from the same (Birke *et al.*, 2006).

Effect of GA_3 on fruit characteristics and leaf drop. This study confirms the usefulness of GA_3 in helping sustain early season properties (e. g., peel firmness) of both 'Ruby Red' grapefruit and 'Valencia' oranges. The effect of GA_3 on peel firmness and peel coloration was most apparent when GA_3 was applied in conjunction with a surfactant. Treating grapefruit with two applications of $20 \text{ mg L}^{-1} \text{GA}_3$ and 0.1% Silwet L-77 yielded the hardest and greenest fruit, while treating oranges with a single application of $20 \text{ mg L}^{-1} \text{GA}_3$ and 0.05% Silwet L-77 yielded the hardest and greenest oranges (Figures 1 and 2). The observed dose-dependent effect found is also consistent with other reports of GA_3 combined with different concentrations of Silwet L-77 in delaying 'Marsh' grapefruit peel softening and colour change (Greany *et al.*, 1987; McDonald *et al.*, 1987).

Although GA_3 delayed senescence, it also increased leaf drop. Similarly, Coggins *et al.* (1965) working with various citrus cultivars in California, USA; observed an increase in leaf drop when GA_3 was applied at high dosages in combination with a surfactant. In the case this study, leaf drop in grapefruit was highest one month after the final application and then levelled off (Figure 3A); it is possible that trees become stressed shortly after GA_3 applications.

For oranges, leaf drop accelerated one month after treatments in both control and trees treated with $20 \text{ mg L}^{-1} \text{GA}_3 + 0.05\% \text{L-77}$ and $10 \text{ mg L}^{-1} \text{GA}_3 + 0.05\% \text{L-77}$ (Figure 3B). Higher doses of GA_3 with surfactant enhanced leaf drop compared to control trees for the month of November (Figure 3B). In the case of grapefruit, treatments of $15 \text{ mg L}^{-1} \text{GA}_3 + 0.035\% \text{L-77}$ and $15 \text{ mg L}^{-1} \text{GA}_3 + 0.05\% \text{L-77}$ presented the highest leaf drop compared to control trees.

En primer lugar, las aplicaciones de AG_3 incrementaron significativamente el peso promedio del fruto. En promedio el peso aumentó 34 g y 29 g por fruta para naranjas y toronjas, respectivamente. Subrayamos el hecho que el incremento de peso, por sí solo, puede ser potencialmente importante en términos de ganancia económica; si consideramos un rendimiento promedio de 50 000 naranjas ha^{-1} para un pequeño productor con capital limitado (Aluja *et al.*, 1996), 34 g por fruta implicaría un incremento total aproximadamente 1.7 t ha^{-1} , lo cual representa un beneficio potencial que no debe soslayarse. Considerando un tamaño promedio de 50 ha por huerto de cítricos, existe el potencial para un incremento en rendimiento de 85 toneladas, que representa miles de dólares de acuerdo a los precios vigentes. Es importante subrayar que el incremento significativo en peso puede lograrse con la dosis baja ($15 \text{ mg L}^{-1} + 0.05\% \text{L-77}$ de AG_3).

Otro efecto positivo del tratamiento con AG_3 y surfactante fue la reducción en la caída de naranjas, particularmente al final de la época de cosecha (Figura 5A). Este efecto, además del hecho de que significativamente más fruta tratada con AG_3 mantuvo la calidad exigida por el mercado (i. e., mayor peso, fruto más firme y mejor coloración) después del pico de la temporada de cosecha, permitiría que los productores de naranja 'Valencia' del estado de Veracruz extiendan la cosecha hasta el mes de mayo. Las dosis más efectivas fueron $10 \text{ mg L}^{-1} \text{AG}_3 + 0.05\% \text{L77}$ (1 aplicación) y $20 \text{ mg L}^{-1} \text{AG}_3 + 0.05\% \text{L-77}$ (1 aplicación). En ambos casos, el surfactante Silwet L-77 incrementó la efectividad de los tratamientos con AG_3 (Figura 5B).

De acuerdo con un estudio económico realizado por nuestro grupo de trabajo (Aluja *et al.*, 1996), retrasar el periodo de cosecha podría incrementar sustancialmente las ganancias económicas de los productores. En México los precios se incrementan hasta en ocho veces al final de la temporada (mayo a agosto). Por ejemplo, una ganancia adicional de \$190 dólares ha^{-1} , podría obtenerse si la fruta fuese ofertada al mercado nacional en mayo. Esto, aunado al hecho de que los rendimientos se incrementan hasta en 8.5 t ha^{-1} para fruta tratada comparada con bloques sin tratar (7 t ha^{-1}), representa un incremento promedio del 17%. En nuestra opinión, este escenario convertiría las aplicaciones de AG_3 en altamente redituables.

Aunado a lo anterior, el AG_3 (aplicado con o sin surfactante) no es tóxico y no daña a insectos benéficos (Greany *et al.*, 1994) e incluso, el AG_3 ha probado ser un método efectivo para controlar moscas de la fruta (*A. suspensa*) cuando las poblaciones son muy bajas (Greany *et al.*, 1994). En el caso de la mosca mexicana de la fruta, *A. ludens*, el efecto del AG_3

A delicate balance needs to be established for surfactant use. In both grapefruit and oranges, a high surfactant dose increased leaf drop. Total defoliation of the tree is obviously undesirable. However in this case, the leaves that fell from both citrus cultivars were for the most part, old and photosynthetically inactive. This can generate a rapid defoliation of the tree with a concomitant positive effect on future yields. Nevertheless, the question is whether a tree would be able to sustain such stress over consecutive seasons and whether this would eventually reduce the productive life of the tree? Further, it needs to be determined if other surfactant can act more efficiently or if local weather and orchard microclimatic conditions also play a role in the leaf-drop phenomenon observed in this study.

Based on all the above, there is a lesson to be learned when attempts are made at transferring and applying novel technologies in orchards that are sub-optimally managed. There are potential dangers that can result in costs to the grower. Citrus trees in Veracruz are, for the most part, under severe nutrient, water balance and climatic stress. Applying a plant growth regulator to these types of trees with the goal of maximizing productivity, could backfire in the long run, such as the question of long-term effects of severe defoliation, previously mentioned. We therefore caution that GA₃ and surfactant should be applied at the lowest possible doses to minimize collateral effects.

The results are encouraging as they open up the possibility of combining GA₃ treatments with applications of the synthetic host marking pheromone of *Anastrepha ludens* (Aluja *et al.*, 2009). The synergy of these two biorational management mechanisms will undoubtedly foster the development of more environmentally-friendly fruit fly management schemes, particularly for economically important fruit flies (Aluja and Mangan, 2008).

CONCLUSIONS

The GA₃ application in conjunction with a surfactant delayed citrus senescence, increased fruit weight and extended the harvest period, all of which are likely to result in economic benefits for citrus growers. Further studies testing other surfactants are necessary to reduce secondary effects such as defoliation.

es mucho menos efectivo, debido que las hembras logran evadir la barrera tóxica del fruto depositando sus huevecillos lejos de la misma (Birke *et al.*, 2006).

Efecto de AG₃ sobre características del fruto y caída de la hoja. Este estudio confirma la utilidad del AG₃ en mantener la resistencia temprana (e. g., firmeza del epicarpio) tanto para toronjas 'Ruby Red' como para naranjas 'Valencia'. El efecto del AG₃ en la firmeza y coloración del epicarpio fue más aparente cuando el AG₃ se aplicó en combinación con el surfactante. Dos aplicaciones de 20 mg L⁻¹ de AG₃ y 0.1% Silwet L-77 produjeron la toronja más firme y verde, mientras que una sola aplicación de 20 mg L⁻¹ AG₃ y 0.05% Silwet L-77 produjo las naranjas más firmes y verdes (Figura 1 y 2). El efecto observado dependiente de la dosis, coincide con otros reportes que indican que el AG₃ en combinación con diferentes concentraciones de Silwet L-77 retrasa el reblandecimiento del epicarpio y el cambio de color de toronjas 'Marsh' (Greany *et al.*, 1987; McDonald *et al.*, 1987).

Aunque el AG₃ retrasó la senescencia, también incrementó la caída de hojas. Coggins *et al.* (1965) quienes evaluaron varios cultivares de cítricos en California, EUA; observaron un incremento en la caída de hojas cuando el AG₃ fue aplicado a altas dosis en combinación con surfactante. En este estudio, la caída de hojas en toronja fue mayor un mes después de la aplicación y se estabilizó posteriormente (Figura 3A); Consideramos que posiblemente los árboles se estresen poco después de la aplicación de AG₃.

Para naranjas la caída de hojas se aceleró un mes después de los tratamientos tanto en árboles control como en árboles tratados con 20 mg L⁻¹ AG₃ + 0.05% L-77 y 10 mg L⁻¹ AG₃ + 0.05% L-77 (Figura 3B). Las dosis más altas de AG₃ con surfactante provocaron mayor caída de hojas, en comparación con árboles control durante el mes de noviembre (Figura 3B). En el caso de la toronja los tratamientos con 15 mg L⁻¹ de AG₃ + 0.035% L-77 y 15 mg L⁻¹ de AG₃ + 0.05% L-77 presentó la mayor caída de hojas en comparación con el control.

Con base en los resultados obtenidos, queda claro que aún es necesario establecer qué dosis de surfactante es la adecuada. Tanto para toronjas, como para naranjas, una dosis alta de surfactante incrementó significativamente la caída de hojas. Aunque la defoliación es en principio indeseable, las hojas que cayeron de ambos cultivares de cítricos eran en su mayoría viejas y fotosintéticamente inactivas. Esto puede generar una defoliación rápida del árbol con los consiguientes

ACKNOWLEDGMENTS

The Bigurra-Armida family allowed us to work in their citrus grove. A. Zuñiga, I. Jácome, M. López, J. Piñero, A. Vázquez, E. Piedra, O. Díaz, C. Ruiz and A. Diego provided technical assistance, and R. Macías-Ordóñez and J. Piñero advised on statistical analyses. D. Pérez-Staples, F. Díaz-Fleischer, J. Piñero, C. Fowler, J. Sivinski, J. Rull, T. Williams, and two anonymous reviewers provided valuable comments on earlier drafts. N. Righini, A. Anzurez-Dadda and S. Tamez-Cruz format the manuscript and the figures. USDA-ARS (Specific Cooperative Agreement No. 58-661563-006), ABBOTT Laboratories, Fondo de Estudios e Investigaciones Ricardo J. Zevada, and the Mexican Campaña Nacional Contra Moscas de la Fruta provided financial support.

LITERATURE CITED

- Ali Dinar, H. M.; Krezdorn, A. H. and Rose, A. J. 1976. Extending the grapefruit harvest season with growth regulators. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 89:469-472.
- Aluja, M. 1994. Bionomics and management of *Anastrepha*. *Ann. Rev. Entomol.* 39:155-178.
- Aluja, M. 1999. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) research in Latin America: myths, realities and dreams. *Anais Soc. Entomol. Brasil.* 28:565-594.
- Aluja, M. and Mangan, R. L. 2008. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) host status determination: Critical conceptual, methodological, and regulatory considerations. *Annu. Rev. Entomol.* 53:473-502.
- Aluja, M.; Birke, A.; Bigurra, E. and Webel, B. 1996. Management of Mexican fruit fly in *Citrus* by use of gibberellic acid. Final Scientific and Financial Report (1993-1995). Num. 58-6615-3-006, United States Department of Agriculture.
- Aluja, M.; Díaz-Fleischer, F.; Boller, E. F.; Hurter, J.; Edmunds, A. J. F.; Hagmann, L.; Patrian, B. and Reyes, J. 2009. Application of feces extracts and synthetic analogues of the host marking pheromone of *Anastrepha ludens* significantly reduces fruit infestation by *A. obliqua* in tropical plum and mango backyard orchards. *J. Econ. Entomol.* 102:2268-2278.
- Bigurra, E. 1995. Dosificación óptima de ácido giberélico para extender el periodo de cosecha de la naranja Valencia en Martínez de la Torre, Veracruz. Tesis de la Universidad Veracruzana. 77 p.
- efectos positivos en rendimientos futuros. Sin embargo, la pregunta es si un árbol es capaz de mantener tal estrés por temporadas sucesivas, y si esto eventualmente reduciría la vida productiva del árbol. Por lo tanto, es necesario evaluar si otros surfactantes pueden actuar de manera más eficaz, o si el clima local y el microclima de la huerta también influyen en la caída de hojas observada en este estudio.
- Basado en lo anterior, la lección aprendida lleva implícito el hecho que la transferencia de tecnología novedosa a huertos que son manejados de manera sub-óptima, debe realizarse con precaución ya que lo anterior puede resultar en costos para el productor. En algunas regiones de Veracruz, los árboles de cítricos están bajo severo estrés nutricional, desbalance hídrico y estrés climático. Aplicar un regulador de crecimiento a este tipo de árboles con el propósito de maximizar la productividad, podría provocar una masiva caída de hojas, hecho que como se mencionó anteriormente, podría resultar contraproducente en el largo plazo. Por lo tanto, consideramos que el AG₃ en combinación con surfactante debe ser aplicado a las dosis más bajas posibles para minimizar efectos colaterales.
- Independientemente de lo anterior, los resultados son prometedores ya que existe la posibilidad de combinar tratamientos de AG₃ con aplicaciones de feromona de marcaje de *Anastrepha ludens* (Aluja *et al.*, 2009). La sinergia de estos dos métodos de manejo biorracional de plagas indudablemente fomentará esquemas de manejo de moscas de la fruta más amigables con el ambiente particularmente en el caso de especies de importancia económica (Aluja y Mangan, 2008).

CONCLUSIONES

La aplicación de AG₃ en combinación con surfactante retrasa la senescencia en el caso de las toronjas y naranjas cultivadas en el estado de Veracruz, incrementa el peso del fruto y extiende el periodo de cosecha, lo cual resulta en un potencial beneficio económico para los productores. Estudios adicionales, que evalúen otros surfactantes, son necesarios para reducir efectos secundarios como la defoliación.

Fin de la versión en español



- Birke, A.; Aluja, M.; Greany, P.; Bigurra, E. and McDonald, R. E. 2006. Long aculeus of *Anastrepha ludens* renders Gibberellic Acid ineffective as an agent to reduce 'Ruby Red' grapefruit susceptibility to the attack of this pestiferous fruit fly in commercial citrus orchards. J. Econ. Entomol. 99:1184-1193.
- Coggins, C. W. 1973. Use of growth regulators to delay maturity and prolong shelf life of Citrus. Acta Hort. 34:469-472.
- Coggins, C. W. and Hield, H. Z. 1968. Plant growth regulators. In: Reuther, W.; Batchelor, L. D. and Webber, H. J. (eds). Citrus Industry II. University of California. 371-389 pp.
- Coggins, C. W. and Lewis, L. N. 1965. Some physical properties of the naval rind as related to ripening and to gibberellic acid treatments. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 86:272-279.
- Considine, J. A. and El-Zeftawi, B. M. 1971. Gibberellic acid, chlorocholine chloride and yield increase in zante current. Vitis. 10:107-110.
- Davies, F. S. and Zalman, G. 2007. Gibberellic acid, rootstocks, and post-freeze fruit quality of 'Rohde red' Valencia oranges. Hortscience. 42:565-570.
- El-Otmani, M. and Coggins, C. W. Jr. 1991. Growth regulator effects on retention of quality of stored citrus fruits. Sci. Hort. 45:261-272.
- El-Otmani, M.; Coggins, C. W.; Agusti, M. and Lovatt, C. J. 2000. Plant growth regulators in citriculture: World current uses. Crit. Rev. Plant Sci. 19:395-447.
- Ferguson, L.; Ismail, M. A.; Davis, F. S. and Wheaton, T. A. 1982. Pre- and postharvest gibberellic acid 2,4- dichlorophenoxyacetic acid applications for storage life of grapefruit. Proc. Fla. State Hort. Soc. 95:242-245.
- Greany, P. D.; McDonald, R. E.; Shaw, P. E.; Schroeder, W. J.; Howard, D. F.; Hatton T. T.; Davis P. L. and Rasmussen, G. K. 1987. Use of gibberellic acid to reduce grapefruit susceptibility to attack by the Caribbean Fruit Fly *Anastrepha suspensa* (Diptera: Tephritidae). Trop. Sci. 27:261-270.
- Greany, P. D.; McDonald, R. E.; Shaw, P. E. and Schroeder, W. J. 1991. Improvement in efficacy of gibberellic acid treatments in reducing susceptibility of grapefruit to attack by Caribbean fruit. Fly. Fla. Entomol. 74:570-580.
- Greany, P. D.; McDonald, R. E.; Schroeder, W. J. and Shaw, P. E. 1994. Use of Gibberellic Acid to reduce citrus fruit susceptibility to fruit flies, In: bioregulators for crop protection and pest control. ACS Symposium Series 557. American Chemical Society. Washington, D. C. 39-48 pp.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1984. Censo Agrícola y Agropecuario. Distrito Federal, México.
- Lewis, L. N.; Coggins, C. W.; Labanauska, C. K. and Dugger W. N. 1967. Biochemical changes associated with natural and gibberellin A₃, delayed senescence in the navel oranges rind. Plant Cell Physiol. 8:151-160.
- McDonald, R. E.; Shaw, P. E.; Greany, P. D.; Hatton, T. T. and Wilson, C. W. 1987. Effect of gibberellic acid on certain physical and chemical properties of grapefruit. Trop. Sci. 27:17-22.
- McDonald, R. E.; Greany, P. D.; Shaw, P. E.; Schroeder, W. J.; Hatton, T. T. and Wilson, C. W. 1988. Use of gibberellic acid for Caribbean fruit fly (*Anastrepha suspensa*) control in grapefruit, In: Goren, R. and Mendel, K. (eds). Proc. Sixth Intl. Citrus Congr., Tel Aviv Margraf Sci. Books, Weiker-Sheim. 37-43 pp.
- Ortiz-Moreno, G. 2009. Experiencias internacionales en el control de la mosca de la fruta y recomendaciones para México. URL: <http://www.concitver.com>.
- Ritenour, M. A.; Burton, M. S. and McCollum, T. G. 2005. Effects of pre- or postharvest gibberellic acid application on storage quality of Florida 'Fallglo' tangerines and 'Ruby Red' grapefruit. Proc. of the 118th. Annual Meeting of the Florida State Horticultural Society. 118:385-388.
- Rössler, Y. and Greany, P. D. 1990. Enhancement of citrus resistance to the Mediterranean fruit fly. Ent. Exp. Appl. 54:89-96.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA), 2009. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera: avance de siembras y cosechas. URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Statistical Analysis System (SAS). 1998. Statsoft, Inc. version 5.1, Tulsa, Ok, USA.
- Zar, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall Publishers, New Jersey. 546 p.