

THIDIAZURON Y ÁCIDO GIBERÉLICO EN AMARRE Y TAMAÑO DE FRUTOS DE MANGO 'ATAULFO' POLINIZADOS Y PARTENOCÁRPICOS

María Hilda Pérez-Barraza, Tomas Osuna-Enciso, María Alejandra Gutiérrez-Espinosa, María de Jesús Santiago-Cruz, Edilberto Avitia-García y Raquel Cano-Medrano

RESUMEN

La producción de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo', es cada vez más frecuente en las zonas productoras, disminuyendo rendimiento y productividad hasta 50%. Encontrar alternativas para promover amarre y desarrollo de frutos polinizados y partenocárpicos fue el objetivo del estudio. En el experimento 1 (E1) se utilizó: ácido giberélico (AG₃; 50mg·l⁻¹) en aplicaciones simples a 0, 15, 30, 45, o 60 días después de plena floración (DDF); Thidiazuron (TDZ; 50mg·l⁻¹)+AG₃ en aplicaciones repetidas a 15, 30, 45 y 60 DDF; y testigo. En el experimento 2 (E2): TDZ a 0 DDF combinado con 1, 2, 3 y 4 aplicaciones de AG₃ a 15, 15+30, 15+30+45 y 15+30+45+60 DDF; y testigo. En ambos el diseño fue completamente al azar, seis y ocho repeticiones respectivamente y un árbol como unidad experimental. Se

compararon medias con Tukey ($P \leq 0,05$). En E1, AG₃ en aplicación simple 30 DDF y TDZ+AG₃ en aplicaciones repetidas incrementaron 47% el amarre final comparados con testigo; solo el tratamiento combinado aumentó longitud (7cm) y peso fresco (~80g) de frutos partenocárpicos, e incrementó el rendimiento en 52%. En E2, el amarre final aumentó 56% con TDZ a 0 DDF combinado con cuatro aplicaciones de AG₃ y aumentó longitud (>8cm) en frutos partenocárpicos comparado con testigo (7cm). TDZ+1-4 aplicaciones de AG₃ incrementaron 37-48% el peso fresco de frutos partenocárpicos y disminuyó 37% su porcentaje respecto al testigo. La calidad de fruto no fue afectada. Aparentemente, TDZ es suficiente para iniciar crecimiento del fruto, aunque se requiere AG₃ para su desarrollo.

Introducción

La producción de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo', se presenta cada vez con mayor frecuencia en las zonas productoras, disminuyendo rendimiento y productividad de los huertos. Aunque la ausencia de semillas puede ser un atractivo en frutos que poseen muchas semillas como cítricos, tuna, papaya; o en aquellos que poseen una semilla grande como el mango (Baker *et al.*, 1973; Varoquaux *et al.*, 2000), el desarrollo de las mismas promueve la expansión celular vía síntesis de

hormonas u otros compuestos no totalmente determinados, otorgando un mayor tamaño (Gillaspy *et al.*, 1993).

El fruto de mango es una drupa con el pericarpio dividido en exocarpo, mesocarpo y endocarpo, que envuelve la semilla. El crecimiento sigue una curva sigmoide y se divide en tres etapas (Mukherjee, 1997; Tharanathan *et al.*, 2006): Etapa I, de 0 a 14 días después de floración (DDF); caracterizada por un crecimiento lento (Ram, 1992) pero activa división celular en el pericarpio, después de la polinización y fertilización.

Etapa II, de 14 a 42 DDF, es de crecimiento rápido, hay expansión celular y se inicia el desarrollo de la semilla (Ram, 1992). En la Etapa III de 42 a 77 días, el fruto crece por un aumento acelerado en el tamaño de las células (expansión celular) hasta alcanzar su tamaño final; en esta etapa el embrión alcanza la fase de torpedo e inicia su maduración hasta alcanzar su madurez justo cuando el fruto llega a su máximo crecimiento (madurez fisiológica) (Varoquaux *et al.*, 2000). En mango la mayoría de los frutos caen durante la primera

semana después de floración y se atribuye a fallas en los procesos de polinización-fecundación. El segundo flujo de caída (28-35 DDF) es debido a deficiencia de citocininas y niveles altos de inhibidores, y aparentemente coincide con fallas en el desarrollo del embrión. El tercer flujo, después de los 42 DDF, se atribuye a nutrición y fotosíntesis (Ram, 1992; Singh *et al.*, 2005) y aunque el número de frutos es menor, el costo es alto.

Existen reportes contradictorios respecto al contenido de hormonas en mango. En pericarpio hay un bajo

PALABRAS CLAVE / Ácido Giberélico / Crecimiento del Fruto / *Mangifera indica* L / Reguladores del Crecimiento / Thidiazuron /

Recibido: 18/11/2014. Modificado: 23/08/2015. Aceptado: 03/09/2015.

María Hilda Pérez-Barraza. Ingeniera Agrónoma, Universidad del Estado de Durango, México. M.C. en Fruticultura, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Investigadora, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Santiago Ixc., México.

Tomas Osuna-Enciso. Ingeniero Agrónomo, Universidad de Sinaloa, México. Maestría en Ciencia y Doctorado en Fruticultura, COLPOS, México. Profesor-Investigador, Centro de

Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Culiacán, México.

María Alejandra Gutiérrez-Espinosa. Ingeniera Agrónoma, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México. Maestría en Ciencias en Fruticultura, COLPOS, México. Ph.D. en Biotecnología en Frutales y Ornamentales, University of Florida, EEUU. Profesor - Investigador, COLPOS, Montecillo, México.

María de Jesús Santiago-Cruz. Licenciatura en Economía,

Universidad Nacional Autónoma de México. Maestría en Ciencias en Desarrollo Económico, Phillips - Universität Marburg, Alemania, y Doctorado en Economía, Universidad de Marburgan der Lahn, Alemania Occidental. Profesora-Investigadora, COLPOS, Montecillo, México.

Edilberto Avitia-García. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Maestría en Ciencias en Fruticultura, y Doctorado en Ciencias en Botánica,

COLPOS, México. Profesor-Investigador, UACH, México.

Raquel Cano-Medrano. Ingeniera Agrónoma, UACH, México. Maestría en Ciencias en Fruticultura, COLPOS, México. Ph.D. en Fisiología, University of Florida, EEUU. Profesora-Investigadora, COLPOS, México. Dirección: Carretera Federal México-Texcoco, Km. 36.5, Montecillo, Edo de México. C.P. 56230, México. e-mail: racm@colpos.mx

THIDIAZURON AND GIBBERELIC ACID ON FRUIT SET AND GROWTH OF PARTENOCARPIC AND POLINIZED FRUITS OF 'ATAULFO' MANGOS

María Hilda Pérez-Barraza, Tomas Osuna-Enciso, María Alejandra Gutiérrez-Espinosa, María de Jesús Santiago-Cruz, Edilberto Avitia-García and Raquel Cano-Medrano

SUMMARY

In 'Ataulfo' mango, parthenocarpic fruit production is increasingly frequent in producing areas, decreasing yield and productivity up to 50%. The goal of the study was to find alternatives to promote fruit set and development on pollinated and parthenocarpic fruits. In experiment 1 (E1) we used: gibberellic acid (GA_3 ; $50\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) in simple applications at 0, 15, 30, 45 or 60 days after full bloom (DAB); Thidiazuron (TDZ; $50\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)+ GA_3 in repeated applications at 15, 30, 45 and 60 DAB; and control. In experiment 2 (E2): TDZ at 0 DAB combined with 1, 2, 3 and 4 applications of GA_3 at 15, 15+30, 15+30+45 and 15+30+45+60 DAB; and control. In both experiments the design was completely random, six and eight repetitions, and a tree as experimental unit. Tukey ($P\leq 0.05$) was used for

means comparison. In E1, GA_3 single application at 30 DAB and TDZ+ GA_3 in repeated applications at 15, 30, 45 and 60 DAF increased final fruit set by 47% compared to control; the combined treatment increased length (7cm) and fresh weight (~80g) of parthenocarpic fruits, and increased yield by 52%. In E2, the final fruit set increased 56% with TDZ at 0 DAB combined with four applications of GA_3 , and length of parthenocarpic fruit increased (>8cm) compared to control (7cm). TDZ+1-4 GA_3 applications increased fresh weight of parthenocarpic fruits (37-48%) and decreased 37% their presence with respect to control. Fruit quality was not affected. TDZ, apparently, is sufficient to initiate fruit growth although GA_3 is required for its development.

THIDIAZURON E ÁCIDO GIBERÉLICO EM AMARRAÇÃO E TAMANHO DE FRUTOS DE MANGA 'ATAULFO' POLINIZADOS E PARTENOCÁRPICOS

María Hilda Pérez-Barraza, Tomas Osuna-Enciso, María Alejandra Gutiérrez-Espinosa, María de Jesús Santiago-Cruz, Edilberto Avitia-García e Raquel Cano-Medrano

RESUMO

A produção de frutos partenocárpicos em manga 'Ataulfo', é cada vez mais frequente nas zonas produtoras, diminuindo rendimento e produtividade até 50%. Encontrar alternativas para promover amarração e desenvolvimento de frutos polinizados e partenocárpicos foi o objetivo do estudo. No experimento 1 (E1) se utilizou: ácido giberélico (AG_3 ; $50\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) em aplicações simples a 0, 15, 30, 45, ou 60 dias depois da plena floração (DDF); Thidiazuron (TDZ; $50\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)+ AG_3 em aplicações repetidas a 15, 30, 45 e 60 DDF; e testemunho. No experimento 2 (E2): TDZ a 0 DDF combinado com 1, 2, 3 e 4 aplicações de AG_3 a 15, 15+30, 15+30+45 e 15+30+45+60 DDF; e testemunho. Em ambos, o desenho foi completamente aleatório, seis e oito repetições respectivamente e uma árvore como unidade experimental. Compararam-

-se médias com Tukey ($P\leq 0,05$). Em E1, AG_3 em aplicação simples 30 DDF e TDZ+ AG_3 em aplicações repetidas incrementaram 47% a amarração final comparados com testemunho; somente o tratamento combinado aumentou longitude (7cm) e peso fresco (~80g) de frutos partenocárpicos, e incrementou o rendimento em 52%. Em E2, a amarração final aumentou 56% com TDZ a 0 DDF combinado com quatro aplicações de AG_3 e aumentou longitude (>8cm) em frutos partenocárpicos comparado com testemunho (7cm). TDZ+1-4 aplicações de AG_3 incrementaram 37-48% o peso fresco de frutos partenocárpicos e diminuiu 37% sua porcentagem em relação ao testemunho. A qualidade de fruto não foi afetada. Aparentemente, TDZ é suficiente para iniciar crescimento do fruto, mesmo se requerido AG_3 para seu desenvolvimento.

contenido de auxinas en los primeros 14 DDF, aumenta de 28 a 42 días, y después disminuye y permanece a niveles bajos durante la Etapa III (Ram, 1992). Contrario a Ram (1992), en pericarpio de frutos polinizados de mango 'Tainong-1' y 'Jinhuang', Jun-hu *et al.* (2013) mencionan un alto contenido de auxinas 10 días después de amarre (DDA), aparentemente al inicio de la Etapa II; bajo contenido entre 20 y 30 días y un ligero incremento entre 40 y 60 DDF. En embrión el contenido es alto 30 DDA y disminuye conforme el crecimiento del mismo; aunque durante todo el crecimiento el

contenido es más alto que en pericarpio. Alto contenido de giberelinas (GAs) se reporta durante el crecimiento de la semilla (20-42 DDF, Etapa II), posteriormente disminuye y se mantiene bajo durante la maduración del fruto (E III), y no se reporta contenido en pericarpios (Ram, 1992). Contrario a esto, Jun-hu *et al.* (2013) reportan alto contenido de GAs en pericarpio entre 10-20 DDA, probablemente en Etapa II, y un ligero incremento en Etapa III. En embrión se reporta alto contenido, de 30 a 40 DDA, que disminuye a 50 y 60 días, aunque existe un mayor contenido respecto a pericarpio

durante el crecimiento del mismo. El contenido de GAs reportado por Ram (1992) en semilla pudiera ser el disparador para el inicio del crecimiento del fruto, aunque lo mencionado por Jun-hu *et al.* (2013) pudiera indicar que el contenido en pericarpio de GAs también están involucrado en el crecimiento del fruto a través de elongación de células del pericarpio.

Las citocininas están presentes en semilla y pericarpio en alto contenido a 14-21 DDF con $0,001$ y $0,01\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso seco, respectivamente (Ram 1992) y disminuye a los 35 días (Etapa II) hasta $0,0001\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. El contenido

aumenta en ambos órganos (semilla y pericarpio) a 42 y 72 días, y disminuye manteniendo niveles bajos después de 82 días (Etapa III). Jun-hu *et al.* (2013) encontraron alto contenido de citocininas en pericarpio 10 DDF ($\sim 40\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso seco) y bajo entre 20 y 30 días ($10\text{-}20\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$), coincidiendo en esta etapa con Ram (1992), a excepción del bajo contenido encontrado a 60 DDF porque este último autor reporta un alto contenido en la misma etapa. En embrión el contenido es más alto que en pulpa desde 30 hasta 60 DDF ($50\text{-}60\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$). De acuerdo con ambos autores, las citocininas están presentes en la

Etapa I, lo que indica el papel importante de esta hormona en división celular, mejorando el amarre del fruto. El alto contenido en Etapa III (Ram, 1992) pudiera estar relacionado con la presencia de GAs en esa etapa, indicando que ambas participan en el crecimiento de fruto.

Por otro lado, inhibidores como el ácido abscísico (ABA) se encuentran en alta concentración en pericarpio de 7 a 21 DDF (final de Etapa I e inicio de Etapa II), posteriormente baja y mantiene niveles bajos durante maduración de fruto en la Etapa III (Ram, 1992). En este aspecto, Jun-hu *et al.* (2013) encontraron alto contenido a los 10 DDA, disminuyendo entre 20 y 30 con ligero incremento a los 60 días. En embrión, entre 30 y 40 días el contenido es alto y disminuye posteriormente con el desarrollo del mismo, aunque es mayor que en pulpa. El alto contenido al final de Etapa I y Etapa II, pudiera estar relacionado con caída de fruto, provocando zonas de abscisión (Ram, 1992).

En frutos partenocárpicos de tomate hay evidencias de que auxinas y GAs son requeridas para el desarrollo del fruto (Bunger-Kiblerand y Bangerth, 1982; Serrani *et al.*, 2007); aunque existen reportes de que las auxinas actúan antes o independientemente de GAs y que pueden reemplazar las señales de polinización y fecundación (Serrani *et al.*, 2008). Por otra parte, en especies como *Arabidopsis thaliana* las auxinas pueden actuar como señales antes de la fecundación, dando lugar a una fecundación exitosa y estimulando la biosíntesis de GAs en semilla, lo que dispara el desarrollo de fruto, y sugiere interrelación entre estas hormonas (Ozga and Reinecke, 2003; Dorcey *et al.*, 2009). También se menciona que GAs producidas por el polen incrementan la producción de auxinas en el ovario, sirviendo como una señal para amarre del fruto y promoviendo la división celular (Gillaspy *et al.*, 1993).

Algunos estudios muestran que citocininas regulan la

división celular, por lo que es posible su asociación con el crecimiento del fruto, aumentando el número de células. En tomate se ha encontrado correlación entre el contenido de éstas y la división celular (Srivastava y Handa, 2005; Matsuo *et al.*, 2012). También se ha encontrado una alta concentración de citocininas en semillas en desarrollo de tomate, sugiriendo que tienen un papel importante en el desarrollo embrión/semilla y crecimiento del fruto (Pandolfini, 2009).

En frutos partenocárpicos de mango, Jun-hu *et al.* (2013) muestran que a 10-30 DDA tienen menor contenido de GAs y auxinas y mayor contenido de ABA que aquellos frutos con semilla. Lo anterior indica probablemente que el menor contenido de hormonas en pericarpio, aunado a la falta de semilla en frutos partenocárpicos, le confiere un menor tamaño ya que las semillas son fuente importante de síntesis de GAs y citocininas.

Varios trabajos con aplicaciones de GAs han mostrado un efecto positivo en el amarre de fruto en mango. En 'Kensington Pride', AG₁₃ asperjado antes de plena floración fue efectiva para el amarre inicial, pero AG₄ (10 ppm) fue mejor en amarre final, de acuerdo con Singh (2009); el autor concluye que la aplicación de GAs es importante para asegurar amarre del fruto en lugares con temperaturas bajas durante la floración. Por su parte, Chutichudet *et al.* (2006) encontraron un incremento en amarre de fruto en mango 'Srisaket 007' con la aplicación de 50 ppm de AG₃ en Etapa I. Resultados similares con aplicación de giberelinas se obtuvieron en mango 'Irwin', mejorando el amarre de frutos partenocárpicos (Ogata *et al.*, 2010).

La aplicación de hormonas en la Etapa I ha resultado efectiva para incrementar el tamaño del fruto al estimular la división y elongación celular en frutales tales como cereza (Stern *et al.*, 2007), uva (Vasconcelos-Botelho *et al.*,

2003), pera (Stern y Flaishman, 2003) y arándano (NeSmith, 2002). En mango, el crecimiento de fruto se logró al aplicar AG₃ en el cultivar 'Srisaket 007' (Chutichudet *et al.*, 2006) y en frutos partenocárpicos de 'Irwin' (Ogata *et al.*, 2010), así como también al combinar el AG₃ con otros reguladores como CPPU (Sasaki y Utsunomiya, 2002). En el caso del cultivar Ataulfo hay pocos estudios (Pérez-Barraza *et al.*, 2009) por lo que nuestro objetivo fue determinar la etapa fisiológica y el número de aplicaciones de AG₃ y TDZ para promover amarre y desarrollo de frutos tanto polinizados como partenocárpicos

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en 2012 en Atonalisco, municipio de Tepic, Nayarit, México (21°18'N y 104°53'O, a 450msnm). Se seleccionaron dos huertos comerciales de mango 'Ataulfo' injertado sobre el portainjerto criollo regional, con 80% de incidencia de frutos partenocárpicos (PRT) y no alternantes (año on). Los árboles fueron de 10 años de edad establecidos a 8x8m. Los huertos se manejan con riego por gravedad (uno cada mes de febrero hasta abril), poda (despunte de ~50cm) y eliminación de ramas centrales) y fertilización con 2kg de Triple 17 por árbol al inicio de la temporada de lluvias (junio) y 4kg de fertilizante orgánico (gallinaza) por árbol aplicado en septiembre.

Experimento 1 (E1)

Se evaluó el efecto de 50mg·l⁻¹ de AG₃ en el crecimiento de fruto, en aplicaciones simples a los 0, 15, 30, 45 o 60 días después de floración (DDF, 80% de floración) y en combinación con TDZ (50mg·l⁻¹ de c/u) a los 15+30+45+ 60 DDF, más un testigo.

Experimento 2 (E2)

Se evaluó el efecto de 50mg·l⁻¹ tanto de TDZ como de AG₃ en amarre y crecimiento de fruto. En todos los tratamientos se

aplicó TDZ a los 0 DDF combinado con 1, 2, 3, o 4 aplicaciones de AG₃ a los 15, 15+30; 15+30+45 y 15+30+45+60 DDF, más un testigo.

En ambos experimentos las aspersiones se efectuaron a punto de goteo entre 8:00 y 10:00 mediante bombas aspersoras motorizadas. Como fuente de TDZ se utilizó Revent® y para el AG₃ se utilizó Progibb®. Se añadió 1ml·l⁻¹ de agua de surfactante (Inex®) y urea foliar al 1% como penetrante. El testigo se asperjó con agua + surfactante y urea. El pH de las soluciones se ajustó a 5,8 con ácido clorhídrico (HCl).

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar en los dos experimentos. En E1 se evaluaron siete tratamientos con seis repeticiones y un árbol como parcela útil. En E2 se evaluaron cinco tratamientos con ocho repeticiones y un árbol como parcela útil. Se llevaron a cabo análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a P≤0,05. Se utilizó el programa SAS versión 9,2 (SAS, 2008).

El crecimiento acumulado de fruto se obtuvo mediante mediciones semanales de longitud a partir de 30 DDF, utilizando un vernier digital. Para ello, se seleccionaron cuatro inflorescencias por árbol y se marcaron dos frutos por cada inflorescencia, uno de cada tipo: partenocárpico (PRT) y polinizado (POL). Con la variable longitud se estimó la tasa de crecimiento relativo (TCR) utilizando la fórmula $TCR = (\ln L_2 - \ln L_1) / (t_2 - t_1)$, donde L: longitud y t: tiempo o periodo de medición.

Para evaluar el amarre inicial de frutos se seleccionaron cuatro inflorescencias por árbol (adicionales a las anteriores) y se contabilizó el número de frutos por inflorescencia a los 45 DDF, tiempo en el cual el fruto tiene un tamaño de 1-2cm de diámetro (tamaño canica), y pasada la primera caída se contabilizó también el número frutos/inflorescencia hasta madurez fisiológica (dos semanas antes de cosecha). Se utilizó el número inicial y final de frutos/

inflorescencia para calcular el porcentaje final de amarre.

El rendimiento se evaluó al momento de la cosecha, registrando la producción de fruta (kg/árbol) con una báscula digital Ohaus.

Las variables de calidad, peso fresco (PF), color en pulpa y epidermis, firmeza, sólidos solubles y acidez titulable se evaluaron en una muestra aleatoria de 10 frutos por cada tratamiento al momento de la cosecha. El PF fue determinado con una báscula electrónica portátil Ohaus (Scott II). El color de epidermis y pulpa se determinó en la parte ecuatorial del fruto con un colorímetro portátil (Color Reader CR 10[®]; Konica Minolta Sensing Inc., Japan), y se reportó como ángulo de matiz; en el caso de color de pulpa se utilizó también la carta de color propuesta por los Empacadores de Mango para Exportación (EMEX). La firmeza de la pulpa se midió con un penetrómetro (Chatillón DFE-050[®]; Ametek Instruments, Largo, FL, EEUU) adaptado con punzón cilíndrico de 6mm de diámetro; la lectura se hizo en la parte ecuatorial del fruto después de eliminar 0,5cm de cáscara y los datos se expresaron en Newtons (N). Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron directamente en tres a cuatro gotas de jugo por fruto, con un refractómetro digital (Atago PAL-1[®]; Atago Inc., Bellevue, WA, EEUU) con corrección de temperatura; las mediciones se expresaron en °Brix (AOAC, 1984). La acidez titulable se evaluó en 3-5g de muestra previamente homogeneizada según el método AOAC (1984) y relación °Brix/acidez se obtuvo de la división de sólidos solubles totales entre acidez titulable (% de ácido cítrico), donde el valor deseado debe ser ≥ 35 .

Resultados y Discusión

Experimento 1. AG₃ en diferentes etapas de desarrollo

Se encontraron diferencias en el número de frutos/inflorescencia ($P=0,0016$), crecimiento acumulado de frutos

PRT ($P<0,0001$), rendimiento ($P=0,0018$) y PF ($P<0,0001$) de frutos PRT.

A los 45 DDF el amarre fue mayor con una aplicación de AG₃ a los 30 (T3) o a los 45 (T4) DDF y en combinación con TDZ en aplicaciones repetidas a los 15, 30, 45 y 60 DDF (T6) con ~6, 5 y 6 frutos, respectivamente; no obstante, antes de la cosecha solo T3 y T6 tuvieron mayor amarre, indicado esto por un mayor número de frutos/inflorescencia (~2 frutos). El testigo tuvo 0,9 frutos (Tabla I).

Se logró un incremento en el amarre de fruto de 39 y 42%, en la Etapa 1 en los tratamientos T3 y T6, respectivamente y 47% en Etapa 3 (dos semanas antes de cosecha), observándose una alta correlación entre estas dos variables (0,99148; $P<0,0001$). Los resultados concuerdan con los obtenidos en mango 'Kensington Pride' por Singh (2009); de acuerdo a este autor, GAs aplicadas en plena floración incrementan amarre de fruto y cuando se aplicaron en etapa de yema inchada AG₁₃ resultó en mejor amarre que AG₃ o AG₇. Aparentemente la aplicación de GAs mejora el amarre de frutos en áreas donde se presentan bajas temperaturas durante floración. Al igual que en este estudio, amarre en mango 'Srisaket 007' se logró con aplicación de GAs (Chutchudet *et al.*, 2006) y con la combinación de estas con CPPU en 'Irwin' (Sasaki y Utsunomiya, 2002).

En la Etapa II ocurre división celular en el pericarpio y el número de células aumenta notablemente (Varoquaux *et al.*, 2000), lo que va acompañado por la formación de la semilla y desarrollo del embrión. En este estudio, el incremento logrado en amarre de frutos puede deberse a la aplicación de giberelinas exógenas en esta etapa, así como a las citocininas tanto exógenas (tratamiento combinado) como endógenas, con alto contenido en pericarpio en esta etapa (Ram, 1992), estimulando probablemente división celular.

El crecimiento acumulado del fruto PRT mostró una curva de crecimiento sigmoide, lo que coincide con lo mencionado por otros autores (Ram, 1992; Mukherjee, 1997; Tharanathan *et al.*, 2006). En la Etapa II (30-45 DDF) no se observaron diferencias entre tratamiento, a partir de los 60 días se observó un ligero incremento en el tamaño de los frutos tratados con bioreguladores aunque no fueron estadísticamente diferentes al testigo. En Etapa III (45-90 DDF), los frutos con AG₃ en aplicación simple a los 60 DDF (T5) y T6 tuvieron mayor tamaño con 6 y ~7cm de longitud, respectivamente, mientras que en el testigo (T7) los frutos midieron 4,6cm (Figura 1a).

Al igual que el fruto PRT, el polinizado (POL) mostró una curva sigmoide, pero no hubo diferencias entre tratamientos

en el tamaño de estos últimos (datos no mostrados).

La tasa de crecimiento relativo (TCR) mostró una mayor velocidad de crecimiento en los frutos PRT entre 40 y 50 DDF en todos los tratamientos, aunque los tratados con TDZ+AG₃ mostraron una mayor velocidad que el resto. Los frutos tratados con bioreguladores tuvieron dos fases de rápido crecimiento, mientras que los frutos testigo solo una ~60 DDF. En la mayoría de los frutos la velocidad de crecimiento disminuyó a ~70 días (Figura 1b).

De acuerdo con Ram (1992) en la Etapa II hay un rápido crecimiento del fruto, lo que coincide con una mayor velocidad de crecimiento relativo observado entre 40-50 DDF en el presente estudio. En este experimento una sola aplicación de AG₃ a los 60 DDF y cuatro aplicaciones de TDZ+AG₃ aumentaron el tamaño (longitud) de fruto PRT a partir de 60 DDF respecto al testigo, lo cual puede estar relacionado con una mayor velocidad del crecimiento relativo observado en esa época. Al final del crecimiento (dos semanas antes de cosecha) se logró un incremento en el tamaño de 23 y 44% respectivamente, alcanzando una longitud de ~7cm. En esta etapa de rápido crecimiento y hasta cosecha el proceso más activo es la elongación celular (Varoquaux *et al.*, 2000) y el contenido de citocininas y giberelinas es alto en pericarpio de acuerdo con Ram (1992) y Jun-hu *et al.* (2013), respectivamente, lo que sugiere una relación entre estas dos hormonas; al parecer ambas son requeridas para elongación celular. En este estudio el incremento en tamaño logrado en la última etapa de crecimiento fue mayor en el tratamiento combinado (TDZ+AG₃), lo que confirma lo anterior.

Resultados similares en incremento en tamaño fueron obtenidos en mango 'Irwin' con la aplicación de AG₃ (Ogata *et al.*, 2010) y con dos y cuatro aplicaciones de CPPU+AG₃ al aplicarlo al final de Etapa I (Sasaki y Utsunomiya, 2002). El incremento en tamaño fue

TABLA I
NÚMERO DE FRUTOS POR INFLORESCENCIA A LOS 45 DDF (INICIAL) Y DOS SEMANAS ANTES DE COSECHA (FINAL) EN ÁRBOLES DE MANGO 'ATAULFO' TRATADOS CON 50mg·l⁻¹ DE AG₃

Tratamiento	Época de aplicación (DDF)	Frutos/inflorescencia		Amarre (%)
		Inicial	Final	
1. AG ₃	(0)	3,4 c	0,8 b	24 b
2. AG ₃	(15)	3,1 c	1,0 b	32 a
3. AG ₃	(30)	5,8 a	1,7 a	29 ab
4. AG ₃	(45)	5,2 ab	1,3 ab	25 b
5. AG ₃	(60)	4,0 bc	1,0 b	25 b
6. TDZ+AG ₃	(15+30+45+60)	5,6 ab	1,7 a	30 a
7. Testigo	Sin aplicación	3,4 c	0,9 b	26 b

DDF: días después de plena floración. Amarre: número de frutos (final/inicial)x100. Medias con la misma letra dentro de columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a $P\leq 0,05$

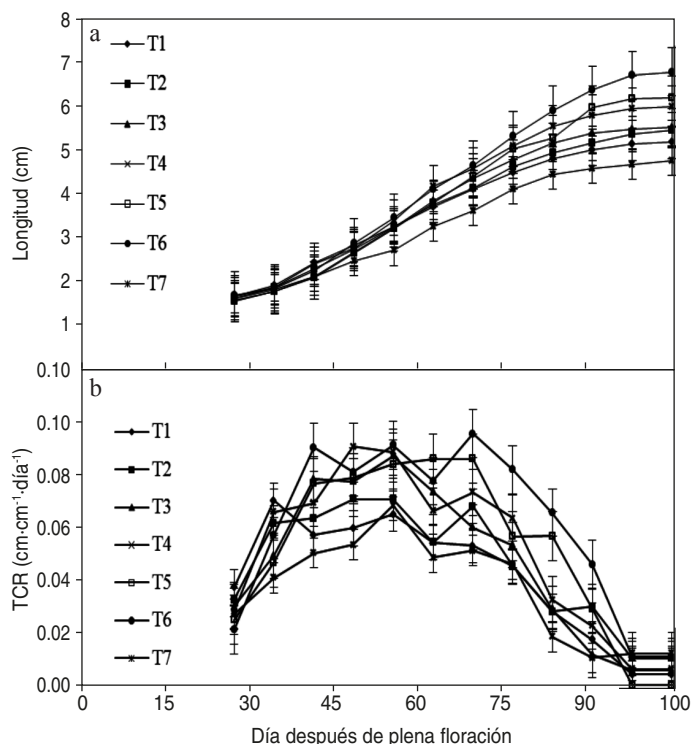


Figura 1. Crecimiento acumulado (a) y tasa de crecimiento relativo (b) de frutos PRT de mango 'Ataulfo' tratados con aplicaciones simples de AG_3 ($50\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) y en combinación con TDZ ($50\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) en aplicaciones repetidas. T1: AG_3 0 DDF, T2: 15 DDF, T3: 30 DDF, T4: 45 DDF, T5: 60 DDF, T6: AG_3 + TDZ a los 15+30+45+60 DDF, y T7: testigo. Las barras en cada punto representan el promedio de 24 frutos por tratamiento \pm error estándar.

atribuido, de acuerdo a los autores, a un aumento en la disponibilidad de carbohidratos o a un incremento de la demanda por efecto de los reguladores, como sucedió en frutos de Kiwi tratados con TDZ+ AG_3 (Famiani *et al.*, 2007), mientras que Stern *et al.* (2007) mencionan que el aumento en tamaño de frutos de cereza fue debido a que el regulador aplicado ($50\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de 2,4-DP; 25 DDF) estimuló la elongación celular del pericarpio de los frutos.

En cuanto al rendimiento se observó un aumento en los kg de fruta por árbol en los tratamientos T5 (40kg), T1 (47,5kg) y T6 (57,5kg) respecto al testigo que produjo 27,5kg (Figura 2). En la misma figura se observa que los frutos de mayor tamaño (PF) se obtuvieron en T5 y T6 (~74 y 80g, respectivamente). Esto se reflejó en un incremento entre 10-15%, respectivamente, en relación al testigo. Sin embargo, no se encontró una correlación entre rendimiento y

tamaño del fruto (longitud; $r=0,12767$; $P_{Fr}=0,15517$).

Al igual que en la longitud, Ogata *et al.* (2010) y Sasaki y Utsunomiya (2002) encontraron un incremento en el PF de frutos por efecto de reguladores en mango. En kiwi (Famiani *et al.*, 2007) y uva 'Niagara Rosada' (Vasconcelos-Botelho *et al.*, 2003) también se ha reportado un incremento del PF de fruto con TDZ y AG_3 .

TABLA II
NÚMERO DE FRUTOS POR INFLORESCENCIA A LOS 45 DDF (INICIAL) Y DOS SEMANAS ANTES DE COSECHA (FINAL) EN ÁRBOLES DE MANGO 'ATAULFO' TRATADOS CON TDZ+ AG_3

Tratamiento	Época (DDF) y número de aplicaciones	Frutos/inflorescencia		Amarre (%)
		Inicial	Final	
1 TDZ+ AG_3	(0)+(15)	9,3 bc	1,3 b	14 ab
2 TDZ+ AG_3	(0)+(15+30)	14,5 ab	1,3 b	9 b
3 TDZ+ AG_3	(0)+(15+30+45)	11,4 abc	1,3 b	11 b
4 TDZ+ AG_3	(0)+(15+30+45+60)	16,1 a	2,5 a	16 ab
5 Testigo	Sin aplicación	5,9 c	1,1 b	19 a

DDF: días después de plena floración. Amarre: número de frutos (final/inicial) \times 100. Medias con la misma letra dentro de columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a $P\leq 0,05$

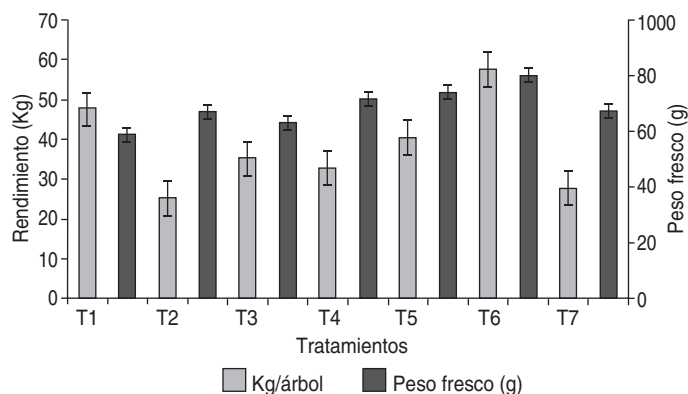


Figura 2. Rendimiento y peso fresco obtenido en arboles de mango 'Ataulfo' tratados con aplicaciones simples de AG_3 y en combinación con TDZ. T1: AG_3 0 DDF, T2: 15 DDF, T3: 30 DDF, T4: 45 DDF, T5: 60 DDF, T6: AG_3 + TDZ a los 15+30+45+60 DDF, y T7: testigo. Las barras en columnas representan el promedio de seis árboles por tratamiento \pm error estándar.

Experimento 2. AG_3 + TDZ en aplicaciones repetidas

Se encuentran diferencias significativas entre tratamientos en las variables frutos/inflorescencia ($P=0,014$), crecimiento acumulado de frutos PRT ($P=0,001$), rendimiento ($P=0,007$), tipo de fruto ($P=0,001$) y PF de frutos PRT ($P=0,001$).

Todos los tratamientos con bioreguladores tuvieron mayor número de fruto/inflorescencia a los 45 DDF, pero solo TDZ a 0 DDF combinado con AG_3 a 15+30 DDF (T2) y TDZ a 0 DDF combinado con AG_3 a 15+30+45+60 DDF (T4) superaron significativamente al testigo (14,5; 16,1 y 5,9 frutos/inflorescencia, respectivamente). En la etapa III (dos semanas antes de cosecha) solo T4 tuvo mayor número de frutos (2,5) que el testigo (T7) con 1,1 fruto.

Aparentemente el testigo tuvo un mayor porcentaje de frutos amarrados antes de cosecha (amarre final), respecto al amarre inicial; no obstante, esto está muy relacionado con el número inicial de frutos, el cual fue menor que en las inflorescencias tratadas (Tabla II). Al igual que en E1 se encontró una correlación positiva entre las variables número de frutos/inflorescencias y rendimiento ($r=0,95321$), pero no entre rendimiento con longitud ($r=0,09401$) y peso fresco de fruto ($r=0,08456$).

En este estudio se obtuvo un mayor número de frutos/inflorescencia en el amarre inicial respecto al testigo en todos los tratamientos con bioreguladores, pero dos semanas antes de la cosecha solo T5 aumentó el número de frutos retenidos. El experimento confirma la acción de la citocininas para incrementar amarre al aplicarse en plena floración (etapa I). Otros autores reportan resultados similares en el incremento en amarre en mango 'Srisaket 007', 'Kensington Pride' e 'Irwin' (Chutichudet *et al.*, 2006; Singh, 2009; Ogata *et al.*, 2010) y otros frutales como cereza (Stern *et al.*, 2007), uva (Vasconcelos-Botelho *et al.*, 2003) y pera (Stern y Flaishman, 2003).

Al igual que en E1, el crecimiento acumulado del fruto PRT presentó una curva sigmoide. En frutos PRT, en la

etapa inicial el crecimiento fue similar entre tratamientos pero a partir de ~50 días el crecimiento del fruto en los tratamientos TDZ a 0 DDF combinado con AG₃ a 15+30+45 DDF (T3) y T4 incrementó ligeramente respecto del resto de los tratamientos. A los 105 DDF (dos semana antes de cosecha) los frutos en los tratamientos T4 y T3 tuvieron una longitud de 8,3 y 8,0cm, respectivamente, siendo los frutos testigos de menor tamaño con una longitud de ~6cm (Figura 3a). La tasa de crecimiento relativo mostró en T3 y T4 una mayor velocidad entre los 40 y 50 DDF (Figura 3b). No se encontraron diferencias en crecimiento de frutos POL por efecto de los tratamientos (datos no mostrados).

Se logró aumentar el tamaño del fruto PRT a partir de los 50 DDF con una aplicación de TDZ en plena floración + tres (30, 45 y 60 DDF) o cuatro aplicaciones (15, 30, 45 y 60 DDF) de AG₃, con respecto al testigo, aunque el crecimiento fue significativo una semana

antes de cosecha logrando un incremento entre 17 y 21%, respectivamente. Resultados similares en el incremento en tamaño (longitud) del fruto por efecto de reguladores han sido reportados en mango (Sasaki y Utsunomiya, 2002; Ogata *et al.*, 2010) y otros frutales como cítricos, kiwi y cereza (Famiani *et al.*, 2007; Stern *et al.*, 2007) indicando que los reguladores incrementan la demanda de fotoasimilados y estimulan la elongación celular.

En este experimento se confirma la acción de las dos hormonas en la etapa III de crecimiento de fruto confiriéndole mayor tamaño probablemente por su acción en la elongación celular. Al parecer el efecto del AG₃ es potenciado por TDZ, o bien puede ocurrir una interrelación entre estas dos hormonas; no obstante, futuros trabajos en este aspecto deben ser realizados para corroborar esta suposición.

Por otro lado, todos los tratamientos con bioreguladores tuvieron un mayor rendimiento en relación al testigo. Los árboles de T1 y T4 produjeron

~49 y 58 kg/árbol, mientras que en los testigos el rendimiento fue de ~41kg (Tabla III). El PF de los frutos PRT varió de aproximadamente 105 hasta 126g en promedio en los tratamientos con RC, mientras los frutos testigos tuvieron un PF de 66g. En los frutos POL no hubo diferencias entre tratamientos en el PF, que varió de 260 a 316g (Tabla III).

Todos los tratamientos que contenían TDZ combinado con AG₃, independientemente del número de aplicaciones, aumentaron el rendimiento (8-28%) y peso fresco de los frutos PRT de 37 a 48%, este último incremento fue logrado con TDZ + tres aplicaciones de AG₃. Resultados similares fueron encontrados por otros autores tanto en mango como en otros frutales tropicales (kiwi) y templados (uva) (Sasaki y Utsunomiya, 2002;

Vasconcelos-Botelho *et al.*, 2003; Famiani *et al.*, 2007; Ogata *et al.*, 2010). En los frutos polinizados no se encontró un efecto positivo en el peso fresco, aunque este no fue superado por los partenocárpicos.

Respecto al tipo de fruto producido, el porcentaje de frutos POL varió de 62,5 a 48,8% en los tratamientos con reguladores, mientras que en el testigo fue de 32,5%. Por el contrario, el porcentaje de frutos PRT fue de 67,5% en el testigo y de 51,3 a 37,5% en los árboles tratados con bioregulador (Figura 4).

TDZ+1-4 aplicaciones de AG₃, independientemente del número y época de aplicación, incrementaron el porcentaje de frutos polinizados, aunque le mayor incremento se logró con TDZ+1-2 aplicaciones de AG₃. Por el contrario, el testigo produjo un mayor porcentaje de

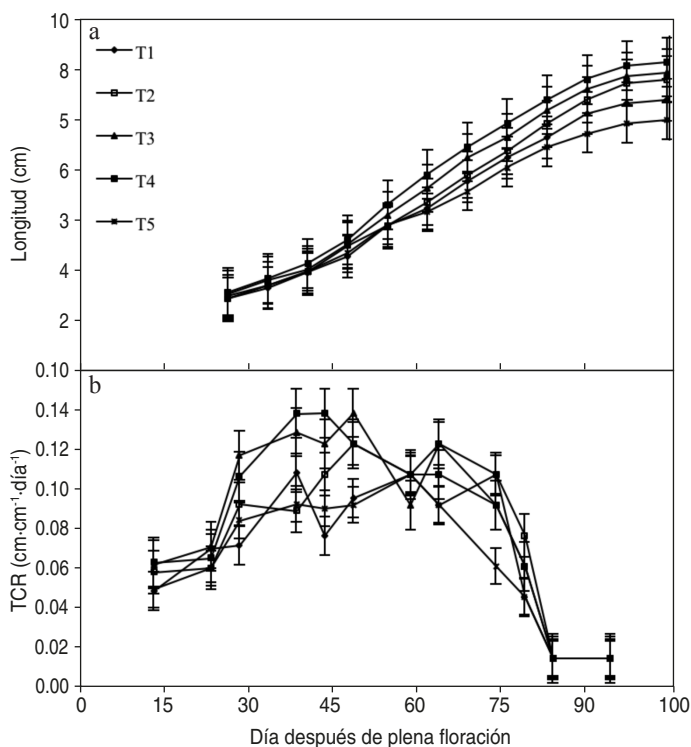


Figura 3. Crecimiento acumulado (a) y tasa de crecimiento relativo (b) de frutos PRT de mango 'Ataulfo' tratados con TDZ a los 0 DDF +AG₃ a los 15 (T1) 15+30 (T2), 15+30+45 (T3) y 15+30+45+60 (T4) DDF, y testigo (T5). Las barras en cada punto representan el promedio de 32 frutos por tratamiento ±error estándar.

TABLA III
RENDIMIENTO Y PESO FRESCO DE FRUTOS PARTENOCÁRPICOS (PRT) Y POLINIZADOS (POL) DE MANGO 'ATAULFO' TRATADOS CON TDZ A LOS 0 DDF +1-4 APLICACIONES DE AG₃

Tabla	Rendimiento (kg/árbol)	Peso fresco (g)	
		PRT	POL
1	48,7 a	105,3 a	259,5 b
2	45,0 a	104,8 a	277,9 ab
3	46,9 a	126,0 a	279,9 ab
4	57,5 a	116,9 a	299,5 ab
5	41,2 b	66,2 b	315,7 a

Medias con la misma letra dentro de columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a P≤0,05.

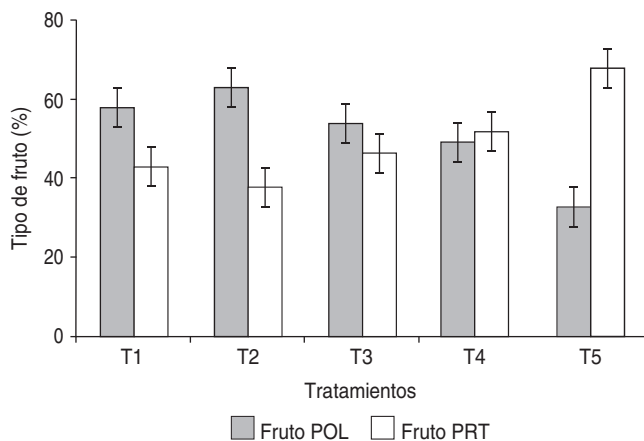


Figura 4. Porcentaje de frutos polinizados (POL) y partenocárpicos (PRT) obtenido en árboles de mango 'Ataulfo' tratados con TDZ a los 0 DDF +AG₃ a los 15 (T1) 15+30 (T2), 15+30+45 (T3) y 15+30+45+60 (T4) DDF, y testigo (T5). Las barras en columnas representan el promedio de ocho árboles por tratamientos ±error estándar.

frutos partenocárpicos. Es probable que TDZ aplicado en floración esté mejorando o sustituyendo polinización, fecundación o desarrollo del embrión. Resultados similares se obtuvieron en otras especies como melón 'Reina de Corazones' donde se mejoró la polinización con aplicaciones de CPPU (100-200mg⁻¹) obteniendo un buen rendimiento (Huitrón *et al.*, 2007). En especies como tomate y *Arabidopsis* las auxinas reemplazan las señales para polinización y fecundación a la vez que estimulan la síntesis de giberelinas para el desarrollo del fruto (Ozga and Reinecke, 2003; Serrani *et al.*, 2008; Dorcey *et al.*, 2009). No obstante, en mango se requiere de trabajos adicionales para apoyar esta suposición.

Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en la calidad del fruto en ninguno de los experimentos (datos no presentados). En E1 la firmeza varió de 12 a 14N en los frutos PRT y de 13 a 16N en los frutos POL. La relación °Brix: acidez fue de 13-26 en PRT y de 19-28 en POL. En E2 los resultados fueron similares. En ambos experimentos, los valores encontrados en los parámetros de calidad (firmeza, relación °Brix:acidez, color externo y de pulpa) fueron similares entre tratamientos, lo que indica que los bioreguladores no tuvieron efecto en la calidad sino que esta fue conservada, ya que los valores obtenidos en ambos experimentos, cumplieron con los estándares para exportación (Báez, 1998).

Conclusiones

Se logró mayor amarre de frutos e incremento en tamaño (peso y longitud) con cuatro aplicaciones combinadas de TDZ+AG₃ en la Etapa II del crecimiento del fruto, así como con una aplicación de TDZ en plena floración y posteriormente cuatro aplicaciones de AG₃ a

los 15, 30, 45 y 60 DDF. Conjuntamente, el incremento en tamaño de los frutos partenocárpicos se logró también con una aplicación de AG₃ en Etapa II; es decir, 60 DDF. Además, TDZ en plena floración más tres aplicaciones de AG₃ en Etapa III (15, 30 y 45 DDF) incrementó el rendimiento, mientras que el porcentaje de frutos PRT producidos fue menor con la combinación de TDZ en plena floración más 1, 2, 3 o 4 aplicaciones de AG₃ en la Etapa II.

REFERENCIAS

AOAC (1984) *Official Methods of Analysis*. 14^a ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, EEUU. 1006 pp.

Báez SR (1998) *Norma Mexicana de Calidad para Mango Fresco de Exportación*. Comité Técnico Científico de Empacadores de Mango de Exportación (EMEX, A.C.). Guadalajara, México. 6 pp.

Baker LR, Scott JW, Wilson JE (1973) Seedless pickles - a new concept. *Farm Sci*. 227: 1-12.

Bunger-Kibler S, Bangert F (1982) Relationship between cell number, cell size and fruit size of seeded fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), and those induced parthenocarpically by the application of plant growth regulators. *Plant Growth Regul. I*: 143-154.

Chutichudet B, Chutichudet P, Chanaboon T (2006) Effect of gibberellins (GA₃) on fruit yield and quality of Kaew mango (*Mangifera indica* L.) cv. Srisaket 007 in Northeast Thailand. *Pak. J. Biol. Sci.* 9: 1542-1546.

Dorcey E, Urbez C, Blázquez MA, Carbonell J, Pérez-Amador MA (2009) Fertilization-dependent auxin response in ovules triggers fruit development through the modulation of gibberellin metabolism in *Arabidopsis*. *Plant J.* 58: 318-332.

Famiani F, Proietti P, Pilli M, Battistelli A, Moscatello S (2007) Effects of application of thidiazuron (TDZ), gibberellic acid (GA₃), and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) on fruit

size and quality of *Actinidia deliciosa* 'Hayward'. *N. Zeal. J. Crop Hort. Sci.* 35: 341-347.

Gillaspay G, Ben-David H, Gruijssem W (1993) Fruits: A developmental perspective. *Plant Cell* 5:1439-1451.

Huitrón MV, Díaz M, Diánez F, Camacho F, Valverde A (2007) Effect of 2,4-D and CPPU on triploid watermelon production and quality. *HortScience* 42: 559-564.

Jun-hu H, Feng-wang M, Ye-yuan Ch (2013) Fruit development and endogenous hormone concentrations in mango fruit with aborted and non-aborted embryos. *Acta Horticult.* 992: 139-147.

Matsuo S, Kikuchi K, Fukuda M, Honda I, Imanishi S (2012) Roles and regulation of cytokinins in tomato fruit development. *J. Exp. Bot.* 63: 695-709.

Mukherjee S (1997) Introduction: Botany and Importance. En Litz R (Ed) *The Mango Botany, Production and Uses*. CABI. Nueva York, EEUU. pp. 1-22.

NeSmith D (2002) Response of rabbiteye blueberry (*Vaccinium mashie* Reade) to the growth regulators CPPU and gibberellic acid. *HortScience* 37: 666-668.

Ogata T, Tamura H, Hamada K, Hasegawa K (2010) Effect of gibberelin on setting and growth of non-pollinated parthenocarpic fruit in mango. *Acta Hort.* 884: 597-604.

Ozga JA, Reinecke DM (2003) Hormonal interactions in fruit development. *J. Plant Growth Regul.* 22: 73-81.

Pandolfini T (2009) Seedless fruit production by hormonal regulation of fruit set. *Nutrients I*: 168-177.

Pérez-Barraza MH, Vázquez-Valdivia V, Osuna-García JA, Urías-López MA (2009) Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo' con reguladores del crecimiento. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 15: 183-188.

Ram S (1992) Naturally occurring hormones of mango and their role in growth and drop of the fruit. *Acta Hort.* 321: 400-411.

SAS (2008) SAS versión 9.2. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU.

Sasaki K, Utsunomiya N (2002) Effect of combined application of CPPU and GA₃ on the growth of 'Irwin' mango fruits. *Jap. J. Trop. Agric.* 46: 224-229.

Serrani JC, Fos M, Atares A, García-Martínez JL (2007) Effect of gibberellin and auxin on parthenocarpic fruit growth induction in the cv. micro-tom of tomato. *J. Plant Growth Regul.* 26: 211-221.

Serrani JC, Ruiz-Rivero O, Fos M, García-Martínez JL (2008) Auxin-induced fruit-set in tomato is mediated in part by gibberellins. *Plant J.* 56: 922-934.

Singh Z (2009) Gibberellin type and time of application influence fruit set and retention in mango. *Acta Hort.* 820: 407-412.

Singh Z, Mallik U, Davenport TL. (2005) Fruit drop in mango. En Janick J (Ed.) *Hort. Rev.* 31: 11-153.

Srivastava A, Handa AK (2005) Hormonal regulation of tomato fruit development: a molecular perspective. *J. Plant Growth Regul.* 24: 67-82.

Stern R, Flaishman MA (2003) Benzyladenine effects on fruit size, fruit thinning and return yield of 'Spadona' and 'Coscia' pear. *Sci. Hort.* 98: 499-504.

Stern RA, Flaishman M, Applebaum S, Ben-Arie R (2007). Effect of synthetic auxins on fruit development of 'Bing' cherry (*Prunus avium* L.). *Sci. Hort.* 114: 275-280.

Tharanathan RN, Yashoda HM, Prabha TN (2006) Mango (*Mangifera indica* L.), "The King of Fruits" - An overview. *Food Rev. Int.* 22: 95-123.

Varoquaux F, Blanvillain R, Delseny M, Gallois P (2000) Less is better: new approaches for seedless fruit production. *TIBTECH* 18: 233-242.

Vasconcelos-Botelho R, Paioli-Pires EJ, Monteiro-Terra M, Limonta-Carvalho CR (2003) Efeitos do thidiazuron e do ácido giberélico nas características dos cachos e bagas de uvas 'Niagara Rosada' na região de Jundiá-SPI. *Rev. Bras. Fruticult.* 25: 96-99.