

El cuajamiento de frutos de feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret) en respuesta a nitrato de potasio, fosfato de potasio y ethephon

Fruit set response of pineapple guava (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret) to potassium nitrate, potassium phosphate and ethephon

Oskar Javier García¹, Edgar Yiovani Duéñez¹, Gerhard Fischer², Bernardo Chaves² y Omar Camilo Quintero³

RESUMEN

En la finca *El Cortijo*, municipio La Vega (Cundinamarca), ubicada a 2.350 msnm de altitud, con temperatura de 17 °C, humedad relativa de 85%, precipitación de 1.423 mm·año⁻¹, se estudió el efecto de tres productos químicos en árboles de feijoa, Clon 41 ('Quimba'), de 6 años de edad, sobre el cuajamiento de los frutos. Los productos fueron los fertilizantes foliares KNO₃ (nitrato de potasio 13-0-46[®] al 1,0%, 1,5% y 2,0%) y KH₂PO₄ (fosfato de potasio; Cosmofoliar al 0-32-43[®]; 0,5%, 0,75% y 1,0%) y la fitohormona ethephon (Ethrel[®] 48SL, a 100, 150 y 200 mg·L⁻¹), aplicados 4 veces, cada 15 días, a partir de 50 días después de la poda. Se evaluaron el número de flores formadas, el número y el porcentaje de frutos cuajados y el nivel de eficacia de los productos aplicados. El KH₂PO₄ al 0,5% presentó los valores significativamente más altos ($P \leq 0,05$) en las cuatro variables evaluadas y obtuvo, en su diferencia frente al testigo (0 aplicaciones), aumentos de 447,6% en el número de las flores formadas y de 465,4% en el número de frutos cuajados, destacando la importancia del P en el proceso reproductivo de la feijoa. El segundo mejor tratamiento, con una eficacia positiva (96,55%) en el cuajamiento de frutos, fue el ethephon a 100 mg·L⁻¹. El número de frutos cuajados en las diferentes concentraciones de KNO₃ no pudo superar el del testigo, presentándose una eficacia negativa y así mismo, fitotoxicidad cuando se emplearon concentraciones al 2%. El porcentaje de cuajamiento en feijoa (66% del testigo) fue relativamente alto comparado con el de otros frutales.

Palabras clave: ethrel, inducción floral, Clon 41, 'Quimba', producción forzada.

ABSTRACT

In the *El Cortijo* farm, La Vega municipality, Cundinamarca, Colombia (2,350 m altitude, temperature 17 °C, precipitation 1,423 mm·year⁻¹, relative humidity 85%), the effects of three chemical products were studied on fruit set of six years old feijoa trees, Clon 41 ('Quimba'). The products, also used in floral induction, were foliar fertilizers KNO₃ (potassium nitrate 13-0-46[®] 1.0%, at 1.5% and 2.0%), KH₂PO₄ (potassium phosphate; Cosmofoliar 0-32-43[®]; at 0.5%, 0.75% and 1.0%), and phytohormone ethephon (Ethrel[®] 48 SL; at 100, 150 and 200 mg·L⁻¹). Applications were made (each 15 days) starting from 50 days after pruning. There were evaluated (1) the number of formed flowers, (2) number and (3) percentage of fruits set, and (4) levels of efficacy of applied products. KH₂PO₄ at 0.5% had highest values ($P \leq 0,05$) compared to the control (0 applications) in each of the four variables, which increases in the number of formed flowers of 447.6% and in the number of fruits set of 465.4%, emphasizing the importance of P in the reproductive process of pineapple guava. The second best treatment was ethephon at 100 mg·L⁻¹ showing a positive efficacy (96.55%) in fruit setting. The number of fruits set in the different KNO₃ concentrations did not exceed this one in the control presenting a negative efficacy and also phytotoxicity when KNO₃ concentrations of 2% were applied. Percentage of fruit set in pineapple guava (66% in control plants) was relatively high compared to other fruit trees.

Key words: ethrel, floral induction, Clon 41, 'Quimba', forced production.

Introducción

La producción de feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret, familia Mirtaceae) en Israel, Italia, Francia, España, Estados Unidos y Nueva Zelanda no es constante durante el año, debido a las estaciones climáticas. En estos países,

la producción y disponibilidad de la fruta se concentra en ciertos meses, lo que reduce notablemente su permanencia y reconocimiento en los mercados. Esta condición representa una gran oportunidad para Colombia, que puede entrar en el mercado europeo en la época de mayor demanda de productos frescos exóticos (noviembre a marzo) y durante los

Fecha de recepción: diciembre 13 de 2007. Aceptado para publicación: julio 10 de 2008

¹ Ingenieros agrónomos, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. garkoz13@yahoo.com; yiovanito@yahoo.com

² Profesores asociados, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. gfischer@unal.edu.co; bchaves@unal.edu.co

³ Biólogo, DisFruta las Feijoas, Bogotá. overfeijoas@gmail.com

demás meses que presenten una demanda sostenida (CCI, 2000). La feijoa se siembra en el país teniendo en cuenta las investigaciones extranjeras o las experiencias personales, pero no hay un modelo tecnológico al que se pueda acoger el cultivador, lo que hace que la explotación del cultivo no sea la más adecuada (Rodríguez, 1993).

La planta de feijoa es un arbusto originario de la zona subtropical, que se extiende desde el sur del Brasil, sobre Uruguay y las partes altas del lado occidental del Paraguay hasta el noroeste de Argentina. La planta se caracteriza por su alta capacidad de adaptarse a diferentes zonas climáticas; en Colombia se tienen cultivares comerciales a altitudes entre 1.800 y 2.650 msnm, con temperaturas entre 13 y 21 °C (promedio 16 °C), precipitación anual de 700-1.200 mm, una exposición a la radiación solar de 1.500 horas brillo solar anual y humedad relativa promedio de 70% (Fischer *et al.*, 2003).

La programación de cosechas mediante aplicación de productos químicos y otras técnicas de manejo de cultivo, prolongan la época de oferta de los frutos, aumentan la competitividad en los mercados nacionales e internacionales y promueven el uso eficiente de los insumos, como fertilizantes y pesticidas, entre otros (Davenport y Nuñez-Elisea, 1997). Una de las aplicaciones más atractivas de la producción forzada es obtener la cosecha fuera de la época normal para comercializarla a mejor precio. También es posible extender la oferta del producto en el mercado durante más tiempo y aumentar el rendimiento anual por unidad de superficie (García y Dueñez, 2007). Sin embargo, la base genética, los procesos fisiológicos y la manera en que estos son afectados por productos que promueven la inducción floral y el cuajamiento de los frutos, no han sido estudiados por completo (Weigel, 1995).

La inducción floral es un proceso en el que las yemas de los frutales, originalmente vegetativas, sufren cambios metabólicos que las preparan para transformarse en yemas florales. El proceso que sigue a la inducción floral se conoce como diferenciación floral y corresponde a una manifestación externa o cambio morfológico (Yuri *et al.*, 2002), y el cuajamiento marca la transición del ovario de la flor a fruto en desarrollo (Agustí, 2004). Según Agustí (2004), este paso supone la iniciación de un crecimiento rápido de los tejidos del ovario y, si dicho crecimiento no se inicia o una vez iniciado cesa, el ovario se desprende y, por tanto, no cuaja. El desarrollo posterior del ovario es consecuencia de la división celular del pericarpio.

Faust (1989) indica que para que se presente el cuajamiento se requiere: a) la existencia de yemas florales maduras,

bien formadas y nutridas; b) un régimen de temperaturas durante la antesis que asegure una buena polinización, un desarrollo del tubo polínico y una fecundación y c) un aporte adecuado de fotosintatos cuando el ovario inicie su desarrollo.

La competencia por elementos minerales durante el desarrollo del ovario puede ser uno de los factores limitantes de la productividad en algunas variedades, teniendo en cuenta la pérdida de materia seca y elementos minerales durante esta fase (Agustí, 2003). El cuajamiento de frutos está relacionado con la actividad de fitohormonas y, probablemente, con la nutrición en una forma más indirecta (Mengel *et al.*, 2001).

Las aplicaciones de KNO₃ estimulan la inducción floral en mango, especialmente en regiones tropicales (Núñez-Elisea, 1985), mientras que el etileno está presente en múltiples aspectos del desarrollo floral, desde la iniciación hasta la senescencia de las flores (Klee y Clark, 2004). Existe evidencia de que el estímulo de floración inducida mediante la aplicación de KNO₃ en mango está mediado por niveles crecientes de etileno endógeno (López, 1984). En variedades de manzano, el ethephon (ácido 2-cloroetilfosfónico) promueve la floración (Dennis, 2003).

Sin embargo, el conocimiento de la floración y el cuajado de frutos en árboles frutales de origen tropical y subtropical ha avanzado en los últimos años, aunque todavía existen muchas cuestiones y detalles que necesitan ser respondidos a través de más investigaciones y observaciones en campo (Albrigo y Galán Saúco, 2004).

Debido a que la adaptación de la feijoa a zonas tropicales carece de información respecto al cuajamiento, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta a la aplicación foliar de productos de nitrato de potasio, fosfato de potasio y ethephon en la etapa de cuajado de fruto del Clon 41 'Quimba'.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la finca *El Cortijo*, ubicada a 2.350 msnm en el municipio de La Vega (Cundinamarca), situada a 04° 55' 59" latitud norte y 74° 18' 59" longitud oeste, con temperatura promedio de 17 °C, brillo solar anual de 1.377 horas, humedad relativa promedio 85% y precipitación promedio anual de 1.423 mm (Ideam, 2002). Según la clasificación de Holdridge, la zona pertenece al bosque húmedo montano bajo (bh-MB). El lote seleccionado presenta una pendiente de 25%, abarca un área de 9.750 m² y corresponde a 975 plantas sembradas a 2,5 m entre plantas y 4,0 m entre surcos. El suelo presenta una textura

franco-arcillosa; en la tabla 1 se muestran los resultados del análisis de suelos del lote experimental, elaborado por Soil and Plant Laboratory, Bogotá.

El material vegetal utilizado fue el cultivar Clon 41 'Quimba', que, al momento de iniciar el experimento, tenía una edad de 6 años y sus ramas se encontraban agobiadas. Para la aplicación de los tratamientos se utilizaron 4 ramas del tercio inferior del árbol; luego de la selección, se realizó la poda de las 4 ramas para estimular la formación de nuevos botones florales. Los árboles seleccionados se encontraban en la fase reproductiva, en la que si la poda se realiza –teniendo el árbol botones florales, flores, cuajas, frutos o todos a la vez–, la respuesta es la emisión de ramas nuevas con más botones florales (Quintero, 2003).

La investigación en su parte de campo tuvo una duración de 4 meses, de febrero a junio de 2006. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 10 tratamientos y tres repeticiones (tabla 2), ya que el terreno presentaba una pendiente considerable, y los tratamientos fueron distribuidos al azar en cada uno de los bloques. La unidad experimental estuvo constituida por un árbol del que se seleccionaron 4 ramas en el tercio inferior. Las variables que se midieron y

calcularon en el ensayo fueron: a) número de flores formadas, b) porcentaje de flores formadas, c) número de frutos cuajados, d) porcentaje de frutos cuajados, con respecto al número de flores formadas y e) nivel de eficacia de los productos inductores.

Para una mayor eficacia de los productos inductores se empleó 1 cm³·L⁻¹ del coadyuvante Cosmo-Ind® (alcohol etoxilado, 16,3%; polioxietileno alquil éter, 10,85%; indicador de pH alcalino, 0,03% e ingredientes inertes, 72,82%), de carácter no iónico, reductor de tensión superficial, acelerador de penetración e indicador de alcalinidad del agua y antiespumante. Se dejó un árbol intermedio entre cada tratamiento (árbol borde), para evitar la deriva de la aplicación de los tratamientos, ya que puede influir o enmascarar la respuesta del árbol al tratamiento aplicado.

Inmediatamente después de realizar la poda, se aplicaron los productos en forma asperjada al tercio inferior del árbol, mediante el empleo de una bomba manual (1,6 L). Una vez aplicados los tratamientos, se repitieron cada una de las concentraciones cada 15 días, para un total de 4 aplicaciones (tabla 2) durante los 2 primeros meses del ensayo, empezando a partir de 50 días después de la poda.

TABLA 1. Análisis de suelos del lote 5, finca *El Cortijo*, municipio de La Vega (Cundinamarca). Soil and Plant Laboratory, Bogotá.

pH	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	ppm									
4,3	78	24	102	379	44	1,0	10	19	255	0,08

TABLA 2. Descripción de los tratamientos del estudio. Cultivo de feijoa (*Acca sellowiana*) cv. Clon 41 'Quimba'. La Vega (Cundinamarca), febrero-junio de 2006.

Tratamiento	Aplicaciones	Producto	Dosis
1	4	Nitrato de potasio 13-0-46® (KNO ₃) [*]	1,0%
2	4	Nitrato de potasio 13-0-46® (KNO ₃)	1,5%
3	4	Nitrato de potasio 13-0-46® (KNO ₃)	2,0%
4	4	Cosmofoliar 0-32-43® (KH ₂ PO ₄) ^{**}	0,5%
5	4	Cosmofoliar 0-32-43® (KH ₂ PO ₄)	0,75%
6	4	Cosmofoliar 0-32-43® (KH ₂ PO ₄)	1,0%
7	4	Ethrel® (ethephon) ^{***}	100 mg·L ⁻¹
8	4	Ethrel® (ethephon)	150 mg·L ⁻¹
9	4	Ethrel® (ethephon)	200 mg·L ⁻¹
10	0	Testigo	0

* Contiene: 13% N, 0% P₂O₅ y 46% K₂O.

** Contiene: 0% N, 32% P₂O₅ y 43% K₂O; además, micronutrientes quelatados con EDTA: 0,27% CaO, 0,28% MgO, 0,25% Fe, 0,1% Cu, 0,21% Zn, 0,05% Mn, 0,0019% Co, 0,22% B y 0,011% Mo.

*** Contiene: ácido-2-cloro-etilfosfónico, 480 g·L⁻¹.

Las aplicaciones se realizaron en las horas de la mañana, cuando la temperatura no era muy elevada. Los labores de manejo (fertilización edáfica, deshierba y control fitosanitario) se hicieron de forma similar para todo el lote de la finca. Los muestreos se llevaron a cabo cada 8 días a partir de aplicados los tratamientos hasta el final del ensayo.

Posteriormente, con los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico, que incluyó análisis de varianza (Anova) para las variables flores formadas y frutos cuajados. Se hicieron comparaciones entre grupos de tratamientos a través de contrastes y pruebas de Tukey ($P \leq 0,05$) y análisis de regresión para establecer el mejor tratamiento; se halló el coeficiente de determinación y la respectiva ecuación de la forma $y = \beta_0 + \beta_1 x$, donde: y es la respuesta del número de estructuras reproductivas formadas (flores formadas, frutos cuajados) en el número de días transcurridos; β_0 , el intercepto; β_1 , el número de estructuras formadas por cada día transcurrido (coeficiente de regresión); x , los días de ejecución del ensayo. Se utilizó el paquete estadístico SAS 9.1. Para el porcentaje de frutos cuajados y el nivel de eficacia de los productos inductores se realizó una relación matemática expresada en forma de porcentaje (fórmula 1):

$$\text{Eficacia de emisión de estructuras reproductivas} \\ (\% \text{ flores formadas y frutos cuajados}) = \frac{[(\text{total de estructuras reproductivas formadas con el tratamiento} - \text{total de estructuras reproductivas formadas en el testigo}) \times 100]}{\text{Total de estructuras reproductivas formadas en el testigo}}$$

Resultados y discusión

Número de flores formadas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los tratamientos y, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$), el KH_2PO_4 al 0,5% fue el mejor tratamiento (figura 1). En las pruebas de contrastes se observó una respuesta lineal al KH_2PO_4 y al ethephon.

El KH_2PO_4 al 0,5% presentó una mejor respuesta ($P \leq 0,05$) a través del ensayo, en comparación con el testigo y los demás tratamientos (tabla 3). El promedio del número de flores formadas en 4 ramas por árbol en este tratamiento fue 65,67, lo que significa un aumento de 447,6% respecto al testigo (14,67 flores). En consecuencia, se puede plantear que el KH_2PO_4 estimuló progresivamente el número de flores formadas a partir de los 50 días de ejecutada la labor de poda y la aplicación del producto (figura 1). Este resultado concuerda con lo reportado de otros frutales, en los que una aplicación del P aumentó la floración (Agustí, 2003); además de incrementar el metabolismo en estas yemas, el P fomenta la absorción de Mg, elemento que también es fundamental en la formación floral y promueve la síntesis de ácidos nucleicos (Feucht, 1982). De acuerdo con la afirmación de Marschner (2002), de que el número de flores formadas se reduce en el caso de una deficiencia de P, se puede deducir que la feijoa es muy exigente en P durante la formación de sus órganos reproductivos. Además, la fracción de K en el KH_2PO_4 podría estimular la fotosíntesis y el transporte de fotoasimilados, entre otros, lo que es muy importante para la formación de flores (Swietlik, 2003).

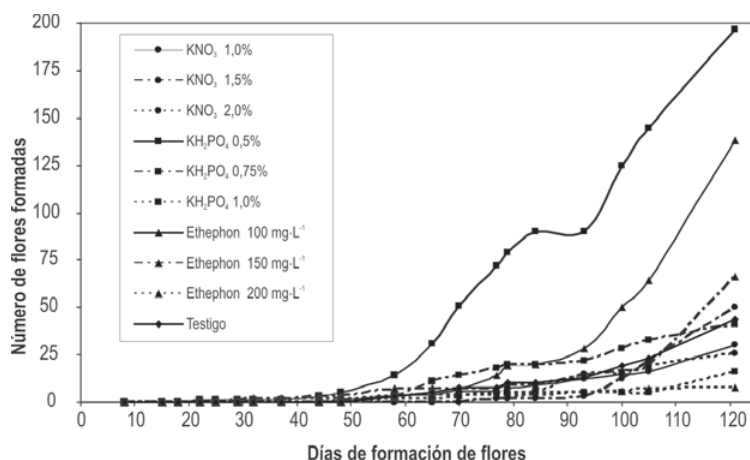


FIGURA 1. Efecto de 4 aplicaciones de KNO_3 , K_2HPO_4 y ethephon sobre el número de flores formadas a partir de los botones florales inducidos, acumulados por los tratamientos a través del tiempo. Cultivo de feijoa (*Acca sellowiana*) cv. Clon 41 'Quimba'. La Vega (Cundinamarca), febrero-junio de 2006.

TABLA 3. Resultados del análisis de regresión lineal del número de flores formadas, valores reales y estimados durante 120 días. Cultivo de feijoa (*Acca sellowiana*) cv. Clon 41 'Quimba'. La Vega (Cundinamarca), febrero-junio de 2006.

Tratamiento	R ²	Ecuación	CV (%)	Valores reales, total de 3 bloques	Valores estimados*	Flores formadas por árbol**
KNO ₃ 1,00%	0,80	y = - 6,26 + 0,021·x	65,17	30	18,94	10,00ab***
KNO ₃ 1,50%	0,44	y = - 8,73 + 0,240·x	197,42	50	20,07	16,67ab
KNO ₃ 2,00%	0,65	y = - 6,45 + 0,190·x	113,72	26	16,35	8,67b
KH ₂ PO ₄ 0,50%	0,87	y = - 46,99 + 1,63·x	48,29	197	148,61	65,67a
KH ₂ PO ₄ 0,75%	0,89	y = - 10,36 + 0,37·x	40,83	41	34,04	13,67b
KH ₂ PO ₄ 1,00%	0,72	y = - 2,87 + 0,090·x	78,92	16	7,93	5,33b
Ethephon 100 mg·L ⁻¹	0,60	y = - 26,47 + 0,78·x	125,01	138	67,13	46,00ab
Ethephon 150 mg·L ⁻¹	0,56	y = - 9,87 + 0,330·x	115,39	66	29,73	22,00ab
Ethephon 200 mg·L ⁻¹	0,96	y = - 1,56 + 0,070·x	18,85	18	6,84	6,00b
Testigo	0,74	y = - 8,90 + 0,280·x	81,37	44	24,7	14,67ab

R², coeficiente de determinación; CV, coeficiente de variación; KNO₃, Nitrato de potasio 13-0-46®; KH₂PO₄, Cosmofoliar 0-32-43®; ethephon, Ethrel®; y, número de flores formadas; x, tiempo en días

* Según la fórmula 1 en el texto

** Promedio de 4 ramas por árbol; valor test F, 0,0192; coeficiente de variación, 95,41; DMS, 57,35

*** Promedios con letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey (P ≤ 0,05)

Sin embargo, esta misma situación no se presentó en la combinación de K con nitrato (KNO₃ al 1,0%, 1,5% y 2,0%), cuyos tratamientos tuvieron resultados similares o por debajo del testigo (tabla 2). Este efecto no estimulante de la formación floral contrasta con los resultados reportados por Machado y Reboucas (2000) en mango. George *et al.* (2003) reportan que aplicaciones de compuestos nitrogenados que contienen NO₃⁻ ó NH₄⁺ incrementaron los niveles de arginina, compuesto que puede promover la floración. La aplicación de otra fuente de nitrógeno, como urea, incrementó la cantidad de flores formadas en mango, resultando en un mayor número de frutos cuajados por panícula (Tiwari y Rajput, 1976). También en guayaba, la combinación entre poda y fertilización con urea aumentó la floración y la producción (Shigeura y Bullock, 1976). En la feijoa, la aplicación de KNO₃ aumentó demasiado el contenido de los nitratos en las estructuras florales, inhibiendo la iniciación de estas yemas (Lakso y Flore, 2003).

La respuesta a ethephon a 100 mg·L⁻¹ fue menor que al KH₂PO₄ y a su vez, mayor que en el testigo, con valores de 138, 197 y 44 flores formadas, respectivamente, y una relación de 3:1. El ethephon a 100 mg·L⁻¹ inició la formación de flores a partir de los 70 días, acorde con la aparición de botones inducidos. El efecto estimulante del ethephon a 100 mg·L⁻¹ en la floración de la feijoa coincide con lo reportado en mango por Saidha *et al.* (1983), quienes observaron una producción de etileno cinco veces mayor que en los brotes vegetativos. Igualmente, en la variedad alternante

(fructificación bianual) del mango 'Langra', el ethephon indujo alta floración y fructificación en un año con poca producción (*off year*), en una concentración de 200 mg·L⁻¹ (Chacko *et al.*, 1974). Couto *et al.* (1996) aplicaron 0,25 mL·L⁻¹ de ethephon (1-3 aplicaciones) y encontraron que estimulaba la diferenciación floral en yemas floríferas. En limón Tahití, concentraciones de ethephon de 0,8; 1,2; 1,6 y 2,9 mL·L⁻¹ aumentaron la densidad de brotes florales totales y mixtos (generativos + vegetativos), pero las dosis por encima de 8 mL·L⁻¹ causaron defoliación entre 69% y 95% de los nudos (Rojas, 1994).

Número de frutos cuajados

El análisis de varianza mostró diferencias entre los tratamientos y, de acuerdo con la prueba de Tukey (P≤0,05), el KH₂PO₄ al 0,5% fue el mejor tratamiento y las pruebas de contrastes arrojaron respuesta lineal del KH₂PO₄.

El KH₂PO₄ al 0,5% presentó una mejor respuesta a través del ensayo, en comparación con el testigo (figura 2). El número de frutos cuajados fue 135, mientras en el testigo fue de 29 frutos (tabla 4), por lo que la diferencia entre este producto y el testigo tiene una relación de 4,5:1. Por tanto, se puede plantear que el producto de este tratamiento estimuló progresivamente el número de frutos cuajados, a partir de los 65 días de ejecutada la labor de poda y la aplicación del producto. Este resultado confirma plenamente lo afirmado por Agustí (2003) de que la disponibilidad por elementos minerales se torna crítica

en la época de floración y cuajado y su demanda debe ser convenientemente satisfecha, como es el caso del KH_2PO_4 al 0,5%.

La respuesta al ethephon a $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ fue menor que al KH_2PO_4 y a su vez mayor que en el testigo, con valores de 57, 135 y 29 frutos cuajados, respectivamente y una relación del número de frutos cuajados de 2:1. El ethephon a $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ inició la formación de frutos a partir de los 93 días, acorde con la aparición de botones inducidos. En otra mirtácea, la guayaba, la doble aspersion con ethephon ($1 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) generó también el mayor número de flores y frutos por planta, comparada con el estrés hídrico o las aplicaciones de diferentes nutrientes y el testigo (Castelán y Becerril, 2004). Los tratamientos restantes respondieron de forma similar a la cantidad de frutos formados en el testigo; al transcurrir el tiempo no hubo un aumento proporcional en el número de frutos cuajados, sino que se presentó una tendencia estable, por lo que los tratamientos aplicados no influyeron en esta variable.

En contraste con estos resultados, las aplicaciones de KNO_3 mostraron valores inferiores al tratamiento testigo (tabla 3, figura 2), lo que se diferencia de su efecto positivo en la floración del mango (Machado y Reboucas, 2000; Sergent y Leal, 1989) y se asemeja más bien a los resultados obtenidos al 2,5% en longan (*Euphoria longana*), donde este producto

no indujo un porcentaje mayor de emergencia de flores que en el testigo (Sritontip *et al.*, 2005).

Porcentaje de frutos cuajados

Las aplicaciones de KH_2PO_4 presentaron el mayor porcentaje de frutos cuajados (tabla 5), con respecto al número de botones florales inducidos y al de las flores formadas, lo que subraya la importancia del fósforo (Marschner, 2002) y del K (Agustí, 2003) en el cuajamiento de los frutos. Por otro lado, se puede observar que en las aplicaciones de KH_2PO_4 y ethephon existe una supuesta compensación, pues en los tratamientos que mostraron un alto porcentaje de frutos cuajados, en relación con el número de botones florales inducidos, éste disminuyó cuando se lo relacionó con el número de flores formadas (tabla 5). Probablemente, en los árboles de los tratamientos con alta formación de flores se presentó una competencia por los fotoasimilados (Lakso y Goffinet, 2003; Schumacher, 1989).

La respuesta generada por las diferentes concentraciones de KNO_3 no pudo superar la del testigo. Sin embargo, en navelate 'Navelate' la aplicación de KNO_3 en primavera provocó un aumento del contenido porcentual de N, P, K y Mg en el fruto, al mismo tiempo que promovió su desarrollo. Este efecto es interpretado por Agustí (2003) como un estímulo por acción del K en el transporte o la absorción de elementos minerales por parte de la planta. Dennis (1996) y Faust (1989) consideran la aplicación de

TABLA 4. Resultados del análisis de regresión lineal del número de frutos cuajados, valores reales y estimados durante 120 días. Cultivo de feijoa (*Acca sellowiana*) cv. Clon 41 'Quimba', finca *El Cortijo*, municipio de La Vega (Cundinamarca), febrero-junio de 2006.

Tratamiento	R^2	Ecuación	CV (%)	Valores reales, total de 3 bloques	Valores estimados*	Frutos cuajados por árbol**
KNO_3 1%	0,52	$y = -2,31 + 0,066x$	251,20	13	5,61	4,33b***
KNO_3 1,5%	0,43	$y = -3,44 + 0,093x$	163,07	20	30,16	6,67b
KNO_3 2%	0,47	$y = -3,20 + 0,087x$	191,83	17	7,24	5,67b
KH_2PO_4 0,5%	0,84	$y = -34,05 + 1,13x$	24,17	135	101,55	45,00a
KH_2PO_4 0,75%	0,84	$y = -8,81 + 0,290x$	98,88	33	25,99	11,00b
KH_2PO_4 1%	0,81	$y = -2,54 + 0,080x$	296,38	11	7,06	3,67b
Ethephon $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0,62	$y = -11,22 + 0,33x$	57,25	57	28,38	19,00b
Ethephon $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0,70	$y = -3,49 + 0,120x$	163,07	20	10,91	6,67b
Ethephon $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0,90	$y = -2,53 + 0,130x$	271,93	12	13,07	4,00b
Testigo	0,70	$y = -5,99 + 0,190x$	112,48	29	16,81	9,67b

R^2 , coeficiente de determinación; CV, coeficiente de variación; KNO_3 , Nitrato de potasio 13-0-46®; KH_2PO_4 , Cosmofoliar 0-32-43®; ethephon, Ethrel®; y, número de flores formadas; x, tiempo en días

* Según fórmula 1 en el texto.

** Promedio de 4 ramas por árbol; valor test F, 0,0466; coeficiente de variación, 119,37; DMS, 40,42

*** Promedios con letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

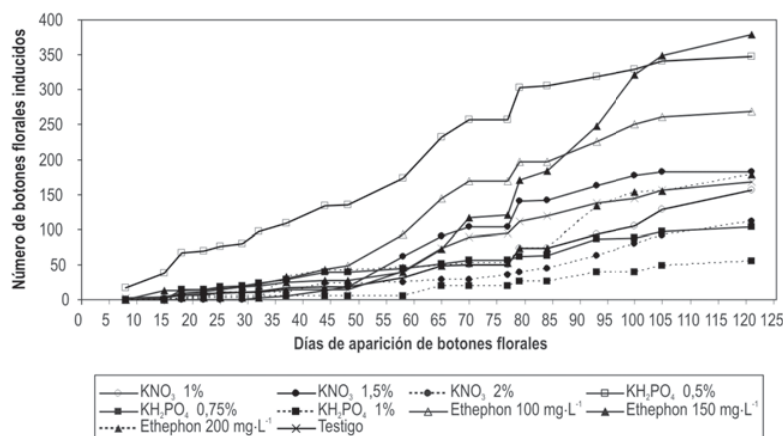


FIGURA 2. Efecto de 4 aplicaciones de KNO₃, K₂HPO₄ y ethephon sobre el número de frutos cuajados a partir de los botones florales inducidos, acumulados por los tratamientos a través del tiempo. Cultivo de feijoa (*Acca sellowiana*) cv. Clon 41 'Quimba'. La Vega (Cundinamarca), febrero-junio de 2006.

TABLA 5. Porcentaje de frutos cuajados y eficacia de los tratamientos en comparación al testigo. Cultivo de feijoa (*Acca sellowiana*) cv. Clon 41 'Quimba'. La Vega (Cundinamarca), febrero-junio de 2006.

Tratamiento	Frutos cuajados (%)		Eficacia de los tratamientos (%)*
	Por botones florales inducidos	Por flores formadas	Frutos cuajados
KNO ₃ 1,0%	5,13	26,67	-72,41
KNO ₃ 1,5%	10,99	40,00	-31,03
KNO ₃ 2,0%	15,18	65,38	-41,38
KH ₂ PO ₄ 0,5%	38,79	68,53	365,52
KH ₂ PO ₄ 0,75%	31,73	80,49	13,79
KH ₂ PO ₄ 1,0%	18,64	68,75	-62,07
Ethephon 100 mg·L ⁻¹	21,19	41,30	96,55
Ethephon 150 mg·L ⁻¹	5,28	30,30	2,38
Ethephon 200 mg·L ⁻¹	6,70	66,70	-58,62
Testigo	17,26	65,91	

KNO₃, Nitrato de potasio 13-0-46®; KH₂PO₄, Cosmofoliar 0-32-43®; ethephon, Ethrel®
 * Según fórmula 1 en el texto.

N como crucial en el cuajado de frutales caducifolios; en la feijoa, esto no fue confirmado por la adición de KNO₃, por lo que se supone que los árboles no tuvieron deficiencia en este nutriente esencial durante el cuajamiento de los frutos. Según Agustí (2003), se debe evitar el aporte demasiado alto de fertilizantes, sobre todo si se utilizan nitratos, durante el periodo del cuajado del fruto, ya que con ello se puede promover un desbalance por mayor desarrollo vegetativo que compite con la fructificación.

Los porcentajes de frutos de feijoa cuajados, 66% en el testigo (tabla 5), son mayores que los reportados por Schuma-

cher (1989) en frutales caducifolios drupáceos, con 25% en promedio en duraznero y ciruelo europeo, y en pomáceos, con 4%-5% en manzano y peral.

Nivel de eficacia de los productos aplicados

Las diferentes concentraciones de KNO₃ mostraron ineficacia en el cuajamiento de frutos, en comparación con el testigo (tabla 4). Por un lado, no existió supuestamente una demanda de nitrato y por otro, el porcentaje negativo de eficacia del KNO₃ al 2% se puede explicar parcialmente porque esta dosis causó fitotoxicidad, hiponastia en hojas, necrosamiento de botones florales

y frutos formados. Este resultado indica también que la feijoa es una especie más susceptible a concentraciones elevadas de KNO_3 que los cítricos, en los que dosis superiores a 3% causan fitotoxicidad (Agustí, 2003).

Los resultados al tratamiento con KH_2PO_4 al 0,5% fueron los más sobresalientes del ensayo, pues su eficacia fue muy significativa en el cuajado de frutos (365,52%), comparado con el testigo y los demás tratamientos (tabla 5). Con concentraciones superiores de KH_2PO_4 , de 0,75% y 1,0%, se presentó, respectivamente, desde una disminución en la eficacia (13,79%) hasta un valor negativo (-62,07%), a causa de que algunos efectos inhibidores podrían haber desempeñado un papel importante en este proceso (Feucht, 1982).

Como indica la tabla 5, el ethephon a $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ mostró una buena eficacia. Tal vez esta respuesta se dio por la concentración del producto y además por su fácil asimilación en las yemas reproductivas. Se supone que la aplicación de reguladores de crecimiento, como $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ethephon, podría haber estimulado el desarrollo de los óvulos, que, a su vez, producen sustancias de crecimiento que sostienen el crecimiento del fruto (Faust, 1989). La respuesta a $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ethephon fue mínima y las concentraciones por encima de $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no fueron estimulantes en el cuajamiento de la feijoa. Dosis de $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de este producto se han mostrado muy ineficaces en la formación de botones florales (-61,60%) (García *et al.*, 2008), similar en el cuajamiento (-58,62%); es probable que en esta concentración el producto induzca senescencia prematura de varias yemas reproductivas y genere abscisión de flores y fruto pequeños (Chacko *et al.*, 1974).

Conclusiones

La investigación mostró respuestas importantes a la aplicación de compuestos de nutrientes (KNO_3 y KH_2PO_4) y fitohormonas (ethephon) en la fase de inducción floral de la feijoa.

Sin embargo, al no conocerse las concentraciones nutricionales óptimas en el tejido de la yema y los órganos circundantes, las posibles explicaciones fisiológicas son difíciles de sustentar.

Se vio una respuesta positiva al P en el cuajado de los frutos a una concentración específica y posiblemente influenciada por el compuesto usado (KH_2PO_4 al 0,5%).

Las concentraciones de KNO_3 usadas en este estudio no fueron las más adecuadas pues mostraron respuestas bajas en la formación de flores y cuajado de frutos. Es posible

que en los árboles utilizados en el estudio no existiera una demanda de nitrato en el proceso reproductivo.

La respuesta positiva al ethephon a $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en el cuajamiento de las feijoas puede ser un efecto estimulante en el desarrollo de los órganos reproductivos.

Para trabajos futuros en feijoa relacionados con la floración y el cuajamiento de los frutos, se recomienda incluir la parte ecofisiológica (temperatura, luz, agua) y la poda, para tener más conocimiento sobre las bases fisiológicas que influyen en el inicio y el establecimiento de la fase reproductiva de esta especie.

Literatura citada

- Agustí, M. 2004. Fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 493 p.
- Agustí, M. 2003. Citricultura. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 422 p.
- Albrigo, L.G. y V. Galán Saúco. 2004. Flower bud induction, flowering and fruit-set of some tropical and subtropical fruit tree crops with special referente to citrus. *Acta Hort.* 632, 81-90.
- Castelán, M. y E. Becerril. 2004. Fisiología de la producción forzada en guayaba. II. Nutrientes y respuesta floral. Universidad de Veracruz, México. pp. 23-36.
- Corporación Colombia Internacional (CCI). 2000. La feijoa. *Revista Exótica* 4(4), 17-21.
- Chacko, K., R.R. Kohli y G. Randhawa. 1974. Investigations on the use of (2-chloroethyl) phosphonic acid (ethephon, cepa) for the control of biennial bearing in mango. *Sci. Hort.* 2, 389-398.
- Couto, F.A., J.E.S. Rabelo, S.R. Nacif, D.L. Siquiera y J.C.L. Neves. 1996. Efeito de pulverizacoes de ethephon e nitrato de potassio na diferenciacao floral de gemas em mangueira (*Mangifera indica* L.) Haden. pp. 300. Resumos Congresso Brasileiro de Fruticultura, Sociedade Brasileira de Fruticultura, Curitiba.
- Davenport, T. y R. Nuñez-Elisea. 1997. Reproductive physiology. pp. 69-146. En: Litz, R.E. (ed.). *The mango. Botany, production and uses.* CAB International, Wallingford, UK.
- Dennis, F., Jr. 2003. Flowering, pollination and fruit set and development. pp. 153-166. En: Ferree, D.C. e I.J. Warrington (eds.). *Apples. Botany, production and uses.* CAB International Publishing, Wallingford, Reino Unido. 660 p.
- Dennis, F.G., Jr. 1996. Fruit set. pp. 99-106. En: Kalb, K.M., P.K. Adrews, G.A. Lang y K. Mullinex (eds.). *Tree fruit physiology: growth and development.* Washington State Fruit Commission, Washington.
- Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees.* John Wiley & Sons, Nueva York. 338 p.
- Feucht, W. 1982. *Das Obstgehölz.* Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 256 p.

- Fischer, G., D. Miranda., G. Cayón y M. Mazorra (eds). 2003. Cultivo, poscosecha y exportación de la feijoa (*Acca sellowiana* Berg). Produmedios, Bogotá. 152 p.
- García, O.J. y E.Y. Dueñez. 2007. Efecto del nitrato de potasio, fosfato de potasio y ethephon en la inducción floral y el cuajado del fruto de feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- García, O.J., E.Y. Dueñez, G. Fischer, B. Chaves y O.C. Quintero. 2008. El fosfato de potasio y el ethephon fomentan la inducción floral en feijoa o goiabeira serrana (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret). Revista Brasileira de Fruticultura 31(3) (en imprenta).
- George, A.P., R.H. Broadley, R.J. Nissen y G. Ward. 2003. Effects of new rest breaking chemicals on flowering shoot production and yield of subtropical tree crops. Acta Hort. 575, 835-840.
- Ideam [Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales]. 2002. Sistema de información ambiental, registros estacionales. Estación Sabaneta (Cundinamarca).
- Klee, H.J. y D.G. Clark. 2004. Ethylene signal transduction in fruits and flowers. pp. 369-412. En: Davies, P.J. (ed.). Plant hormones. Biosynthesis, signal transduction, action! Kluwer Publishers, Dordrecht, Boston.
- Lakso, A.N. y J.A. Flore. 2003. Carbohydrate partitioning and plant growth. pp. 21-30. En: Baugher, T.A. y S. Singha (eds.). Concise encyclopedia of temperate tree fruit. Food Products Press, Nueva York. 387 p.
- Lakso, A.N. y M.C. Goffinet. 2003. Fruit growth patterns. pp. 91-101. En: Baugher, T.A. y S. Singha (eds.). Concise encyclopedia of temperate tree fruit. Food Products Press, Nueva York. 387 p.
- López, M.R. 1984. El nitrato de potasio como promotor de la síntesis endógena de etileno y la inducción floral en mango (*Mangifera indica*) cv. Manila. Tesis de maestría. Universidad Autónoma, Chapingo, México.
- Machado, E. y A. Reboucas. 2000. Effect of different intervals of potassium nitrate spraying on flowering and production of mango trees (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. Acta Hort. 509, 581-585.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres. 889 p.
- Mengel, K., E.A. Kirkby, H. Kosegarten y T. Appel. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 849 p.
- Nuñez-Elisea, R. 1985. Flowering and fruit set of a monoembryonic and polyembryonic mango as influenced by potassium nitrate sprays and shoot decapitation. Proc. Florida State Hort. Soc. 98, 179-183.
- Quintero, O. 2003. Selección de cultivares, manejo de cultivo y regulación de cosechas de feijoa. pp. 49-71. En: Fischer, G., D. Miranda., G. Cayón, y M. Mazorra (eds). Cultivo, poscosecha y exportación de la feijoa (*Acca sellowiana*. Berg). Produmedios, Bogotá. 152 p.
- Rodríguez, E. 1993. Eficiencia técnica del abonamiento edáfico y foliar en el cultivo de la feijoa (*Acca sellowiana*). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Rojas, E. 1994. Respuesta floral de la lima (*Citrus latifolia* Tan. cv. Tahiti) a aspersiones del ácido 2-cloroetil fosfónico. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 38, 95-99.
- Saidha, T., V.N. Madhava Rao y P. Santhanakrishnan. 1983. Internal leaf ethylene levels in relation to flowering in mango. Indian J. Hort. 40, 139-146.
- Schumacher, R. 1989. Die Fruchtbarkeit der Obstgehölze. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 242 p.
- Sergent, E. y F. Leal. 1989. Inducción floral en mango (*Mangifera indica* L.) con KNO₃. Rev. Fac. Agron. U.C.V. 15, 17-32.
- Shigeura, T. y R. Bullock. 1976. Flower induction and fruit production of guava (*Psidium guajava* L.). Acta Hort. 57, 247-251.
- Sritontip, C., Y. Khaosumain, S. Chanjaraja y R. Poruska. 2005. Effect of potassium chlorate, potassium nitrate, sodium hypochlorite and thiourea on off-season flowering and photosynthesis of 'Do' longan. Acta Hort. 665, 291-296.
- Swietlik, D. 2003. Plant nutrition. pp. 251-257. En: Baugher, T.A. y S. Singha (eds.). Concise encyclopedia of temperate tree fruit. Food Products Press, Nueva York. 387 p.
- Tiwari, J. y C.B.S. Rajput. 1976. Significance of nitrogen on the growth, flowering and fruiting of mango cultivars. Acta Hort. 57, 29-36.
- Yuri, J.A., G. Lobos y V. Lepe. 2002. Inducción floral. En: Pomáceas. Boletín técnico, 4 p. <http://pomaceas.utralca.cl>; consulta: julio de 2006.
- Weigel, D. 1995. The genetics of flower development: from floral induction to ovule morphogenesis. Annu. Rev. Genet. 29, 19-39.