



Retención de frutos en *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews con reguladores de crecimiento¹

Retention of *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews fruits with growth regulators

Juan Hernández-Hernández², Sergio Alberto Curti-Díaz³, Ángel Ríos-Utrera⁴

- ¹ Recepción: 11 de julio, 2018. Aceptación: 6 de febrero, 2019. El presente estudio formó parte de un proyecto de investigación realizado en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Tecolutla, Veracruz, México.
- ² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Ixtacuaco, Tlapacoyan, México. hernandezh.juan@inifap.gob.mx
- ³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Golfo Centro, México. curti.sergio@inifap.gob.mx
- ⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental La Posta, Veracruz, México. ariosu@hotmail.com (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-3108-1133>).

Resumen

Introducción. La producción de vainilla en México ha disminuido en un 70 % en los últimos quince años, debido a la caída de sus frutos que ocurre en condiciones climáticas extremas, cuando la temperatura es mayor a 32 °C y la humedad relativa es menor a 80 %. **Objetivo.** El objetivo fue determinar el efecto de algunos reguladores de crecimiento (RC) comerciales sobre la retención de frutos de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews) cultivar Mansa. **Materiales y métodos.** El estudio se realizó en el 2016 en el municipio de Tecolutla, Veracruz, México. Los tratamientos evaluados fueron: clorhidrato de aminoetoxivinilglicina (AVG; 250 ppm), 1-ácido naftalenacético (ANA; 27 ppm), Benciladenina (BA; 150 ppm), Forclorfenurón (CPPU; 5 ml l⁻¹ de agua), Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D; 32 ppm), 2,4-D (32 ppm) + CPPU (5 ml l⁻¹ de agua) y testigo, que consistió en aplicar solamente un acidificante (8 ml en 10 l de agua). Los tratamientos se aplicaron en tres ocasiones en los mismos frutos a los 6, 20 y 31 días después de las últimas flores polinizadas por racimo. **Resultados.** Todos los RC retuvieron más frutos etiquetados que el testigo. Los tratamientos 2,4-D y 2,4-D + CPPU retuvieron más frutos por racimo y produjeron frutos significativamente más largos que el testigo. Además, la mezcla 2,4-D + CPPU produjo frutos con mayor diámetro que el testigo. Los reguladores de crecimiento AVG, ANA BA y CPPU no difirieron en el número de frutos etiquetados, frutos por racimo, longitud del fruto y diámetro del fruto. **Conclusión.** Los RC tuvieron un efecto positivo en la retención de frutos de vainilla, principalmente la mezcla 2,4-D + CPPU, con la cual se obtuvieron más frutos etiquetados y por racimo, con respecto al testigo. El uso de RC fue efectivo para reducir el aborto en vainilla.

Palabras clave: polinización, ovarios de las plantas, caída prematura de frutos, control de crecimiento, 2,4-D.

Abstract

Introduction. The vanilla production in Mexico has decreased by 70 % in the last fifteen years, due to the fall of its fruits. This occurs in extreme climatic conditions when the temperature is higher than 32 °C and the relative



humidity is less than 80 %. **Objective.** The objective was to determine the effect of some commercial growth regulators (GR) on the retention of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews) fruits Mansa cultivar. **Materials and methods.** The study was carried out in 2016 in the Tecolutla Municipality, Veracruz, Mexico. The treatments evaluated were: aminoethoxyvinylglycine hydrochloride (AVG; 250 ppm), 1-naphthaleneacetic acid (ANA; 27 ppm), benzyl-adenine (BA; 150 ppm), forchlorfenuron (CPPU; 5 ml l⁻¹ of water), 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D; 32 ppm), 2,4-D (32 ppm) + CPPU (5 ml l⁻¹ of water) and control, which consisted of applying only one acidifier (8 ml in 10 l of water). Treatments were applied three times to the same fruits, at 6, 20 and 31 days after the last flowers pollinated by bunch. **Results.** All GR retained more labelled fruits than the control. Treatments 2,4-D and 2,4-D + CPPU retained more fruits per raceme and produced significantly longer fruits than the control. In addition, the 2,4-D + CPPU mixture produced fruits with larger diameter than the control. The growth regulators AVG, ANA BA and CPPU did not differ in the number of labelled fruits, fruits per raceme, fruit length, and fruit diameter. **Conclusion.** GR had a positive effect on vanilla fruit retention, mainly the 2,4-D + CPPU mixture with which more labelled fruits and per bunch were obtained compared to the control. The use of GR was effective in reducing vanilla abortion.

Keywords: pollination, plant ovaries, fruit drop, growth control, 2,4-D.

Introducción

Los frutos de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews), una vez procesados o curados, son fuente natural de vainillina que es utilizada como saborizante y aromatizante en las industrias de alimentos, bebidas, perfumes y farmacéuticos. Se estima que el volumen de producción de vainilla en México ha disminuido 70 % en los últimos quince años (Herrera-Cabrera et al., 2016). Una de sus principales causas es la caída o aborto de frutos, que normalmente ocurre entre los 42 a 60 días después de la polinización (Hernández-Hernández, 2011), período que coincide con el mes de junio.

El aborto ocurre en plantaciones con y sin riego, y con todas las variantes de manejo agronómico del cultivo relativas a la nutrición, sombra y manejo fitosanitario, por lo que ha sido difícil su prevención. En 2007, 2010 y 2011 el aborto de frutos produjo pérdidas de hasta 90 % de los frutos, principalmente en los sistemas de cultivo “casa-sombra” y “campo abierto” con tutor de naranjo, ubicados en la zona costera con altitudes menores a los 300 msnm (Hernández-Hernández, 2011). Por el contrario, en los últimos seis años (2012-2017) el aborto de frutos varió de 10 a 50 %. En muchas especies de plantas el aborto se ha relacionado con factores biológicos, nutricionales, climáticos, fisiológicos y genéticos (Ashraf et al., 2012; Borbolla-Pérez et al., 2016; Garner y Lovatt, 2016). El aborto de frutos de vainilla se ha asociado al estrés a que es sometida la planta, debido a la ocurrencia de temperaturas mayores de 32 °C y humedad relativa menor de 80 % (Hernández-Hernández, 2011), condiciones que se han registrado en ciertos años, principalmente cuando han existido sequías prolongadas en el área productora del Totonacapan, México. Dicho estrés climático aparentemente provoca un desbalance hormonal en la planta, disminuyendo aquellas hormonas que favorecen la fijación del fruto, como las auxinas, giberelinas y citocininas, e incrementando el etileno y ácido absísico que promueven su abscisión (Modise et al., 2009; Khandaker et al., 2016; Salazar-Rojas et al., 2016).

Para compensar la disminución de estas fitohormonas, principalmente las auxinas, se han usado reguladores de crecimiento (Nawaz et al., 2008; Kundu et al., 2013) que corresponden a compuestos hormonales sintéticos, que en bajas concentraciones regulan los procesos fisiológicos y bioquímicos, que van desde el crecimiento y desarrollo de las plantas, hasta su respuesta frente al estrés biótico y abiótico (Chávez et al., 2012). El uso de reguladores de crecimiento ha llegado a ser un importante componente tecnológico de muchas plantas cultivadas y, especialmente, en frutales, ya que se ha comprobado que incrementa la productividad mediante el aumento de la retención y

calidad de frutos. Se utilizan en pequeñas cantidades a baja concentración y tienen relativamente un costo bajo (Nawaz et al., 2008; Khandaker et al., 2016). Sin embargo, no existe información específica sobre reguladores de crecimiento que eviten la caída de los frutos en *Vanilla planifolia*, aunque sí en otras orquídeas y en algunos frutales (Kvikliene et al., 2010; Cetinbas y Koyuncu, 2011; Khandaker et al., 2016; Sharif et al., 2016).

Existen varios antecedentes sobre el 2,4-D (auxina), mencionados en la literatura, que soportan los resultados obtenidos en vainilla, como los siguientes: evita la caída de frutos al mantener las células en la zona de abscisión, lo que impide la síntesis de enzimas hidrolíticas que descomponen la pared celular (Khandaker et al., 2016). Es un herbicida que en bajas concentraciones tiene un efecto hormonal y es comúnmente utilizado en muchos países para la retención de frutos en hortalizas y frutales (Anthony y Coggins-Jr., 2001; Khandaker et al., 2016; Looney, 2018). Este producto tiene registro para usarse comercialmente en precosecha de cítricos en California, Estados Unidos de América (Lovatt, 2008), y es mencionado como uno de los más efectivos en prevenir la caída prematura de los mismos.

La aplicación del 2,4-D es recomendada donde existen las condiciones que favorecen el aborto, tales como temperaturas extremas y déficit de lluvias (Modise et al., 2009). Se ha reportado que no presenta riesgos significativos a la salud después del consumo de frutas de cítricos tratados con esta auxina (Weijun et al., 2015). Por otro lado, se señala que el CPPU en dosis de 2 ml l⁻¹ de agua incrementa el amarre de frutos en mango Ataulfo hasta cinco veces más que el testigo (Pérez-Barraza et al., 2009). El AVG, aplicado solo o combinado con otros productos hormonales, retrasa la maduración temprana en frutales como pera y manzana (Clayton et al., 2000; Wargo et al., 2004; Yuan y Carbaugh, 2007), al reducir la producción de etileno y la síntesis de proteína, como se demostró en un estudio que se realizó en tomate (Saltveit, 2005).

El tamaño de fruto es un parámetro que se toma en cuenta para determinar la calidad de la vainilla. Los de mayor longitud tienen mejor precio en el mercado internacional. Además, tienen mayor peso y, por lo tanto, se requiere menor cantidad de estos por kilogramo. Además, al incrementarse el tamaño de fruto, se espera un mayor contenido de vainillina, pero siempre y cuando ellos se cosechen en su madurez óptima y se realice el proceso de beneficiado o curado correctamente. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de algunos reguladores de crecimiento (PC) comerciales sobre la retención de frutos de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews) cultivar Mansa.

Materiales y métodos

Localización

El estudio se realizó de marzo a agosto de 2016, en una siembra comercial de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews), asociado con toronja (*Citrus paradisi*) con seis años de establecida, sin riego artificial, en el ejido Fuerte de Anaya, municipio de Tecolutla, Veracruz, México, localizado en las coordenadas: 20°18'37" N y 96°59'29" W, a una altitud de 7 m.

Selección de plantas

Se seleccionaron plantas de vainilla separadas al menos por tres metros, y en cada una de ellas se eligieron y etiquetaron diez racimos de frutos. Se contabilizó el número de frutos totales por racimo, que varió de 1 a 11, con un promedio de 5.6, de diferentes edades o tamaños, provenientes de las flores polinizadas manualmente durante el periodo de mayor intensidad de floración (15 al 30 de abril, 2016). Además, se etiquetaron diez de ellos (uno por cada racimo elegido), originados de las flores que fueron polinizadas en la misma fecha (21/04/2016). La parcela

experimental fue de 15 m² y el tamaño de muestra fue en promedio de 50 y 10 frutos, respectivamente; en estos se realizó la aplicación y evaluación de siete tratamientos, incluido el testigo, con ocho repeticiones cada uno.

Preparación de las soluciones con reguladores de crecimiento

La preparación de las soluciones con reguladores de crecimiento se realizó de la manera siguiente: en una cubeta de plástico se vertieron 10 l de agua con bajo contenido de sales y se agregaron 8 ml de un coadyuvante, para acidificar a 5,5 el pH. Después se agregó el regulador de crecimiento correspondiente, en las cantidades especificadas en el Cuadro 1, para obtener la concentración deseada de cada tratamiento. El testigo consistió en aplicar solamente un acidificante y adherente, en las cantidades ya especificadas.

Cuadro 1. Reguladores de crecimiento utilizados para evitar el aborto de frutos de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews). Tecolutla, Veracruz, México. 2016.

Table 1. Growth regulators applied to avoid abortion of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews) fruits. Tecolutla, Veracruz, Mexico. 2016.

Tratamiento [‡]	Concentración (ppm)	Concentración (% de i.a.)	Cantidad en 10 l de agua
AVG	250	15	16,6 g
ANA	27	0,45	60 g
BA	150	1,9	78,9 cc
CPPU	5 ml l ⁻¹ de agua	0,2	50 cc
2,4-D	32	48	0,60 cc
2,4-D + CPPU	32 + 5 ml l ⁻¹ de agua	48+0,2	0,60 cc + 50 cc
Testigo	-	-	-

[‡]AVG: clorhidrato de aminoetoxivinilglicina, ANA: 1-ácido naftalenacético, BA: benciladenina, CPPU: forclorfenurón, 2,4-D: ácido 2,4-diclorofenoxiacético, 2,4-D + CPPU: ácido 2,4-diclorofenoxiacético + forclorfenurón, Testigo: sin regulador de crecimiento / AVG: aminoethoxyvinylglycine hydrochloride, ANA: 1-Naphthaleneacetic acid, BA: benzyl-adenine, CPPU: forchlorfenuron, 2,4-D: 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid, 2,4-D + CPPU: 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid + Forchlorfenuron, Control: without growth regulator.

Aplicación de los reguladores de crecimiento

Se realizaron tres aplicaciones de los tratamientos siempre en los mismos frutos de los racimos etiquetados, a los 6, 20 y 31 días después de haberse polinizado las últimas flores requeridas del racimo, periodos en los cuales se estimó que los ovarios/frutos tenían una longitud entre los 5 y 19 cm, mientras que los frutos etiquetados tenían 15, 29 y 39 días después de la polinización (DDP) y una longitud estimada de 8, 15 y 17 cm cuando se realizó la primera, segunda y tercera aplicación de los RC, respectivamente. Los reguladores de crecimiento se asperjaron con un atomizador manual con capacidad de 1 l, mojando todos los frutos del racimo.

Evaluación de tratamientos

Se contó el número de frutos por tratamiento antes y después del aborto. Una vez que inició el aborto, a los 40 DDP, se colectaron y contaron los ovarios abortados. Estos se revisaron en el laboratorio usando un estereoscopio para registrar si tenían óvulos y/o semillas ya formadas, así como el color de los mismos. Se obtuvo el promedio

de los frutos retenidos de los etiquetados, a los cuales también se les midió su longitud y diámetro, así como el porcentaje de frutos totales retenidos por racimo una vez que alcanzaron su tamaño máximo, y formación de semillas a los 60 DDP, cuando ya no eran susceptibles de abortar por causas atribuibles a las condiciones climáticas extremas. Se obtuvo un solo dato final de estas cuatro variables mencionadas. La vainilla fue cosechada por el productor, hasta que alcanzó su madurez fisiológica, a los 240 DDP.

Se registró la temperatura y humedad relativa (máximas y mínimas) con un sensor/registrator, a intervalos de una hora, durante el desarrollo del ovario y el aborto de los mismos; también se obtuvieron los datos de la precipitación, mediante un pluviómetro, durante todo el periodo del experimento.

Análisis estadísticos

Las variables de respuesta de frutos retenidos etiquetados, frutos retenidos por racimo, longitud y diámetro de fruto, se analizaron en un diseño de bloques al azar, donde el efecto principal fue el regulador de crecimiento. Para el análisis de la primera variable se consideró una distribución Poisson. El análisis de esta característica se realizó con el procedimiento GENMOD (PROC GENMOD) del paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2011). Para el resto de las variables se asumió una distribución normal. Estas tres últimas características se analizaron con el procedimiento GLM (PROC GLM) del paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2011). Las comparaciones entre medias se realizaron con la opción PDIF de los procedimientos mencionados.

Matemáticamente, el modelo usado se representa de la siguiente manera:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk},$$

donde:

y_{ijk} = es la k-ésima observación de la variable de respuesta (frutos retenidos etiquetados, frutos retenidos por racimo, longitud del fruto o diámetro del fruto),

μ = es la media general,

α_i = es el efecto fijo del i-ésimo tratamiento (i=1,2,3,4,5,6,7),

β_j = es el efecto fijo del j-ésimo bloque (j=1,2,3,4,5,6) y

ε_{ijk} = es el k-ésimo error aleatorio.

Resultados

Frutos retenidos (etiquetados)

Todos los reguladores de crecimiento aplicados retuvieron más frutos etiquetados ($p < 0,05$) que el testigo ($3,00 \pm 0,61$ unidades); pero la mezcla de 2,4-D + CPPU ($9,50 \pm 1,09$) retuvo más frutos etiquetados ($p < 0,05$) que los reguladores de crecimiento AVG ($5,63 \pm 0,84$), ANA ($5,50 \pm 0,83$), BA ($6,00 \pm 0,87$) y CPPU ($6,50 \pm 0,90$), los cuales retuvieron cantidades similares ($p > 0,05$) de frutos etiquetados. Por su parte, el 2,4-D ($8,63 \pm 1,04$) retuvo más frutos etiquetados ($p < 0,05$) que AVG y ANA (Cuadro 2).

La disminución de aborto con el 2,4-D o mezclado con CPPU, fue muy contundente y superó al testigo en 56 y 65 %, respectivamente, mientras que el resto de los RC lo superaron entre 25 y 35 %, por lo que fueron menos efectivos, en las concentraciones, épocas y número de aplicaciones realizadas.

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar para frutos retenidos etiquetados (FRE), frutos retenidos por racimo (FRR), longitud del fruto (LON) y diámetro del fruto (DIA), de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews), por tratamiento. Tecolutla, Veracruz, México. 2016.

Table 2. Least square means and standard errors for labeled retained fruits (FRE), retained fruits per raceme (FRR), length of the fruit (LON) and diameter of the fruit (DIA), of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews) per treatment. Tecolutla, Veracruz, Mexico. 2016.

Tratamiento ^y	FRE (unidades)	FRR (%)	LON (cm)	DIA (mm)
AVG	5,6±0,84 ^c	62,6±4,8 ^{bc}	13,9±0,52 ^{bcd}	8,2±0,29 ^{ab}
ANA	5,5±0,83 ^c	63,3±4,8 ^{bc}	15,1±0,52 ^{ab}	8,5±0,29 ^{ab}
BA	6,0±0,87 ^{bc}	63,8±4,8 ^{bc}	14,1±0,52 ^{bcd}	7,8±0,29 ^b
CPPU	6,5±0,90 ^{bc}	62,1±4,8 ^{bc}	13,7±0,52 ^{cd}	7,8±0,29 ^b
2,4-D	8,6± 1,04 ^{ab}	74,8±4,8 ^{ab}	15,1±0,52 ^{abc}	8,5±0,29 ^{ab}
2,4-D + CPPU	9,5±1,09 ^a	87,0±4,8 ^a	16,4±0,52 ^a	9,0±0,29 ^a
Testigo	3,0±0,61 ^d	51,0±4,8 ^c	13,5±0,52 ^d	8,0±0,29 ^b
M ^z	6,39	66,35	14,54	8,25
CV (%) ^z	45,70	25,14	11,76	10,67
DE ^z	2,92	16,68	1,71	0,88

^{a,b,c,d} Medias con diferente literal dentro de columna, son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) / ^{a,b,c,d} Means with different superscript within column are different ($p < 0,05$).

^yAVG: clorhidrato de aminoetoxivinilglicina; ANA: 1-ácido naftalenacético; BA: benciladenina; CPPU: forclorfenurón; 2,4-D: ácido 2,4-diclorofenoxiacético; 2,4-D + CPPU: ácido 2,4-diclorofenoxiacético + forclorfenurón; Testigo: sin regulador de crecimiento /

^yAVG: Aminoethoxyvinylglycine hydrochloride, ANA: 1-Naphthaleneacetic acid, BA: benzyl-adenine, CPPU: forchlorfenuron, 2,4-D: 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid, 2,4-D + CPPU: 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid + forchlorfenuron; Control: without growth regulator.

^zM: media, CV: coeficiente de variación, DE: desviación estándar / ^zM: raw mean, CV: coefficient of variation, DE: standard deviation.

Frutos retenidos por racimo

El tratamiento 2,4-D + CPPU (87,0±4,8 %) retuvo más frutos por racimo ($p < 0,05$) que los tratamientos AVG (62,6±4,8 %), ANA (63,3±4,8 %), BA (63,8±4,8 %), CPPU (62,1±4,8 %) y Testigo (51,0±4,8 %), los cuales retuvieron porcentajes similares ($p > 0,05$) de frutos por racimo. El regulador de crecimiento 2,4-D (74,8±4,8 %) retuvo más frutos por racimo ($p < 0,05$) que el Testigo (Cuadro 2).

El 2,4-D solo o mezclado con el CPPU, tuvo un efecto positivo en una mayor cantidad de ovarios de diferentes edades o tamaños, reflejándose en un mayor porcentaje de frutos retenidos por racimo. La diferencia con el testigo fue de solo 36 %, debido a que los últimos frutos de los racimos ya no abortaron porque cambiaron las condiciones climáticas extremas.

Longitud del fruto

El tratamiento 2,4-D + CPPU (16,40±0,52 cm) produjo frutos más largos ($p < 0,05$) que los tratamientos AVG (13,93±0,52 cm), BA (14,10±0,52 cm), CPPU (13,66±0,52 cm) y testigo (sin regulador de crecimiento) (13,46±0,52 cm), los cuales produjeron frutos de longitud similar ($p > 0,05$). Los reguladores de crecimiento ANA (15,14±0,52 cm) y 2,4-D (15,11±0,52 cm) produjeron frutos de similar longitud ($p > 0,05$), pero más largos ($p < 0,05$) que el tratamiento testigo (Cuadro 2).

Diámetro del fruto

El regulador de crecimiento 2,4-D + CPPU ($9,00\pm 0,29$ mm) produjo frutos con mayor diámetro ($p < 0,05$) que los tratamientos BA ($7,77\pm 0,29$ mm), CPPU ($7,82\pm 0,29$ mm) y Testigo ($7,95\pm 0,29$ mm). El resto de los tratamientos produjeron frutos de diámetro similar ($p > 0,05$).

Condiciones climáticas

Los datos de las condiciones climáticas extremas se presentan en el Cuadro 3. Durante la segunda quincena de mayo de 2016, las temperaturas máximas diarias absolutas variaron entre 33 y 36 °C y la humedad relativa entre 64 y 78 %, en el horario de las 11:00 a las 17:00 horas. En este mismo periodo, el número de horas registradas con temperaturas mayores de 33 °C y humedad relativa menor a 80 %, fue de 48 y 78 horas, respectivamente, y no hubo lluvias.

Cuadro 3. Temperatura máxima (TM), número de horas con temperatura mayor a 33 °C (HTM), humedad relativa mínima (HRM), número de horas con humedad relativa menor a 80 % (HHR) y precipitación pluvial (PP), registrada antes y durante el periodo de aborto de frutos de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews). Tecolutla, Veracruz, México. 2016.

Table 3. Maximum temperature (TM), number of hours with temperature higher than 33 °C (HTM), minimum relative humidity (HRM), number of hours with relative humidity lower than 80 % (HHR) and pluvial precipitation (PP) registered before and after the vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews) fruit abortion period. Tecolutla, Veracruz, Mexico. 2016.

Fechas	Rango TM (°C)	Promedio TM (°C)	HTM	Rango HRM (%)	Promedio HRM (%)	HHR	PP (mm)
1-15/05/2016	22-33	30,27	3	59-100	75,19	75	40
16-31/05/2016	33-36	33,86	48	64-78	72,96	78	0
1-15/06/2016	29-35	32,50	20	51-83	69,66	73	140
16-30/06/2016	25-34	31,60	10	64-100	75,93	67	74,50

Los primeros frutos con síntomas típicos de aborto, que inicia con el cambio de su color verde a amarillo, se observaron a finales del mes de mayo, una vez que se presentaron las condiciones señaladas, la caída inició entre los tres a cinco días posteriores, inmediatamente después de una lluvia con una intensidad de 33 mm, que ocurrió el 1 de junio de 2016 y seguida de días soleados y calurosos, como ha sucedido en otros años. La caída de frutos finalizó en la tercera semana de junio, una vez que las condiciones climáticas cambiaron y los frutos habían desarrollado sus semillas. El aborto ocurrió entre los 40 y 57 días después de la polinización; frutos con edad fuera de este rango, aún bajo condiciones extremas de temperatura y humedad relativa, ya no abortaron.

Discusión

El 2,4-D solo o mezclado con CPPU, fue el más efectivo para retener los frutos de vainilla etiquetados y por racimo, solo faltaría precisar los intervalos y el número de aplicaciones necesarias para optimizar su uso. No se observó ningún daño de toxicidad en la planta con ninguno de los reguladores de crecimiento aplicados. Los resultados fueron similares a los obtenidos en un experimento realizado en el mismo sitio, pero en el año 2015, donde esta misma mezcla fue el mejor tratamiento, con una retención de frutos de 91 % vs de 60 % del

testigo (Hernández et al., 2018). En otros estudios realizados en vainilla, se menciona que el 2,4-D tiene mayor translocación de un ovario/fruto a otro dentro del mismo racimo (Gregory et al., 1967), posiblemente, por esta razón, el 2,4-D mezclado con CPPU tuvo un efecto positivo sobre la cantidad de frutos retenidos de diferentes edades o tamaños dentro del mismo racimo. Asimismo, en el estudio realizado por Hernández et al. (2018) el 2,4-D mezclado con forclorfenurón resultó en mayor retención de frutos que cuando se aplicó solo.

Los resultados obtenidos en los frutos etiquetados permitieron conocer el efecto contundente de los RC para disminuir el aborto, pues cuando estos se aplicaron los frutos tuvieron la misma edad o DDP. Por su parte, los frutos del racimo no etiquetados tuvieron diferentes edades según la fecha de polinización de las flores y no todos fueron susceptibles al aborto; por esta razón, se reflejó en un porcentaje menor la disminución de aborto en comparación con los frutos etiquetados. De este modo, existe una relación importante entre la edad del fruto y la presencia de condiciones climáticas adversas con el aborto del fruto.

La retención de frutos lograda con los RC aplicados, pero principalmente con la auxina 2,4-D, sustentan que las fitohormonas están involucradas en la abscisión de ellos, como se señala en otros estudios (Salazar-Rojas et al., 2016; Hernández et al., 2018).

Si los resultados encontrados a nivel experimental se mantienen en plantaciones comerciales, los productores tendrían una primera herramienta para disminuir el aborto en vainilla, entre 36 y 65 % con respecto al testigo (sin aplicación de RC), dependiendo de la edad de los frutos y condiciones climáticas que se tengan en cada año en las áreas productoras de México. Ello significaría evitar la pérdida de entre 360 y 650 kg de fruto y, por ende, de ingresos significativos. Los productos comerciales que resultaron efectivos no poseen un precio elevado y se requieren dosis bajas de ellos, de tal manera que el beneficio adquirido compensa la inversión y genera réditos.

Los resultados de crecimiento en longitud y diámetro de frutos obtenidos con el 2,4-D solo o mezclado con CPPU, fueron similares a los encontrados cuando estos productos se aplicaron en la antesis para la inducción y fijación de ovarios de vainilla sin realizar la polinización manual (Gregory et al., 1967; Hernández y Curti, 1999). Asimismo, aunque no se realizó el análisis del contenido de vainillina de los frutos retenidos con los tratamientos aplicados, se esperaría una concentración normal de este principal compuesto (saborizante).

Las condiciones extremas registradas en el sitio de estudio, pudieron provocar estrés en la planta y favorecer el aborto de los frutos; sin embargo, no fue posible realizar la correlación entre las variables climáticas y el número de frutos abortados, porque este fenómeno sucedió en un periodo corto y se obtuvo un solo dato final de ellas. Los frutos abortados no alcanzaron a madurar sus semillas, solo se observaron los óvulos de color blanco y café claro, por lo que se deduce que no ocurrió la fertilización en ellos, ya que este evento biológico en vainilla sucede entre 24 y 60 DDP (Parra et al., 1990; Lapeyre-Montes et al., 2010; Hernández-Miranda et al., 2018). Las dimensiones de estos fueron: longitud de 18,69 cm, diámetro 8,18 mm y peso de 10,46 g, y se caracterizaron por su color amarillo, consistencia flácida y porque habían perdido su perianto. Por el contrario, los frutos que fueron tratados con reguladores de crecimiento, principalmente con el 2,4-D, no abortaron, conservaron su color verde y alcanzaron a formar sus semillas.

Conclusiones

Los RC tuvieron un efecto positivo en la retención de frutos de vainilla, principalmente con el 2,4-D a 32 ppm + forclorfenurón en concentración de 5 ml de producto comercial por litro de agua. Por lo cual, fue promisorio el uso de los RC para reducir el aborto de los frutos de la vainilla en 65 y 36 %, en frutos etiquetados y por racimo, respectivamente. Es conveniente seguir con la evaluación de los reguladores de crecimiento probados diferentes al 2,4-D, con la finalidad de determinar si funcionan como opciones de productos menos tóxicos para los seres vivos y el ambiente. Se considera necesario continuar el estudio de los RC probados en este estudio, para precisar

las épocas óptimas de aplicación y número de aplicaciones requeridas, con el propósito de conseguir mejores resultados. Además, en este estudio la nutrición óptima de las plantas pudo tener un efecto positivo en la retención y tamaño de frutos, por lo que es importante estudiarla.

Literatura citada

- Anthony, M.F., and C.W. Coggins Jr. 2001. NAA and 3,5,6-TPA control mature fruit drop in California citrus. *HortScience* 36:1296-1299. doi:10.21273/HORTSCI.36.7.1296
- Ashraf, M.Y., M. Yaqub, J. Akhtar, M.A. Khan, M.A. Alikhan, and G. Ebert. 2012. Control of excessive fruit drop and improvement in yield and juice quality of kinnow (*Citrus delicious* x *Citrus nobilis*) through nutrient management. *Pak. J. Bot.* 44:259-265.
- Borbolla-Pérez, V., L.G. Iglesias-Andreu, B.E. Herrera-Cabrera, and A. Vovides-Papalouka. 2016. Absorción prematura de frutos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Agroproductividad* 9(11-B):11-12.
- Chávez, L., L. Álvarez, y R. Ramírez. 2012. Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico. *Cul. Trop.* 33(3):45-46.
- Cetinbas, M., and F. Koyuncu. 2011. Effects of Aminoethoxyvinylglycine on harvest time and fruit quality of ‘Monroe’ peaches. *Tar. Bil. Der. J. Agric. Sci.* 17:177-189. doi:10.1501/Tarimbil_0000001170.
- Clayton, M., W.V. Biasi, S.M. Southwick, and E.J. Mitcham. 2000. ReTain™ affects maturity and ripening of “barlett” Pear. *HortScience* 35:1294-1299. doi:10.21273/HORTSCI.35.7.1294
- Garner, L.C., and C. J. Lovatt. 2016. Physiological factors affecting flower and fruit abscission of ‘Hass’ avocado. *Sci. Hort.* 199:32-40. doi:10.1016/j.scienta.2015.12.009
- Gregory, L.E., M.H. Gaskins, and C. Colberg. 1967. Parthenocarpic pod development by *Vanilla planifolia* Andrews induced with growth-regulating chemicals. *Econ. Bot.* 21:351-357. doi:10.1007/BF02863160
- Hernández, J., y S.A. Curti. 1999. Inducción del amarre y crecimiento de fruto de la vainilla con reguladores de crecimiento (RC). En: H. Barradas et al., editores, *Memorias de la XII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz 1999*. Universidad Veracruzana, Veracruz, MEX. p. 140-141.
- Hernández, H.J., S.A. Curti, y A. Ríos. 2018. Disminución del aborto de *Vanilla planifolia* Jacks Ex. Andrews con reguladores de crecimiento. En: S.A. Curti et al., editores, *Memoria de la Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria, 2018. III Reunión Internacional Científica y Tecnológica. III Congreso Mexicano de Investigación en Cítricos. VI Simposium Internacional de Avicultura Familiar y de Traspatio*. INIFAP, Veracruz, MEX. p. 195-204.
- Hernández-Hernández, J. 2011. Mexican vanilla production. In: D. Havkin-Frenkel, and F.C. Belanger, editors, *Handbook of vanilla science and technology*. Wiley-Blackwell Publishing Ltd., NJ, USA. p. 3-24. doi:10.1002/9781444329353.ch1
- Hernández-Miranda, O.A., Y. Cruz-Ruiz, J.E. Campos, B.E. Herrera-Cabrera, y V.M. Salazar-Rojas. 2018. Expresión diferencial del Gen ARF8, involucrado en el metabolismo de auxinas durante la transición de flor a fruto en *Vanilla planifolia* Jacks Ex Andrews. *Agroproductividad* 2(3):15-21.
- Herrera-Cabrera, B.E., A. Delgado-Alvarado, V.M., Salazar-Rojas, E. Sandoval-Zapotitla, y J.E. Campos-Contreras. 2016. La diversidad de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) en México: recurso genético estratégico para el desarrollo rural. *Agroproductividad* 9(11-B):5-6.
- Khandaker, M.M., N.S. Idris, S.Z. Ismail, A. Majrashi, A. Alebedi, and N. Mat. 2016. Causes and prevention of fruit drop of *Syzygium samarangense* (Wax Apple): A review. *Adv. Environ. Biol.* 10(11):112-123.

- Kundu, M., R. Joshi, P.N. Rai, and L.D. Bist. 2013. Effect of plant bio-regulators on fruit growth, quality and productivity of pear [*Pyrus pyrifolia* (Brum.) Nakai] Cv Gola un-der tarai condition. *J. Appl. Hort.* 15(2):106-109.
- Kvikliene, N., D. Kviklys, and A. Sasnauskas. 2010. Effect of plant growth regulators on apple fruit preharvest drop and quality. *J. Fruit Ornam. Plant Res.* 18(2):79-84.
- Lapeyre-Montes, F., C. Genevière, J.L. Verdeil, and E. Odoux. 2010. Anatomy and bio-chemistry of vanilla bean development (*Vanilla planifolia* G. Jackson). In: E. Odoux, and M. Grison, editors, *Vanilla*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p. 149-171.
- Looney, N.E. 2018. Growth regulator usage in apple and pear production. In: L.G. Nickell, editor, *Plant growth regulating chemicals*. Vol 2. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p. 1-26.
- Lovatt, C.J. 2008. UC IPM Pest management guidelines: Citrus. Plant growth regulators: General information. UC ANR publication 3441. Integrated Pest Management, CA, USA. <http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG/r107900111.html> (accessed Jan. 6, 2016).
- Modise, D.M., A.S. Likuku, M. Thuma, and R. Phuti. 2009. The influence of exogenously applied 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on fruit drop and quality of navel oranges (*Citrus sinensis* L.). *Afr. J. Biotechnol.* 8:2131-2137.
- Nawaz, A.M., W. Ahmad, S. Ahmad, and M. Mumtazkan. 2008. Role of growth regulators on preharvest fruit drop, yield and quality in kinnow mandarin. *Pak. J. Bot.* 40:1971-1981.
- Parra, R.A., H. González, y E.M. Engleman. 1990. Cultivo *in vitro* y anatomía de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews). *Agrocienc. Ser. Fitotec.* 1(1):189-202.
- Pérez-Barraza, M.H., V. Vázquez-Valdivia, J.A. Osuna-García, y M.A. Urías-López. 2009. Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocárpicos en mango “ataulfo” con reguladores de crecimiento. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15:183-188.
- Saltveit, M.E. 2005. Aminoethoxyvinylglycine (AVG) reduces ethylene and protein biosynthesis in excised discs of mature green tomato pericarp tissue. *Postharv. Biol. Technol.* 35:183-190. doi:10.1016/j.postharvbio.2004.07.002
- Sharif, N., M.M.M. Abbas, N. Memon, and M.A. Javaid. 2016. Comparative evaluation of naphthalene acetic acid and urea for preventing premature fruit drop and improving fruit yield and quality in ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk) Cv. Suffon. *J. Agric. Res.* 54:55-62.
- Salazar-Rojas, V.M., E. Sandoval-Zapotitla, C.V. Granados-Hernández, Y. Cruz-Ruiz, B.E. Herrera-Cabrera, y J.E. Campos-Contreras. 2016. Descripción estructural y funcional de caída prematura de frutos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Agroproductividad* 9(11-B):17-18.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT® 9.3 User’s guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Wargo, J.M., I.A. Merwin, and C.B. Watkins. 2004. Nitrogen fertilization, trunk girdling and AVG treatments affect maturity and quality of “Jonagold” apples. *HortScience* 39:493-500. doi:10.21273/HORTSCI.39.3.493
- Weijun, C., J. Bining, S. Xuesu, and Z. Qiyang. 2015. Dissipation and residue of 2,4-D in citrus under field condition. *Environ. Monit. Assess.* 187:302. doi:10.1007/s10661-015-4536-0
- Yuan, R., and D.H. Carbaugh. 2007. Effects of NAA, AVG, and 1-MCP on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of ‘Golden Supreme’ and ‘Golden Delicious’ apples. *HortScience* 42:101-105. doi:10.21273/HORTSCI.42.1.101