

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA Y DEL MEDI
NATURAL



**El desacoplamiento del periodo de polinización
efectiva como método para obtener *paltines* en el
aguacate (*Persea americana* Mill.)**

TRABAJO FIN DE GRADO

ALUMNO: Guillem Garcia Alfonso

TUTORA: Carmina Reig Valor

COTUTOR: Manuel Agustí Fonfría

Curso académico: 2019-2020

TÍTULO: El desacoplamiento del periodo de polinización efectiva como método para obtener *paltines* en el aguacate (*Persea americana* Mill.).

RESUMEN: La utilización del ácido giberélico (GA₃) a una concentración de 100 mg l⁻¹ durante el periodo de floración consigue desacoplar el periodo de polinización efectiva del aguacate y, con ello, promover la partenocarpia del fruto. Mediante esta técnica se consigue obtener frutos sin semillas, conocidos como *paltines*, que, de acuerdo con las exigencias del mercado, resultan de especial interés para el sector productor. Pero el tamaño alcanzado por estos frutos es significativamente menor al alcanzado por los frutos con semillas y, en consecuencia, representa un inconveniente para su comercialización.

Al mismo tiempo, y dado el bajo porcentaje de cuajado que presenta esta especie y que repercute negativamente en la rentabilidad del cultivo, se estudia si la aplicación de esta hormona consigue aumentar el número de frutos por panícula y, con ello, la producción.

PALABRAS CLAVE: ácido giberélico, aguacate, cuajado, tamaño del fruto, partenocarpia.

TÍTOL: El desacoplament del període de pol·linització efectiva com a mètode per a obtenir *paltins* en l'alvocat (*Persea americana* Mill.).

RESUM: La utilització de l'àcid giberèlic (GA₃) a una concentració de 100 mg l⁻¹ durant el període de floració aconseguix desacoplar el període de pol·linització efectiva de l'alvocat i per tant, promoure la partenocàrpia del fruit. Mitjançant esta tècnica s'aconsegueix obtenir fruits sense llavor, coneguts com a *paltins*, que d'acord amb les exigències del mercat, resulten de especial interès per al sector productor. Però el tamany aconseguit en estos fruits és significativament menor al aconseguit per fruits amb llavors i, conseqüentment, representa un inconvenient per a la seua comercialització.

Al mateix temps, i donat el baix percentatge de quallat que presenta esta espècie i que repercuteix negativament en la rentabilitat del cultiu, s'estudia si l'aplicació de esta hormona aconseguix augmentar de fruits per panícula y, per tant, la producció.

PARAULES CLAU: àcid giberèlic, alvocat, quallat, tamany del fruit, partenocàrpia.

TITLE: The decoupling of the effective pollination period as a method to obtain paltines in avocado (*Persea americana* Mill.).

ABSTRACT: The use of gibberellic acid (GA₃) at a concentration of 100 mg l⁻¹ at bloom uncouple the effective pollination period of the avocado and, thereby, promote parthenocarpy. By means of this technique it is possible to obtain seedless fruit, known as paltines, which, according to market demands, are of special interest to the producer sector. But the size reached by these fruits is significantly smaller than that reached by seeded fruits, which represents an inconvenience for their commercialization.

At the same time, and given the low percentage of fruit set of this species that negatively impact on its profitability, it was also studied whether the application of this hormone increases the number of fruits per panicle and, in this way, the yield.

KEY WORDS: gibberellic acid, avocado, fruit set, fruit size, parthenocarpy.

ÍNDICES

ÍNDICE GENERAL

I INTRODUCCIÓN	1
1. Superficie, producción e importancia económica.....	1
2. El cuajado del aguacate	2
2.1. Cuajado sexual	2
2.2. Cuajado asexual.....	3
2.3. Obtención de frutos partenocárpicos o paltines	5
3. Principales problemas agronómicos	5
3.1. Alternancia de cosechas	6
3.2. Bajo porcentaje de cuajado	6
II OBJETIVO	8
III MATERIAL Y MÉTODOS	9
1. Material vegetal	9
2. Tratamientos y toma de muestras.	9
3. Análisis estadístico	10
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
1. INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE ÁCIDO GIBERELICO EN LA PRODUCCIÓN DE PALTINES.	11
2. EFECTO DEL GA ₃ SOBRE LA DISRIBUCIÓN DE LOS FRUTOS EN LA RAMA	12
3. INFLUENCIA DEL GA ₃ EN EL PESO DEL FRUTO.	15
V CONCLUSIONES	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento floral de los grupos de cultivares (A Y B) del aguacate (<i>Persea americana</i>). Fuente: Viveros Brokaw, 2019	3
Figura 2. Frutos partenocárpicos (paltines) del cv. Fuerte	4
Figura 3. Efecto de la aplicación de GA ₃ a 50 ppm y 100 ppm, sobre el número medio de frutos partenocárpicos por rama. El control presentó 0,2 frutos con semillas por rama. El tratamiento se inició en estado de botón floral (519 BBCH) y se repitió 3 veces más hasta el final de la antesis (619 BBCH). Las barras son la media de 8 ramas por árbol para cada tratamiento. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05).	12
Figura 4. Efecto de la aplicación GA ₃ a 50 ppm y 100 ppm, sobre el porcentaje de ramas con al menos un fruto. El tratamiento se inició en estado de botón floral (519 BBCH) y se repitió 3 veces más hasta el final de la antesis (619 BBCH)). Las barras son la media de 8 ramas por árbol para cada tratamiento. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05).....	13
Figura 5. Efecto de la aplicación GA ₃ a 50 ppm y 100 ppm, sobre el porcentaje de ramas con más de un fruto. El tratamiento se inició en estado de botón floral (519 BBCH) y se repitió 3 veces más hasta el final de la antesis (619 BBCH)). Las barras son la media de 8 ramas por árbol para cada tratamiento. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05).....	14
Figura 6. Efecto de la aplicación GA ₃ a 50 ppm y 100 ppm, sobre el peso medio de frutos control y frutos partenocárpicos (paltines). El tratamiento se inició en estado de botón floral (519 BBCH) y se repitió 3 veces más hasta el final de la antesis (619 BBCH). Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05).	15
Figura 7. Influencia de la aplicación de GA ₃ para la obtención de frutos partenocárpicos (paltines) sobre las dimensiones de los tejidos de los frutos con y sin semillas. Cada barra es el valor medio de 4 mediciones. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05).....	16
Figura 8. Aspecto de los frutos control (izquierda) y de los paltines obtenidos con la aplicación de GA ₃ (derecha) del cv. Fuerte de aguacate. En los primeros se distinguen los tres tejidos del fruto (exocarpo, mesocarpo y endocarpo) mientras que en los segundos sólo se aprecian el exocarpo y el mesocarpo junto al vacío originado por la ausencia de la semilla	17
Figura 9. Izquierda: Corte longitudinal de un fruto partenocárpico. Derecha: Corte transversal de un fruto partenocárpico. Ambos mostrando la ausencia de semilla y siendo frutos del cv. Fuerte.....	17

I INTRODUCCIÓN

1. Superficie, producción e importancia económica.

El cultivo del aguacate ha experimentado una expansión muy importante en los últimos años debido a la creciente demanda de su fruto. Según datos de FAOSTAT (2020), en el 2018, la superficie cultivada en el mundo es de 918.531 ha con una producción de 6.407.171 t, de la que el 72,7 % procede del continente americano, siendo Méjico con 2.184.663 t el principal productor. En segundo lugar, con cerca del 12,5 % de la producción mundial se sitúa África, de la que destaca Kenia como principal país productor con 233.933 t. Asia ocupa el tercer lugar con el 11,9 % de la producción mundial siendo Indonesia el principal país productor. En cuanto a Europa, su producción sólo supone un 1,5 % del total, de la que España, durante el año 2019, contribuyó con 97.727 t. y una superficie de 14.104 ha, de las cuales 11.201 ha pertenecen a Andalucía, 1866 ha a Canarias y 1.015 a la Comunidad Valenciana.

El mercado mundial del aguacate durante el 2019 ha experimentado un aumento, llegando a exportar 2,3 millones de toneladas, lo que supone una expansión del 7 % con respecto a 2018. Los principales factores que han impulsado este crecimiento siguen siendo la demanda mundial y los lucrativos precios unitarios de exportación. El aguacate tiene un nivel de producción más bajo dentro de las frutas tropicales, pero su producción ha sido la de más rápido crecimiento en los últimos años. Se prevé que la producción supere ligeramente los 11 millones de toneladas para 2029, es decir, más de dos veces y medio el nivel de 2009. Este aumento de la producción y de las exportaciones se ve incentivado por los supuestos beneficios del fruto para la salud que tiene en países como Estados Unidos de América o en la Unión Europea. Por todos estos motivos, el valor de la producción durante el 2016 alcanzó la cifra de 4.619 millones de dólares.

2. El cuajado del aguacate

Aunque esta especie puede llegar a producir miles de inflorescencias y cada una de ellas puede contener hasta 80 flores de media alcanzando un millón o más de flores por árbol (Sedgley, 1980), el porcentaje de cuajado es muy bajo, inferior al 1% (Alcaraz et al., 2013a)

El aguacate, presenta flores hermafroditas, sin embargo, muy difícilmente tiene lugar la autofecundación (Calabrese, 1992). Presenta dicogamia, es decir, un desfase en la maduración entre la parte femenina y la masculina dentro de una misma flor, sincronización diurna, debido a que todas las flores de un mismo árbol actúan como masculinas en un mismo momento del día y como femeninas en otro, y protoginia, ya que la apertura de la flor femenina es anterior a la masculina. Pero si todos los cultivares tuvieran el mismo funcionamiento en sus dos fases (masculina y femenina) no se produciría la polinización. Lo que ocurre en realidad es que existen dos tipos de cultivares de aguacate, A y B, cuya funcionalidad floral no coincide y cuando las flores del grupo A actúan como femeninas (estigma receptivo) las del grupo B actúan como masculinas liberando polen, y viceversa; lo que permite que se produzca la polinización cruzada entre ambos tipos de cultivares. Este comportamiento se produce de forma regular solo en condiciones de clima cálido, de 25°C durante el día y 15°C durante la noche (Agustí, 2010)

2.1. Cuajado sexual

El cuajado sexual es la transición del ovario de la flor a fruto en desarrollo que está regulado por la fecundación. Para que ésta tenga lugar, tal como se ha explicado anteriormente, tienen que existir dos grupos de cultivares (A y B) con distinto comportamiento floral. En el grupo A, por las mañanas las flores se abren y tienen el estigma receptivo y erecto al igual que el estilo, mientras que los estambres están doblados sin desprender polen. Al mediodía las flores se cierran; y pasadas 24 horas, se vuelven a abrir con el estigma no receptivo, pero con los estambres erectos liberando polen. En el grupo B, las flores abren por primera vez al mediodía con la parte femenina receptiva mientras la parte masculina no es funcional. Al final de la tarde se cierran para

volver a abrirse 12 horas más tarde con comportamiento masculino. De esta manera, la coexistencia de ambos tipos de cultivares permite la polinización cruzada y, por tanto, la fecundación. Sin embargo, este mecanismo en algunas condiciones climáticas particulares, como pueden ser las de la Cuenca Mediterránea, puede sufrir algunas alteraciones del comportamiento foral que permita el solape de ambas fases florales, produciéndose, de esta manera, la autopolinización o polinización cerrada, que consiste en la polinización de las flores de un árbol con polen de sus mismas flores.

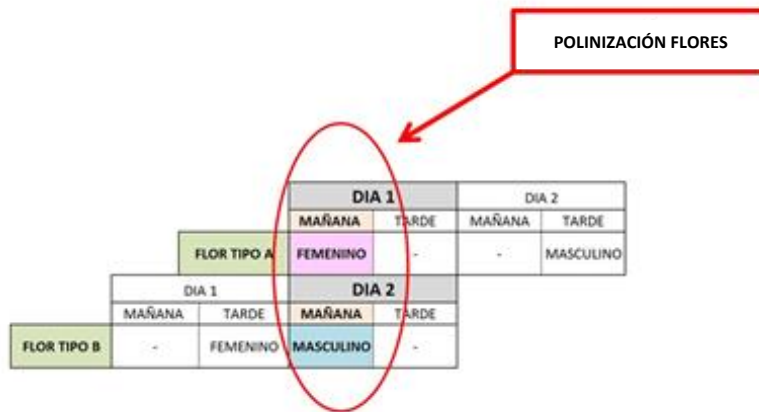


Figura 1. Comportamiento floral de los grupos de cultivares (A Y B) del aguacate (*Persea americana*). Fuente: Viveros Brokaw, 2019

2.2. Cuajado asexual

La partenocarpia o cuajado asexual es un fenómeno que permite la formación de fruto en ausencia de semillas y, por tanto, sin previa fecundación (Baldini, 1992). La partenocarpia puede ser inducida, cuando la deposición del grano de polen, su germinación o el desarrollo del tubo polínico, sin alcanzar la fecundación, provocan los estímulos suficientes para que el ovario inicie su desarrollo. Sin embargo, cuando el desarrollo del ovario se realiza en ausencia de fecundación, pero sin estar promovido por ningún estímulo externo la partenocarpia es autónoma (Agustí, 2010). Además, existe una *vía mixta* conocida como estenospermocarpia en la que el fruto previamente fecundado y, por tanto, con semillas, aborta el desarrollo de éstas y el fruto crece

partenocárpicamente con las semillas reducidas a meros rudimentos seminales. En todos los casos el control del proceso puede ser por factores externos o internos. Según Razeto (1987), algunas variedades de aguacate, especialmente el Fuerte, presentan una marcada tendencia a la producción de frutos partenocárpicos o paltines (Fig. 2).



Figura 2. Frutos partenocárpicos (paltines) del cv. Fuerte

En el caso de esta especie éstos pueden ser *frutos jóvenes degenerados*, aquellos en los que tras la fecundación el endosperma, el embrión o ambos degeneran o *pseudo-frutos con el ovario hinchado*, pero sin embrión ni endosperma. La temperatura es un factor determinante en el proceso de cuajado. Un régimen de temperaturas templadas (17°C día/12°C noche, o inferiores) durante la floración y primeras fases del desarrollo del ovario tiene un efecto perjudicial sobre el cuajado porque altera el normal desarrollo de los órganos reproductivos.

Por otra parte, la exposición a regímenes calurosos (32-33°C día/27-28°C noche) durante la floración, también ejerce un efecto perjudicial sobre los órganos reproductivos, especialmente en el periodo de polinización. Las olas de calor extremas, con temperaturas máximas que bordean los 45°C, tienen efectos devastadores en los frutos jóvenes, ya que provocan su abscisión en la mayoría de los casos como consecuencia de la degeneración de la nucela (Argaman y Gazit, 1982).

2.3. Obtención de frutos partenocárpicos o paltines

En el aguacate, las bajas temperaturas juegan un papel negativo sobre la fecundación, porque con valores térmicos diurnos del orden de 16°-17°C tiene lugar la desorganización del saco embrionario. Este fenómeno es especialmente evidente en el cv. Fuerte (Sedgley, 1986) y, en consecuencia, pueden formarse frutos partenocárpicos o paltines.

La exposición a altas temperaturas (30°C día/22°C noche) también resulta perjudicial para el cuajado de esta especie ya que el polen pierde su viabilidad y, con ello, la capacidad de germinación. Es más, la exposición a temperaturas superiores a los 35°C, durante 2h, detiene el crecimiento de los tubos polínicos de algunos cultivares (Gafni, 1984).

Por otra parte, la aplicación de GA₃ para desacoplar el periodo de polinización efectiva y con ello, evitar la fecundación del óvulo y provocar la partenocarpia ha utilizado en numerosas especies como los cítricos (Talón *et al.*, 1992), la uva (Pratt y Shaulis, 1961), el níspero japonés (Mesejo *et al.*, 2010)

Son muchos los autores que entre sus estudios se encuentra el obtener frutos partenocárpicos. Esto se debe a que la ausencia de semilla en los frutos es un factor de calidad. Los consumidores actuales de frutas prefieren frutos sin semillas debido a su facilidad de consumo. En el caso del aguacate, la ausencia de semilla supone unas mayores cotizaciones en los mercados por el pequeño tamaño de los frutos obtenidos.

Por todo ello, el objetivo de este trabajo es inducir la partenocarpia del aguacate mediante la aplicación exógena de GA₃.

3. Principales problemas agronómicos

Los principales problemas agronómicos que presenta esta especie en condiciones de clima mediterráneo que limitan la producción y reducen notablemente los beneficios a los productores son principalmente la alternancia de cosechas y la falta de cuajado.

3.1. Alternancia de cosechas

La alternancia de cosechas se caracteriza por tener un ciclo de producción con elevada carga de cosecha (año “on”) al que le sigue un ciclo con baja carga de cosecha (año “off”), de tal manera que la fructificación se realiza en años alternos o incluso en los años de elevada producción le pueden seguir 2-3 años de escasa fructificación (Lovatt, 2006;). Esta característica que es de origen genético viene marcada por el efecto que el fruto ejerce sobre la floración del ciclo productivo siguiente, de tal manera que la abundante carga del año “on” reduce e incluso puede impedir la floración siguiente, especialmente si los frutos no se recolectan antes de que ésta ocurra (Dixon, 2007). Actualmente, se conoce que el mecanismo mediante el cual el fruto reduce la floración es a través de la represión que éste ejerce sobre la expresión del gen *PaFT* (Ziv *et al.*, 2014).

Salazar-García *et al.* (1998) encontraron que el alto rendimiento de los árboles del año “on”, reducía significativamente la intensidad de floración del siguiente ciclo productivo o año “off”. Esta reducción fue por la disminución en un 13% del número de inflorescencias por rama que, por otra parte, estuvo acompañada por una alta producción de brotes vegetativos (72% del total yemas/rama).

Por otra parte, estos resultados pueden alterarse sensiblemente y con ello, manipularse la floración, mediante la aplicación foliar de GA₃. Así, la aplicación de esa sustancia a 25 ppm durante el periodo de inducción o diferenciación floral del año ‘on’, incrementó significativamente la producción del año siguiente o año ‘off’ (Salazar-García y Lovatt, 1997).

3.2. Bajo porcentaje de cuajado

El aguacate tiende a florecer profusamente, produciendo un número excesivo de flores de hasta más de 1000 veces superior a la cantidad de frutos que finalmente puede cargar el árbol. Finalizada la floración, el número de frutos recién cuajados que inician su desarrollo es muy superior al número de los que finalmente alcanzan la madurez,

debido a la abscisión masiva de los frutos que, mayoritariamente, ocurre durante el primer mes después del cuajado. Posteriormente y, coincidiendo con la fuerte presión de los nuevos brotes vegetativos en desarrollo, la abscisión continúa a menor velocidad y finaliza cuando los frutos están a punto de madurar. Esta segunda ola de abscisión se corresponde con frutos de 3-4 meses de edad que equivalen a unos 50-100g de peso (Lahav y Zamet, 1999).

Inicialmente se sugirió que la competencia por carbohidratos era la responsable de la abscisión, tanto de flores como de frutos (Cutting y Bower, 1990; Whiley y Schaffer, 1993). Sin embargo, del estudio realizado por Finazzo *et al.* (1994) se concluyó que la disponibilidad de carbohidratos es suficiente para sustentar tanto el crecimiento de los frutos jóvenes como el de los nuevos brotes.

Por otra parte, y teniendo en cuenta las dos olas de abscisión que se producen en esta especie y que hacen referencia a frutos en distinto estado del desarrollo, las razones de ello pueden ser carácter múltiple.

En ese sentido, Sedgley (1987) observó que durante la primera semana después de la antesis el 80% de los frutos caídos procedían de flores polinizadas, pero no fertilizadas. Sin embargo, un mes después de la antesis todos los frutos caídos habían sido fertilizados y presentaban un normal desarrollo del embrión y del endospermo.

Las altas y bajas temperaturas, especialmente las olas de frío y de calor, tienen un efecto perjudicial sobre el proceso de polinización, fecundación y supervivencia de los frutos jóvenes, que en definitiva garantizan el cuajado. Sin embargo, cuando las condiciones ambientales son favorables, garantizar una polinización adecuada potenciando la actividad de los polinizadores durante el periodo de floración, contribuye a mejorar el cuajado y, por tanto, a aumentar la producción.

Por lo tanto, existen 3 formas efectivas de reducir la abscisión de los frutos: *minimizar el estrés ambiental, utilizar polinizadores potentes e inhibir el crecimiento vegetativo*. Los resultados pueden ser óptimas si se utilizan todas juntas.

II OBJETIVO

Desacoplar el periodo de polinización efectiva mediante la aplicación foliar de AG a 50 y 100 ppm durante la floración e inicio del cuajado, con el fin de obtener paltines en el cv. Fuerte de aguacate (*Persea americana* Mill.)

III MATERIAL Y MÉTODOS

1. Material vegetal

El estudio se llevó a cabo en 6 árboles del cv. Fuerte (grupo floral B) de una plantación comercial de aguacate localizada en el término municipal de Torrent (Valencia, 39° 24' N, 0° 28' E, 17 msnm), que se utilizaban como polinizadores del cv. Lamb-Hass (grupo floral A). Todos los árboles de 10 años estaban injertados sobre el patrón Toro Canyon y se encontraban en perfectas condiciones fitosanitarias y con riego localizado. La distribución de los árboles en el campo respetaba un marco de plantación de 6x5m para el cv. Lamb-Hass, mientras que en el cv. Fuerte los árboles se disponían en una única fila al inicio de la plantación con una separación entre ellos de 5 metros.

2. Tratamientos y toma de muestras.

Los tratamientos realizados fueron la aplicación foliar de ácido giberélico (GA₃) a 50 y 100 ppm, durante la época de floración, a las que se les añadió un agente tensoactivo no iónico (mojante) a una concentración del 0.01%. Los tratamientos se realizaron entre las 10 y las 11 a.m, mediante pulverización fina con spray, directamente a las flores y las hojas de la panícula hasta el goteo. Se iniciaron en estado de botón floral (519 BBCH) y se repitieron, semanalmente, 3 veces más, hasta el final de la antesis (619 BBCH).

Los tratamientos se realizaron en ramas de dos años que contenían, aproximadamente 100 nudos, y se utilizaron 8 ramas de cada árbol y 3 árboles por cada tratamiento. Otros 3 árboles de características similares se dejaron como control. Después de la primera caída fisiológica de frutos (712 BBCH) se evaluó el número de frutos cuajados de cada rama y tratamiento. Los frutos se llevaron al laboratorio a baja temperatura y allí se pesaron, se cortaron ecuatorial y longitudinalmente y se evaluó la ausencia o no de semilla. El resto de la muestra se congeló con nitrógeno líquido a -20 °C para su posterior análisis hormonal que debido a la pandemia del COVID-19 no se pudo realizar.

3. Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les aplicó el análisis de la varianza con un nivel de confianza ($P \leq 0.05$). Para la separación de medias se aplicó el test LSD mediante el programa informático Statgraphics. A los valores porcentuales se les aplicó la transformación $\arcsen(\sqrt{p})$ para normalizar la muestra.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE ÁCIDO GIBERELICO EN LA PRODUCCIÓN DE PALTINES.

La aplicación repetida, hasta 3 veces, de GA₃ a 50 y 100 ppm durante la época de floración, desde botón floral (519 BBCH) hasta antesis (619 BBCH), provocó la partenocarpia del fruto y, con ello, la obtención de paltines. Esta respuesta fue mayor con la concentración más alta de GA₃ (0,6 paltines/rama para 100 ppm) frente a los 0,35 paltines/rama obtenidos con 50 ppm, pero sin alcanzar la significación estadística (Figura 3). En ambos casos el número de frutos partenocárpico obtenidos con la aplicación de la hormona fue significativamente mayor al control que sólo obtuvo frutos con semilla (0,2 frutos/rama). Estos resultados coinciden con los de otros autores que con aplicaciones de GA₃ durante la floración, provocaron la partenocarpia en otros frutales como el níspero japonés (Mesejo *et al.*, 2010), e incluso en esta misma especie (Razeto y Longueiras, 1983). En cultivares no partenocárpico de naranja como la 'Pineapple', la aplicación de GA₃ a flores previamente emasculadas consiguió promover el desarrollo partenocárpico del fruto y, de esta manera, sustituir el estímulo de la fecundación (Benm Cheikh *et al.*, 1997).

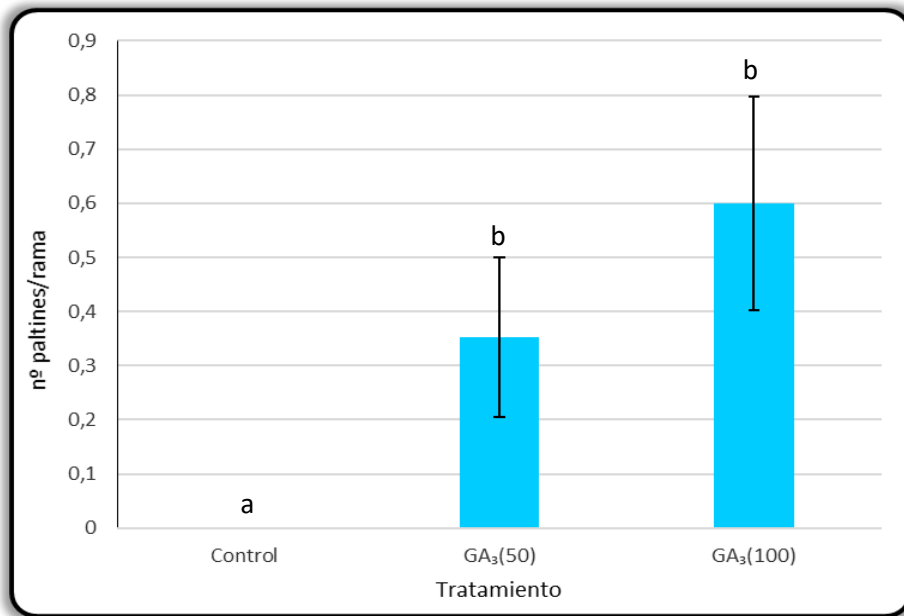


Figura 3. Efecto de la aplicación de GA₃ a 50 ppm y 100 ppm, sobre el número medio de frutos partenocárpicos por rama. El control presentó 0,2 frutos con semillas por rama. El tratamiento se inició en estado de botón floral (519 BBCH) y se repitió 3 veces más hasta el final de la antesis (619 BBCH). Las barras son la media de 8 ramas por árbol para cada tratamiento. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05).

2. EFECTO DEL GA₃ SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS FRUTOS EN LA RAMA

La aplicación de GA₃, independientemente de la concentración, modificó significativamente el porcentaje de ramas con al menos un fruto respecto del control. Así, mientras en el control el 18,8% de sus ramas presentaban al menos 1 fruto, en los tratados con 50 y 100 ppm de GA₃ lo tenían el 29,5 y 40% de sus ramas, respectivamente (Figura 4). Aunque estos últimos presentaron un 9,5% más de ramas con al menos un fruto que en los tratados con la menor concentración, no se encontraron diferencias significativas entre ambos, pero sí de ambos con el control (Figura 4).

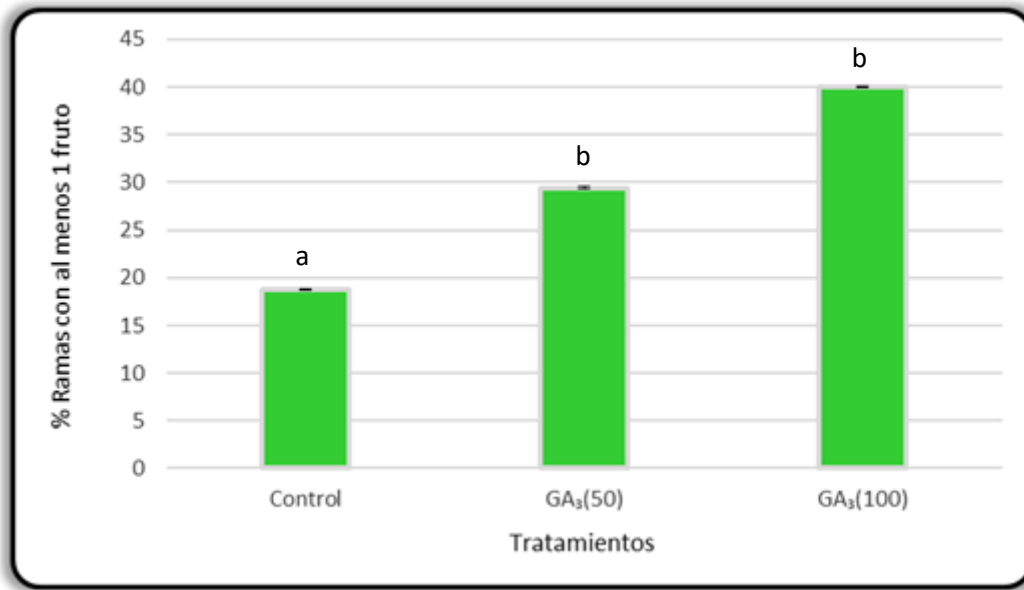


Figura 4. Efecto de la aplicación GA₃ a 50 ppm y 100 ppm, sobre el porcentaje de ramas con al menos un fruto. El tratamiento se inició en estado de botón floral (519 BBCH) y se repitió 3 veces más hasta el final de la antesis (619 BBCH)). Las barras son la media de 8 ramas por árbol para cada tratamiento. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05).

El porcentaje de ramas con más de un fruto también se vio modificado por la aplicación de la hormona, independientemente de su concentración. Así, mientras en el control no se encontraron ramas con más de un fruto, en los tratados con 50 y 100 ppm de GA₃ se encontraron un 5.9 % y 15 %, respectivamente, todos ellos en ausencia de semillas (Figura 5). Aunque los tratados con 100 ppm consiguieron más del doble de ramas con más de fruto que los tratados con 50 ppm, no se llegó a la significación estadística, pero sí de éstos con el control.

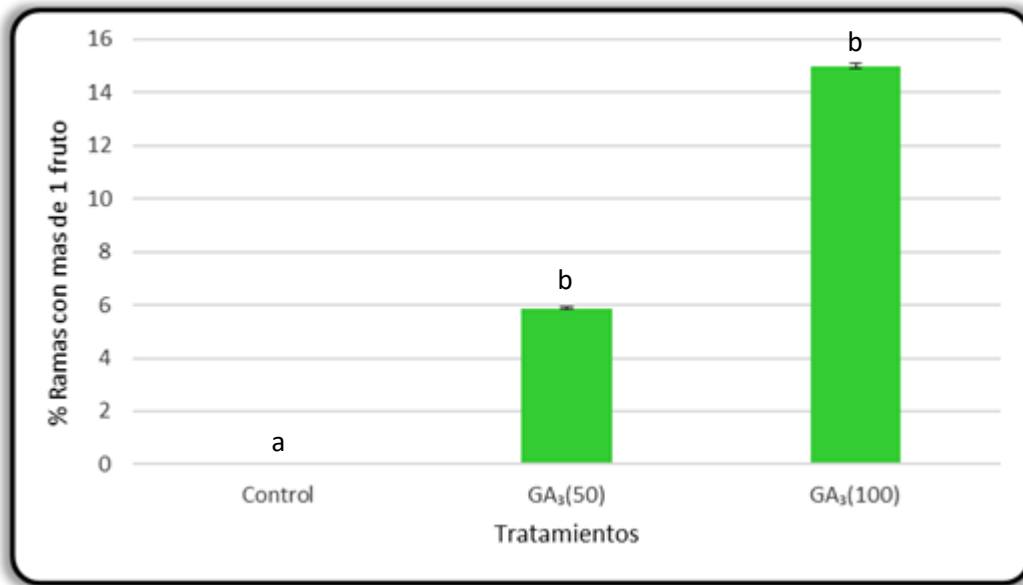


Figura 5. Efecto de la aplicación GA₃ a 50 ppm y 100 ppm, sobre el porcentaje de ramas con más de un fruto. El tratamiento se inició en estado de botón floral (519 BBCH) y se repitió 3 veces más hasta el final de la antesis (619 BBCH)). Las barras son la media de 8 ramas por árbol para cada tratamiento. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05).

A la vista de estos resultados, la aplicación de GA₃ consiguió aumentar notablemente el número de frutos por rama y, en consecuencia, el cuajado. De ello se deduce que este proceso podría estar regulado hormonalmente por las giberelinas como ya, se ha demostrado en otras especies como los cítricos (Mesejo *et al.*, 2016) y no sólo por la disponibilidad de nutrientes como inicialmente se pensaba en esta especie (Finazzo *et al.*, 1994). Es más, en otros estudios realizados por Ramos (2019) en esta misma especie, la aplicación de 50 mg/l de GA₃ consiguió aumentar el número de frutos cuajados de 25 a 61 por 100 panículas.

3. INFLUENCIA DEL GA₃ EN EL PESO DEL FRUTO.

El peso del fruto se vio significativamente alterado por la aplicación de GA₃. Así, mientras el control presentaba un peso medio de 31.9 gramos (g), el paltín obtenido con los tratamientos con GA₃, independientemente de la concentración a la que se aplicara, apenas alcanzó los 1,5 g (Figura 6). Estas diferencias tan acusadas encontradas en el peso del fruto se debieron, mayoritariamente, a la presencia de semillas en los frutos control. Por otra parte, la ausencia de semillas provocada por la aplicación de esta hormona modificó el aspecto del fruto como puede observarse en Figura 6.

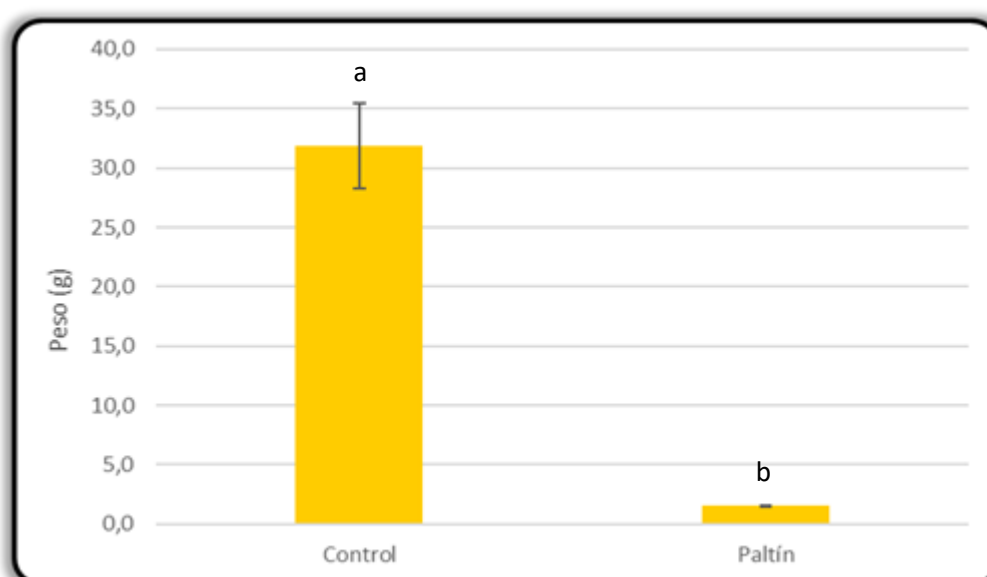


Figura 6. Efecto de la aplicación GA₃ a 50 ppm y 100 ppm, sobre el peso medio de frutos control y frutos partenocárpicos (paltines). El tratamiento se inició en estado de botón floral (519 BBCH) y se repitió 3 veces más hasta el final de la antesis (619 BBCH). Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05).

En este sentido, el mayor número de frutos conseguido en los árboles tratados con GA₃ respecto del control, en detrimento de su tamaño final, indica que el crecimiento del fruto es un proceso nutricionalmente dependiente, al igual que en el resto de las especies leñosas. El hecho de que las semillas del fruto sean una fuente de giberelinas (Blumenfeld y Gazit., 1970) y, con ello, aumenten la capacidad sumidero del fruto, explicaría el mayor tamaño y peso adquirido de éstos. Además, estos resultados coinciden con los observados en especies afines, en las que los frutos con semillas

dañadas y, por tanto, de menos peso, alcanzaron un menor tamaño final (Proctor *et al.*, 1992).

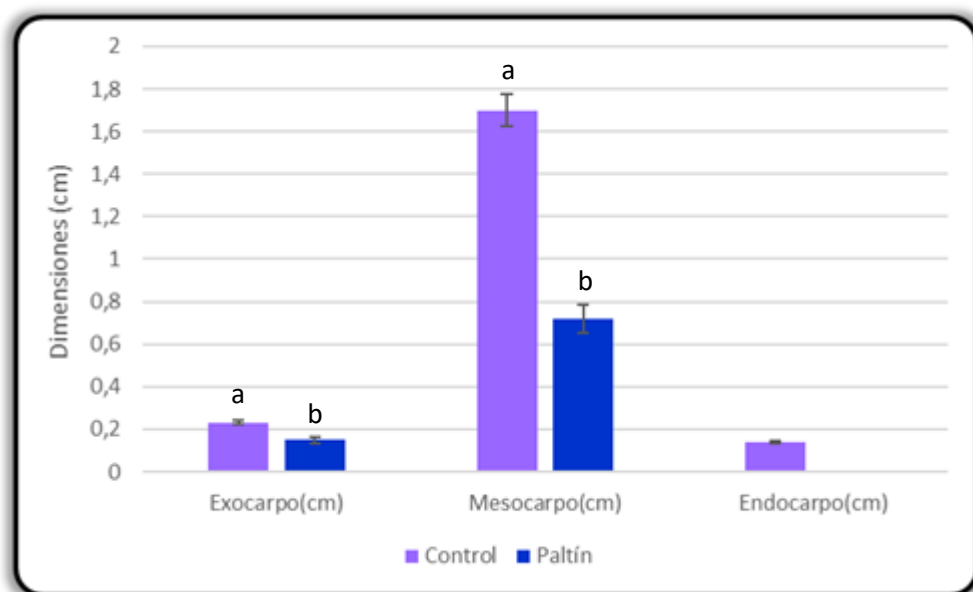


Figura 7. Influencia de la aplicación de GA₃ para la obtención de frutos partenocárpicos (paltines) sobre las dimensiones de los tejidos de los frutos con y sin semillas. Cada barra es el valor medio de 4 mediciones. Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05)

Las dimensiones de los diferentes tejidos del fruto, también se vieron modificadas por efecto del tratamiento. Así, el exocarpo del fruto control (con semilla) fue significativamente mayor (23 cm) que el del fruto tratado (paltín) que fue de 15 cm. En el mesocarpo la tendencia fue similar, el control presentó 1,7 cm de espesor, mientras que en el paltín fue de 0,7 cm, alcanzándose también en este caso la significación estadística. Finalmente, el endocarpo sólo lo presentaba el fruto control, ya que, en el paltín, como consecuencia de la aplicación de GA₃, el embrión había abortado y éste no presentaba semilla, y, en consecuencia, tampoco el tejido que lo rodea (Figura 9). Estas diferencias se explican en base al poder sumidero que confieren las semillas al fruto capaces de reclamar metabolitos en cuantía suficiente para asegurar su desarrollo. (Agustí, 2010). Es por esto, que los tejidos de los frutos control presentan un mayor desarrollo.



Figura 8. Aspecto de los frutos control (izquierda) y de los paltines obtenidos con la aplicación de GA_3 (derecha) del cv. Fuerte de aguacate. En los primeros se distinguen los tres tejidos del fruto (exocarpo, mesocarpo y endocarpo) mientras que en los segundos sólo se aprecian el exocarpo y el mesocarpo junto al vacío originado por la ausencia de la semilla



Figura 9. Izquierda: Corte longitudinal de un fruto partenocárpico. Derecha: Corte transversal de un fruto partenocárpico. Ambos mostrando la ausencia de semilla y siendo frutos del cv. Fuerte.

V CONCLUSIONES

1. La aplicación repetida de GA₃ durante la época de floración, desde botón floral hasta antesis, a 50 y 100 ppm, provoca la partenocarpia del fruto y en consecuencia, la obtención de paltines.
2. La aplicación de 100 ppm de GA₃ no mejoró la respuesta respecto la de 50 ppm
3. El tratamiento consigue aumentar el número de frutos cuajados modificando su distribución en la rama.
4. La ausencia de semilla provocada por el tratamiento afectó negativamente al tamaño del fruto que fue significativamente menor.

VI BIBLIOGRAFÍA

- AGUSTÍ, M. (2000).** Citricultura. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 416 pp.
- AGUSTÍ, M. (2010).** Fruticultura. Editorial Mundi-Prensa. 507 pp
- ALCARAZ, M., HORMAZA, J., y RODRIGO, J. (2013).** Pistil starch reserves at anthesis correlate with final flower fate in avocado (*Persea americana*). Plos one 8(10): e78467.
- BALDINI, E. (1992).** Arboricultura general, 379 p. Ediciones Mundiprensa Madrid, España. 379 pag.
- BEN-CHEIKH, W., PÉREZ-BOTELLA, J., TADEO, F.R. TALÓN, M. y PRIMO-MILLO, E. (1997).** Pollination increases gibberellin levels in developing ovaries of seeded varieties of citrus. Plant Physiology, 114: 557-564.
- BLUMENFELD, A., y S. GAZIT. (1970).** "Cytokinin activity in avocado seeds during fruit development." Plant Physiology 46.2: 331-333.
- CALABRESE, F. (1992).** El aguacate. Editorial Mundi-Prensa.
- BROKAW (2019).** El tipo de flor en el cultivo del aguacate. <https://www.viverosbrokaw.com/tipo-de-flor-en-cultivo-de-aguacate/>
- CUTTING, J.G.M. y BOWER, J.P. (1990).** Relationship between auxin transport and calcium allocation in vegetative and reproductive flushes in avocado. Acta Horticulturae, 275, 469-475.
- DIXON J. (2007).** Shoot growth of 'Hass' avocado trees in 'on' and 'off' flowering years in the western bay of plenty. En: Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association. New Zealand. pp. 41-48
- FAOSTAT (2020).** <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- FINAZZO, S.F., DAVENPORT, T.L. y SCHAFFER, B. (1994).** Partitioning of photoassimilates in avocado (*Persea Americana* Mill.) during flowering and fruit set. Tree Physiology 14, 153-164
- GAFNI, E. (1984).** Effect of extreme temperature regimes and different pollenizers on the fertilization and fruit set processes in avocado. (In Hebrew). MS Thesis, Faculty of Agriculture, Hebrew Univ. of Jerusalem, Rehovot, Israel.
- GANDOLFO, S. (2008).** Factores Ecofisiológicos Relacionados con el Crecimiento Vegetativo, Floración y Desarrollo del Fruto del Aguacate (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. España.
- LAHAV, E. y ZAMET, D. (1999).** Flowers, fruitlet and fruit drop in avocado trees. Revista Chapingo Serie Horticultura Núm. Especial V, 95-100.

LOVATT, C.J. (2006). Alternate bearing of 'Hass' avocado. California Avocado Society 2010 Yearbook 93:125-140

MESEJO, C., MARTÍNEZ-FUENTES, A., REIG, C. y AGUSTÍ, M. (2010). Parthenocarpic fruit production in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) by using gibberellic acid. *Scientia Horticulturae* 126 (2010)37-41.

MESEJO, C., YUSTE, R., REIG, C., MARTÍNEZ-FUENTES, A., IGLESIAS, D.J., MUÑOZ-FAMBUENA, N., BERMEJO, A., GERMANÀ, M.A., PRIMOMILLO, E. y AGUSTI, M. (2016). Gibberellin reactivates and maintains ovary-wall cell division causing fruit set in parthenocarpic Citrus species. *Plant Science*, 247: 13-24.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. (Consulta el 10 de julio de 2020). Disponible en:
<https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. (Consulta el 13 de julio de 2020). Disponible en:
<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. (Consulta el 13 de julio de 2020). Disponible en:
<http://www.fao.org/3/ca9213es/ca9213es.pdf>

PRATT, C. y SHAULIS, N. (1961). Gibberellin-induced parthenocarpy in grapes. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science*, 77: 322-330.

PROCTOR, J.T.A. y SCHECHTER, I. (1992). Effect of Ovule Damage on Fruit Development in Three Apple Cultivars. *HortScience* 27(1):18-19. 1992.

RAMOS, A. (2019). El papel de las giberelinas en el cuajad del fruto del aguacate (*Persea americana*. Mill). (Tesis de pregrado). Universidad politécnica de Valencia, Valencia.

RAZETO, B. y LONGUEIRA, J. (1983). Introducción de partenocarpia en palto mediante aspersiones de ácido giberélico en la floración. *Simiente*, Vol. 53, Nº 3-4: 139-143.

REBOLLEDO, A., ROMERO, M. (2011). Avances en investigación sobre el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) bajo condiciones subtropicales. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 12(2), 113-120.

SALAZAR-GARCÍA, S. y LOVATT, C.J. (1997). Use of gibberellic acid to manipulate flowering in the 'Hass' avocado. *Proceedings from Conference '97: Searching for Quality. Joint Meeting of the Australian Avocado Grower's Federation*: 106-111.

SALAZAR-GARCÍA, S., LORD, E.M. y LOVATT C.J. (1998). Inflorescence Development of the 'Hass' Avocado: Commitment to Flowering. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124: 478-482.

SEDGLEY, M. (1980). Anatomical investigation of abscised avocado flowers and fruitlets. *Annals of Botany* 46, 771-777

SEDGLEY, M. (1987). Flowering, pollination and fruit-set of avocado. *South African Avocado Growers Association Yearbook* 10, 42-43.

TALON, M., ZACARIAS, L. y PRIMO-MILLO, E. (1992). Gibberellins and parthenocarpic ability in developing ovaries of seedless mandarins. *Plant Physiol.*, 99: 1575-1581.

TALÓN, M. (2000). Giberelinas. p. 325-342. In J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.). *Fundamentos de Fisiología vegetal*. Ediciones Mc. Graw. Hill, Barcelona, España.

WHILEY, A.W. y SCHAFFER, B. (1993). 14C-photosynthate partitioning in avocado trees as influenced by shoot development. *HortSci.*, 28: 850-852.

ZIV, DAFNA, et al. "Expression profiling of FLOWERING LOCUS T-Like gene in alternate bearing 'Hass' avocado trees suggests a role for PaFT in avocado flower induction." *Plos one* 9.10 (2014): e110613