

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO
NATURAL

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**EFFECTO DE LA REDUCCIÓN DE LA FLORACIÓN CON ÁCIDO
GIBERÉLICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL AGUACATE**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Curso académico 2019/2020

Autor

Elena Chaveli López

Tutores

**Carmina Reig Valor
Manuel Agustí Fonfría**

Valencia, noviembre de 2020

Título: EFECTO DE LA REDUCCIÓN DE LA FLORACIÓN CON ÁCIDO GIBERÉLICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL AGUACATE

RESUMEN

El aguacate (*Persea americana* Mill.), pertenece a la familia Lauraceae, una especie de origen americano de clima subtropical. Su cultivo, en los últimos años, ha adquirido gran importancia en España, debido a un aumento de demanda en el mercado, siendo el principal país productor europeo.

Uno de los principales problemas de esta especie es su dicogamia. Esto significa que, aún siendo sus flores hermafroditas, la fecundación se ve dificultada porque sus fases sexuales, masculina y femenina, no coinciden en el tiempo. Además, la antesis y capacidad de fecundación de la flor tienen una duración de dos días. Todo ello conlleva a una capacidad reproductiva extremadamente baja, pero no explica que menos de un 0.1% de las flores formadas consigan desarrollar un fruto hasta su maduración. La hipótesis más aceptada indica que esta baja productividad es a través de una marcada competencia entre flores en desarrollo, por una parte, y entre éstas y el desarrollo vegetativo, por otra. La reducción de la floración, por tanto, puede ser una vía indirecta para aumentar la producción de esta especie.

La aplicación de ácido giberélico (50 mg l^{-1}) a la copa del árbol durante el periodo de reposo de un año OFF, redujo considerablemente la floración del año siguiente en el aguacate 'Lamb Hass'. El resultado dependió de la fecha de tratamiento, siendo más efectiva a mediados de febrero que a finales de noviembre, bajo las condiciones climáticas de la Cuenca Mediterránea. El mejor tratamiento redujo significativamente el número de brotaciones, y, por tanto, el número total de inflorescencias. Aunque el número de flores por inflorescencia sólo disminuyó ligeramente, el tratamiento redujo significativamente la intensidad de floración hasta un 45-55%.

En antesis, el peso de las flores se incrementó más de un 30% debido al tratamiento, y 15 días después el número de frutos recién cuajados por inflorescencia de los árboles tratados casi duplicó al de los controles.

El tratamiento también provocó un mayor y más precoz desarrollo de los brotes vegetativos de las inflorescencias indeterminadas en comparación con los árboles sin tratar.

La abscisión de flores y frutos se retrasó más de 20 días debido al tratamiento, y el número total de frutos caídos también se redujo. Por tanto, al final de la caída fisiológica de frutos, mientras los árboles control tenían 1-3 frutos por 10 inflorescencias, los árboles tratados tuvieron 4-6 frutos. El peso de frutos apenas varió entre tratamientos.

Los resultados sugieren que la menor brotación de las yemas laterales fue, en gran parte, responsable de la reducción de la intensidad de floración causada por ácido giberélico, y que la competición por fotoasimilados puede ser uno de los factores responsables de la persistencia del fruto en el árbol.

PALABRAS CLAVE: ácido giberélico, aguacate, cuajado, floración

AUTOR: Elena Chaveli López

TUTORES: Carmina Reig Valor y Manuel Agustí Fonfría

Valencia, noviembre de 2020

TITLE: EFFECT OF FLOWERING REDUCTION WITH GIBBERELIC ACID ON AVOCADO PRODUCTION

ABSTRACT

The avocado (*Persea americana* Mill.), belongs to the Lauraceae family, a subtropical species of American origin. Its cultivation has become of importance in the recent years in Spain, due to an increased market demand.

One of the most important problem of this species is the dichogamy, but it doesn't explain the extremelly low capacity to set, since less than 0.1% of the initial flowers develop into mature fruit. The most accepted hypothesis explains this low productivity through a competition between developing flowers and vegetative growth. Accordingly, the reduction of flowering might be an indirect way to increase fruit production of this species.

The application of gibberellic acid (50 mg l^{-1}) to the whole tree during the rest period of an OFF year, significantly reduced flowering in 'Lamb Hass' avocado. The response depended on the date of treatment, mid-February being more effective than late in November under the Mediterranean climatic conditions. The best treatment significantly reduced the number of sprouted buds, and, thus, the total number of inflorescences. Although the number of flowers per inflorescence slightly decreased, treatment significantly lessened flowering intensity up to 45-55%.

At anthesis, flower weight was increased by more than 30% due to the treatment, and 15 days later the number of developing fruitlets per inflorescence of treated trees almost doubled that of control ones.

Treatment also caused precocious and higher development of the vegetative shoot of indeterminate inflorescences relative to untreated trees.

Flower and fruitlet abscission were delayed by more than 20 days due to the treatment, and total number of abscised fruitlets was also reduced. Hence, at the end of the physiological fruitlet abscission, whereas the control trees had 1-3 fruit per 10 inflorescences those from treated trees had 4-6 fruits. Fruit weight scarcely varied between treatments.

Results suggest that less sprouting of lateral buds was largely responsible for the reduction in flowering intensity caused by gibberellic acid, and that competition for resources may be a factor responsible for fruit set.

KEYWORDS: gibberellic acid, avocado, fruit set, flowering

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis tutores, Manolo y Carmina, por toda su dedicación estos meses tan complicados, por los conocimientos transmitidos, por su ayuda ante los problemas que iban saliendo y estar siempre disponibles cuando lo he necesitado, y sobretodo, gracias, por haber confiado en mi para hacer este proyecto.

A Vicent por su ayuda y dedicación en el campo .

A mis padres y mis hermanas, por estar siempre conmigo, porque todo lo que soy, es gracias a ellos. Quiero dar las gracias especialmente a mi padre y mi yayo, porque representan todo lo que quiero llegar a ser en un futuro y han sido mi fuente de inspiración para estudiar este grado.

Y a Jose, por estar siempre cuando lo necesito, apoyándome todos estos años y hacérmelo todo más fácil.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
LOCALIZACIÓN BOTÁNICA DEL AGUACATE. ORIGEN. RAZAS.	2
VARIETADES MÁS IMPORTANTES DEL CULTIVO.	3
EXIGENCIAS AMBIENTALES.	3
PRODUCCIÓN MUNDIAL. PAÍSES PRODUCTORES Y EXPORTADORES.	4
LA FLORACIÓN DEL AGUACATE. BROTEACIÓN ESTRUCTURAS FLORALES. FECUNDACIÓN. DICOGAMIA.	4
PERIODO DE INDUCCIÓN FLORAL. CONTROL GENÉTICO. EL PAPEL DEL FRUTO EN LA FLORACIÓN.	6
LAS RELACIONES DE COMPETENCIA DURANTE EL CUAJADO. INTENSIDAD DE FLORACIÓN. PANÍCULAS INDETERMINADAS VS. DETERMINADAS.	7
EL PAPEL DE LAS GIBERELINAS EN LA FLORACIÓN DE LAS ESPECIES LEÑOSAS.	8
OBJETIVOS	9
OBJETIVOS	10
MATERIAL Y MÉTODOS	11
MATERIAL VEGETAL	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
EFICACIA DE LA APLICACIÓN DE ACIDO GIBERÉLICO SOBRE LA FLORACIÓN. INFLUENCIA DE LA ÉPOCA DE TRATAMIENTO	15
RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE FLORES Y SU PESO INDIVIDUAL	18
ABSCISIÓN DE ÓRGANOS REPRODUCTIVOS	19
CUAJADO DE FLORES	22
CONCLUSIONES	26
CONCLUSIONES	27
BIBLIOGRAFÍA	28
BIBLIOGRAFÍA	29

ÍNDICE DE FIGURAS

- FIG. 1.** PORCENTAJE DE YEMAS BROTADAS EN ÁRBOLES DE AGUACATE 'LAMB HASS' TRATADOS CON ÁCIDO GIBERÉLICO (GA3, 50 MG/L) EN LA ÉPOCA DE INDUCCIÓN (A) Y DIFERENCIACIÓN FLORAL (B), Y SIN TRATAR (CONTROL). CADA VALOR ES LA MEDIA DE 6 ÁRBOLES. LAS BARRAS VERTICALES INDICAN EL ERROR STANDARD. EN AMBOS CASOS LAS DIFERENCIAS ALCANZARON LA SIGNIFICACIÓN ESTADÍSTICA ($P \leq 0.05$).15
- FIG. 2.** EFECTO DE LA APLICACIÓN DE 50 MG L-1 DE ÁCIDO GIBERÉLICO DURANTE LA ÉPOCA DE INDUCCIÓN FLORAL SOBRE EL NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA Y SU PESO EN EL AGUACATE 'LAMB HASS' AL INICIO DE LA BROTAÇÃO (29 DE FEBRERO). CADA VALOR ES LA MEDIA DE 6 ÁRBOLES Y 10 INFLORESCENCIAS POR ÁRBOL. LAS BARRAS VERTICALES INDICAN EL ERROR STANDARD. LA DIFERENCIA ENTRE EL NÚMERO DE FLORES ES ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVA ($P < 0.05$).16
- FIG. 3.** EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO (GA3 50 MG L-1) DURANTE LA INDUCCIÓN FLORAL SOBRE EL NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA Y SU PESO MEDIO EN ÁRBOLES DE AGUACATE 'LAMB HASS' EN EL MOMENTO DEL CUAJADO. CADA VALOR ES LA MEDIA DE 6 ÁRBOLES. LAS BARRAS VERTICALES INDICAN EL ERROR STANDARD. LAS DIFERENCIAS ENTRE MEDIAS SON ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVAS ($P < 0.05$).17
- FIG. 4.** EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO (GA3 50 MG L-1) DURANTE LA DIFERENCIACIÓN FLORAL SOBRE EL NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA Y SU PESO MEDIO EN ÁRBOLES DE AGUACATE 'LAMB HASS'. CADA VALOR ES LA MEDIA DE 6 ÁRBOLES Y 10 INFLORESCENCIAS POR ÁRBOL. LAS BARRAS VERTICALES INDICAN EL ERROR STANDARD. * INDICA DIFERENCIA ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVA ($P < 0.05$)17
- FIG. 5.** RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE FLORES EN DESARROLLO POR PANÍCULA Y SU PESO INDIVIDUAL EN ÁRBOLES DE AGUACATE 'LAMB HASS' TRATADOS CON ÁCIDO GIBERÉLICO (50 MG L-1) EN LA ÉPOCA DE INDUCCIÓN FLORAL. CADA VALOR ES LA MEDIA DE 6 ÁRBOLES.18
- FIG. 6.** EVOLUCIÓN DE LA ABCISIÓN DE ÓRGANOS REPRODUCTIVOS POR INFLORESCENCIA EN ÁRBOLES DE AGUACATE 'LAMB HASS' TRATADOS CON 50 MG L-1 DE ÁCIDO GIBERÉLICO DURANTE LA ÉPOCA DE INDUCCIÓN FLORAL. CADA VALOR ES LA MEDIA DE 6 ÁRBOLES Y 10 INFLORESCENCIAS POR ÁRBOL.19
- FIG. 7.** EVOLUCIÓN DE LA ABCISIÓN DE FLORES (A) Y FRUTOS (B) EN ÁRBOLES DE AGUACATE 'LAMB HASS' TRATADOS CON 50 MG L-1 DE ÁCIDO GIBERÉLICO EN LA ÉPOCA DE INDUCCIÓN FLORAL. CADA VALOR ES LA MEDIA DE 6 ÁRBOLES Y 10 INFLORESCENCIAS POR ÁRBOL.20
- FIG. 8.** EFECTO DE LA APLICACIÓN DE 50 MG L-1 DE ÁCIDO GIBERÉLICO DURANTE LA ÉPOCA DE INDUCCIÓN FLORAL SOBRE LA VOLUCIÓN DE LA TASA DE ABCISIÓN DIARIA DE ÓRGANOS REPRODUCTIVOS DEL AGUACATE 'LAMB HASS'. CADA VALOR ES LA MEDIA DE 6 ÁRBOLES.21
- FIG. 9.** EFECTO DE LA REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE FLORES SOBRE EL PORCENTAJE DE LAS RECIÉN CUAJADAS POR INFLORESCENCIA TRAS LA ANTESIS (A; 19 DE ABRIL), AL FINAL DEL PRIMER (B; 25 DE ABRIL) Y SEGUNDO PICO DE ABCISIÓN (C; 13 DE MAYO), Y AL FINAL DE

LA CAÍDA FISIOLÓGICA DE FRUTOS (D; 3 DE JUNIO) EN ÁRBOLES DE AGUACATE 'LAMB HASS' TRATADOS CON ÁCIDO GIBERÉLICO (50 MG L-1) EN LA ÉPOCA DE INDUCCIÓN FLORAL. CADA VALOR ES LA MEDIA DE 6 ÁRBOLES Y 10 PANÍCULAS POR ÁRBOL. LAS BARRAS VERTICALES INDICAN EL ERROR ESTÁNDAR.23

FIG. 10. EFECTO DE LA REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE FLORES SOBRE EL NÚMERO DE FRUTOS POR INFLORESCENCIA Y EL NÚMERO DE FRUTOS POR ÁRBOL EN ÁRBOLES DE AGUACATE 'LAMB HASS' TRATADOS CON ÁCIDO GIBERÉLICO (50 MG L-1) EN LA ÉPOCA DE INDUCCIÓN FLORAL Y SIN TRATAR. CADA VALOR ES LA MEDIA DE 6 ÁRBOLES Y 10 PANÍCULAS POR ÁRBOL. LAS BARRAS VERTICALES INDICAN EL ERROR ESTÁNDAR. NO EXISTEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS.24

FIG. 11. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO (50 MG L-1) DURANTE LA ÉPOCA DE INDUCCIÓN FLORAL SOBRE EL DESARROLLO DE LOS BROTES VEGETATIVOS DE LAS INFLORESCENCIAS INDETERMINADAS DEL AGUACATE CV. LAM HASS. CADA VALOR ES LA MEDIA DE 10 BROTES POR ÁRBOL Y 6 ÁRBOLES. LAS BARRAS VERTICALES INDICAN EL ERROR ESTÁNDAR. * INDICA DIFERENCIA ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVA (P<0.05).25

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPORTAMIENTO FLORAL DEL AGUACATE Y SU DIVISIÓN EN GRUPOS.....5

INTRODUCCIÓN

LOCALIZACIÓN BOTÁNICA DEL AGUACATE. ORIGEN. RAZAS.

El aguacate (*Persea americana* Mill.) pertenece al orden Laurales de la familia Lauraceae. El género *Persea* se clasifica en dos subgéneros, *Eriodaphne* y *Persea*. Las especies del subgénero *Eriodaphne* no se comercializan. El subgénero *Persea*, contiene un mayor número de especies que el subgénero *Eriodaphne* y es el que incluye el aguacate, *Persea americana*. Ambos subgéneros poseen incompatibilidad vegetativa (Frolich *et al.*, 1958).

El origen del aguacate se sitúa en el centro de México y partes altas de Guatemala, donde se encontraron las primeras plantas silvestres y donde se llevó a cabo su domesticación (Williams, 1977b). La evidencia más antigua del cultivo de aguacate se sitúa entre los años 8.000 y 7.000 a.C de acuerdo con los restos encontrados en una cueva situada en la región de Tehuacán, México (Smith, 1966). El aguacate llegó a España en el año 1600 y, posteriormente, comenzó su dispersión mundial (Smith, 1992).

Los aguacates cultivados se dividen en tres razas (Ftg. 1) (Bergh y Ellstrand, 1987):

- *Persea americana* var. *Guatemalensis*. Se denomina *raza guatemalteca*, de clima exclusivamente tropical. Se originó en Guatemala. Su corteza es bastante gruesa, tiene resistencia al transporte, pero la dureza del fruto dificulta saber si el fruto ya está maduro para su consumo.
- *Persea americana* var. *Drymifolia*. Es la *raza mejicana*, de clima parcialmente tropical, con resistencia al frío. Los frutos tienden a tener un tamaño pequeño y su contenido en aceite es elevado. Se originó en México.
- *Persea americana* var. *Americana*. O *raza antillana*, originaria de Centroamérica, de clima exclusivamente tropical. Es tolerante a la salinidad y, por eso, se utiliza como portainjertos. Los frutos tienden a tener un tamaño mayor que las otras razas y tiene un menor contenido en aceite.



Ftg. 1: Frutos de aguacate de las tres razas. De izquierda a derecha: raza mexicana, raza guatemalteca y raza antillana (Fotg. A. F. Barrientos).

VARIETADES MÁS IMPORTANTES DEL CULTIVO.

Las variedades comerciales derivan de las principales razas de aguacates. Las más importantes son las siguientes:

- *Bacon*. Híbrido de raza mejicana x guatemalteca. Fruto de gran tamaño, con la piel fina, lisa y de color verde brillante. Es una variedad precoz que madura a partir de octubre, con una producción elevada y uniforme. Resiste el frío hasta los -4°C y es sensible a viento. Perteneciente al grupo floral 'B'.
- *Fuerte*. Híbrido de raza mejicana x guatemalteca. Fruto de tamaño medio-grande, piel lisa de color verde oscuro y gruesa, por lo que tiene un buen comportamiento poscosecha. Es una variedad precoz, madura en diciembre, con una producción irregular y baja. Sensible al frío y a las altas temperaturas. Perteneciente al grupo floral 'B'.
- *Hass*. Es la variedad más cultivada en el mundo. Proviene de raza guatemalteca, fruto de tamaño medio-pequeño, de color marrón oscuro y rugoso. Su maduración empieza en febrero, su producción es uniforme y alta, con tendencia a ser alternante. Sensible a las bajas y altas temperaturas. Perteneciente al grupo floral 'A'.
- *Lambhass*. Procede de una hibridación de Gwen x Thille. Fruto de tamaño medio-pequeño, de color marrón oscuro y rugoso, similar al del cv. Hass. Más productiva que ésta, de maduración más tardía y ligeramente menos alternante. De porte erecto, con una copa vigorosa y compacta. Sensible a altas y bajas temperaturas. Perteneciente al grupo floral 'A'.
- *Reed*. Híbrido de Anaheim x Nabal, de raza guatemalteca. Tamaño del fruto grande-medio, piel de color verde y ligeramente rugosa. Variedad tardía, con una producción alta, pero irregular. Sensible a las bajas temperaturas. Perteneciente al grupo floral 'A'.

EXIGENCIAS AMBIENTALES.

En las zonas subtropicales las temperaturas óptimas para el cultivo de esta especie se sitúan en torno a los 25°C por el día y no inferiores a 16°C por la noche. Es necesaria una temperatura sobre los 10°C durante un periodo corto de tiempo para el estímulo de la inducción floral. El cuajado también se ve influido por la temperatura, si supera las 36°C puede haber una abscisión masiva de frutos, y en el caso de que la temperatura alcance valores inferiores a 16°C puede provocar problemas en la fecundación dando lugar a frutos partenocárpicos, frutos alargados y pequeños denominados *paltines*. Temperaturas entre 20-25°C favorecen la persistencia del fruto en el árbol y temperaturas mayores a 28°C desencadenan la abscisión de flores (Lovatt, 1990). Temperaturas bajas provocan daños irreversibles en las hojas y frutos, temperaturas y luminosidades elevadas pueden dañar el fruto (golpe de sol).

Es exigente en HR. Para valores inferiores al 50% el estigma se deseca, lo que dificulta la germinación del grano de polen. Se puede cultivar en zonas con pluviometría entre 665 y 2.000 mm/año, y en aquellas en las que no se alcancen dichos valores, o sea irregular, es necesario el riego. Es muy sensible al encharcamiento, lo que favorece el desarrollo del hongo *Phytophthora cinamomni*, por lo que conviene que el terreno donde se cultive tenga mucho drenaje (Jorge *et al.*, 2008).

Es muy sensible a los vientos cálidos y fríos que promueven la abscisión de frutos y dañan las hojas, respectivamente. Si el viento alcanza velocidades por encima de 20 km/h o es constante, puede romper ramas, dañar hojas y brotes y promover la caída de flores.

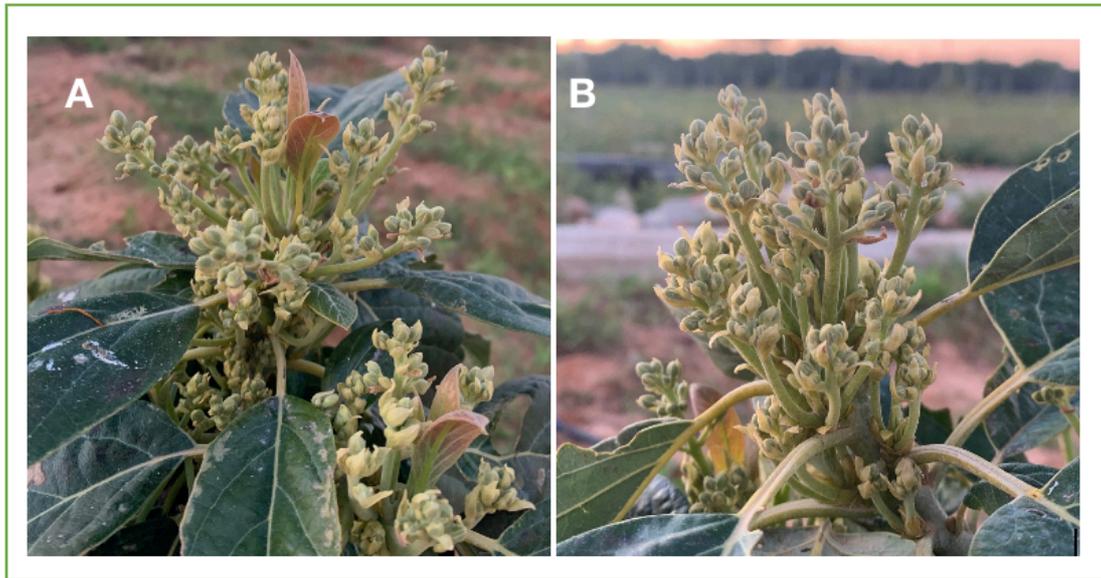
PRODUCCIÓN MUNDIAL. PAÍSES PRODUCTORES Y EXPORTADORES.

Según los datos de FAOSTAT en el año 2018, la producción mundial de aguacates fue de 6.407.171 t. El principal productor fue México (2.184.663 t), siguiéndole República Dominicana (644.306 t), Perú (504.517 t), Indonesia (410.094 t), Colombia (326.666 t), Brasil (235.787 t), Kenya (233.933) y EE.UU (168.528 t). España tiene una producción de 89.592 t y se cultivan 12.161 ha. Los principales países exportadores de aguacate son México, Países Bajos y Perú.

LA FLORACIÓN DEL AGUACATE. BROTACIÓN ESTRUCTURAS FLORALES. FECUNDACIÓN. DICOGAMIA.

La flor del aguacate es muy pequeña. Cuando está cerrada mide 5 mm de diámetro y en anthesis alrededor de 1 cm. Es hermafrodita. Cada flor posee 2 verticilos de 6 tépalos (3 son sépalos y 3 pétalos). El pistilo es simple, contiene un carpelo con un sólo óvulo, el estilo es alargado terminando en un estigma ligeramente amplio. Tiene nueve estambres insertados en dos verticilos; el verticilo interior consta de 3 estambres, y alternándose entre ellos, se encuentran los estaminodios (estambres estériles, abortados, pero que producen néctar), el verticilo exterior se sitúa en el lado opuesto del verticilo interior (Schroeder, 1940).

El aguacate produce dos tipos de brotes florales (Ftg. 2), indeterminados, en los que el eje principal continúa el crecimiento vegetativo, y determinados, en los que la yema terminal desarrolla flores (Reece, 1942; Schroeder, 1944). Las indeterminadas son más abundantes (Salazar-García *et al.*, 1998), y ambos tipos de brotes tienen ejes secundarios que forman inflorescencias laterales (panículas), y éstas, a su vez, ejes terciarios que forman cimbras (Salazar-García *et al.*, 2013). Estos últimos son dicásicos, es decir, que cada brote acaba en dos flores laterales y una terminal.



Ftg. 2: Panícula indeterminada (A) y determinada (B)

El periodo de la floración del aguacate dura dos meses, aproximadamente, y la antesis dos días. Presenta dicogamia protogínica, es decir, las fases masculina y femenina de la flor no coinciden en el tiempo y la primera apertura de la flor es femenina, y sincronía diurna, esto es, que el proceso ocurre durante el día.

De acuerdo con ello, existen dos grupos de variedades, A y B, cuyo comportamiento floral se describe en la Tabla 1.

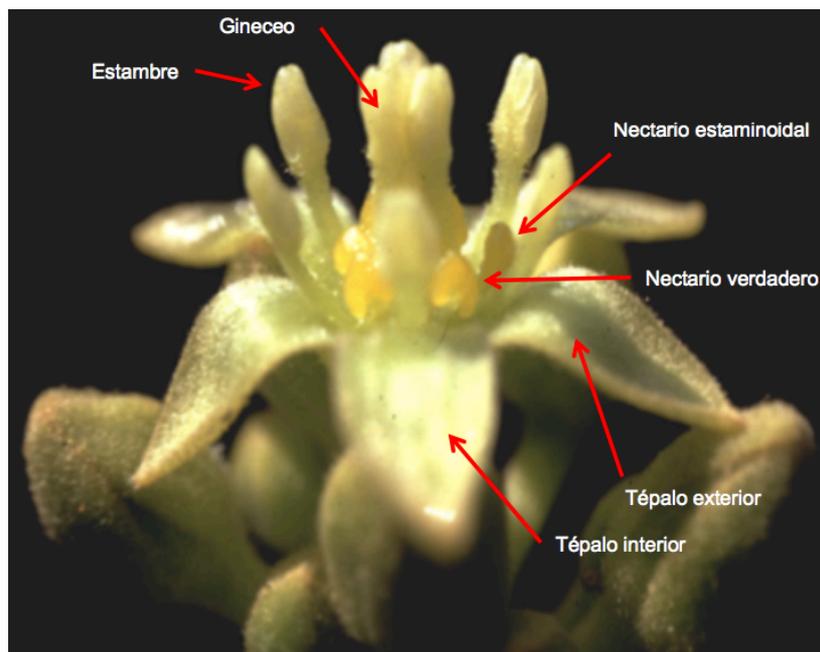
Tabla 1. Comportamiento floral del aguacate y su división en Grupos

Comportamiento floral				
Grupo floral	Día 1		Día 2	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
A	Femenina	Cerrada	Cerrada	Masculina
B	Cerrada	Femenina	Masculina	Cerrada

Al inicio de la antesis, la flor presenta su fase femenina (Ftg. 3), y los tépalos se disponen de forma perpendicular al eje de la flor. El pistilo, que adquiere un color blanco-verdoso, está erecto y con el estigma fresco, los estambres se encuentran apoyados y con las anteras cerradas. Los estaminoides se encuentran erectos y segregando gran cantidad de néctar. Al terminar la fase femenina, la flor se cierra y cuando se abre en fase masculina, el estigma está marchito, los estambres erectos con los sacos polínicos abiertos y liberando polen, y sus nectarios frescos y segregando néctar (Sedgley y Annells, 1981; Cabezas *et al.*, 2003).

En los cultivares con el tipo floral A, la flor es femenina la mañana del día 1, a mediodía se cierra, y la tarde del día 2 se abre en fase masculina. En los de tipo floral B, la flor abre en fase femenina la tarde del día 1, al atardecer se cierra, y la mañana del día 2 se abre en fase masculina. No obstante, y dependiendo de las condiciones ambientales, puede

originarse un cierto solape entre fases sexuales que puede durar 1 ó 2 horas. La temperatura es un factor determinante para ello, de modo que temperaturas superiores a 20°C lo favorecen y, por tanto, favorecen también el proceso de polinización; en cambio, noches frías retrasan e inhiben la fase femenina, y puede llegar a afectar a la sincronía de las fases (Dixon y Sher, 2002). Días cubiertos, con elevada HR, pueden retrasar hasta 3 horas la apertura de la fase femenina (Sedgley, 1977). Sea como fuere, es necesario disponer de variedades tipo A y tipo B en la misma plantación para asegurar la fecundación. La distribución recomendada, si se cultiva una variedad del Grupo A, es 1 árbol del tipo B por cada 9 del grupo A, y viceversa.



Ftg. 3: Flor aguacate fase femenina

PERIODO DE INDUCCIÓN FLORAL. CONTROL GENÉTICO. EL PAPEL DEL FRUTO EN LA FLORACIÓN.

La inducción floral es un proceso biológico que ocurre en la hoja y mediante el cual ésta recibe una señal ambiental que transmite al meristemo y éste modifica su programa de desarrollo para convertirse en una inflorescencia o una flor. La señal ambiental exógena puede ser el frío o el estrés hídrico. Un estudio realizado por Salazar-García *et al.* (1999) demostró que al someter árboles de aguacate a 10°C con un fotoperiodo de 10h/día y 14h/noche, el 83% de yemas formaron inflorescencias. Otros estudios mencionan que con temperaturas inferiores a 19°C ya se obtienen estos resultados, aunque un factor

determinante es el tiempo de exposición (Salazar-García *et al.*, 2006; Cossio-Vargas *et al.*, 2007).

Los estudios sugieren que, aunque la floración de las diferentes especies es extremadamente diversa, hay un conjunto universal de genes que controla la inducción floral en respuesta a factores exógenos (como los cambios de temperatura) o endógenos (como cambios en la disponibilidad de azúcares u hormonas) (Ziv *et al.*, 2014). Estudios realizados con la especie *Arabidopsis thaliana* identificaron cinco rutas de control de la transición de la etapa vegetativa a reproductiva, son el fotoperiodo, la vernalización, las giberelinas, la edad y la inducción autónoma. Todas ellas convergen en el gen *FLOWERING LOCUS T (FT)* (Urrea-López, 2017). El gen *FT* actúa enviando una señal que se transporta, vía floema, desde las hojas hasta el meristemo terminal (Chunyang Li *et al.*, 2011).

Pero cuando el fruto se halla presente en el árbol en la época de inducción floral se convierte en un factor represor de la expresión de dicho gen (Muñoz-Fambuena *et al.*, 2011), de modo que las yemas próximas a éste ven reprimido su programa reproductivo y no florecen.

En este sentido, uno de los principales problemas del cultivo de muchas especies frutícolas leñosas, y también del aguacate, es la alternancia de cosechas, esto es, a un año de elevada floración y cosecha (año ON) le sigue otro de baja o nula floración y cosecha (año OFF) (Salazar-García *et al.*, 1998). En el aguacate el problema se origina cuando el fruto persiste en el árbol a partir de la segunda caída fisiológica (septiembre) y alcanza la época de inducción floral (noviembre – diciembre) interfiriendo entonces en el proceso de inducción floral.

LAS RELACIONES DE COMPETENCIA DURANTE EL CUAJADO. INTENSIDAD DE FLORACIÓN. PANÍCULAS INDETERMINADAS VS. DETERMINADAS.

El aguacate genera una gran cantidad de inflorescencias, una panícula puede llegar a generar más de 100 flores, lo que significa que un árbol de aguacate puede llegar a tener más de un millón de flores. Sin embargo, de todas éstas se estima que solo llegan a cuajar entre el 0,001% y 0,1% (Whiley *et al.*, 1988).

En el HN, el periodo de floración comienza en los meses de marzo-abril y es máxima en el mes de mayo. A partir de ese momento las primeras flores polinizadas han cuajado, y, por tanto, los primeros frutos cuajados inician su desarrollo en plena floración. Por tanto, cuando éstos inician su fase lineal de crecimiento, el árbol está en plena floración y desarrollo vegetativo (el desarrollo puede ser bien de las yemas vegetativas o de las panículas indeterminadas), lo que provoca una fuerte competencia entre flores, frutos y hojas en crecimiento, originando la primera caída fisiológica de frutos. Este fenómeno ocurre durante los meses de mayo y junio. Según Sedgley (1987), la primera caída fisiológica puede estar cuantitativamente influida por las flores no fecundadas.

Al finalizar la primera caída fisiológica las temperaturas suben y las plantas interrumpen su desarrollo (parada estival). A principios de septiembre las temperaturas disminuyen,

el desarrollo vegetativo se reinicia y aparece de nuevo una época de competencia entre el desarrollo vegetativo y el desarrollo del fruto, produciéndose la segunda caída fisiológica de frutos.

EL PAPEL DE LAS GIBERELINAS EN LA FLORACIÓN DE LAS ESPECIES LEÑOSAS.

Las giberelinas (GAs) son hormonas de crecimiento diterpenoides tetracíclicas que regulan el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Existen más de 100 giberelinas, pero solo unas pocas demuestran actividad biológica.

En las especies leñosas, las giberelinas interfieren en el proceso de la inducción floral. Así, en condición es de Clima Mediterráneo, tratamientos realizados con ácido giberélico a finales de primavera inhiben parcialmente la floración del melocotonero, reduciendo el número de frutos que inicia su desarrollo y reduciendo los costes de aclareo manual (González-Rossia *et al.*, 2007). Y resultados similares se han logrado en el níspero japonés (Reig *et al.*, 2011), manzano (Luckwill, 1970; McArtney and Li, 1998; Tromp, 2000), mango (Turnbull *et al.*, 1996), albaricoquero (Southwick *et al.*, 1995) y ciruelo (González-Rossia *et al.*, 2006). En los cítricos, la aplicación de esta hormona durante el reposo invernal disminuye el número de flores formadas en naranjas navel que tienden a florecer abundantemente, redistribuye los diferentes tipos de brotes, aumentando la proporción de los florales con hojas y los vegetativos, y mejora el cuajado (Guardiola *et al.*, 1982). Y en el mango 'Keitt', su aplicación en los meses de septiembre-noviembre-enero y julio-septiembre-noviembre-enero, reduce la en más de un 50% el número de brotes florales (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2004).

De acuerdo con ello, la posibilidad de que las giberelinas reduzcan la floración del aguacate merece ser estudiada. El elevado número de flores que producen los árboles de esta especie podría estar relacionado con fenómenos de competencia entre órganos en desarrollo y con su dificultad de cuajado. En este trabajo se aborda el estudio bajo un punto de vista meramente agronómico, determinando la eficacia de la aplicación de ácido giberélico sobre la reducción de la brotación y la floración y la influencia de ello sobre la dinámica de abscisión de órganos reproductivos y, por tanto, sobre el cuajado de las flores.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

Estudio de la aplicación de ácido giberélico durante el periodo de inducción floral sobre la intensidad de floración y su relación con el cuajado de la flor en el aguacate (*Persea americana* Mill.).

MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL VEGETAL

Los experimentos se llevaron a cabo en dos plantaciones comerciales de aguacate 'Lamb Hass' de 15 años de edad, injertados sobre patrón Duke7, localizadas en Llaurí y Torrent (Valencia), respectivamente, utilizando el cv. Fuerte como polinizador, con un marco de plantación de 6 x 5m, riego localizado y protegido con mallas para evitar daños por viento. La fertilización, tratamientos fitosanitarios y poda, se llevan a cabo de acuerdo con los conocimientos tradicionales del cultivo.

Durante la época de inducción (noviembre, Ftg. 4) y diferenciación floral (febrero, Ftg. 5) se aplicó ácido giberélico (GA_3), a una concentración de 50 mg l^{-1} , utilizando como mojante un agente tensoactivo no-iónico a la concentración recomendada por el fabricante. Los tratamientos se realizaron mojando el árbol completamente hasta el goteo.



Ftg. 4: Estado de desarrollo de las yemas en el momento del primer tratamiento.

El diseño experimental fue de bloques al azar, con 3 bloques de 2 árboles por tratamiento cada uno.



Ftg.5: Estado de desarrollo de las yemas en el momento del segundo tratamiento.

En el momento en que se inició la brotación se eligieron al azar dos ramas por árbol, que contuvieran, al menos, 5 panículas, se evaluó el número de yemas brotadas y se contó el número de flores. Con el fin de evaluar la abscisión de flores/frutos, se contó, periódicamente, el número de éstas/os que permanecían en 15 panículas por árbol, seleccionadas al azar. De cada panícula se tomaron, al azar, 100 flores en preantesis, antesis, y en el momento del cuajado, se llevaron al laboratorio, a baja temperatura, y se pesaron.

De cada árbol se eligieron 10 brotes vegetativos al azar procedentes de inflorescencias indeterminadas y se midió, periódicamente, su longitud.

A los resultados obtenidos se les aplicó en análisis de la varianza, utilizando el test de Newman-Keuls para la separación de medias. En el caso de los porcentajes, a cada uno de ellos se les aplicó la transformación de $\text{arc sen } \sqrt{p}$ para normalizar la población.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EFICACIA DE LA APLICACIÓN DE ACIDO GIBERÉLICO SOBRE LA FLORACIÓN. INFLUENCIA DE LA ÉPOCA DE TRATAMIENTO

En los frutales, la aplicación de giberelinas durante la época de inducción floral reduce significativamente la intensidad de floración (Southwick y Glozer, 2000). En nuestros experimentos con aguacate, la aplicación de GA₃ a una concentración de 50 mg l⁻¹ en dicha época redujo la brotación hasta un 30% de las yemas, mientras que en los árboles control sin tratar el 49% de sus yemas habían brotado (Fig. 1 A). Del mismo modo, los árboles tratados a la misma concentración durante la diferenciación floral redujeron el número de yemas brotadas en un 25%, aproximadamente, respecto de los árboles control (Fig. 1 B).

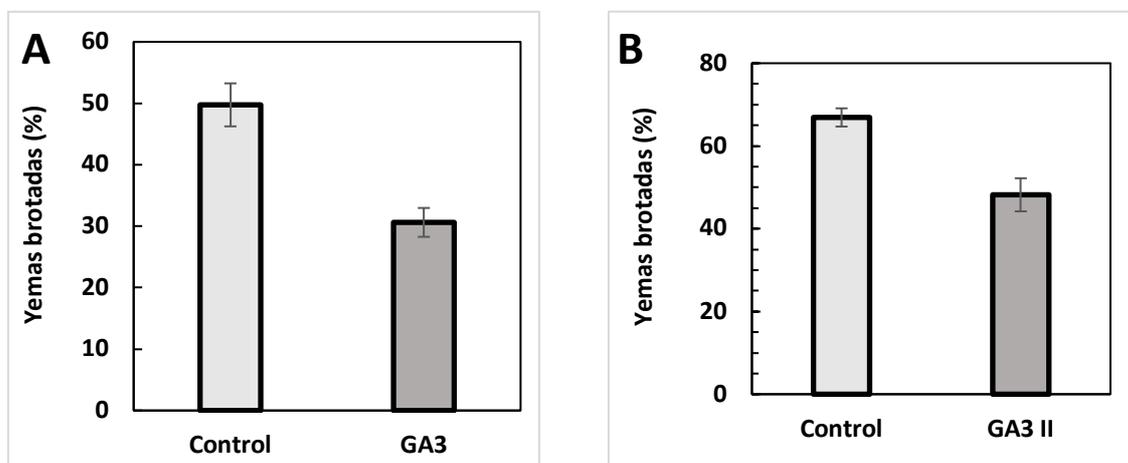


Fig. 1. Porcentaje de yemas brotadas en árboles de aguacate 'Lamb Hass' tratados con ácido giberélico (GA₃, 50 mg l⁻¹) en la época de inducción (A) y diferenciación floral (B), y sin tratar (control). Cada valor es la media de 6 árboles. Las barras verticales indican el error standard. En ambos casos las diferencias alcanzaron la significación estadística ($P \leq 0.05$).

Paralelamente a ello, el número de flores por inflorescencia también se redujo significativamente como consecuencia del tratamiento en la época de inducción floral, pasando de 340 flores en los árboles control a 269 en los tratados (Fig. 2 A), sin que su peso se viera significativamente modificado (Fig. 2 B).

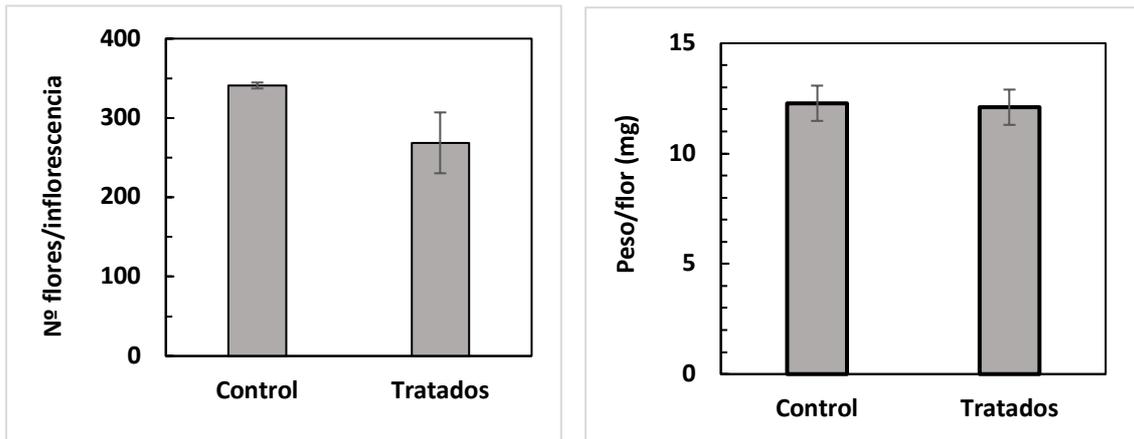


Fig. 2. Efecto de la aplicación de 50 mg l⁻¹ de ácido giberélico durante la época de inducción floral sobre el número de flores por inflorescencia y su peso en el aguacate 'Lamb Hass' al inicio de la brotación (29 de febrero). Cada valor es la media de 6 árboles y 10 inflorescencias por árbol. Las barras verticales indican el error standard. La diferencia entre el número de flores es estadísticamente significativa (P<0.05).

Estos resultados son similares a los obtenidos por Rossouw y Robbertse (2001), y a los observados en otras especies leñosas como en el naranjo dulce (Monselise y Halevy, 1964; Guardiola *et al.*, 1982), el mandarino Satsuma (Iwahori y Oohata, 1981), el melocotonero (González-Rossia *et al.*, 2007), el níspero japonés (Reig *et al.*, 2011) y el mango (Núñez-Elisea y Davenport, 1991). En el olivo, la aplicación de GA₃ durante la inducción y la diferenciación floral también se han mostrado eficaces para reducir significativamente la floración (Fichet y Henríquez, 2013). Sin embargo, Salazar y Lovat (2002) aplicando ácido giberélico (25 mg l⁻¹) durante la diferenciación floral no consiguieron reducir la brotación en el aguacate, lo que puede deberse a la menor concentración empleada en su estudio.

Con el tiempo, el número de flores que se mantuvieron en el árbol fue mayor en los árboles tratados que en los sin tratar. Así, en el momento del cuajado (11 de abril), 42 días después del tratamiento, mientras en los árboles tratados el número medio de flores por inflorescencia era de 130, en los árboles sin tratar era de 103, y su peso medio de 20 y 15 mg, respectivamente (Fig. 3).

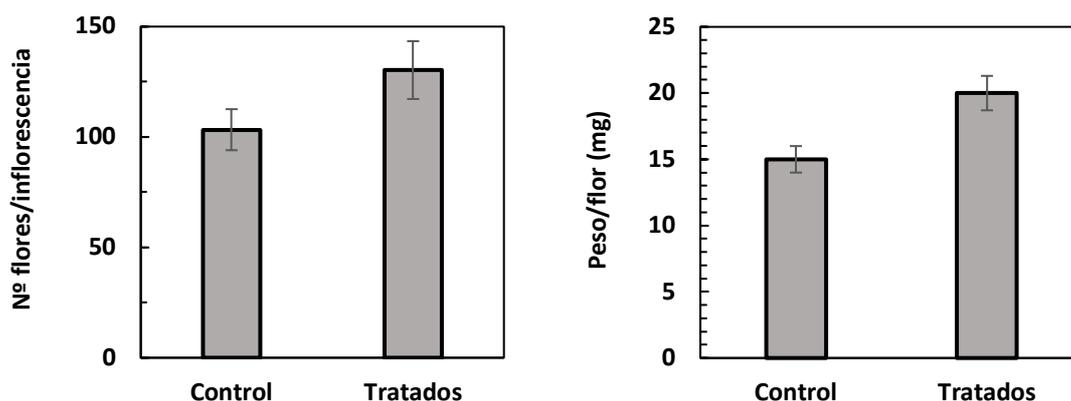


Fig. 3. Efecto de la aplicación de ácido giberélico (GA3 50 mg l⁻¹) durante la inducción floral sobre el número de flores por inflorescencia y su peso medio en árboles de aguacate ‘Lamb Hass’ en el momento del cuajado. Cada valor es la media de 6 árboles. Las barras verticales indican el error standard. Las diferencias entre medias son estadísticamente significativas (P<0.05).

Sin embargo, cuando el tratamiento se llevó a cabo durante la diferenciación floral, el número de flores por inflorescencia no se alteró significativamente respecto de los árboles sin tratar (Fig. 4), pero como el porcentaje de yemas brotadas sí fue reducido (Fig. 1B), los árboles tratados tuvieron una menor intensidad de floración que los controles sin tratar. El peso medio de las flores, tanto en pre-antesis como en antesis, también fue significativamente mayor en los árboles tratados en esta época (Fig. 4).

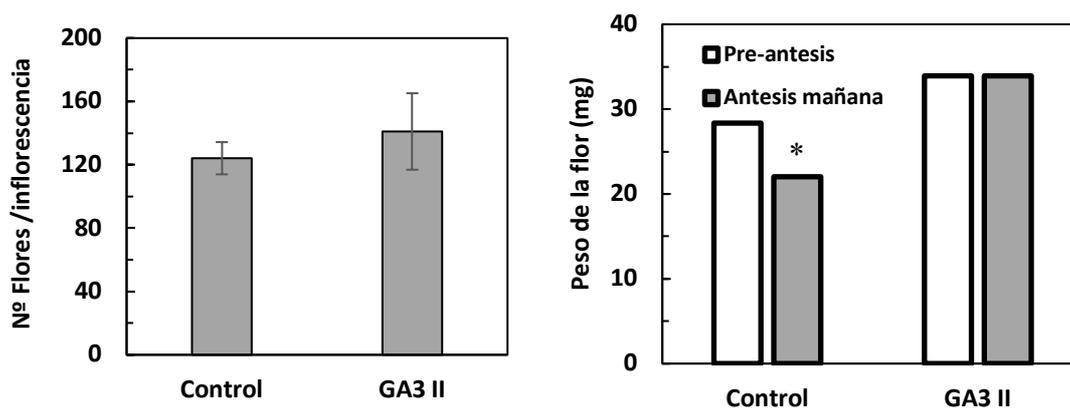


Fig. 4. Efecto de la aplicación de ácido giberélico (GA3 50 mg l⁻¹) durante la diferenciación floral sobre el número de flores por inflorescencia y su peso medio en árboles de aguacate ‘Lamb Hass’. Cada valor es la media de 6 árboles y 10 inflorescencias por árbol. Las barras verticales indican el error standard. * indica diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

En nuestro experimento, ambos tratamientos dieron lugar a un desarrollo más precoz de los brotes y a un mayor desarrollo vegetativo en los árboles tratados respecto de los

controles. Estos resultados coinciden con los de Salazar-García y Lovat (1998) que ponen de manifiesto, a su vez, que el desarrollo más precoz de los brotes no afecta al momento de la antesis, que se dio en la misma fecha que en los árboles control sin tratar.

RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE FLORES Y SU PESO INDIVIDUAL

En el aguacate, la relación entre el número de flores por panícula y el peso individual de la flor sigue una función negativa, de modo que cuanto menor es el número de flores por panícula mayor es la disponibilidad de nutrientes y, en consecuencia, su peso individual (Fig. 5), mejorando así su capacidad de cuajado.

Por lo tanto, una reducción de la floración se traduce en un mayor peso de las flores, y este efecto se ha relacionado con una reducción de la competencia entre frutos en desarrollo que maximiza su capacidad para aumentar de tamaño (Weinberger, 1941) y constituye el fundamento del aclareo de frutos para lograrlo. Esta hormona se aplica para reducir la floración y, con ello, reducir los costes de mano de obra de aclareo de frutos para aumentar su tamaño final en melocotoneros (Painter y Stembridge, 1972), nectarinas (García-Pallas *et al.*, 2001) y ciruelos (González-Rossia *et al.*, 2006).

Nuestros resultados indican un aumento del 67% en el peso individual de las flores (de 9.2 a 15.4 g) como consecuencia de la reducción del número de flores por acción del ácido giberélico aplicado durante la inducción floral (de 420 a 180 flores).

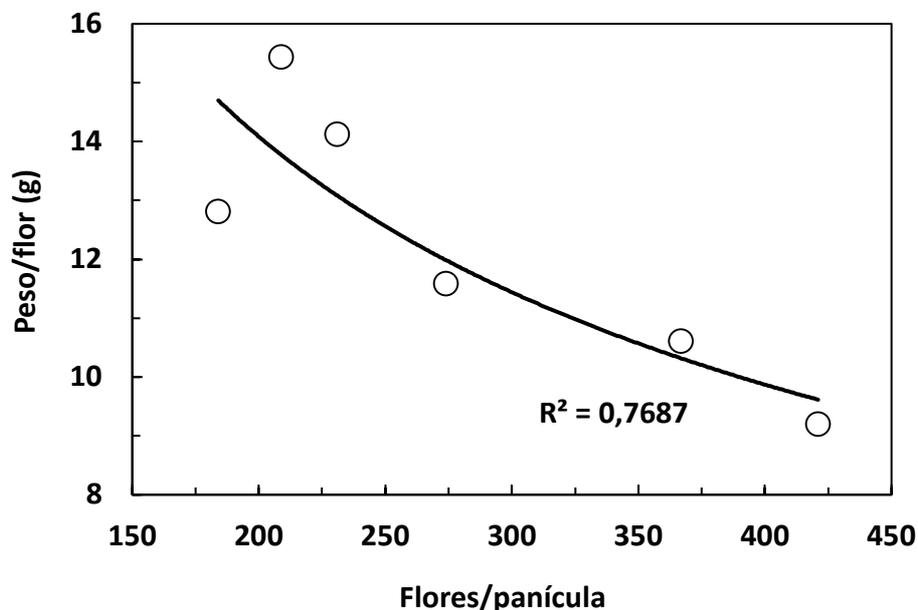


Fig. 5. Relación entre el número de flores en desarrollo por panícula y su peso individual en árboles de aguacate 'Lamb Hass'. Cada valor es la media de 6 árboles.

ABSCSIÓN DE ÓRGANOS REPRODUCTIVOS

Uno de los factores que determinan el cuajado final en los árboles frutales es la competencia entre órganos en desarrollo. Cuanto mayor es el número de flores que inician el desarrollo, mayor es la competencia entre ellas y mayor el número de las que se desprenden del árbol.

En nuestros experimentos, el primer efecto derivado de la reducción de la floración por la aplicación de ácido giberélico fue el retraso en la abscisión de órganos reproductivos. En el primer periodo, entre el inicio de la brotación (29 de febrero) y la antesis (11 de abril), mientras los árboles control sin tratar habían perdido una media de 237 flores por panícula, pasando de 340 a 103, los árboles tratados habían perdido 139 flores, pasando de 269 a 130 (Fig. 6).

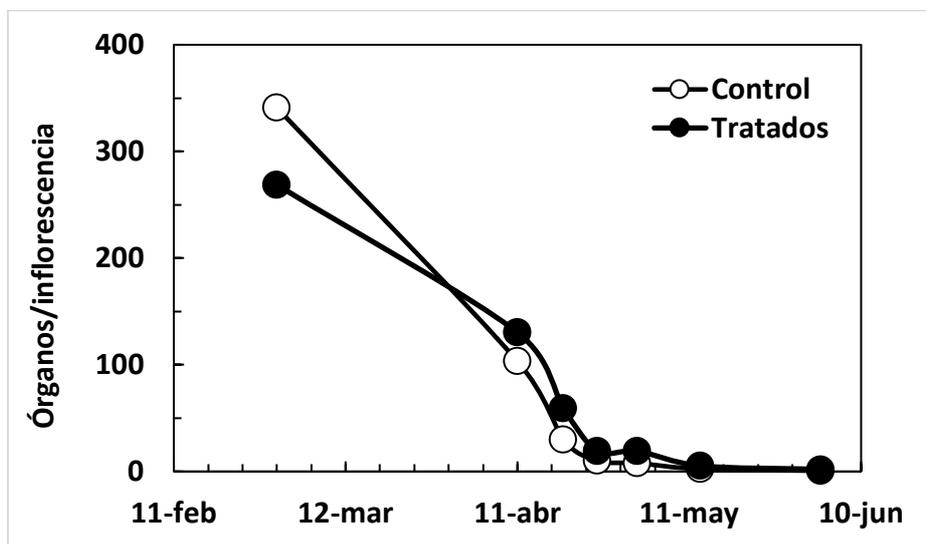


Fig. 6. Evolución de la abscisión de órganos reproductivos por inflorescencia en árboles de aguacate 'Lamb Hass' tratados con 50 mg l^{-1} de ácido giberélico durante la época de inducción floral. Cada valor es la media de 6 árboles y 10 inflorescencias por árbol.

Posteriormente, hasta el finales de abril (29 de abril), las diferencias aumentaron, cayendo 99 flores por panícula en los controles, que redujeron el número de flores hasta 4, y 21 en los tratados, que lo redujeron a 109 flores (Fig. 7 A).

En este periodo de tiempo la abscisión de flores y la de frutos recién cuajados coexistieron, de modo que en esa misma fecha (el 29 de abril) junto a las flores señaladas, los árboles control tenían 10 frutos recién cuajados por panícula y los tratados 20 (Fig. 7 B). Este periodo de solapamiento de flores y frutos duró 20 días, desde el 11 al 29 de abril (Fig. 7), y a partir de esta última fecha ya sólo abscindieron frutos recién cuajados. En esta última caída, a diferencia de las anteriores, el número de órganos desprendidos de los árboles tratados, 20 frutos, fue mayor que el de los controles, 8 frutos (Fig. 7 B).

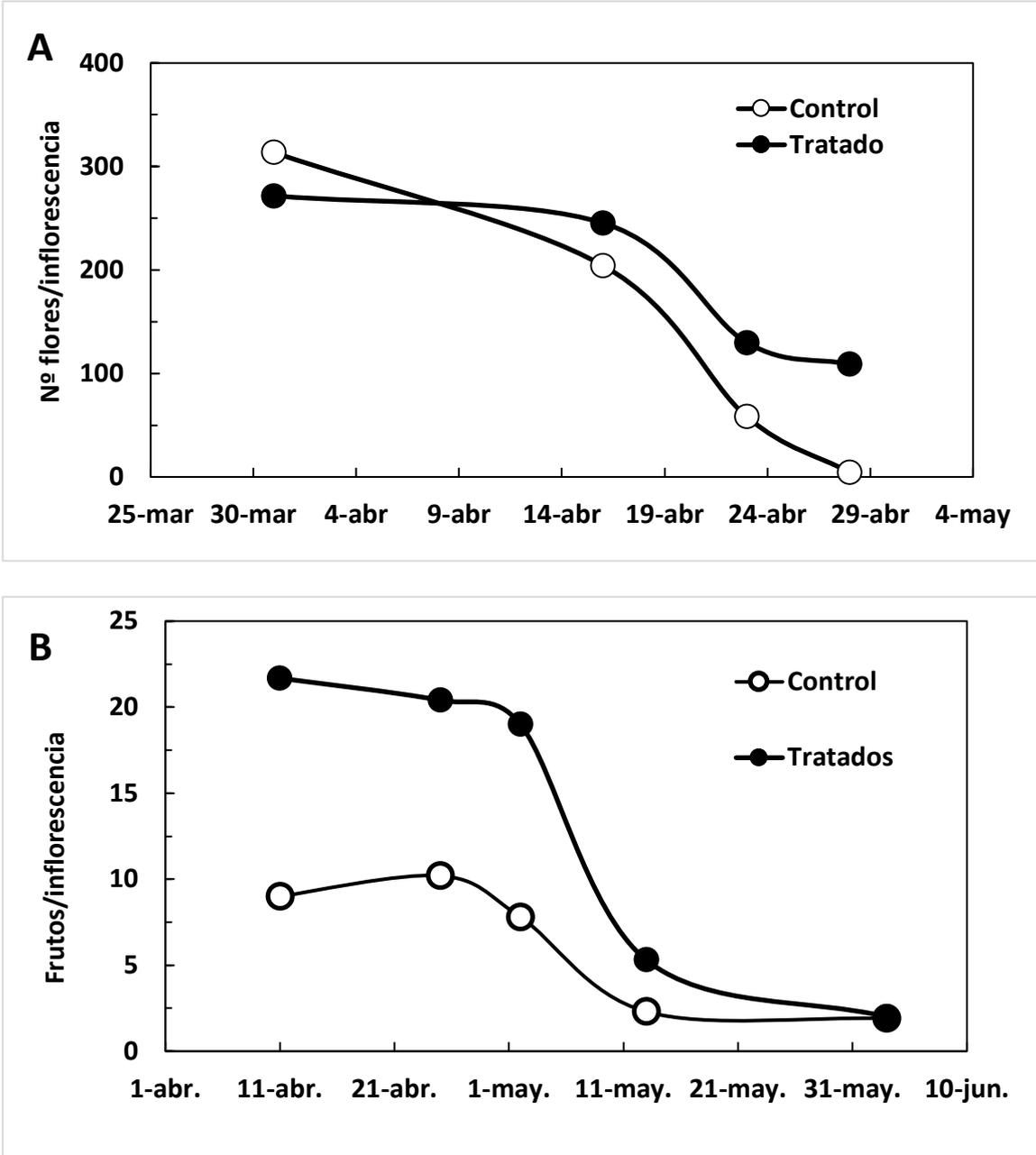


Fig. 7. Evolución de la abscisión de flores (A) y frutos (B) en árboles de aguacate 'Lamb Hass' tratados con 50 mg l⁻¹ de ácido giberélico en la época de inducción floral. Cada valor es la media de 6 árboles y 10 inflorescencias por árbol.

Esta evolución temporal de la abscisión de órganos reproductivos contemplada en su globalidad presenta dos picos, uno que se inicia con la antesis y alcanza su máximo 10 días, aproximadamente, después de ésta, y otro que tiene lugar 10 días mas tarde. El

primero marca la caída masiva de flores; el segundo, en consecuencia, afecta a los frutos recién cuajados. La aplicación de ácido giberélico en la época de inducción floral no alteró la dinámica de abscisión, pero sí la tasa diaria de órganos desprendidos que fue menor a lo largo de todo el periodo estudiado (Fig. 8).

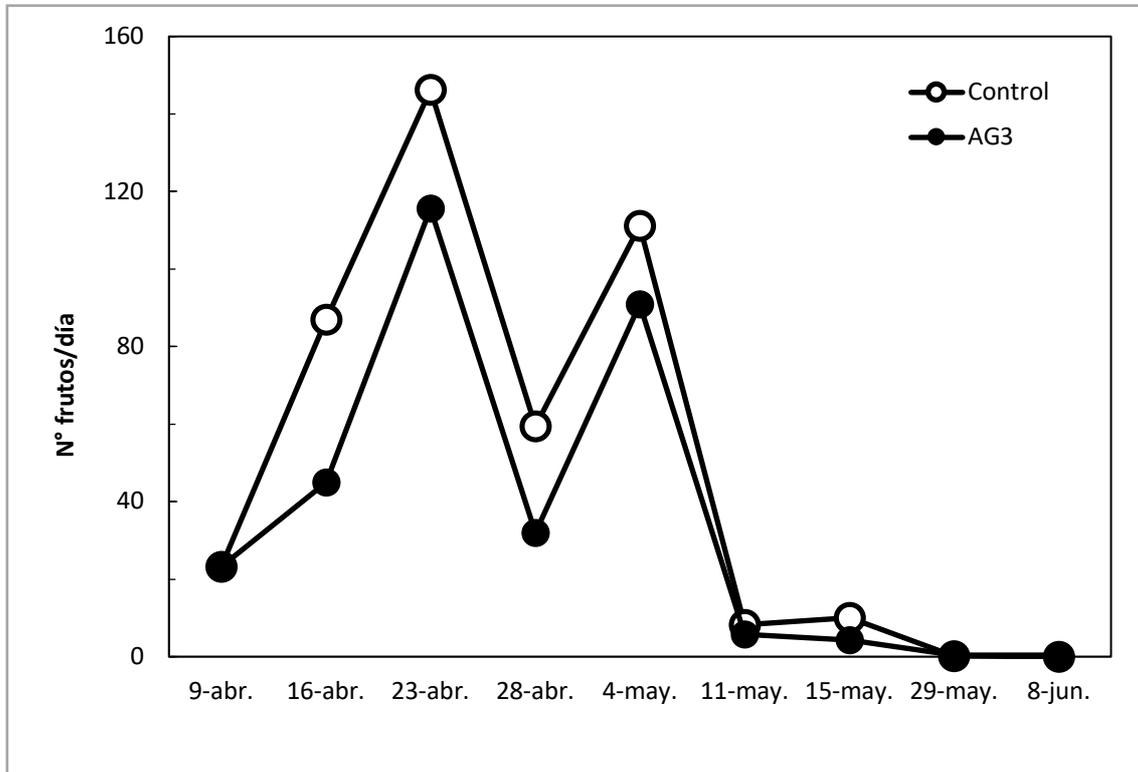


Fig. 8. Efecto de la aplicación de 50 mg l^{-1} de ácido giberélico durante la época de inducción floral sobre la volución de la tasa de abscisión diaria de órganos reproductivos del aguacate ‘Lamb Hass’. Cada valor es la media de 6 árboles.

Estos resultados coinciden con los de Garner y Lovatt (2008) trabajando con el cv. Fuerte, en el que describen una rápida caída de flores unos pocos días después de que la mayor parte de ellas hayan alcanzado la antesis. Esta dinámica de abscisión, por otra parte, es similar a la observada en otras especies como cítricos, mango, peral, manzano, etc. (Chadha, 1993; El-Otmani *et al.*, 1995; Osborne y Morgan, 1999), pero en el aguacate los órganos a los que afecta se dividen en tres grupos, las flores que no son polinizadas, las que lo son pero el óvulo no llega a ser fecundado (en algunas especies, la polinización en ausencia de fecundación es suficiente para estimular el desarrollo del ovario hasta la maduración), y las que ocurre tanto la polinización como la fecundación dando lugar a frutos con semilla (Lovatt, 1990). En la primera oleada de caída (Fig. 8), un 80% de las flores que caen han sido polinizadas pero no fecundadas, mientras que los órganos que se desprenden un mes más tarde son ya frutos en desarrollo puesto que el ovario presenta un desarrollo normal del embrión y el endospermo (Sedgley, 1987). La

primera, por tanto, se ha atribuido a la falta de desarrollo de la semilla, al aborto del embrión (Dixon y Share, 2002) o al efecto de un estrés térmico (frío o calor) (Gazit and Degani, 2002); la segunda, a la rápida utilización de las reservas de carbohidratos, lo que indica que la actividad fotosintética es crucial para el mantenimiento de estos frutos en el árbol (Gazit and Degani, 2002). Bajo este punto de vista, sólo los frutos más vigorosos progresan en su crecimiento, lo que ha sugerido que la competencia entre el desarrollo vegetativo y reproductivo podría ser responsable de la producción (Bower y Cutting, 1988; Gazit and Degani, 2002, Zilkah *et al.*, 1987). La disponibilidad por carbohidratos se considera un factor clave de la abscisión de órganos reproductivos. Así, la utilización de técnicas capaces de aumentar los niveles de carbohidratos da lugar a un aumento del número de frutos y de su tamaño, o lo que es lo mismo, la abscisión de frutos recién cuajados es el resultado de una insuficiente aportación de carbohidratos a los frutos. Sin embargo, este mecanismo no es compatible con la regulación hormonal mediante la que el fruto demanda carbohidratos para asegurar su supervivencia (Paz-Vega, 1997; Lovat, 2006). De hecho, se ha demostrado recientemente que el mayor cuajado en las ramas de crecimiento determinado frente a las de crecimiento indeterminado no es su menor competencia con el desarrollo vegetativo sino la mayor capacidad de síntesis de giberelinas que poseen sus ovarios (D'Asaro *et al.*, 2020).

CUAJADO DE FLORES

La reducción de la floración por acción del ácido giberélico durante la época de inducción floral aumentó significativamente el porcentaje de las flores recién cuajadas. Así, una semana después de la antesis (19 de abril) mientras en las panículas de los árboles control habían cuajado el 8.8% de las flores, en las de los tratados lo habían hecho el 22% (Fig. 9 A). Al final del primer pico de abscisión (25 de abril; Fig. 8), en los árboles control el porcentaje de flores cuajadas se había reducido al 3% de las inicialmente presentes en las panículas y en los tratados al 7.2% (Fig. 9 A y B, respectivamente), y al final del segundo pico (13 de mayo) al 0.7% y 1.97%, respectivamente (Fig. 9 C). Veinte días más tarde, al final de caída fisiológica de frutos (3 de junio), el porcentaje de frutos que permanecían en desarrollo era, en los árboles control, el 0.56% de las flores inicialmente presentes en las panículas, y en los tratados del 0.74% (Fig. 9 D).

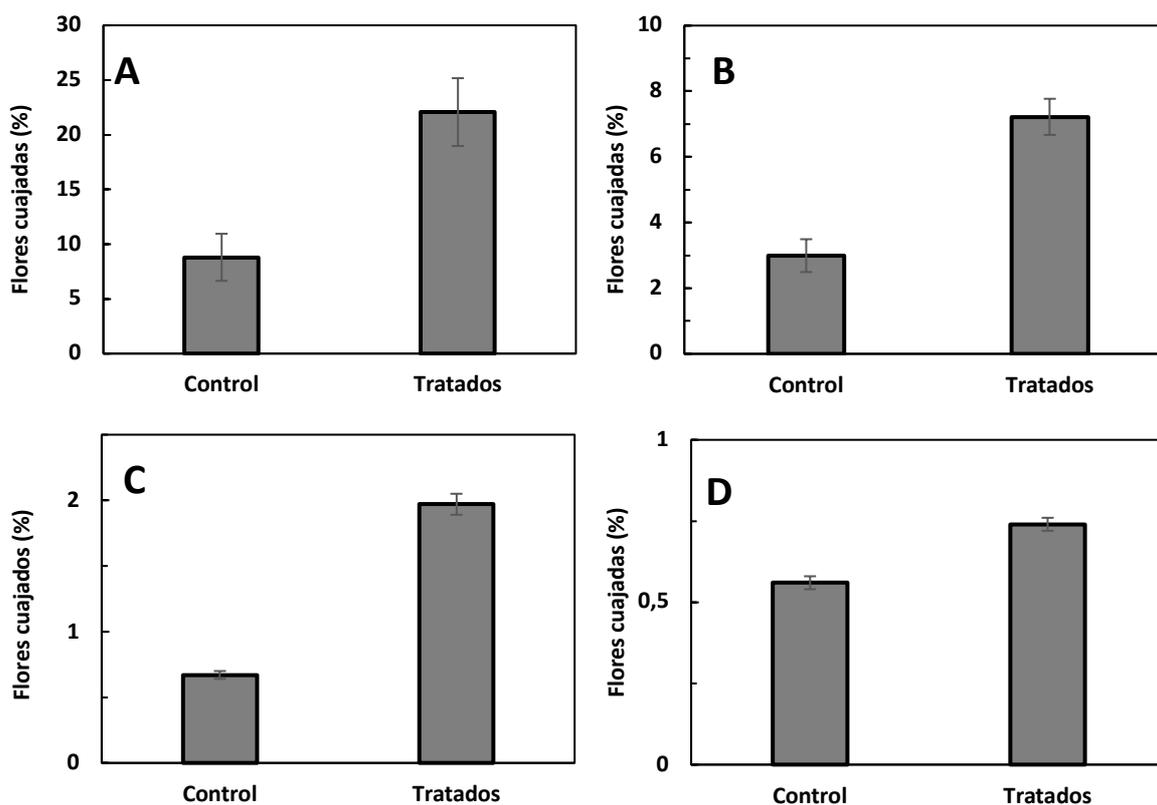


Fig. 9. Efecto de la reducción del número de flores sobre el porcentaje de las recién cuajadas por inflorescencia tras la antesis (A; 19 de abril), al final del primer (B; 25 de abril) y segundo pico de abscisión (C; 13 de mayo), y al final de la caída fisiológica de frutos (D; 3 de junio) en árboles de aguacate 'Lamb Hass' tratados con ácido giberélico (50 mg l^{-1}) en la época de inducción floral. Cada valor es la media de 6 árboles y 10 panículas por árbol. Las barras verticales indican el error estándar.

Pero cuando estos valores se expresan en número de frutos por panícula, el mayor porcentaje de frutos cuajados en los árboles a los que se les había reducido la floración respecto de controles queda compensado por su menor floración y ambos tipos de árboles dieron prácticamente los mismos frutos, 2.0 y 1.9 frutos por panícula, respectivamente, sin que esta diferencia alcanzara la significación estadística (Fig. 10).

Estos resultados son coincidentes con los de otros autores que cifran el porcentaje de cuajado del aguacate hasta valores tan bajos como el 0.07%, para el cv. Fuerte en California (Cameron *et al.*, 1952), e inclusive el 0.001%, para el cv. Bacon en Japón (Inoue y Takahashi, 1990), del total de flores formadas por el árbol. Dado que los árboles de esta especie pueden llegar a producir cientos de miles de flores, su falta de productividad no se debe a una deficiencia en la floración, sino a la caída masiva de sus

órganos reproductivos durante las primeras fases de desarrollo (Blumenfeld y Gazit, 1974; Slabbert, 1981).

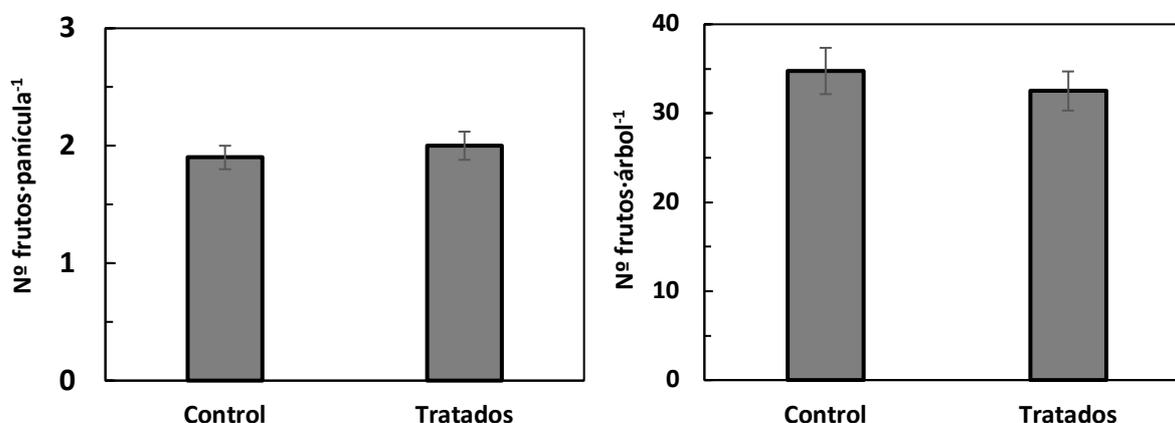


Fig. 10. Efecto de la reducción del número de flores sobre el número de frutos por inflorescencia y el número de frutos por árbol en árboles de aguacate ‘Lamb Hass’ tratados con ácido giberélico (50 mg l^{-1}) en la época de inducción floral y sin tratar. Cada valor es la media de 6 árboles y 10 panículas por árbol. Las barras verticales indican el error estándar. No existen diferencias significativas entre tratamientos.

Resulta interesante destacar que, mientras las diferencias en el número de frutos cuajados se perdieron con el tiempo hasta igualarse (Figura 10), las encontradas en la longitud del brote se mantuvieron hasta el final (Figura 11). Asimismo, el desarrollo vegetativo y reproductivo en esta especie tiene lugar a la vez y, por tanto, la posibilidad de que el cuajado esté condicionado por la competencia entre el desarrollo vegetativo y reproductivo ha sido puesta de manifiesto repetidamente (Whiley, 1990; Cutting and Bower, 1990; Whiley and Schaffer, 1993). Sin embargo, Finazo et al. (1994) demostraron que dado que el desarrollo vegetativo crece continuamente a lo largo del periodo del cuajado y desarrollo inicial del ovario, la disponibilidad de carbohidratos debe ser suficiente para soportar el desarrollo inicial de hojas y flores/frutos a la vez y, por tanto, el desarrollo vegetativo no puede ser responsable de la abscisión. De la misma manera, Cutting y Bower (1990) también demostraron la reducción del nivel de carbohidratos de reserva no correlaciona con la abscisión de los órganos florales, y D’Asaro et al. (2020) han demostrado que las inflorescencias determinadas cuajan más frutos que las indeterminadas, a pesar de su menor contenido en carbohidratos (D’Assaro et al., 2020). Nuestros resultados son coincidentes con estos últimos y no reflejan relación alguna entre el desarrollo vegetativo y la abscisión. Así, los árboles tratados en la época de inducción floral, respecto de los controles sin tratar, ven, al mismo tiempo, reducido significativamente el número de flores, y aumentado el porcentaje de las que cuajan y el desarrollo vegetativo. La masiva abscisión de órganos reproductivos en esta especie no parece estar relacionada con la competencia por carbohidratos entre órganos, flores y hojas, en desarrollo, y precisa todavía, por tanto, de estudio.

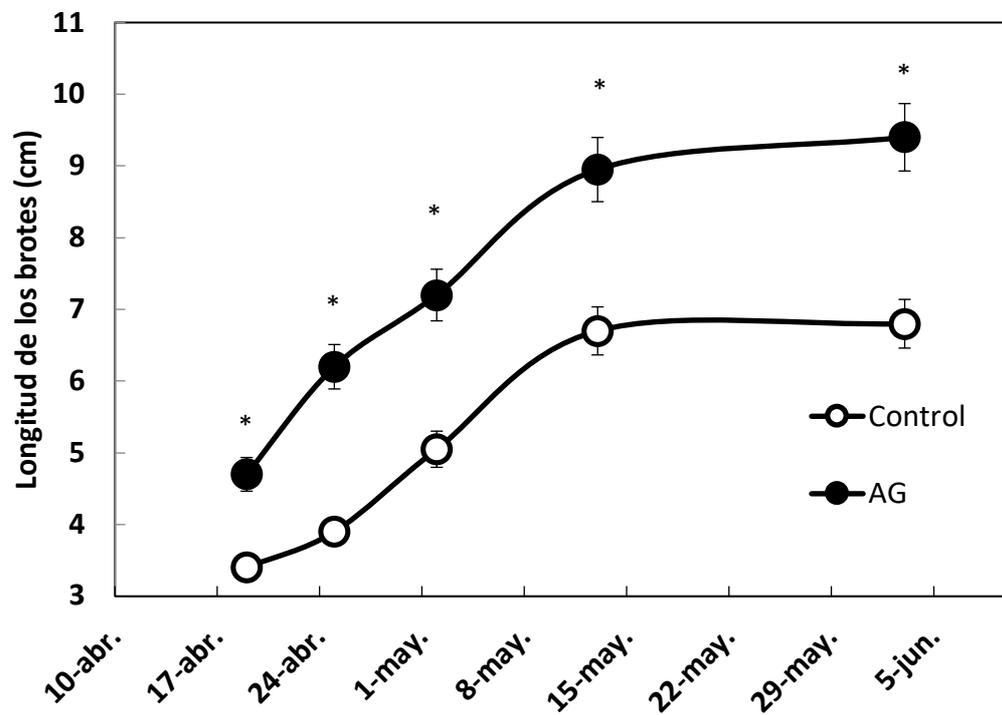


Fig. 11. Efecto de la aplicación de ácido giberélico (50 mg l^{-1}) durante la época de inducción floral sobre el desarrollo de los brotes vegetativos de las inflorescencias indeterminadas del aguacate cv. Lam Hass. Cada valor es la media de 10 brotes por árbol y 6 árboles. Las barras verticales indican el error estándar. * indica diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$).

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. La aplicación de ácido giberélico a una concentración de 50 mg l⁻¹ durante la época de inducción floral, redujo la brotación y disminuyó el número de flores por inflorescencia del aguacate 'Lamb Hass'.
2. El porcentaje de flores cuajadas por inflorescencia aumentó pero se compensó con el menor número de flores, y tras la abscisión el número de frutos por inflorescencia y por árbol no difirió estadísticamente del de los controles sin tratar.
3. La aplicación de esta hormona, a la misma concentración, durante la diferenciación floral dio lugar a resultados similares.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, M. 2010. *Fruticultura*. Ed. Mundi-Prensa. 2ª Edición. Madrid. 507 pp.
- Barrientos-Priego, A. y López-López, L. 2007. Historia y genética del aguacate. En: *Memoria de la Fundación Salvador Sánchez Colín*. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. Coatepec de Harinas, México 1: 100-121.
- Bekey, R. 1986. Pollination of avocado: some new insights with special reference to the 'Hass' variety. *Calif. Avocado Soc. Yrbk*, 70: 91-97.
- Bergh, B. y Ellstrand. 1987. Taxonomy of the avocado. *Calif. Avocado Soc. Yrbk*, 70: 135-145.
- Blumenfeld, A. y Gazit, S. 1974. Development of seeded and seedless Avocado fruits. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 99: 442-448.
- Bower, J.P. y Cutting, J.C. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. *Hortic. Reviews*, 113: 229-271.
- Bower, J.P. y Cutting, J.G. 1992. The effect of selective pruning on yield and fruit quality in 'Hass' avocado. *Acta Hortic.* 296: 55-58.
- Cabezas, C., Hueso, J. y Cuevas, J. 2003. Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo del aguacate (*Persea americana* Mill.). En: *Proc V World Avocado Congress*: 231-236.
- Cameron, S.H., Mueller, R.T. y Wallace, A. 1952. Nutrient composition and seasonal losses of avocado trees. *Calif. Avocado Soc. Yrbk.*, 37, 201-209.
- Chadha, K. L. 1993. Fruit drop in mango. *Adv.Hortic.*, 3, 1131-1166.
- Cossio-Vargas, L., Salazar-García, S., González-Duran, I. y Medina-Torres, R. 2007. Algunos aspectos reproductivos del aguacate 'Hass' en clima semicálido. En: *Proc. VI World Avocado Congress*: 1-11.
- Cossio-Vargas, L.E, Salazar-García, S., González-Durán I.J.L y Medina-Torres, R. 2008. Phenology of the 'Hass' avocado in the warm climate of Nayarit, Mexico. *Rev. Chapingo Ser.Hortic*, 14.
- Cutting, J.G.M. y Bower, J.P. 1990. Relationship between auxin transport and calcium allocation in vegetative and reproductive flushes in avocado. *Acta Hortic.*, 275, 469-475.

D'Asaro, A., Reig, C., Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C., Farina, V. y Agustí, M. 2020. Hormonal and nutritional control of fruit set in avocado 'Lamb Hass'. A question of the type of inflorescence. *Sci. Hortic.* (en prensa).

Degani, C., Goldring, A., Gazit, S. y Lavi, U. 1989 Pollen parent effect on outcrossing rate in 'Hass' and 'Fuerte' avocado plots during fruit development. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 114: 106-111.

Dixon, J. y Sher, D. 2002. Pollination of avocados. *Ann. Res. Rep. New Zealand Avocado Growers Assoc.*, 2: 31-40

El-Otmani, M., Lovatt, C.J. Coggins, C. Jr, y Agustí, M. 1995. Plant growth regulators in citriculture. Factors regulating endogenous levels and biosynthesis in citrus tissues. *Critical Rev. Plant Sci.* 14: 367-412.

FAOSTAT 2020. <http://faostat.fao.org/>

Fichet, T. y Henríquez, J. 2013. Manejo de la carga frutal y su relación con el añerismo: Inhibición de la inducción floral. (Cap. 2). En: *Aportes al conocimiento del olivo en Chile*. Universidad de Chile. Serie Ciencias Agronómicas N°21: 41-70.

Finazzo, S.F., Davenport, T.L. y Schaffer, B., 1994. Partitioning of photoassimilates in avocado (*Persea americana* Mill.) during flowering and fruit set. *Tree Physiol.*, 4, 153-164.

Frolich, E.F., Schroeder, C.A. y Zentmyer, G.A. 1958. Graft compatibility in the genus *Persea*. *Calif. Avocado Soc. Yrbk*, 42: 102- 105.

García-Pallas, I., Val, I. y Blanco, A., 2001. The inhibition of flower bud differentiation in 'Crimson Gold' nectarine with GA3 as an alternative to hand thinning. *Sci. Hortic.* 90: 265–278.

Gardiazabal, F. y Rosenberg, G. 1991. *Cultivo del palto*. Quillota. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 201 pp.

Gazit, S. y Degani, C. 2002. Reproductive Biology. En: *The avocado*. A.W. Whiley, B. Schaffer y B.N. Wiolstenholme (Eds.), CABI Publishing, Oxon, pp 101-133.

González-Rossia, D., Reig, C., Juan, M. y Agustí, M. 2006. The inhibition of flowering by means of gibberellic acid application reduces the cost of hand thinning in Japanese plums (*Prunus salicina* Lindl.). *Sci. Hortic.*, 110:319-323.

González-Rossia, D., Reig, C., Juan, M. y Agustí, M. 2007. Horticultural factors regulating effectiveness of GA3 inhibiting flowering in peaches and nectarines (*Prunus persica* L. Batsch). *Sci. Hortic.*, 111: 352-357.

- Guardiola, J.L., Monerri, C. y Agustí, M. 1982. The inhibitory effect of gibberellic acid on flowering in citrus. *Physiol. Plant.*, 55: 136-142.
- Iglesias, D.J., y Talón, M. 2008. Giberelinas. En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Azcón-Bieto J y Talón M (2ª edición). Interamericana Mc Graw Hill, España, pp. 339-420.
- Inoue, H. y Takahashi, B. 1990. Studies on the bearing behavior and yield composition of the avocado tree (in Japanese, with summary in English). *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, 59, 487-501.
- Iwahori, S. y Oohata, J.T. 1981. Control of flowering of Satsuma Mandarins (*Citrus unshiu* Marc.) with gibberellin. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 1: 247-249.
- Bernal, J. A. y Diaz, C. A. 2008. Usos y formas de preparación. En: *Tecnología para el cultivo del aguacate*. Bernal, J. A. y Diaz, C. A. Editorial Produmedios, Colombia, pp. 221
- Kardailsky, I., V. K. Shukla, J. H. Ahn, N. Dagenais, S. K. Christensen, J. T. Nguyen, J. Chory, M. J. Harrison and D. Weigel. 1999. Activation tagging of the floral inducer FT. *Science* 286(5446): 1962–1965.
- Li, C., Gu, M., Shi, N., Zhang, H., Yang, X., Osman, T., Liu, Y., Wnag, H., Vatish, M., Jackson, S. y Hong, Y. 2011. Mobile FT mRNA contributes to the systemic florigen signalling in floral induction. *Sci Rep* 1, 73. <https://doi.org/10.1038/srep00073>
- Lord, E.M. y Eckard, K.J. 1987. Shoot development in *Citrus sinensis* L. (Washington navel orange). Alteration of developmental fate of flowering shoots after GA3 treatment. *Bot. Gaz.*, 148: 17-22
- Lovatt, C. 1990. Factors affecting fruitset/early fruti drop in avocado. *Calif. Avocado Soc. Yrbk*, 74: 193-199.
- Lovatt, C.J. 2006. Eliminating alternate bearing of the ‘Hass’ avocado. *Proc. Calif. Avocado Res. Symp.*, University of California, Riverside, EEUU: 127-142.
- Luckwill, L.C., 1970. The control of growth and fruitfulness of apple trees. En: Luckwill, L.C., Cutting, C.V. (Eds.), *Physiology of Tree Crops*. Academic Press, Nueva York, EEUU.
- McArtney, S.J. y Li, S.H., 1998. Selective inhibition of flowering on “Braebun” apple trees with gibberellins. *Hortic. Sci.* 33, 699–700.
- Monselise, S.P. and Halevy, A.H. 1964. Chemical inhibition and promotion of Citrus bud induction. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 84:141-146.
- Núñez-Elisea, R. y Davenport, T.L. 1991. Effect of low temperatura treatment on flowering of containerized ‘Tommy Atkins’ mango. *HortSci.*, 26, 751.
- Osborne, D.J. y Morgan, P.W. 1989. Abscission. *Critical Rev. Plant Sci.*, 8:2, 103-129.

- Paz-Vega, S. 1997. Alternate bearing in the avocado (*Persea americana* Mill.). *Calif. Soc. Avocado Yrbk*, 81: 117-148.
- Painter, J.W. y Stenbridge, G.E. 1972. Peach flowering response as related totime of gibberellin application. *Hortic. Sci.* 7, 389–390.
- Pin, P.A., y Nilsson, O. 2012. The multifaceted roles of *FLOWERING LOCUS T* in plant development. *Plant Cell Environ.*, 35: 1742–1755.
- Rebolledo R.A. y Romero, M.A. 2011. Avances en investigación sobre el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) bajo condiciones subtropicales. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.*, 12: 113-120
- Reece, P.C. 1942. Differentiation of avocado blossom buds in Florida. *Bot. Gaz.* 104: 458-476.
- Reig, C., Farina, V., Volpe, G., Mesejo, C., Martínez-Fuentes, A., Barone, F., Calabrese, F. y Agustí, M. 2011. Gibberellic acid and flower bud development in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.). *Sci. Hortic.*, 129: 27-31.
- Robbertse, P.J, Johannsmeier, M.F. y Morudu, T.M. 1997. Pollination studies in Hass avocado in relation to the small fruit problem. *South Afr. Avocado Grower's Assoc. Yrbk* 20: 84-85.
- Rossouw, T. y Robbertse, P.J., 2001. Effect of gibberellic acid treatments on flower development of avocado. *Calif. Soc. Avocado Yrbk.*, 24: 1-2, 4
- Salazar-García, S., 1999. Iron nutrition and deficiency: A review with emphasis in avocado (*Persea americana* Mill.). *Rev. Chapingo Serie Hortic.*, 5: 67-76.
- Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L., Lovatt, C., González-Duran, I. y PérezBarraza, M. 2006. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of Hass avocado. *HortSci.* 41: 1541-1546.
- Salazar-García, S., Ibarra-Estrada, M. y González-Valdivia, J. 2018. Fenología del aguacate 'Méndez' en el sur de Jalisco, México. *Agrociencia*, 52.
- Salazar-García, S., Lord, E.M. y Lovatt C.J. 1998. Inflorescence and flower development of the 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) during "on" and "off" crop years. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.*, 123: 537-544.
- Salazar-García, S., Lord, E.M. y Lovatt C.J. 1998. Inflorescence Development of the 'Hass' Avocado: Commitment to Flowering. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.*, 124: 478–482.
- Salazar-García, S., Lord, E. M. y Lovatt, C. J. 2013. Reproductive biology. En: *Avocado: botany, production and uses*. Schaffer, B.; Wolstenholme, N. and Whiley, A. W. (Eds.). 2nd. Ed. CAB International. Oxfordshire, UK. Pp 118-167.

- Salazar-García, S. y Lovatt, C., 1998. GA3 application alters flowering phenology of the 'Hass' avocado. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.*, 123:7 91-797.
- Salazar-García S y Lovatt C. 2002. Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.). II. Manipulation with GA3 . *Rev. Chapingo Serie Hortic.* 8: 77-82.
- Sánchez-Sánchez, E., Cabrera-Carbajal, F., Padilla-Valenzuela, I., Samaniego-Russo, J. A. y Aboytia-Mendivil, R. 2004. Giberelic acid effect on sprouting and nutritional balance of young trees of Keitt mango at the Mayo Valley, Sonora. *Acta Hortic.*, 645: 447-452.
- Schroeder, C.A. 1940. Floral Abnormality in the Avocado. *Calif. Avocado Soc. Yrbk*, 25: 36-39.
- Schroeder, C.A. 1944. The avocado inflorescence. *Calif. Avocado Soc. Yrbk.*, 28: 39-40.
- Sedgley, M. 1977. The effect of temperature on floral behavior, pollen tube growth and fruit set in the avocado. *J Hortic. Sci.*, 52: 135-141.
- Sedgley, M. 1987. Flowering, pollination and fruit-set of avocado. *South Afr. Growers Soc. Yrbk.*, 10: 42-43.
- Sedgley M, y Annells, C. 1981. Flowering and fruit-set response to temperature in the avocado cultivar 'Hass'. *Sci. Hortic.*, 14: 27-33.
- Slabbert, M.J. 1981. Flower and fruit drop. *Proc. Fla. State Hort. Sci.*, 4: 89-91.
- Smith, C.E. Jr. 1966. Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Bot.* 20: 169-175
- Smith, N. J., Williams, J. Plunknett, D. L. y Talbot, J. P. 1992. *Tropical Forest and their Crops*. Comstock Publishin Associates, Cornell University Press. New York. USA. 568 pp.
- Southwick, S.M. y Glozer K. 2000. Reducing flowering with gibberellins to increase fruit size in stone fruit trees: Applications and implications in fruit production. *HortTechnol.*, 10: 744-751.
- Southwick, S.M., Yeager, J.T. y Zhou, H., 1995. Flowering and fruiting in 'Patterson' apricot (*Prunus armeniaca*) in response to postharvest application of gibberellic acid. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 94, 492-495.
- Tromp, J., 2000. Flower-bud formation in pome fruits as affected by fruit thinning. *Plant Growth Regul.*, 31, 27-34.
- Turnbull, C.G., Anderson, K.L. y Winston, E.C., 1996. Influence of gibberellin treatment on flowering and fruiting patterns in mango. *Aust. J. Exp. Agric.*, 36, 603-611.

Urrea-López, R. 2017. Inducción de floración por biotecnología para el mejoramiento genético acelerado de árboles de aguacate. *Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate*.

Weinberger, J.H., 1941. Studies on time for peach thinning from blossoming to maturity. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 38: 137–140.

Whiley, A.W. 1990. CO₂ assimilation of developing fruiting shoots of cv. Hass avocado (*Persea americana* Mill). *S. Afr. Avo. Grow. Assoc. Yrbk.*, 13: 28-30.

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

Whiley, A.W. y Winks, C., Stephenson, R. y Winston, E. 1988. Boron nutrition of subtropical and tropical fruit and nut crops in Queens. Maroc. *Hortic. Res. Stat. Report*, 5: 103-4.

Williams, L.O. 1977. The avocados, a synopsis of the genus *Persea*, subg. *Persea*. *Economic Bot.*, 31: 315-320.

Zilkah, S., Klein, I., Feigenbaum, S. y Weinbaum, S. A. 1987. Translocation of foliar-applied urea 15N to reproductive and vegetative sinks of avocado and its effects on initial fruit set. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.*, 112: 1061-1065.

Ziv, D., Zviran, T., Zezak, O., Samach, A. y Irihimovitch, V. 2014 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: e110613. doi: 10.1371/journal.pone.0110613