

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Research advances on the productive behavior of avocado trees (*Persea americana* Mill.) under subtropical conditions

Avances en investigación sobre el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) bajo condiciones subtropicales

Alexander Rebolledo R.^{1,3}, Miguel Antonio Romero²

ABSTRACT

Advances in the research on avocado cultivation are generally associated with major global producers (Chile, Mexico, and the United States). The issues that have been the subject of research are focused on the study of productive performance of the species under subtropical conditions. Research topics include studies on hormonal and nutritional factors associated with the growth and development of the avocado crop in response to environmental parameters. This has allowed for the development of management practices of the species in order to increase production. In this article, we summarize the advances in research on avocado cultivation under subtropical conditions in order to provide information that will aid in the development of research related to this species under the tropical conditions of Colombia.

Keywords: flowering, alternate bearing, set fruit, abscission.

RESUMEN

Los adelantos en investigación sobre el cultivo de aguacate se han desarrollado en los principales países productores como México, Estados Unidos y Chile. Los aspectos que han sido tema de investigación, están enfocados al estudio del comportamiento productivo de la especie bajo condiciones subtropicales. Dentro de estos aspectos se han contemplado estudios sobre factores hormonales y nutricionales en el crecimiento y desarrollo del cultivo en respuesta a parámetros ambientales. Esto ha permitido el desarrollo de prácticas de manejo de la especie con miras a incrementar la producción. En el presente artículo, se resumen los avances en el cultivo de aguacate bajo condiciones subtropicales, con el fin de brindar información que permita perfilar el desarrollo de investigaciones en esta especie bajo condiciones del trópico colombiano.

Palabras clave: floración, alternancia productiva, cuajado de fruto, abscisión.

INTRODUCCIÓN

Una característica clave de algunas especies frutales es que a pesar de producir un alto número de flores, los árboles ajustan el número de ellas que finalmente cuajan y el número de frutos que llegan a cosecha. Este ajuste ha sido explicado a través de las interrelaciones que se presentan al interior de la planta correspondientes al potencial genético de la especie, los niveles de floración, tipos de inflorescencias, disponibilidad de nutrientes y capacidad para ser transportados a los frutos en crecimiento. El potencial genético se ve estimulado por los factores ambientales propios de cada región. De esta forma se presentan diferencias marcadas entre el comportamiento productivo bajo condiciones subtropicales y tropicales. En algunos frutales como cítricos, aguacate y mango, los cambios ambientales propios de cada estación en el subtrópico marcan los periodos vegetativos y reproductivos de las especies, mientras que en el trópico se sugiere que es el estrés hídrico es el que determina estos periodos (Wolstenholme y Whiley 1990; Southwick y Davenport, 1986; Wilkie *et al.*, 2008).

Fecha de recepción: 17/08/2011
Fecha de aceptación: 19/10/2011

¹ Centro de Investigación Palmira, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica, Palmira (Colombia).

² Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

³ Autor para correspondencia: arebolledo@corpoica.org.co

Algunos ejemplos claros de este comportamiento se evidencian con la producción de hasta 100.000 flores en algunas variedades de cítricos, con sólo un cuajado del 0,1% y alcanzado en ocasiones hasta 2% (Goldschmidt y Golomb, 1982). En aguacate, para la variedad Hass, se ha encontrado que un árbol puede llegar a producir hasta 2 millones de flores, más de mil veces la cantidad de frutos que puede soportar, pero se ha estimado que únicamente llegan a cuajado entre el 0,001% y 0,1% (Whiley *et al.*, 1988; Dixon y Sher, 2002; Can-Alonzo *et al.*, 2005; Cossio-Vargas *et al.*, 2007; Scora *et al.*, 2007).

El bajo porcentaje de cuajado de frutos de aguacate ha sido explicado por la competencia entre flujos de crecimiento vegetativo y reproductivo (Scholefield *et al.*, 1985; Sedgley, 1987; Zilkah *et al.*, 1987), el alto gasto energético para la producción del fruto (Wolstenholme, 1986), la participación de nutrientes como el boro y el nitrógeno (Jaganath y Lovatt, 1995) y el balance endógeno de hormonas como las giberelinas, involucradas en los procesos de floración (Paz-Vega, 1997; Rossouw y Robbertse, 2001; Salazar-García y Lovatt, 2002b). Estos factores han sido el enfoque de numerosos estudios en países como México, Estados Unidos y Chile, principales contribuyentes a la producción mundial de aguacate.

En el cultivo de aguacate, destacan los estudios desarrollados en 1986 por Davenport en el estado de la Florida en Estados Unidos, relacionados con el número y dinámica de flujos vegetativos al igual que la dinámica del desarrollo floral y del cuajado del fruto. Por otra parte, los trabajos desarrollados por Wolstenholme (1986) en Australia, han sido enfocados al estudio del gasto energético del fruto de aguacate en relación con la producción. Lovatt y colaboradores han venido adelantando investigaciones desde el año de 1989 en California, sobre el papel del contenido hormonal endógeno, la participación de carbohidratos y de la nutrición mineral en la alternancia de la producción. Estos trabajos se han convertido en la plataforma para el planteamiento de propuestas en México, que figura como primer productor de aguacate en el mundo. En este sentido, Salazar-García y colaboradores desde el año de 1998, han aportado amplia información sobre las características de la floración y la participación de las giberelinas sobre el comportamiento floral de esta especie.

La fisiología de la producción se ha convertido en el principal soporte para entender el comportamiento productivo del aguacate. En otras especies frutales, como por ejemplo los cítricos, este enfoque ha permitido el desarrollo de prácticas de manejo de la producción, a través de la manipulación exógena de la floración y cuajado del fruto con el uso de reguladores de crecimiento para mejorar la calidad comercial del fruto (Guardiola, 2000), aclarantes químicos (Ortolá *et al.*, 1991), prácticas de

anillado (Iglesias y Tadeo, 2006), entre otras. En el presente artículo, se resumen los avances en investigación en el cultivo de aguacate en países productores a nivel mundial, que pueden ayudar a entender y perfilar el desarrollo de investigaciones bajo condiciones del trópico colombiano.

CARACTERÍSTICAS DE LA FLORACIÓN EN EL AGUACATE RO

El aguacate es una especie alternante que presenta variaciones en la intensidad de floración entre un ciclo de producción y el siguiente. Independientemente del nivel de floración, se ha planteado que para condiciones del subtrópico el factor inductor de este evento son las bajas temperaturas (Salazar-García y Lovatt, 2002a; Gazit y Degani, 2007), mientras que para condiciones del trópico donde las bajas temperaturas pueden ser breves, irregulares o no existir en algunas temporadas, dicho factor inductor está representado por el estrés hídrico (Wolstenholme y Whiley, 1990; Wilkie *et al.*, 2008).

Una vez el estímulo de inducción floral es percibido por las hojas y transmitido a las regiones meristemáticas (Corbesier y Coupland, 2005) se da inicio a la transición de la yema en reposo al desarrollo del brote floral o vegetativo. En un estudio llevado a cabo por Salazar-García *et al.* (1998), se determinó una escala visual de 11 estados, desde el desarrollo externo de la yema hasta la formación de la inflorescencia que ha servido como modelo para definir los estados tipo en aguacate de la variedad Lorena bajo condiciones de Colombia (Figura 1). Esta caracterización de estados específicos del desarrollo floral en el aguacate fue propuesta con el fin de generar información que pudiera ser utilizada como herramienta para la programación de prácticas culturales en cultivos comerciales (Salazar-García y Lovatt, 2002a).

Las estaciones marcadas bajo condiciones del subtrópico determinan la formación de flujos de crecimiento. Así por ejemplo, los brotes reproductivos que representan las cosechas principales, se generan sobre brotes vegetativos formados en el verano inmediatamente anterior. Sólo hasta el estado cuatro de desarrollo descrito por Salazar-García *et al.* (1998), la nueva yema formada sobre la brotación de verano, puede ser inducida a la formación de un brote reproductivo. Este primer paso en el proceso de floración conocido como inducción floral, es el resultado de una serie de cambios que ocurren en el ápice meristemático vegetativo de una yema que conduce a su transformación en meristemo floral (Hess, 1975; Davenport, 1986). En un estudio llevado a cabo por Salazar-García (1999), se encontró que al someter árboles de aguacate a 10/7°C con un fotoperiodo de 10 h/día y 14 h/noche, fue suficiente para obtener un 83% de yemas que formarían inflorescencias,

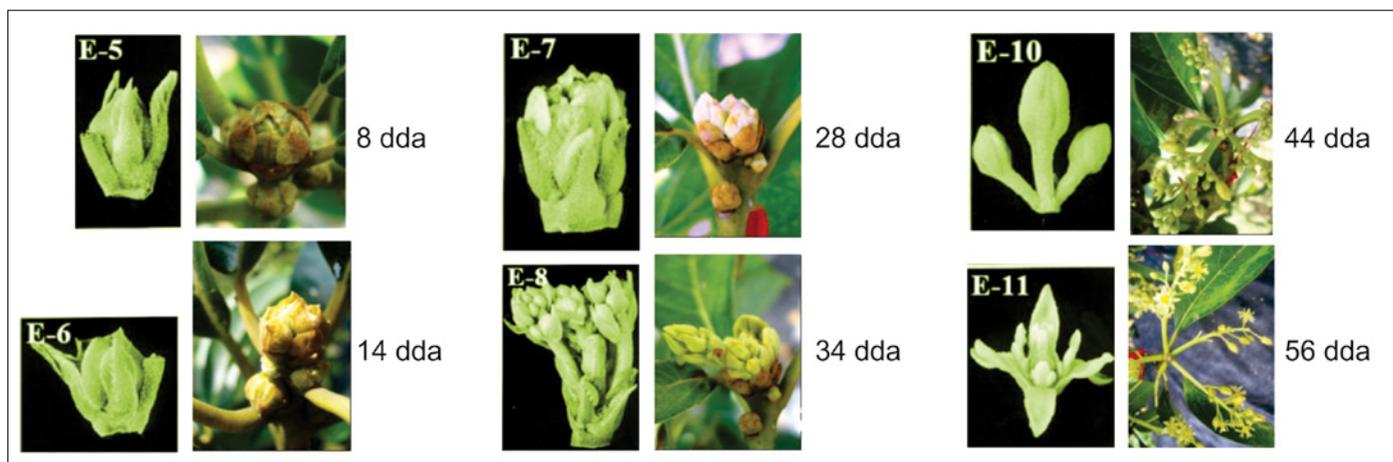


Figura 1. Estados fenológicos de aguacate variedad Lorena, según la escala propuesta por Salazar-García (1998) para la variedad Hass. E5: incremento en las dimensiones del brote. Escamas separadas. E6: brácteas encierran la inflorescencia. E7: apertura de las brácteas de la inflorescencia. Inflorescencia comienza a emerger. E8: elongación de ejes secundarios (estado de coliflor). Ejes terciarios aún cubiertos por brácteas. Se presentan pequeñas flores cerradas. E10: flores completamente diferenciadas pero cerradas. E11: flores en antésis. Brotación de yemas vegetativas en el ápice de inflorescencias indeterminadas inicio del flujo vegetativo de primavera. dda: días después de la antésis. Foto. A. Herrera

las yemas restantes se mantuvieron inactivas. Otros estudios han reportado que temperaturas inferiores a 19°C son suficientes para lograr este proceso (Salazar-García *et al.*, 2006; Cossio-Vargas *et al.*, 2007).

El tiempo de exposición a bajas temperaturas también es determinante, árboles de aguacate de la variedad Hass sometidos a bajas temperaturas durante una semana no indujeron floración, en árboles sometidos por tres semanas el 17% de las yemas apicales produjeron inflorescencias, mientras el 69% produjeron brotes vegetativos y en tratamientos de cuatro semanas el 83% de la yemas produjeron inflorescencias y no se presentó crecimiento vegetativo (Salazar-García, 1999).

Las inflorescencias del aguacate pueden ser de dos tipos: determinadas o indeterminadas (Figura 2). En las inflorescencias de tipo determinado el meristemo del eje primario forma una flor terminal, por lo general estos brotes se ubican hacia la parte superior o exterior del árbol donde la intensidad lumínica es mayor, una vez los frutos son cosechados el brote determinado muere (Salazar-García y

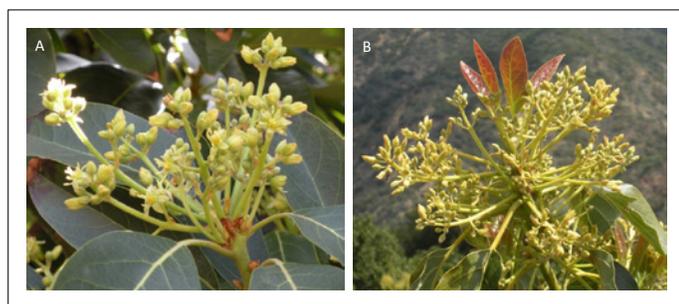


Figura 2. Características de inflorescencias de aguacate de la variedad Hass: (a) determinadas (b) indeterminadas. Foto: A. Rebolledo

Lovatt, 2000; Dixon y Sher, 2002). En las inflorescencias de tipo indeterminado el ápice del eje primario finaliza en una yema vegetativa la cual inicia su crecimiento al momento de antésis y continúa hasta después de la cosecha de frutos presentes en ella (Bruwer y Robbertse, 2003; Cossio-Vargas *et al.*, 2007). Con pocas excepciones las inflorescencias de tipo indeterminado son más abundantes (Cossio-Vargas *et al.*, 2007), mientras las inflorescencias determinadas tienen un mayor porcentaje de frutos cuajados por flor (0,1%) respecto a las indeterminadas (0,05%) por lo cual tienden a ser más productivas (Schroeder, 1944; Thorp *et al.*, 1994; Salazar-García y Lovatt, 1998).

Las flores de aguacate son perfectas y están agrupadas en racimos subterminales que pueden llegar a contener hasta 450 flores (Gazit y Degani, 2007; Bernal y Díaz, 2008). Éstas presentan una dicogamia (protógina) sincronizada, es decir, las flores son bisexuales, presentando los órganos masculinos y femeninos en una misma flor pero éstos maduran y son funcionales en diferente tiempo (Figura 3), haciéndolo en primer lugar los órganos femeninos (Sedgley y Annells, 1981; Wolstenholme y Whiley, 1995; Dixon y Sher, 2002; Can-Alonzo *et al.*, 2005; Scora *et al.*, 2007; Gazit y Degani, 2007; Bernal y Díaz, 2008).

Cada flor realiza dos aperturas, una como estado femenino y otra en estado masculino (Figura 3). Entre ambas fases, se produce un cierre intermedio y por último, el cierre definitivo de la flor. Durante la fase femenina los tépalos se abren y el pistilo se muestra erecto con el estigma receptivo al polen, los estambres se encuentran apoyados y protegidos sobre los tépalos con las anteras no dehiscientes. Este proceso puede durar entre una y dos horas según las condiciones ambientales, luego la flor



Figura 3. Estados femenino (a) y masculino (b) de la flor de aguacate. Foto: A Rebolledo

inicia su primer cierre en donde los estambres se levantan e inclinan hacia el centro de la flor hasta tocar el pistilo, el cual continúa erecto (Sedgley y Annells, 1981; Davenport, 1986; Cabezas *et al.*, 2003; Gazit y Degani, 2007).

El ciclo floral del aguacate se sigue simultáneamente en todas las flores que alcanzan la antesis, lo que se conoce como dicogamia sincronizada. La polinización en el aguacate es posible porque sus cultivares se clasifican en dos grupos florales, A y B, que complementan sus ciclos florales entre sí. En los cultivares tipo A, sus flores abren por primera vez como femeninas por la mañana y desarrollan la fase masculina durante la tarde del día siguiente. Por el contrario, en los cultivares tipo B, las flores manifiestan el estado femenino por la tarde y la segunda apertura como masculinas en la mañana del día siguiente. (Avilán *et al.*, 1995; Davenport, 1986; Rosales *et al.*, 2003; Can-Alonzo *et al.*, 2005; Gazit y Degani, 2007). Este complejo mecanismo de alternancia de sexos evolucionó a favor de la polinización cruzada para mantener la heterogeneidad de la especie (Davenport, 1986).

El proceso de sincronía en la floración es altamente sensible a la temperatura (Calabrese, 1992), temperaturas superiores a 20°C son favorables para el proceso de polinización, mientras que noches frías retrasan e inhiben la fase femenina, e incluso se puede afectar la sincronía de las fases (Dixon y Sher, 2002). La apertura floral también puede ser retrasada desde minutos hasta varias horas debido a bajas temperaturas (Davenport, 1986). En un estudio realizado por Sedgley y Annells (1981), encontraron que en plantas de aguacate 'Hass', bajas temperaturas aumentaron el número de días de apertura floral; con una temperatura día/noche de 33/28 y 25/20°C las flores abrieron en la mañana en estado femenino y de nuevo en la tarde del siguiente día bajo estado masculino, mientras que a temperaturas 17/12°C, las flores abrieron femeninas en la tarde del primer día, permanecieron abiertas toda la noche y cerraron hasta el siguiente día. Dos días después en la tarde las flores abrieron en fase masculina.

Lesley y Bringham (1951) observaron una posible relación entre la humedad, la dehiscencia de las anteras y la liberación

de granos de polen. Se atribuye una gran importancia al estado higrométrico de la atmósfera, como responsable del grado de receptividad del estigma (Calabrese, 1992). En días cubiertos con alta humedad se observa que la apertura de las flores al estado femenino de ambos grupos, se retrasa aproximadamente 3 h (Sedgley, 1977).

ALTERNANCIA DE COSECHAS

A pesar que el rendimiento potencial del árbol de aguacate es de 32,5 t ha⁻¹ de fruta con 17% de contenido de aceite (Wolstenholme, 1986; Gazit y Degani, 2007) el rendimiento mundial promedio al 2008 fue sólo de 8,17 t ha⁻¹, encontrando una brecha del 75% respecto al rendimiento potencial de la especie (FAO, 2011). La baja producción del aguacate es el resultado de una serie de eventos que ocurren a lo largo del desarrollo reproductivo. La determinación de los estados sensibles a la abscisión durante el desarrollo reproductivo es prerequisite para investigar las bases fisiológicas de la baja producción del aguacate y del desarrollo de estrategias agrícolas para incrementar su producción. Se ha demostrado que puede presentarse un aumento en la abscisión de flores y frutos como resultado de numerosos factores incluyendo temperaturas extremas, deficiencias nutricionales y factores genéticos. Aún bajo condiciones óptimas, la abscisión de flores y frutos en aguacate es excesiva.

Condiciones climáticas desfavorables durante el periodo crítico de floración o cuajado de fruto (daño por frío, bajas o altas temperaturas durante el cuajado, disponibilidad hídrica) traen como consecuencia pérdida de flores y frutos generando un bajo rendimiento, por tanto las reservas del árbol son usadas en menor cantidad y quedan disponibles para el siguiente ciclo productivo donde el sistema fotoasimilatorio es mayor, razón por la cual se genera una mayor floración, cuajado de frutos y cosecha, dando inicio al desbalance en los ciclos productivos (Lovatt, 2006). En Israel y California, este comportamiento puede ser el resultado de condiciones en las que predomina el estrés por calor, debido a que en zonas como "Santa Bárbara" en California y "Hamsin" en Israel, se alcanzan temperaturas por encima de 33°C (frecuentemente llegan hasta 40°C), acompañado de una humedad relativa muy baja y vientos fuertes (Lomas y Zamet, 1994).

La fenología reproductiva de muchos cultivares de aguacate, incluyendo Hass, está caracterizada por la alternancia de cosechas, conduciendo a una elevada carga de cosecha en un ciclo de producción (año "on") y una baja carga de cosecha en el siguiente ciclo (año "off") (Paz-Vega, 1997; Lovatt, 2006). Un año "on" está determinado por una intensa floración, alto porcentaje de cuajado y alto rendimiento, mientras que un año "off" se caracteriza

por una baja floración, bajo porcentaje de cuajado y bajo rendimiento (Paz-Vega, 1997; Lahav y Zamet, 1999; Bruwer y Robbertse, 2003; Dixon *et al.*, 2007). La alternancia se presenta por el efecto de la carga de frutos sobre la floración del siguiente ciclo productivo. El esquema que resume los factores que la determinan en cítricos (Figura 4), presenta similitudes con resultados de investigaciones obtenidos en aguacate.

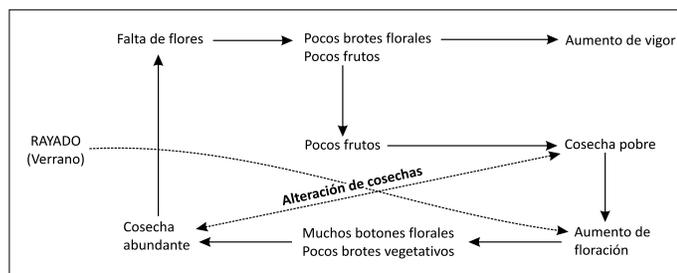


Figura 4. Esquema de eventos de la alternancia productiva en los cítricos (Modificado de Agustí, 2003)

Prácticas como la retención de fruta en los árboles con el fin de incrementar la materia seca y contenido de aceite, terminan en una alternancia más marcada. Árboles con una elevada carga frutal demandan la producción de más brotes vegetativos a expensas de brotes florales del siguiente ciclo (Lovatt, 2006). Una excesiva carga de fruta o cosechas tardías contribuye a incrementar la alternancia (Salazar-García y Lovatt, 2000).

En un estudio realizado por Salazar-García *et al.* (1998) se encontró que el alto rendimiento de los árboles durante un año "on", reduce significativamente la intensidad de floración del siguiente ciclo productivo o año "off". Esta reducción fue asociada con una disminución en la producción de inflorescencias (13% del total de yemas/rama) lo cual fue acompañado por una alta producción de brotes vegetativos (72% del total de yemas/rama). Así, los flujos de crecimiento vegetativo ocurren en menor magnitud en el año "on", mientras que en el año "off" el crecimiento es mayor, esta diferencia está considerada a ser un determinante en la alternancia de cosecha en aguacate (Dixon, 2007). Salazar-García *et al.* (2006) encontraron que únicamente el 13% del total de brotes vegetativos producen brotes florales cuando los árboles salieron de un año "on", mientras que el 46% del total de brotes vegetativos producen brotes florales cuando los árboles salen de un año "off".

Hasta el momento se han planteado dos hipótesis para explicar por qué el desarrollo del fruto en un ciclo productivo inhibe la floración y fructificación del siguiente ciclo. La primera se basa en la mayor demanda de nutrientes minerales, agua y carbohidratos requeridos para los procesos de floración, cuajado y llenado de fruto. Un árbol con elevada carga frutal en el año "on" agota las

reservas disponibles debido a la mayor extracción, por lo cual no acumula los nutrientes necesarios para sostener una elevada intensidad de floración y una carga adecuada para el próximo año, mientras que árboles en un año "off" que presentan una cosecha liviana y mayor producción de estructuras vegetativas acumulan más reservas de nutrientes para producir una floración intensa y alto rendimiento en el siguiente ciclo (Paz-Vega, 1997). Se debe tener en cuenta que la magnitud de la alternancia puede variar, ya que las reservas de carbohidratos dependen de las condiciones ambientales y del manejo del cultivo.

La segunda hipótesis está basada en que la reciprocidad entre el desarrollo de brotes florales y brotes vegetativos para árboles en un año "on" vs. árboles en un año "off" es una clara indicación que los reguladores de crecimiento están jugando un papel importante en la alternancia de los ciclos productivos en aguacate 'Hass', más que la disponibilidad de carbohidratos y nutrientes (Paz-Vega, 1997; Lovatt, 2006). Esta hipótesis se basa en que los reguladores de crecimiento presentes en la semilla del fruto en desarrollo durante un año "on" están en una mayor concentración por la mayor cantidad de frutos que llegan a cosecha, está alta concentración de hormonas como GA favorecen el crecimiento vegetativo durante el siguiente ciclo productivo o año "off" en detrimento de la producción de brotes reproductivos (Paz-Vega, 1997).

PRÁCTICAS DE MANEJO PARA REDUCIR LA ALTERNANCIA PRODUCTIVA EN AGUACATE

El cuajado y el desarrollo del fruto dependen del suministro de carbohidratos y elementos minerales y del contenido hormonal endógeno. Estos proceden de la movilización de las reservas acumuladas en la planta y de la síntesis de carbohidratos, de la absorción de elementos minerales y de la síntesis y transporte de hormonas. Un balance global de estos procesos no es fácil de realizar, pero se conocen con cierto detalle algunos aspectos. Este conocimiento ha permitido proponer algunas estrategias de manejo de la producción orientadas a reducir la alternancia productiva en aguacate.

Tomando en consideración el efecto que producen los reguladores de crecimiento, y en especial las giberelinas, en la alternancia productiva, una estrategia para reducirla es la reducción de la floración en el año "on" mediante la aplicación de AG (Paz-Vega, 1997; Rossouw y Robbertse, 2001; Salazar-García y Lovatt, 2002b; Bruwer y Robbertse, 2003). En estudios realizados en aguacate 'Hass' la aplicación de AG₃ disminuyó significativamente la floración en los años "on" y aumentó la producción de brotes vegetativos, lo que se reflejó en un aumento en la floración en el año "off" (Salazar-García y Lovatt, 2002b).

El aclareo manual de frutos (reducción de la carga de cosecha) en el ciclo de alta producción resulta ser una opción lógica, puesto que el problema se origina por una sobrecarga de frutos. Una reducción manual de frutos pequeños antes de la caída de verano ha dado resultados en mitigar la alternancia productiva en Australia (Wolstenholme, 2010). Sin embargo los productores encuentran esta práctica poco beneficiosa puesto que se reducen los frutos de tipo comercial.

La práctica de poda es la principal estrategia para reducir la alternancia productiva, en particular para restaurar el vigor vegetativo cuando ha sido afectado por la sobrecarga de frutos. En Australia, esta práctica ha tomado fuerza en conjunto con otras tales como anillado y uso de retardantes del crecimiento en cultivos comerciales de alta densidad para mantener los sitios de siembra bien despejados y aumentar las zonas de crecimiento del dosel del árbol bien iluminadas. En esta zona productora se ha completado un programa de investigación específicamente para podas (Leonardi, 2009).

El anillado es una técnica empleada en Australia para mejorar la floración y fructificación a nivel de todo el árbol o a nivel de ramas o brotes. El anillado interrumpe temporalmente el transporte de carbohidratos, metabolitos y algunas hormonas a la raíz. Esta es una práctica que debe ser usada con precaución y con un amplio soporte científico, ya que puede causar la muerte del árbol si se llega a traspasar el límite del tejido a eliminar (Wolstenholme, 2010).

CONTROL DE LA FLORACIÓN Y DEL DESARROLLO DEL FRUTO A TRAVÉS DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR

En un estudio realizado por Gardiazábal *et al.* (2007) en aguacate variedad Hass se encontró que los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca) varían según el año productivo. Durante el año "on" los niveles de N son bajos, lo que es explicado por la alta extracción en fruta, lo que significa un fuerte agotamiento de las reservas nitrogenadas disponibles para los árboles. En la temporada siguiente o año "off" la concentración de N amoniacal en hojas es significativamente mayor. Así el manejo de agua y nutrientes en un año productivo "off" debe estar encaminado a reducir la fuerza de crecimiento del flujo vegetativo como principal vertedero, lo cual puede aumentar el cuajado y crecimiento de los frutos (Kohne, 2004; Salazar-García *et al.*, 2006; Gardiazábal *et al.*, 2007).

El boro (B) y N han sido utilizados como fertilizantes foliares aplicados en floración en el cultivo de aguacate en California, Florida y Sur África, con el objetivo de incrementar el cuajado de fruto y en consecuencia la producción (Jaganathy Lovatt, 1995; Li *et al.*, 1997; Robbertse

et al., 1992). En Nueva Zelanda, una sola aplicación de B y/o N en árboles de aguacate 'Hass' permitió alcanzar una concentración ideal en inflorescencias entre 50-65 ppm para incrementar el cuajado del fruto (Dixon *et al.*, 2005). Existen evidencias que el B es esencial para la germinación del polen, desarrollo del tubo polínico a través del estigma, estilo y ovario hasta alcanzar el óvulo y para las divisiones mitóticas necesarias para producir el esperma (Lovatt y Dugger, 1984). La aplicación de B en otoño o primavera en árboles no deficientes en este elemento (basado en análisis foliar) ha sido efectiva en incrementar el cuajado del fruto en árboles frutales deciduos (Hanson y Breen, 1985; Shrestha *et al.*, 1987) y en aguacate (Robbertse *et al.*, 1992). La aplicación foliar de B en forma de octaborato disódico tetrahidratado a hojas maduras y flores de aguacate de la variedad Hass en Sur África, incrementaron el contenido de B en inflorescencias y fue correlacionado con un aumento en el cuajado del fruto (Robbertse *et al.*, 1992). En California, en esta misma variedad injertada sobre patrón 'Duke 7' con aspersiones foliares de B en el estado de desarrollo de la flor denominado coliflor (Estado 8, Figura 1) incrementó acumulativamente la producción durante tres ciclos en 25% (Jaganath y Lovatt, 1995).

En la Florida (Estados Unidos), aplicaciones foliares de B al cultivar Booth 7 y al cultivar Lula incrementaron la concentración de B de las inflorescencias de 1,5 a 12,1%, mayor que en hojas. El efecto de la aplicación de B sobre la producción dependió del cultivar y de la concentración aplicada. En árboles de aguacate de la variedad Booth 7 la producción se incrementó cuando se aplicó B en una concentración de 1,1 kg ha⁻¹ pero no se obtuvo efecto cuando se incrementó la concentración a 2,2 kg ha⁻¹. En contraste, la producción del cultivar Lula no se vio afectada por la aplicación de B (Li *et al.*, 1997). En España, la aplicación de B a una concentración de 2.35 kg ha⁻¹ cuando las flores se encontraban en el estado de coliflor no afectó la producción a pesar que se incrementó la concentración de B en las hojas (Torres *et al.*, 2002).

El N es un macroelemento esencial para el cultivo de aguacate (Lahav y Whiley, 2002) y su aplicación foliar ha sido investigada como una potencial herramienta para incrementar el cuajado de fruto. (Jaganath y Lovatt, 1995; Lovatt, 1999). Investigaciones basadas en la aplicación foliar de N como urea bajo en biuret (46% de nitrógeno elemental) han conseguido un incremento en la producción de aguacate de la variedad Fuerte (Abou *et al.*, 1975). El N absorbido por las hojas al parecer es translocado a las inflorescencias, encontrándose en un porcentaje proporcional a la cantidad aplicada a las hojas (Zilkah *et al.*, 1987). Hojas tratadas con urea independientemente de la proximidad a la inflorescencia fue igualmente efectivo en incrementar el contenido de nitrógeno de la inflorescencia,

sugiriendo que la aplicación foliar de urea no necesita ser dirigida a la inflorescencia (Zilkah *et al.*, 1987).

CONCLUSIONES

El desarrollo tecnológico generado en el subtrópico para el cultivo de aguacate, ha tenido un soporte básico sustentado en la investigación en aspectos relacionados

con la fenología de la especie, fertilización, reguladores de crecimiento, que ha permitido en conjunto desarrollar estrategias para mitigar la alternancia productiva y mejorar el potencial productivo de la especie. Este conocimiento sirve como punto de partida para el desarrollo de investigaciones que permitan entender el comportamiento productivo del aguacate bajo condiciones tropicales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou Aziz AB, Desouki I, El-Tanahy MM. 1975. Effect of nitrogen fertilization on yield and fruit oil content of avocado trees. *Scientia Horticulturae* 3:89-94.
- Agusti M, 2003. *Citricultura*. Madrid: Ediciones Mundiprensa.
- Avilán L, Rodríguez M, Ruiz J. 1995. Comportamiento floral de variedades de aguacate en Venezuela. *Agron Trop* 46(3):275-287.
- Bernal A, Díaz C. 2008. *Tecnología para el cultivo del aguacate*. Manual Técnico No. 5. Rionegro: Centro de Investigación La selva, Corpoica.
- Bruwer A, Robbertse P. 2003. Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.) as influenced by gibberellic acid treatments. En: Proc V World Avocado Congress. Málaga, España: Consejería de Agricultura y Pesca. pp. 227-230.
- Cabezas C, Hueso J, Cuevas J. 2003. Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo del aguacate (*Persea americana* Mill.). En: Proc V World Avocado Congress. Málaga, España: Consejería de Agricultura y Pesca. pp 231-236.
- Calabrese F. 1992. *El aguacate*. Madrid: Institute di Coltivazioni Arboree; Universidad de Palermo; Ediciones Mundi-Prensa; Edición española.
- Can-Alonzo C, Quezada-Euán J, Xiu-Ancona P, Moo-Valle H, Valdovinos-Núñez G, Medina-Peralta S. 2005. Pollination of 'criollo' avocados (*Persea americana*) and the behaviour of associated bees in subtropical Mexico. *J Apicult Res* 44(1):3-8.
- Cossio-Vargas L, Salazar-García S, González-Duran I, Medina-Torres R. 2007. Algunos aspectos reproductivos del aguacate 'Hass' en clima semicálido. En: Proc. VI World Avocado Congress. Viña del Mar, Chile. pp. 1-11.
- Corbesier L, Coupland G. 2005. Photoperiodic flowering of Arabidopsis: Integrating genetic and physiological approaches to characterization of the floral stimulus. *Plant Cell Environ* 28:54-66.
- Davenport T. 1986. Avocado flowering. *Hort Rev* 8:257-289.
- Dixon J, Sher D. 2002. Pollination of avocados. *Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association* 2:31-40.
- Dixon J, Smith DB, Elmsly TA, Fields FP. 2005. The impact of foliar applications of nitrogen and boron on 'Hass' avocado fruit set in 2004. *New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report. Proceedings of the World Avocado Congress III*. 5:27-34.
- 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.
- Dixon J, Elmsly T, Dixon E, Mandemaker A. 2007. 'Hass' avocado tree phenology 2004-2008 in the Western Bay of Plenty. *Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association* 7:21-29.
- FAO. 2011. Estadísticas. En: FAO Statistics División, FAOSTAT, <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>; consulta: febrero de 2011.
- Gardiazábal F, Mena F, Magdahl C. 2007. Efecto de la fertilización en base a N-P-K-Ca-Mg-B-Zn en palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass sobre su desarrollo, productividad y postcosecha de la fruta. En: Proc. VI World Avocado Congress. Viña del Mar, Chile. pp. 12-23
- Gazit S, Degani C. 2007. Biología reproductiva. En: Whiley A, Schaffer B, Wolstenholme B, editores. *El palto, botánica, producción y usos*. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Chile. pp. 103-131.
- Goldschmidt E, Golomb A. 1982. The carbohydrate balance of alternate-bearing citrus trees and the significance of reserves for flowering and fruiting. *J Amer Soc Hort Sci* 107:206-208.
- Guardiola J. 2000. Regulation of flowering and fruit development: Endogenous factors and exogenous manipulation. *Proc Int Soc Citriculture* 9:342-346.
- Hanson EJ, Breen PJ. 1985. Effects of fall boron sprays and environmental factors on fruit set and boron accumulation in Italian prune flowers. *J Amer Soc Hort Sci* 110:389-392.
- Hess D. 1975. *Plant physiology*. New York: Springer-Verlag. pp. 287-312.
- Iglesias D, Tadeo F. 2006. Carbohydrate and ethylene levels related to fruitlet drop through abscission zone A in citrus. *J Amer Soc Hort Sci* 20(3):348-355.
- Jaganath I, Lovatt C. 1995. Efficacy studies on prebloom canopy applications of boron and/or urea to 'Hass' avocados in California. Proc. III World Avocado Congress. Israel. pp 181-184.
- Kohne J. 2004. Flowering, fruit development and manipulation of yield in avocado. En: *Memorias Segundo Seminario Internacional de Paltos*. Quillota, Chile.
- Lahav E, Zamet D. 1999. Flowers, fruitlets and fruit drop in avocado trees. *Rev Chapingo, Serie Hort* 5:95-100.
- Lahav E, Whiley AW. 2002. *Irrigation and mineral nutrition*. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN, editores. *Avocado: botany, production and uses*. Wallingford, UK: CABI.
- Lesley J, Bringhurst R. 1951. Environmental conditions affecting pollination of avocados. *Calif Avocado Soc Yrbk* 36:169-173.
- Leonardi J. 2009. The development of canopy management strategies suited to the different growing environments across Australia for increased profitability. Report No. AV04008. Sydney: Horticulture Australia.
- Li YC, Crane JH, Davenport T, Balerdi CF. 1997. Preliminary findings on the effects of foliar-applied urea and boron on plant nutrition, fruit set and yield of avocado trees. *Proc Fla State Hort Soc* 110: 136-138.
- Lomas J, Zamet DN. 1994. Long term analysis and modeling of agroclimatic effects on national avocado yields in Israel. *Agr Forest Meteorol* 71:315-336
- Lovatt C 1999. Timing citrus and avocado foliar nutrient applications to increase fruit set and size. *Hort Technol* 9(4):607-612.

- Lovatt C. 2006. Eliminating Alternate Bearing of the 'Hass' avocado. En: Proceedings of the California Avocado Research Symposium, Riverside, CA: University of California. pp. 127-142.
- Lovatt CJ Dugger WM, 1984. Boron. En: Frieden E, editor. Biochemistry of the essential ultratrace elements. Vol. 3. New York: Plenum. pp. 389-421.
- Ortolá A, Monerri C, Guardiola J. 1991. The use of naphthalene acetic acid as a fruit growth enhancer in Satsuma mandarin; a comparison with the fruit thinning effect. *Scientia Horticulturae* 47:15-25
- Paz-Vega S. 1997. Alternate bearing in the avocado (*Persea americana* Mill.). *Calif Avocado Soc Yrbk* 81:117-148.
- Robbertse PJ, Coetzer LA, Bessinger F. 1992. Boron: uptake by avocado leaves and influence on fruit production. En: Lovatt CJ, editor. Proc II World Avocado Congress. Orange, CA. pp. 173-178.
- Rosales J, Parodi G, Carlini B. 2003. Evaluación del ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass para la zona de la irrigación Santa Rosa, Perú. En: Proc V World Avocado Congress. Málaga, España. pp. 311-316.
- Rossouw T, Robbertse P. 2001. Effect of gibberellic acid treatments on flower development of avocado. *South African Avocado Growers Association Yearbook* 24(4):1-2.
- Salazar-García S, Lovatt C. 1998. GA₃ application alters flowering phenology of the 'Hass' avocado. *J Amer Soc Hort Sci* 123:791-797.
- Salazar-García S, Lord E, Lovatt C. 1998. Inflorescence and flower development of the 'Hass' avocado during "on" and "off" crop years. *J Amer Soc Hort Sci* 123:537-544.
- Salazar-García S. 1999. Iron nutrition and deficiency: A review with emphasis in avocado (*Persea americana* Mill.). *Rev Chapingo Serie Hortic* 5(2):67-76.
- Salazar-García S, Lovatt C. 2000. Use of GA₃ to manipulate flowering and yield of 'Hass' avocado. *J Am Soc Hort Sci* 125(1):25-30.
- Salazar-García S, Lovatt C. 2002a. Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.). I. Inflorescence and flower development. *Rev Chapingo Serie Hortic* 8(1):71-75.
- Salazar-García S, Lovatt C. 2002b. Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.). II. Manipulation with GA₃. *Rev Chapingo Serie Hortic* 8(1):77-82.
- Salazar-García S, Cossio-Vargas L, Lovatt C, González-Duran I, Pérez-Barraza M. 2006. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of Hass avocado. *HortScience* 41(7):1541-1546.
- Schroeder C. 1944. The avocado inflorescence. *Calif Avocado Soc Yrbk* 28:39-40.
- Scholefield P, Sedgley M, Alexaner D. 1985. Carbohydrate cycling in relation to shoot growth, floral initiation and development and yield in the avocado. *Scientia Horticulturae* 25:99-110.
- Scora R, Wolstenholme B, Lavi U. 2007. Taxonomía y botánica. pp. 25-45. En: Whiley A, Schaffer B, Wolstenholme B, editores. El palto, botánica, producción y usos. Valparaíso, Chile: CABI; Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Sedgley M. 1977. The effect of temperature on floral behavior, pollen tube growth and fruit set in the avocado. *J Hort Sci* 52:135-141.
- Sedgley M, Annells C. 1981. Flowering and fruit-set response to temperature in the avocado cultivar 'Hass'. *Scientia Horticulturae* 14:27-33.
- Sedgley M. 1987. Flowering, pollination and fruit-set of avocado. *South African Growers Association Yearbook* 10:42-43.
- Southwick S, Davenport T. 1986. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in Citrus. *Plant Physiol* 81:26-29.
- Shrestha G, Thompson M, Righetti T. 1987. Foliar-applied boron increase fruit set in 'Barcelona' hazelnut. *J Amer Soc Hort Sci* 112:412-416.
- Thorp T, Aspinall D, Sedgley M. 1994. Preformation of node number in vegetative and reproductive proleptic shoot modules of *Persea* (Lauraceae). *Ann Bot* 73:13-22.
- Torres M, Farré J, Hermoso J. 2002. Foliar B, Cu and Zn applications to Hass avocado trees. Penetration, translocation and effects on tree growth and cropping. *Acta Hort* 594:105-109.
- Whiley A, Winks C, Stephenson R, Winston E. 1988. Boron nutrition of subtropical and tropical fruit and nut crops in Queens. *Maroochy Horticultural Research Station Report* 5:103-4.
- Wilkie J, Sedgley M, Olesen T. 2008. Regulation of floral initiation in horticultural trees. *J. Exp Bot* 59(12): 3215-3228.
- Wolstenholme B. 1986. Energy costs of fruiting as a yield-limiting factor with special reference to avocado. *Acta Hort* 175:121-126.
- Wolstenholme B, Whiley A. 1990. Prospects for vegetative - reproductive growth manipulation in avocado tress. *South African Avocado Growers Association Yearbook* 16:21-24.
- Wolstenholme B, Whiley A. 1995. Strategies for maximizing avocado productivity: An overview. En: Proc. III World Avocado Congress. Tel-Aviv, Israel. pp. 61-70.
- Wolstenholme BN. 2010. Alternate bearing in avocado: an overview. En: The Hofshi Foundation, www.avocadosource.com/papers/southafrica_papers/wolstenholmenigel2010.pdf; consulta: junio de 2011.
- Zilkah S, Klein I, Feigenbaum S, Weinbaum S. 1987. Translocation of foliar applied urea 15N to reproductive and vegetative sinks of avocado and its effect on initial fruit set. *J Amer Soc Hort Sci* 112:1061-1065.