



**UNIVERSIDAD DE ALMERÍA**

**Escuela Superior de Ingeniería**

**Ingeniería Técnica Agrícola**

**“Hortofruticultura y Jardinería”**

**CRECIMIENTO Y MADURACIÓN DEL FRUTO  
EN AGUACATE (*Persea americana* Mill.) CV. HASS**

**ALUMNA: Rosa Pérez de los Cobos Agüero**

**DIRECTORES: M<sup>a</sup> Luisa Cañete Vidaurreta**

**Juan José Hueso Martín**

**Almería, Diciembre 2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quiero agradecer a M<sup>a</sup> Luisa Cañete Vidaurreta, por su gran paciencia y dedicación, y a Juan José Hueso la oportunidad que me han brindado para realizar este trabajo.

Gracias a la Estación Experimental de la Fundación Cajamar, por prestar sus instalaciones y apoyo para realizar este trabajo.

Gracias al profesor Manuel Jamilena y sus colaboradoras Zoraida y Susana por prestar su ayuda en la determinación del etileno.

Gracias a Juan, por tu apoyo y animo constante durante estos años de carrera.

Y finalmente dar las gracias a mi madre por todo su apoyo, paciencia y esfuerzo.



## **ÍNDICE**

## ÍNDICE

<b>INTERÉS Y OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
1. Distribución e importancia del cultivo de aguacate en el Mundo y en España	6
2. Origen y taxonomía del aguacate	10
3. Morfología y fisiología del aguacate	13
4. Crecimiento y desarrollo del fruto en aguacate	16
5. Maduración del fruto en aguacate	21
6. Índices de recolección y calidad del fruto en aguacate	26
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>29</b>
1. Descripción de la parcela de ensayo	30
1.1. Situación	30
1.2. Características climáticas	30
1.3. Descripción del suelo	31
1.4. Material vegetal	32
1.5. Diseño experimental	34
2. Descripción del ensayo de crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate	34
2.1. Muestreo	34
2.2. Parámetros determinados	35
3. Descripción del ensayo de maduración del fruto de aguacate	37
3.1. Muestreo	37
3.2. Parámetros determinados	37
3.3. Producción de etileno	37
3.4. Análisis sensorial	38
4. Análisis estadístico de los datos	40
<b>RESULTADOS</b>	<b>41</b>
1. Crecimiento del fruto en aguacate ‘Hass’	42
1.1. Tamaño del fruto: peso, longitud y calibre	42
1.2. Tamaño de la semilla: peso, longitud y calibre	43

1.3. Color de la piel, pulpa y de la semilla del fruto	43
1.3.1. Color de la piel del fruto	44
1.3.2. Color de la pulpa del fruto	44
1.3.3. Color de la semilla	46
1.4. Firmeza de la pulpa	47
1.5. Materia seca	47
2. Maduración del fruto en aguacate ‘Hass’	48
2.1. Tamaño del fruto: peso, longitud y calibre	48
2.2. Color de la piel del fruto	50
2.3. Firmeza de la pulpa	52
2.4. Materia seca	52
2.5. Producción de etileno	54
2.6. Análisis sensorial	56
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>58</b>
1. Crecimiento del fruto en aguacate ‘Hass’	59
2. Maduración del fruto en aguacate ‘Hass’	62
3. Índices de recolección y calidad del fruto en aguacate ‘Hass’	65
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>68</b>

## **INTERÉS Y OBJETIVOS**

## INTERÉS Y OBJETIVOS

España con 10.000 ha en cultivo y una producción anual de 72.000 t es el primer país de Europa en producción de aguacate y uno de los principales países exportadores a nivel mundial (FAOSTAT, 2010; MAGRAMA, 2011). En la última década, la superficie de cultivo de aguacate en nuestro país se ha incrementado en unas 1.700 ha y la producción en más de 10.000 t (MAGRAMA, 2011). El interés de los agricultores en el cultivo ha propiciado dicho crecimiento y es debido principalmente a varios factores: las bajas necesidades de mano de obra, la escasa incidencia de plagas y enfermedades, un amplio periodo de recolección del fruto, el incremento paulatino del consumo de aguacate y los buenos precios obtenidos por el agricultor en las últimas campañas (Galán, 1990; Cabezas, 2003). Las variedades más importantes en nuestro país son ‘Hass’ que representa el 75% de la producción y ‘Fuerte’ que es la variedad más utilizada como polinizador (Alcaraz y Hormaza, 2009). En España el cultivo del aguacate se localiza principalmente en Andalucía, en las provincias de Málaga y Granada que juntas representan el 86% de la superficie de cultivo y el 87% de la producción de aguacate en nuestro país (MAGRAMA, 2011).

El fruto del aguacate es una baya con una sola semilla, de forma esférica a piriforme, corteza desde fina y sensible a gruesa, granulosa y resistente, y de color variable, desde verde, más o menos amarillento, a negro. El tamaño, forma y coloración del fruto varía dependiendo del cultivar. Su peso oscila entre 100 g y 3 kg y posee un elevado contenido en ácidos grasos (3-30%) y moderado en proteínas (1-4%) e hidratos de carbono (0,25-7%) y es rico en vitaminas A, B<sub>6</sub>, E y C (Ibar, 1986; Galán, 1990). El crecimiento del fruto sigue una curva simple sigmoide y se produce por división y expansión celular. En el aguacate, a diferencia de la mayoría de los frutos, el periodo de división celular no se restringe a la fase primera de crecimiento del fruto, si no que continúa durante toda la fase de crecimiento y madurez del fruto y mientras permanece en el árbol (Bower y Cutting, 1988; Seymour y Tucker, 1993; Scora et al., 2002). Las diferencias en el tamaño del fruto entre cultivares son debidas principalmente a diferencias en la tasa de división celular durante el desarrollo del fruto. Durante el crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate se produce un aumento significativo del contenido en aceite, que puede alcanzar el 20% del peso fresco en algunos cultivares (Seymour y Tucker, 1993), el fruto permanece firme y generalmente no cambia de color.

El aguacate es un fruto climatérico y a diferencia de otros frutos la maduración y el reblandecimiento del fruto no ocurren mientras permanece unido al árbol, y tiene lugar varios días después de la recolección (postharvest ripening) (Bower y Cutting, 1988; Seymour y Tucker, 1993; Scora et al, 2002; Barry y Giovannoni, 2007). Este fenómeno es debido a que el aguacate mientras está en el árbol produce cantidades muy pequeñas, a nivel de trazas, de etileno (Sitrit et al, 1986). Diversos investigadores han sugerido que inhibidores de la maduración se mueven desde otras partes del árbol al fruto, inhibiendo la síntesis de etileno y por lo tanto la maduración del fruto sobre el árbol (Tingwa y Young, 1975; Seymour y Tucker, 1993). El inicio de la maduración del aguacate está marcado por una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos en el fruto que incluyen un incremento significativo de la producción de etileno y de la respiración, cambios en la textura del fruto y el desarrollo de los compuestos del aroma (Seymour y Tucker, 1993). La maduración del fruto es muy rápida y a menudo se completa dentro de los 5-7 días después de la cosecha.

En aguacate la maduración y la calidad del fruto dependen de su estado de madurez en el momento de la recolección. El aguacate, a diferencia de la mayoría de los frutos, puede permanecer en el árbol muchos meses después de alcanzar el estado de madurez del fruto, ya que éste no madura hasta que no es recolectado (Woolf et al., 2004). Este hecho supone una gran ventaja para el agricultor, ya que, le permite conservar los frutos en el árbol, ampliar su periodo de recolección y acceder al mercado cuando la demanda es fuerte. Sin embargo, una óptima maduración y calidad del fruto depende de una adecuada madurez del fruto en recolección. Una recolección demasiado temprana da lugar a frutos con bajo contenido en aceite, presencia de fibras en la pulpa y aspecto arrugado, mientras que la recolección demasiado tardía da lugar a frutos de corta vida poscosecha, maduración irregular, alto contenido en aceite, calidad gustativa mediocre y germinación de la semilla (Galán, 1990).

En aguacate, el principal índice de recolección es el porcentaje de materia seca de la pulpa del fruto, y el contenido mínimo necesario para su recolección varía entre las diferentes zonas productoras y entre variedades (Seymour y Tucker, 1993; Hofman et al., 2002; Kader, 2002; Woolf et al., 2004). En la Unión Europea, el reglamento (CE) N° 387/2005 sobre normas de comercialización aplicables a los aguacates recoge que la madurez y grado de desarrollo de los aguacates, para una óptima maduración del fruto, pueden determinarse a partir del contenido en materia seca y establece unos mínimos de materia seca para la recolección del fruto según variedades. Sin embargo, identificar en campo la madurez

hortícola o de recolección en aguacate es difícil, ya que, no está acompañada con cambios externos visibles en el fruto.

El objetivo principal del presente trabajo es conocer la fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto en aguacate 'Hass' en las condiciones de cultivo de la costa de Almería, y su maduración poscosecha, para ello se plantean los siguientes objetivos:

- Determinar los principales cambios físicos y químicos del fruto durante su crecimiento y desarrollo en el árbol.
- Identificar un índice de recolección del fruto de fácil manejo y preferentemente no destructivo.
- Determinar la evolución del fruto durante su maduración poscosecha en cámara (22°C, 90%HR) en base a diferentes parámetros o índices de maduración del fruto.
- Evaluar la influencia de diferentes fechas de recolección del fruto en la maduración y calidad del fruto.

## **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**



## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1. Distribución e importancia del cultivo de aguacate en el Mundo y en España:

La producción mundial de aguacate asciende a 3.840.905 t al año (FAOSTAT, 2010), siendo Méjico el principal país productor, representando un 28,8 % de la producción total, seguido de Chile con un 8,6 %, Republica Dominicana con un 7,2 %, Indonesia con 5,8 % y Colombia con 5,3 % (Fig. 1). España se sitúa en el puesto 11 de los países productores, siendo el primer país productor de aguacate en Europa (FAOSTAT, 2010). Respecto a la superficie mundial de cultivo, el aguacate ocupa 459.252 ha, y también es Méjico el principal país con 123.403 ha, seguido de Chile, Colombia, Estados Unidos de América y en el puesto número 15 España con 10.400 ha (FAOSTAT, 2010).

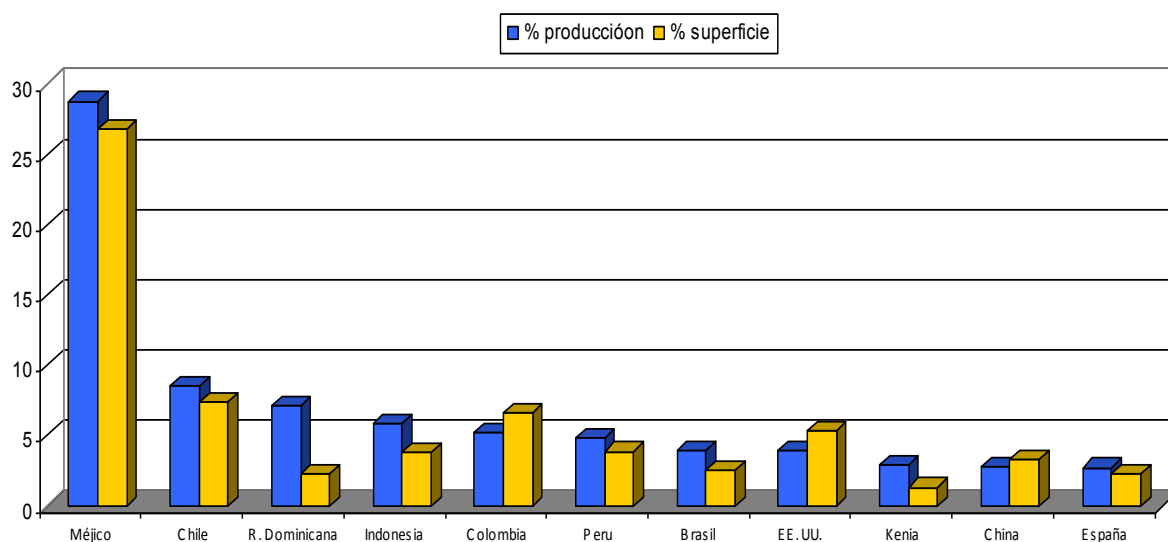


Figura 1. Principales países en producción de aguacate y su superficie de cultivo (% respecto al total mundial). Fuente: FAOSTAT, 2010.

España con unas 10.000 ha en cultivo y una producción anual de 75.000 t es el primer país de Europa en producción de aguacate y uno de los principales países exportadores a nivel mundial (FAOSTAT, 2010; MAGRAMA, 2011). En la última década, la superficie de cultivo en nuestro país se ha incrementado en unas 1.700 ha, pasando de las 8.700 ha en el año 2000 a las 10.400 ha en la actualidad (Fig. 2). Paralelo a este incremento en la superficie de cultivo, se ha producido un aumento de la producción de aguacate, desde las 63.000 t en el año 2000 a más de 80.000 t en 2007; es a partir de este año cuando se aprecia una leve disminución de la producción asentándose en las 70.000-75.000 t (Fig. 2).

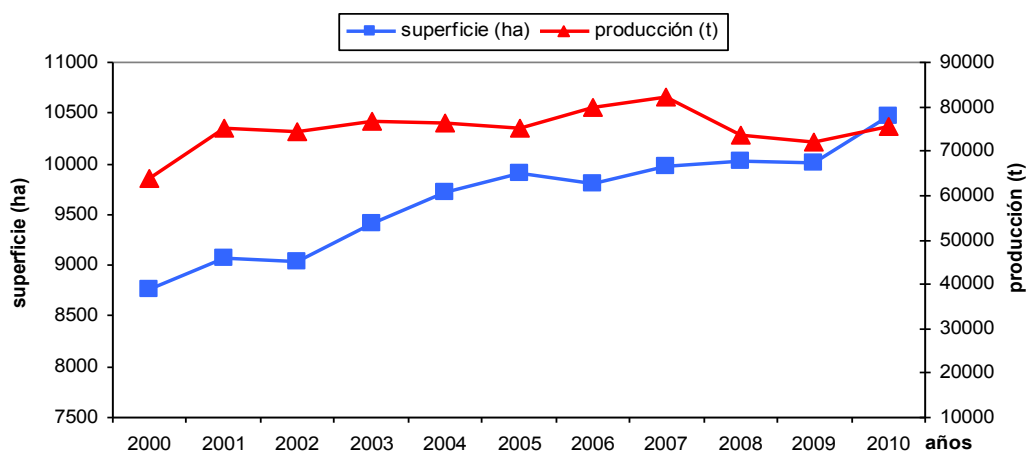


Figura 2: Evolución de la superficie y producción de aguacate en España durante los años 2000-2010. Fuente: Anuario de Estadística; MAGRAMA, 2011.

Uno de los factores que ha motivado el interés de los agricultores por el cultivo del aguacate son los buenos precios obtenidos en las últimas campañas. Los precios medios percibidos por los agricultores en aguacate, han aumentado de forma continuada en los últimos años, alcanzando en año 2010 los 131,55 euros/100kg (Fig. 3). Este precio es, además, muy superior al alcanzado por frutos tradicionales como el melocotón y la manzana, cuyo valor se ha estabilizado en los últimos años en torno a los 50 y 30 euros/100kg respectivamente.

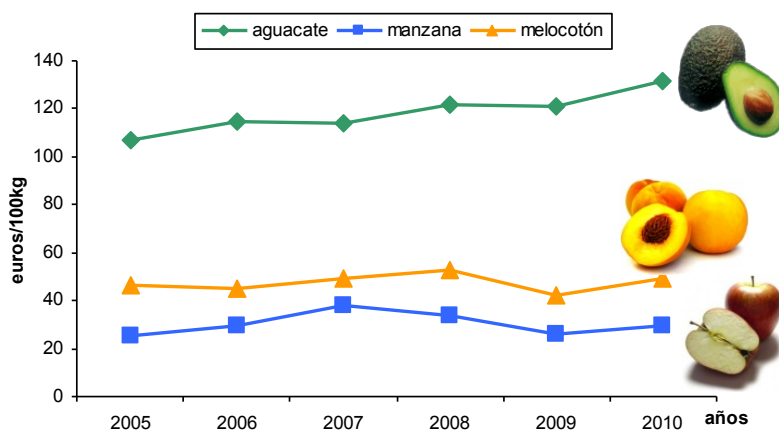


Figura 3: Evolución de los precios medios percibidos por los agricultores en aguacate, manzana y melocotón durante los años 2005-2010. Fuente: Anuario de Estadística; MAGRAMA, 2011.

En España, el cultivo del aguacate se localiza principalmente en Andalucía con 9.349 ha, cifra que representa el 89% del total de la superficie cultivada en nuestro país; le siguen en importancia Canarias con 977 ha y la Comunidad de Valencia con 136 ha, cifras que apenas

representan el 9% y el 1% respectivamente (MAGRAMA, 2011). Respecto a la producción, de nuevo Andalucía es la comunidad líder en nuestro país con 68.229 t, cifra que representa el 90% de la producción de aguacate en nuestro país (Fig. 4).

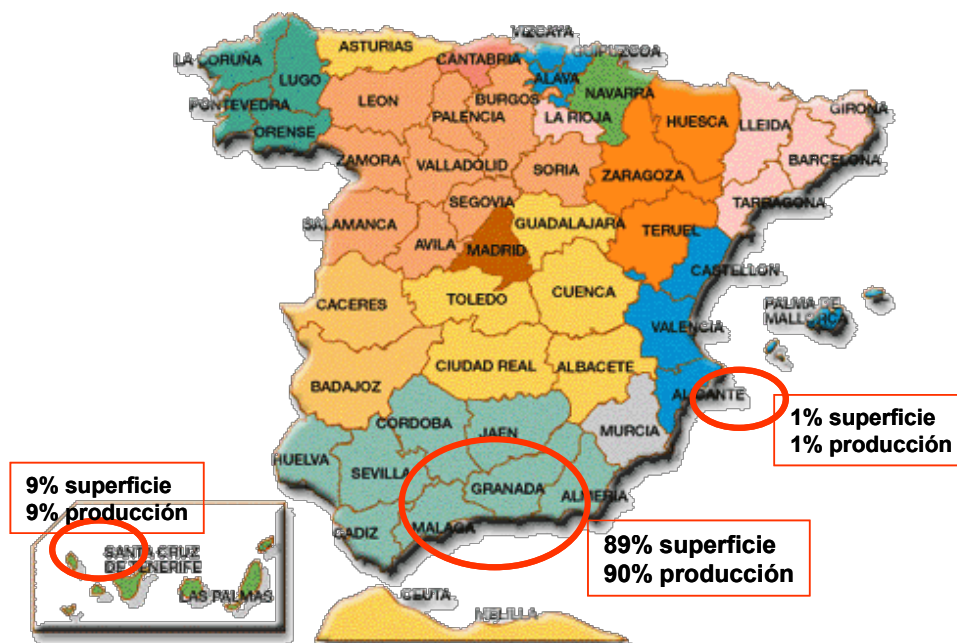


Figura 4: Distribución del cultivo de aguacate en España Fuente: Anuario de Estadística; MAGRAMA, 2011.

En Andalucía, el cultivo del aguacate se localiza mayoritariamente en Málaga y en Granada (Fig. 5), representando ambas provincias el 96% de la superficie de cultivo de Andalucía y el 86% de España.

Provincias	Superficie (ha)	% del total	Producción (t)	% del total
Málaga	6.361	68,0	42.147	61,8
Granada	2.624	28,1	23.550	34,5
Cádiz	296	3,2	2.235	3,3
Huelva	46	0,5	150	0,2
Almería	12	0,1	84	0,1
Sevilla	10	0,1	63	0,1
Jaén	-	-	-	-
<b>Total Andalucía</b>	<b>9.346</b>	<b>100</b>	<b>68.229</b>	<b>100</b>

Figura 5: Distribución del cultivo de aguacate en Andalucía. Fuente: Anuario de Estadística; MAGRAMA, 2011.

Las variedades más cultivadas en nuestro país son: ‘Hass’ que representa en torno al 60-68% de la superficie total de cultivo, ‘Fuerte’ con un 20%, ‘Bacon’ un 12% y otros cultivares que representan el 5% y entre ellos están ‘Zutano’, ‘Pinkerton’, ‘Reed’, ‘Nabal’, etc. (Calatrava, 1992; Agustí, 2004).

Como se ha indicado anteriormente, España es el principal productor de aguacates en Europa, y un porcentaje importante de esa producción se exporta preferentemente a diferentes países de la UE. En los últimos años, las exportaciones españolas de aguacates han aumentado de forma continuada (salvo en 2008) hasta en unas 10.000 t (Fig. 6) y representan en la actualidad el 70 % de nuestra producción de aguacates.

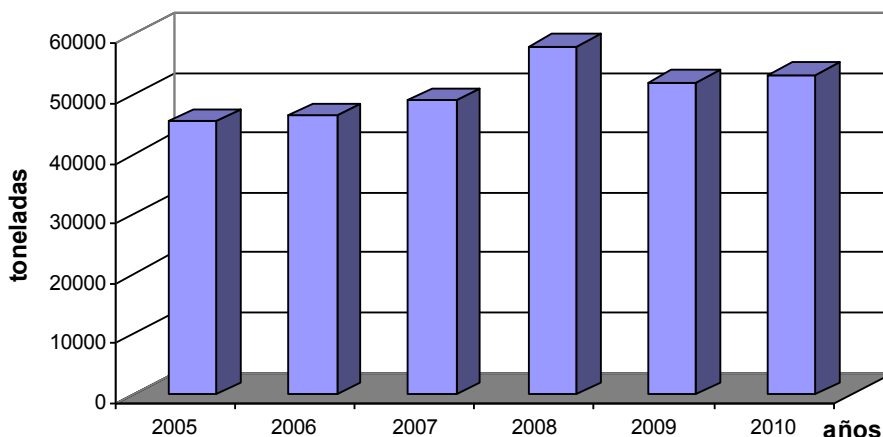


Figura 6: Evolución de las exportaciones españolas de aguacate durante 2005-2010. Fuente: ESTACOM-ICEX.

Los principales países destino de las exportaciones españolas de aguacate son Francia con el 42% del total exportado, Maruecos (14%), Alemania (10%), Países Bajos (7%) y Reino Unido (5,6%). El resto de países representan menos del 5% del total del aguacate exportado (Fig. 7).

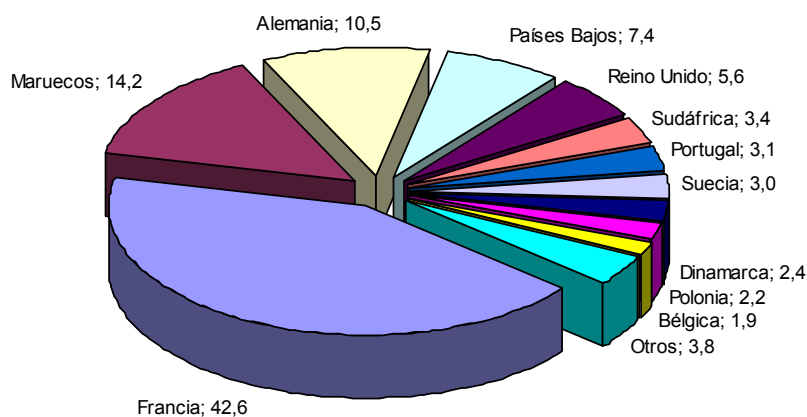


Figura 7: Destino de las exportaciones españolas de aguacate en el año 2010 (datos en %). Fuente: ESTACOM-ICEX

## 2. Origen y taxonomía del aguacate:

Las primeras noticias de esta especie se tienen a través de estudios arqueológicos que nos indican su presencia en Méjico hacia el año 8000 antes de Cristo y en Perú hacia el 3000-4000 antes de Cristo. Su área de origen no es conocida con precisión dada la existencia de varias poblaciones silvestres, pero se considera como tal la región comprendida entre el Sur de Méjico y Colombia, a lo largo de América Central (Galán, 1990). Los primeros pobladores de América Central y del Sur probablemente domesticaron al aguacate al descubrir su exquisito sabor (Téliz, 2000).

En la época precolombina, el aguacate se cultiva en Méjico y América Central, donde recibía el nombre de ‘ahuacatl’ que los españoles más tarde convirtieron en aguacate; su cultivo se extendió por las faldas de la cordillera andina hasta Perú, donde será llamado ‘Palta’ (Ibar, 1986). El primer documento escrito en América y que trata sobre el aguacate es el de Martín Fernández de Enciso (Suma de Geografía, publicado en 1519 en Sevilla, España) quien lo encontró y probó en el pueblo de Yaharo, cerca de Santa Marta en Colombia. Refiriéndose al fruto afirma que: ‘...se parece a una naranja y cuando se parte para comerlo es de color amarillo: lo que hay dentro es como mantequilla, tiene un sabor delicioso y deja un gusto tan blando y tan bueno que es algo maravilloso’ (Calabrese, 1992; Téliz, 2000). Este documento y otros posteriores, revisados por Popenoe (1963), evidencian que los conquistadores españoles encontraron el aguacate cultivado desde Méjico hasta Perú (Popenoe, 1963; Téliz, 2000). Después de la conquista, los españoles llevaron el aguacate a España en 1600 y posteriormente comenzó su distribución a nivel mundial (Téliz, 2000).

La escasa viabilidad de la semilla de aguacate, junto a la escasa tolerancia de las variedades de aguacate a climas más fríos de los de su zona de origen, son sin duda, las principales causas de la lenta difusión de esta especie en el mundo (Popenoe, 1963; Galán, 1990). Ciñéndonos en particular al subtropical, aunque se cita la existencia de aguacates de la raza mejicana en 1601 en un jardín de Valencia (Popenoe, 1963, citando a Clusius, 1601), no se reporta su presencia en Canarias hasta el siglo XIX, siglo en el que también fue introducido en Australia, California y Argelia (Galán, 1990). El aguacate no parece haber alcanzado otras regiones subtropicales como Sudáfrica o Israel hasta el siglo XX, y de hecho, el desarrollo del cultivo comercial no se produce hasta la segunda mitad de este siglo (Galán, 1990).

La clasificación botánica del aguacate ha presentado algunas controversias, reconociéndose una, dos o tres especies según los diversos autores. Actualmente se acepta por la mayoría que los aguacates pueden agruparse bajo una sola especie: *Persea americana* Mill. (Galán, 1990; Calabrese, 1992).

El aguacate, *Persea americana* Mill., pertenece al orden *Lurales*, familia *Lauraceae*, que comprende más de 40 géneros esparcidos por varios continentes, con unas 1000 especies. Además del aguacate, sólo otro género el *Beilschmiedia*, con la especie *B. anay* (Blake) Kosten y *B. ovalis* producen frutos comestibles en el norte de América (Calabrese, 1992). El género *Persea*, incluye más de 50 especies diseminadas por gran parte del territorio tropical americano y a él pertenecen el aguacate silvestre y el cultivado. Como se ha mencionado anteriormente, en las últimas décadas, ha existido una gran controversia entre especialistas, cuando se trataba de expresar en términos taxonómicos las diferencias entre aguacates. Actualmente, para la mayoría de especialistas, los aguacates se agrupan en una única especie *Persea americana* Mill. que incluye tres subespecies, variedades botánicas o razas: *Persea americana* var. *drymifolia* (raza mejicana), *Persea americana* var. *americana* (raza antillana), y *Persea americana* var. *guatemalensis* (raza guatemalteca) (Scora y Bergh, 1990; Calabrese, 1992). Los aguacates cultivados son, en su mayor parte, híbridos de las tres subespecies o razas anteriormente mencionadas y que se describen a continuación.

La raza mejicana (*Persea americana* var. *drymifolia*) es originaria del altiplano de Méjico (Fig. 8) y, debido a ello, es la más resistente a las bajas temperaturas (Calabrese, 1992). Los árboles son altos, de corteza delgada y con gran cantidad de lenticelas. Las hojas de color verde oscuro, son más pequeñas y puntiagudas que las de los otros grupos y poseen un característico olor a anís. La floración es más precoz que en las otras razas. El fruto es pequeño, con una gran semilla en su interior, piel lisa y delgada y de color verde o casi negro (Rodríguez, 1982; Calabrese, 1992). La pulpa del fruto es escasa, de alto contenido en aceite y de sabor ligeramente picante. Presenta cierta incompatibilidad a injertarse sobre patrones antillanos, es susceptible a suelos calcáreos y a la salinidad, y climas muy cálidos dificultan la maduración del fruto (Rodríguez, 1982).

La raza antillana (*Persea americana* var. *americana*) muy probablemente tuvo su origen en la costa del Pacífico de Centroamérica (Fig. 8), desde Guatemala hasta Costa Rica (Storey et al., 1986). Es poco resistente al frío, debido a que su hábitat natural es claramente

tropical (Calabrese, 1992). Los árboles no son tan vigorosos como los de la raza mejicana, las hojas son de color verde claro, amarillento y la época de floración es posterior a la mejicana. El fruto es grande, la semilla suele separarse de la pulpa en madurez, la piel es lisa, brillante y de grosor medio y de color verde (Rodríguez, 1982; Calabrese, 1992). La pulpa del fruto es abundante, de bajo contenido en aceite y sabor de insípido a dulce. Esta raza es resistente al calcio y a la salinidad (Rodríguez, 1982).



Figura 8: Posibles centros de origen de las tres razas de aguacate. Fuente: Scora y Bergh, 1990.

La raza guatemalteca (*Persea americana* var. *guatemalensis*) es originaria de regiones altas de Guatemala (Fig. 8) y su resistencia al frío es intermedia entre las anteriores razas (Storey et al., 1986). Los árboles son de gran tamaño, las hojas son anchas y largas y la época de floración es tardía. El fruto es de tamaño medio, semilla pequeña, de piel gruesa, dura y puede ser rugosa (Rodríguez, 1982; Calabrese, 1992). La pulpa del fruto es abundante, de alto contenido en aceite y sabor parecido al almendro. Desde el punto de vista comercial los aguacates guatemaltecos son considerados los mejores. Por último, esta raza es poco recomendada para su uso como patrón y tiene una marcada tendencia a la alternancia por su gran producción de frutos (Rodríguez, 1982).

La mayoría de las variedades comerciales de aguacate, se han obtenido por hibridación entre razas, presentando características intermedias entre sus parentales. Los cultivares más importantes en zonas subtropicales y templadas, por orden de maduración son: 'Ettinger', 'Bacon', 'Fuerte' y 'Hass' (Agustí, 2004).



### 3. Morfología y fisiología del aguacate:

El aguacate es una especie polimorfa y por ello, muchos caracteres como la dimensión de la hoja, el tamaño del fruto, la coloración de la piel, etc. son muy variables (Calabrese, 1992). Es un árbol vigoroso (Fig. 9), que puede alcanzar hasta los 20 m de altura, de hoja perenne, aunque algunos cultivares pierden casi todas sus hojas durante la floración (Agustí, 2004). El tronco es robusto, con una corteza suberosa, agrietada y de color pardo, y las ramas son vigorosas. El crecimiento anual se produce en flujos a partir de la yema apical de las ramas.



Figura 9: Árbol, hojas y frutos de aguacate (*Persea americana*) cv. 'Hass'. Fuente: Rosa Pérez de los Cobos

El sistema radical es superficial ( $\leq 50$  cm de profundidad), de crecimiento horizontal y está formado por una raíz principal corta y débil, con numerosas ramificaciones secundarias, que carecen de pelos radicales visibles (Galán, 1990; Calabrese, 1992). En aguacate, el crecimiento de las raíces va a depender, entre otros factores, de las características del suelo donde se desarrolla, alcanzando un mayor desarrollo y profundidad en suelos arenosos y sueltos que en suelos de textura más fina (Calabrese, 1992).

Las hojas son alternas, pecioladas, simples, y de color verde oscuro, con la nervadura principal de color amarillo pálido (Fig. 9). La forma es variable entre oval-oblongas, elípticas, o aovadas y su ápice es más o menos agudo según la raza y la variedad. El tamaño de las hojas varía mucho, entre 5 a 40 cm de longitud y de 3 a 10 cm de anchura. El haz es brillante y glabro y el envés ligeramente pubescente. El peciolo tiene de longitud entre 1,5 a 3,5 cm (Calabrese, 1992).



Las flores del aguacate se agrupan en inflorescencias en panículas, situadas en posición terminal o subterminal en el último crecimiento vegetativo de las ramas (Agustí, 2004). El eje de la inflorescencia es grueso, cilíndrico y ligeramente achatado, de color verde amarillo, densamente pubescente y provisto de numerosas brácteas también pubescentes. Las flores del aguacate son hermafroditas y perfectas. Son de pequeño tamaño, ya que en el momento de la apertura suelen medir de 10 a 15 mm y tienen un pedúnculo corto y pubescente. Poseen un periantio formado por seis piezas, tres que semejan a pétalos y otras tres que hacen las funciones de sépalos, muy similares entre sí, de color verde pálido o amarillento; tienen doce estambres, pero sólo nueve tienen anteras funcionales y un pistilo único, con un solo carpelo y un solo óvulo (Galán, 1990; Agustí, 2004).

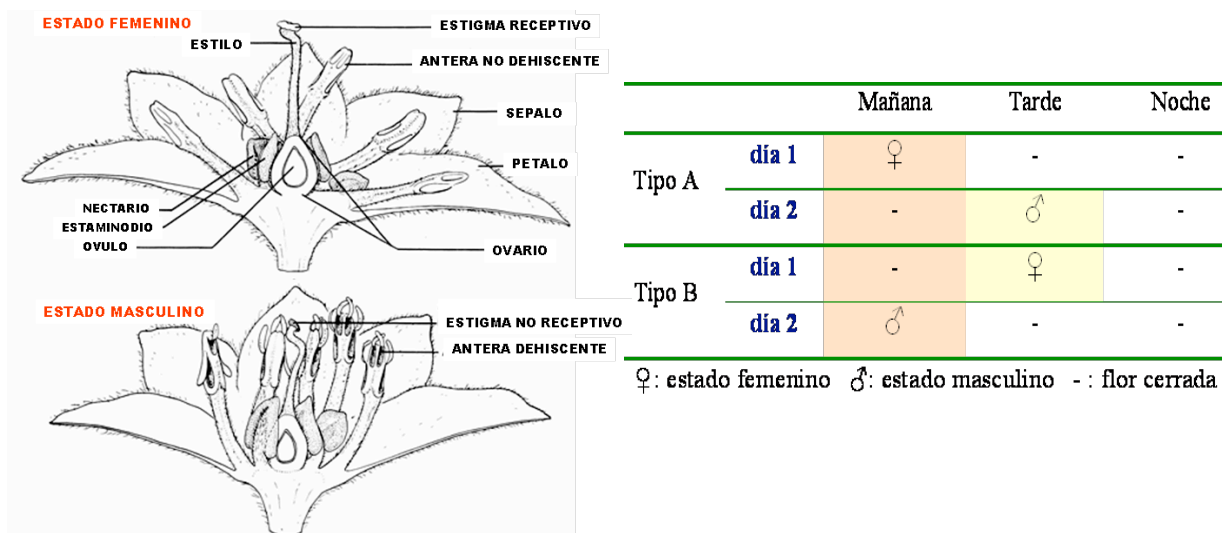


Figura 10: Izquierda. Esquema de la flor de aguacate durante sus dos aperturas. Estado femenino: con el estigma receptivo y estambres inclinados con anteras no dehiscentes. Estado masculino: con estigma no receptivo y estambres erectos con anteras dehiscentes. Fuente: McGregor, 1976; modificada. Derecha. Comportamiento floral y solapes de los grupos A y B de aguacate. Fuente: Cabezas, 2003.

El aguacate es una especie que presenta dicogamia protogínica sincronizada (Davenport, 1986; Calabrese, 1992). La dicogamia es un mecanismo biológico, que las angiospermas han desarrollado a lo largo de su evolución, para evitar la autopolinización y favorecer la polinización cruzada y con ello la diversidad genética. En el aguacate la flor es perfecta, pero la maduración de los órganos masculinos y femeninos de la flor se produce en diferentes momentos. En la mayor parte de los casos, lo que ocurre es que cuando el estigma de la flor está receptivo las anteras no liberan polen o, viceversa, cuando el estigma no está receptivo se produce la liberación de los granos de polen (Fig. 10). La dicogamia en aguacate es protogínica es decir, la flor abre dos veces, y la apertura de la flor como femenina es

anterior a la apertura como masculina; y además está sincroniza ya que todas las flores del árbol abren y cierran a la vez, y funcionan como femeninas en un periodo y como masculinas en otro. Si los periodos de funcionamiento de la fase femenina y masculina de la flor fuesen los mismos en todos los cultivares, nunca existiría polinización y fecundación. En aguacate, lo que ocurre es que existen dos tipos de cultivares A y B (Fig. 10), con funcionalidad floral no coincidente, de modo que cuando las flores del grupo A tienen el estigma receptivo las del grupo B están liberando polen y viceversa; lo que hace posible la polinización cruzada (Calabrese, 1992). Este comportamiento floral solo se produce de forma regular bajo condiciones de clima cálido, particularmente cuando ocurren temperaturas diurnas/nocturnas de 25-15 °C respectivamente (Calabrese, 1992). En otras condiciones, como sucede en la cuenca mediterránea, puede ocurrir una alteración de las fases florales dando lugar a la presencia en el mismo árbol, y al mismo tiempo, de flores funcionalmente masculinas y femeninas (Agustí, 2004). La polinización en aguacate es entomófila, y es llevada a cabo por abejas (*Apis mellifera* L.) y otros insectos de tamaño similar.

El fruto del aguacate es una baya con una sola semilla, de forma esférica a piriforme, corteza desde fina y sensible a gruesa, granulosa y resistente, y de color variable, desde verde, más o menos amarillento, a negro (Fig. 9). El tamaño, forma y coloración del fruto varía dependiendo del cultivar. Su peso oscila entre 100 g y 3 kg y posee un elevado contenido en agua (60-80%) y en ácidos grasos (3-30%) y moderado en proteínas (1-4%) e hidratos de carbono (0,25-7%), es rico en vitaminas A, B<sub>6</sub>, E y C, y no contiene colesterol, lo que lo convierte en un alimento muy recomendable para la dieta humana (Ibar, 1986; Galán, 1990). La parte comestible del fruto es de color amarillo pálido, con una leve cubierta más verdosa y adherente al exocarpo o piel del fruto. La semilla es de gran tamaño (Fig. 9), suele ser monoembriónica y en la maduración puede separarse de la pulpa (Calabrese, 1992).

El ciclo reproductivo del aguacate 'Hass' en las condiciones de cultivo de California (Hemisferio Norte), similares a las nuestras de Almería, ha sido descrito por Lovatt (1990) y se muestra en la Figura 11. La floración en aguacate es muy abundante y prolongada en el tiempo dependiendo de las condiciones climáticas (Gazit y Degani, 2002). En aguacate 'Hass', en las condiciones de cultivo de Almería, la floración tiene lugar con la llegada de la primavera a partir de finales de marzo y durante el mes de abril (Cabezas, 2003), y su duración depende fundamentalmente de las temperaturas. Durante la época de floración tienen

lugar los procesos de polinización, fecundación y cuajado del fruto; y tras ellos, el fruto inicia su crecimiento (Fig. 11).

#### FLORACIÓN, CUAJADO Y CRECIMIENTO DEL FRUTO EN AGUACATE 'HASS'

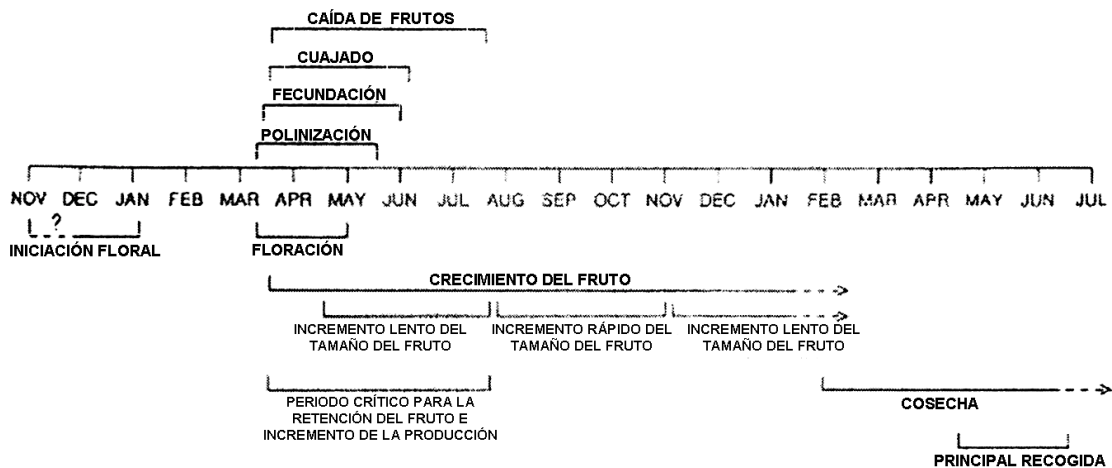


Figura 11: Ciclo estacional reproductivo del aguacate 'Hass' en San Diego (California). Fuente: Lovatt, 1990; modificada.

#### 4. Crecimiento y desarrollo del fruto en aguacate:

Tras la polinización de la flor y la fecundación de los óvulos, el ovario inicia su crecimiento y se dice que el fruto ha cuajado. El cuajado del fruto es una fase de transición entre el ovario de la flor y el fruto en desarrollo. Se define como el conjunto de cambios iniciales que experimenta una flor hasta convertirse en fruto, y estos cambios son: la marchitez y caída, en muchos casos, de los órganos de la flor implicados en la polinización; la expansión del ovario para acomodar las semillas en su interior; y además el cuajado incluye también la persistencia del pequeño fruto en desarrollo. En la mayoría de las especies frutales, un alto porcentaje de flores y de frutos recién cuajados caen, concentrándose estas caídas en determinadas épocas más o menos definidas. Estas caídas de flores y frutos se producen de forma natural, es un proceso de autorregulación de la planta, propio de la especie, y los frutos que permanecen en el árbol se benefician del autoaclareo. El cuajado final de frutos es el porcentaje de flores que se convierten en frutos y es variable entre las distintas especies (Westwood, 1993).

En aguacate la floración es muy abundante y dependiendo del cultivar produce miles de inflorescencias, cada una con más de cien flores, de tal manera que el número total de flores por árbol puede estar en un millón, e incluso más (Téliz, 2000). Sin embargo el

porcentaje de flores cuajadas es muy bajo, este porcentaje se encuentra entre el 0,002 % y el 0,1 % y tan sólo uno o dos frutos por cada inflorescencia alcanzan la madurez (Téliz, 2000; Gazit y Degani, 2002). El cuajado inicial del fruto en el aguacate es relativamente alto, pero la abscisión de frutos al inicio de su desarrollo es muy importante. Para Téliz (2000) varias son las causas del escaso cuajado de frutos en aguacate: la competencia entre frutos en desarrollo y también con el crecimiento vegetativo, un stress por deficiencia de agua y la sensibilidad de los procesos de fructificación a temperaturas extremas. Después del cuajado, en la mayoría de las especies cultivadas, el fruto inicia un periodo de crecimiento activo, al final del cual tiene lugar la maduración, donde el fruto sufre una serie de transformaciones que lo hacen más atractivo para la dispersión de sus semillas. El periodo de crecimiento y desarrollo del fruto del aguacate es muy prolongado, comparado con el de otros frutales, y dura entre 6 y 12 meses o más, dependiendo del cultivar y de las condiciones de cultivo (Scora et al., 2002). En aguacate 'Hass', dicho periodo, se extiende desde los meses de abril-mayo hasta enero-febrero, en condiciones de cultivo similares a las nuestras (Lovatt, 1990).

De forma general, el crecimiento del fruto, desde el cuajado a maduración, tiene lugar en fases sucesivas, con características bien definidas y variables, hasta que el fruto cesa prácticamente en su crecimiento y madura (Agustí, 2004); dichas fases se describen a continuación:

- En la fase primera (fase I): el crecimiento del fruto se produce por división celular, y el fruto alcanza casi el número total de células que va a tener, pero aumenta muy poco de tamaño. Esta fase se inicia con el cuajado de fruto y su duración es variable entre especies, desde unos pocos días (cerezo, tomate) hasta varios meses (melocotonero, ciruelo, cítricos, etc.) (Baldini, 1992; Agustí, 2000). En algunos frutos, como el aguacate y la fresa, la duración de la división celular se prolonga hasta su recolección (Westwood, 1982).
- En la fase segunda (fase II) de expansión o engrosamiento celular, las células formadas aumentan de volumen por acumulación de agua y de carbohidratos (fotoasimilados) y el fruto aumenta significativamente de peso y de tamaño. Se inicia una vez terminada la fase de división celular y su duración es muy variable (30 a 60 días) y cuando finaliza el fruto alcanza casi su tamaño definitivo (Gil-Albert, 1996).
- En la fase tercera (fase III) tiene lugar la maduración del fruto. Durante ésta fase, se producen en el fruto una serie de cambios que conducen al fruto a alcanzar sus características gustativas específicas. Estos cambios son, entre otros, un cambio de color, aumento del contenido en azúcares, disminución de los ácidos, pérdida de firmeza del

fruto, y la formación de sustancias volátiles (alcoholes, ésteres, terpenos, etc.) que confieren al fruto sus particulares aromas. Durante esta fase el fruto aumenta algo de tamaño, fundamentalmente por acumulación de agua, y su duración es variable entre 10 y 30 días (Gil-Albert, 1996).

El crecimiento del fruto en aguacate sigue un patrón similar al de otros frutos carnosos, descrito anteriormente, con una rápida división celular en la primera fase y posterior expansión celular (Scora et al., 2002). Sin embargo, en el aguacate la división celular continúa, aunque a un ritmo más lento, durante todo el desarrollo del fruto y mientras permanece en el árbol (Bower y Cutting, 1988; Seymour y Tucker, 1993; Scora et al., 2002). Como en la mayoría de las bayas, el crecimiento del aguacate sigue una curva simple sigmoide, con una fase inicial lenta de duración aproximada de 10 semanas después de la floración. A continuación, la fase de crecimiento rápido del fruto que se prolonga hasta unas 30 semanas tras la floración, dependiendo del cultivar y condiciones de cultivo; y por último, la fase de madurez del fruto durante la cual el crecimiento es más lento (Cowan et al., 2001). El tamaño final del fruto depende del número de células del ovario antes y después de la fecundación y del tamaño de las células del fruto (Gillaspy et al., 1993; Ozga y Reinecke, 2003; Srivastava y Handa, 2005). Las diferencias en el tamaño final del fruto en aguacate, entre cultivares, parecen ser debidas principalmente al número de células más que al tamaño celular (Scora et al., 2002).

El crecimiento y desarrollo del fruto está regulado hormonalmente y las hormonas implicadas son las auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico y etileno (Nitsch, 1970; Ozga y Reinecke, 2003). El mecanismo de control hormonal del desarrollo del fruto es muy complejo y en las últimas décadas se han realizado numerosas investigaciones que han contribuido a un mejor conocimiento. El cuajado del fruto depende de una o más señales positivas de crecimiento generadas durante la polinización y la fecundación de los óvulos (Gillaspy et al., 1993). Estas señales positivas de crecimiento o bien está presentes en el grano de polen, y/o son producidas en el ovario en respuesta a la germinación del polen, o al crecimiento del tubo polínico, y/o a la fecundación de los óvulos. Estos factores de crecimiento por los cuales la polinización y la fecundación estimulan el cuajado y desarrollo del fruto incluyen las auxinas, giberelinas, citoquininas y etileno (Nitsch, 1970; Ozga y Reinecke, 2003).

Después del cuajado, el control del crecimiento del fruto lo establece las semillas en desarrollo. La importancia de las semillas en el desarrollo del fruto, se puso de manifiesto en trabajos clásicos realizados en manzana y fresa y que recoge Nitsch (1970) en su revisión. Las semillas en desarrollo son lugares de síntesis de los reguladores de crecimiento, y estimulan el desarrollo de los tejidos del fruto que las rodean, y existe una relación directa entre el tamaño final del fruto y el número de semillas que posee (Nitsch, 1970). Como se ha mencionado anteriormente, el control hormonal del desarrollo del fruto es muy complejo, ya que, el momento y mecanismo de síntesis de las hormonas implicadas varía entre los distintos frutos. Además, se han descrito interacciones entre diferentes hormonas (Ozga y Reinecke, 2003), y la sensibilidad de los tejidos del fruto a los reguladores del crecimiento puede variar a lo largo de las diferentes etapas de su desarrollo (Monselise, 1986). Según Nitsch (1970), las citoquininas presentes en las semillas inmaduras son, junto con las auxinas, responsables de la división celular en el fruto. En general, se acepta que las auxinas son las responsables del incremento de la expansión celular en los tejidos del fruto (Gillaspy et al., 1993). Sin embargo, el papel de las giberelinas en el desarrollo del fruto no está del todo claro, pero generalmente se asume que son necesarias para estimular tanto la división celular, como la expansión celular (Gillaspy et al., 1993). El fruto en desarrollo se comporta como un fuerte sumidero de nutrientes dentro del árbol y se establecen fenómenos de competencia con otros frutos en desarrollo y con otros puntos de crecimiento dentro del árbol.

En aguacate, la semilla juega un papel muy importante en el desarrollo del fruto y existe una relación entre el tamaño de la semilla y el tamaño final del fruto (Bower y Cutting, 1988; Hershkovitz et al., 2011). Según Blumenfeld y Gazit (1974), la semilla del aguacate contiene niveles mucho más altos de auxinas, giberelinas y citoquininas que el pericarpo del fruto, sugiriendo que la semilla es lugar de síntesis de estas sustancias de crecimiento. Para dichos autores, la semilla del aguacate se comporta como un fuerte sumidero dentro del fruto, debido a su efecto sobre el crecimiento de éste, así como, por su elevado tamaño y alto contenido en materia seca (Blumenfeld y Gazit, 1974). Bower y Cutting (1988) proponen un modelo del control hormonal del fruto en aguacate, con un incremento de las auxinas, giberelinas y citoquininas durante el inicio del crecimiento del fruto y posterior disminución; y un aumento del ácido abscísico próximo a la madurez y de etileno en la maduración del fruto. Sin embargo para dichos autores, son necesarias más investigaciones para entender el control endógeno del desarrollo del fruto. Para Cowan et al. (2001), el conocimiento de papel de las hormonas en el desarrollo del fruto en aguacate es rudimentario; e indican que las

citoquininas ejercen su efecto sobre el cuajado, mientras que las giberelinas afectan al crecimiento del fruto y las auxinas ambos procesos.

El fruto del aguacate aumenta significativamente de tamaño, desde cuajado a madurez, permanece firme y del color verde característico de cada cultivar. El contenido en aceite aumenta también durante el crecimiento del fruto y en cosecha alcanza alrededor del 20% del peso fresco de la pulpa, dependiendo del cultivar (Seymour y Tucker, 1993). La síntesis de lípidos solo tiene lugar en aguacate durante el crecimiento del fruto en el árbol, y no durante el almacenamiento y la maduración del fruto (Requejo-Tapia et al., 1999). La fracción lipídica mayoritaria en aguacate son los acilglicéridos, ésteres de ácidos grasos con glicerol, que representan alrededor del 96% del total de los lípidos en cosecha, y dentro de ellos los triglicéridos representan el 87% del total de lípidos del fruto y aumentan por lo tanto significativamente durante el crecimiento del fruto (Seymour y Tucker, 1993). El almacén de lípidos, como triglicéridos, está presente en el mesocarpo del aguacate en los idioblastos o células grasas, y durante el reblandecimiento del fruto se liberan y se metabolizan (Requejo-Tapia et al., 1999). Los principales ácidos grasos en aguacate son: ácido oleico, palmítico y linoleico; y de ellos sólo el ácido oleico aumenta durante la fase final del crecimiento del fruto (Seymour y Tucker, 1993; Ozdemir y Topuz, 2004; Yousef y Hassaneine, 2010). Los ácidos grasos insaturados como el ácido oleico, mayoritario en aguacate, tienen un alto valor nutritivo y son beneficiosos para la salud. En aguacate existe una relación directa entre el contenido de aceite del fruto y el porcentaje de materia seca, utilizándose ambos parámetros como índices de recolección o cosecha del fruto (Kader, 2002).

Respecto a los azúcares solubles, en el fruto del aguacate se han identificado sacarosa, fructosa y glucosa y dos azúcares reductores de siete átomos de carbono (C7), la manoheptulosa y el perseitol (Lui et al., 1999). Estos cinco azúcares constituyen el 98% del total de sólidos solubles (SST) en el fruto, siendo los mayoritarios los azúcares C7. Para Lui et al. (1999), la composición de los azúcares en el aguacate es única debido a la presencia de azúcares C7, en mayor concentración que el almidón, constituyendo la principal forma de carbohidratos de reserva en aguacate. El contenido en azúcares aumenta en el inicio del crecimiento del fruto y disminuye de forma gradual en la fase de crecimiento rápido del fruto cuando se inicia la acumulación de aceite en el fruto (Lui et al., 1999).

## 5. Maduración del fruto en aguacate:

La maduración es el conjunto de cambios físicos, químicos y fisiológicos que ocurren en el fruto al final de su crecimiento y que determinan que éste alcance la textura, color, aroma y sabor característicos de cada especie, y que lo hacen atractivo para su consumo y para la dispersión de las semillas. En la mayoría de los frutos carnosos, estos cambios son: la pérdida de firmeza de la pulpa, un cambio de color de la piel, el incremento del contenido de azúcares solubles, la disminución de los ácidos orgánicos, formación de sustancias volátiles responsables del aroma, y otros cambios como la acumulación de vitaminas, taninos, etc. Después de la maduración, el fruto inicia su senescencia que se caracteriza, por la pérdida de turgencia, el aumento de la sensibilidad a las condiciones del medio, la pérdida del control metabólico y posterior abscisión del fruto (Agustí, 2000).

La maduración tiene lugar al final del crecimiento del fruto, y en la literatura inglesa se distingue entre ‘maturation’ y ‘ripening’ (fig. 12). Para Westwood (1993) ‘maturation’ es el tiempo entre el final del crecimiento del fruto y el comienzo de la maduración (‘ripening’) y el fruto pasa de un estado inmaduro a la madurez (maturity/fruit mature) y adquiere la capacidad para madurar. La maduración (‘ripening’) es el conjunto de cambios que conducen al fruto a alcanzar sus características gustativas específicas, cuando finaliza el fruto está listo para su consumo (fruit ripe); se inicia después de que la semilla ha completado su madurez (Gillaspy et al., 1993) y es anterior a la senescencia del fruto (Agustí, 2000).

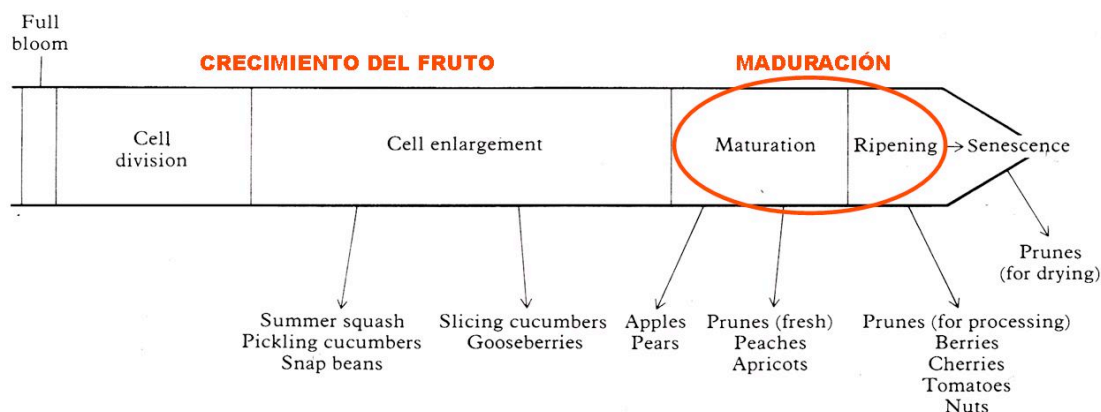


Figura 12: Relación de la madurez hortícola con el desarrollo fisiológico y la maduración de distintos frutos. Fuente: Westwood, 1993; modificada.

Para Gil-Albert (1996), desde el punto de vista técnico interesa distinguir entre:

- Madurez de consumo o gustativa: es el momento óptimo de consumo del fruto. Es cuando el fruto alcanza sus mejores características organolépticas y es apto para el consumo en fresco.



- Madurez hortícola, comercial o de recolección: es el momento óptimo de recolección de la fruta para que llegue al consumidor con sus mejores características organolépticas (madurez de consumo). Depende del destino posterior del fruto: consumo fresco, industria conservera o secado (Fig. 12).
- Madurez fisiológica: corresponde al momento en el que las semillas están suficientemente desarrolladas para ser viables y germinar. Un fruto está fisiológicamente maduro cuando sus semillas tienen capacidad de germinar y de autoperpetuar la especie.

El proceso de la maduración varía con los frutos, pero es posible agruparlos en dos grandes grupos según su comportamiento fisiológico, y diferente mecanismo de maduración (Agustí, 2000; Alexander y Grierson, 2002):

- Frutos climatéricos: durante su maduración se produce un incremento significativo del etileno y de la respiración. Estos frutos, pueden ser recolectados en el estado de madurez y madurar separados de la planta (Kader, 1999). Los frutos climatéricos acumulan almidón durante su crecimiento y, en la maduración, lo hidrolizan a monosacáridos; proceso muy exigente en energía y por eso la maduración se caracteriza por un aumento de la respiración (Agustí, 2000). Frutos climatéricos son: el melocotón, albaricoque, ciruela, manzana, pera, plátano, aguacate, chirimoya, mango, higo, caqui, melón, tomate, etc.
- Los frutos no climatéricos: producen pequeñas cantidades de etileno durante la maduración, y acumulan directamente monosacáridos durante su crecimiento y, por tanto, durante la maduración no experimentan incrementos significativos de su tasa respiratoria (Agustí, 2000). Estos frutos no son capaces de continuar su maduración, una vez que son separados de la planta (Kader, 1999). Frutos no climatéricos son: los cítricos, cereza, aceituna, uva, fresa, piña, etc.

Todos los frutos climatéricos y no climatéricos, responden a la presencia endógena o a la aplicación exógena de etileno (Agustí, 2000). Se puede afirmar, por lo tanto, que este gas es la hormona de la maduración, pero como veremos más adelante, los mecanismos de regulación y de acción son diferentes entre frutos climatéricos y no climatéricos.

El etileno es una hormona vegetal, de estructura química muy simple ( $C_2H_4$ ) con actividad en forma gaseosa. El hecho de ser un gas incoloro a temperatura y presión ambientes, le confiere unas características peculiares: la capacidad de difundir libremente por los espacios intercelulares y de coordinar una respuesta rápida y uniforme en los tejidos

(Zacarías y Lafuente, 2000). El efecto del etileno en las plantas se produce a muy bajas concentraciones (ppm y ppb) y se manifiesta en casi todas las etapas de su ciclo biológico: desde la germinación de las semillas hasta la maduración y senescencia del fruto; o en respuestas al estrés producido por: heridas, deficiencia hídrica, encharcamiento, infecciones por patógenos, etc. (Saltveit, 1999; Zacarías y Lafuente, 2000).

El etileno se sintetiza a partir de la metionina (fig. 13) y las enzimas implicadas en su síntesis son la ACC sintetasa (ACS) y la ACC oxidasa (ACO) originalmente definida como EFE (enzima formadora de etileno) (Yang y Hoffman, 1984). En los frutos climatéricos el etileno provoca la síntesis de nuevo etileno, es decir hay una producción autocatalítica de etileno que no ocurre en los frutos no climatéricos (Zacarías y Lafuente, 2000). El etileno formado dispara la maduración del fruto, se une a los receptores celulares y se produce la señal de transducción que altera la expresión de los genes implicados en la maduración (fig. 13) (Alexander y Grierson, 2002).

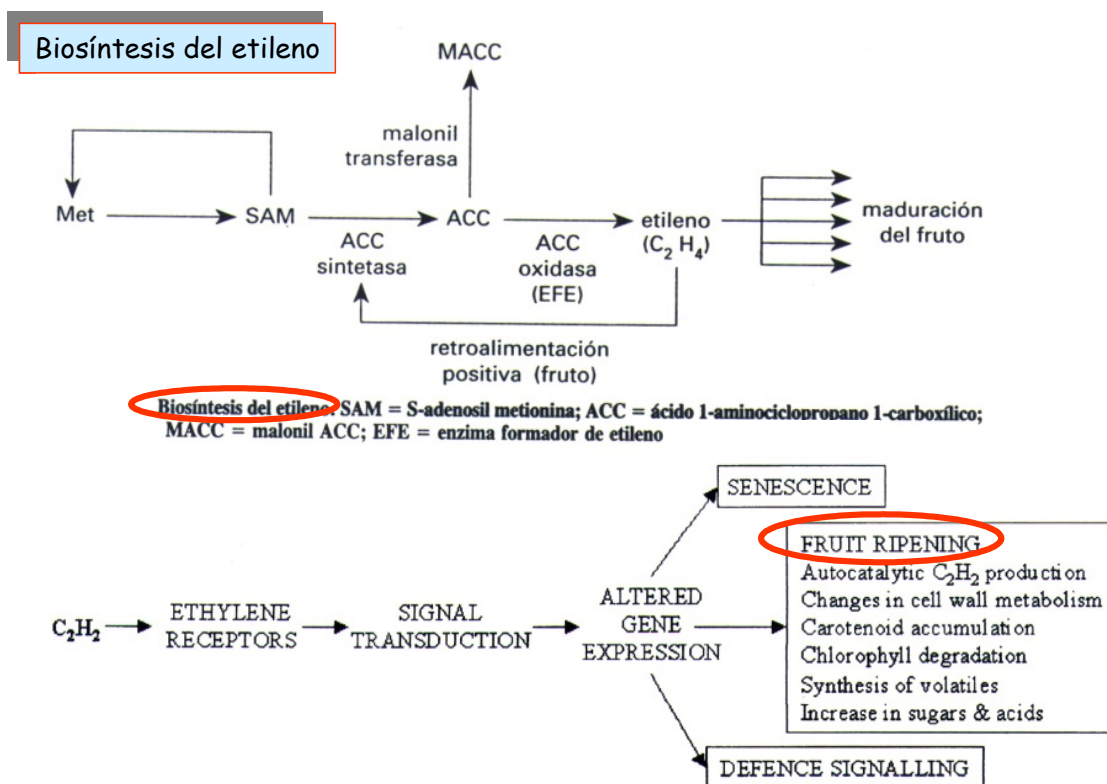


Figura 13: Arriba. Biosíntesis del etileno y maduración en frutos climatéricos. Abajo. Representación esquemática del papel que el etileno juega durante la maduración del fruto en tomate. Fuente: Alexander y Grierson, 2002; modificada.

Como se recoge anteriormente, los mecanismos de regulación de la producción de etileno en frutos climatéricos y no climatéricos son diferentes. En plantas superiores, hay dos sistemas que regulan la producción de etileno: el sistema 1 que es funcional durante el crecimiento vegetativo normal y durante la respuesta al estrés, y es responsable de la producción de niveles básicos de etileno en los tejidos tanto de frutos climatéricos como no climatéricos; y el sistema 2 que opera durante la senescencia floral y la maduración de los frutos climatéricos, donde la producción de etileno es autocatalítica (Lelièvre et al., 1997; Barry y Giovannoni, 2007; Cara y Giovannoni, 2008). La transición entre el sistema 1 y 2 estaría regulada por la expresión de los genes ACS y ACO, que codifican para la ACC sintetasa y para la ACC oxidasa (fig. 14). Ambas enzimas la ACC sintetasa y la ACC oxidasa están codificadas cada una por una familia de multigenes y estos genes se expresan diferencialmente en respuesta a varios estímulos internos y externos (Cara y Giovannoni, 2008).

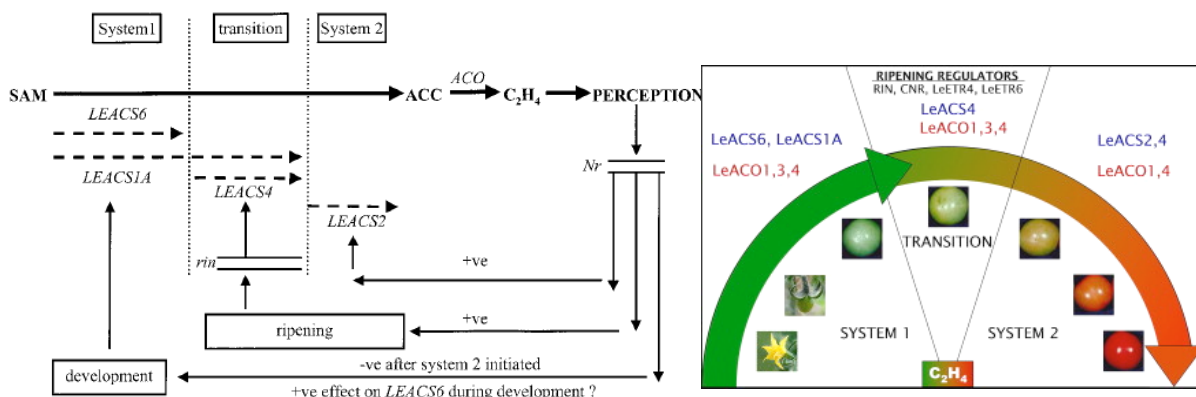


Figura 14: Izquierda. Modelo propuesto de regulación de los genes ACS durante la transición del sistema 1 al 2 en la síntesis de etileno en tomate. Fuente: Barry et al., 2000. Derecha. Regulación de la biosíntesis de etileno en tomate. Durante el desarrollo (sistema 1) se sintetiza niveles bajos de etileno autoinhibitorio por LeACS1A,6 y LeACO1,3,4. Durante la etapa de transición LeACS4 se induce y comienza el incremento de etileno autocatalítico, resultando en un negativo feedback sobre el sistema 1. LeACS2,4 and LeACO1,4 son responsables de la producción de altos niveles de etileno en el sistema 2. Fuente: Cara y Giovannoni., 2008.

El aguacate es un fruto climatérico y a diferencia de otros frutos la maduración y el reblandecimiento del fruto no ocurren mientras permanece unido al árbol, y tiene lugar varios días después de la recolección del fruto (maduración poscosecha, postharvest ripening). Este fenómeno es debido a que el aguacate mientras está en el árbol produce cantidades muy pequeñas, a nivel de trazas, de etileno (Sitrit et al, 1986). Diversos investigadores han sugerido que inhibidores de la maduración se mueven desde el árbol al fruto donde inhiben la

síntesis de etileno y por lo tanto la maduración del fruto sobre el árbol (Seymour y Tucker, 1993). La naturaleza de estos inhibidores de la maduración se ha relacionado con el nivel de auxinas en el fruto, y el de otras hormonas como las poliamidas, e incluso con la concentración interna de calcio en el fruto, permaneciendo aún sin identificar (Seymour y Tucker, 1993). Para Sitrit et al. (1986), la incapacidad del fruto de producir etileno mientras permanece en el árbol es debida principalmente a la represión de la ACC sintetasa (ACS), y ésta desaparece después de la recolección del fruto y tiene lugar su maduración. Recientemente, Hershkovitz et al. (2011) han demostrado que la semilla está envuelta en la regulación del etileno durante la maduración del fruto de aguacate, y que la semilla contribuye a retrasar el pico climatérico en frutos en madurez.

El inicio de la maduración del aguacate está marcado por una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos en el fruto que incluyen un incremento significativo de la producción de etileno y de la respiración, cambios en la textura del fruto y el desarrollo de los compuestos del aroma (Seymour y Tucker, 1993). La maduración del fruto es muy rápida y a menudo se completa dentro de los 5-7 días después de la cosecha. En aguacate, como en otros frutos climatéricos, el etileno provoca que la maduración se dispare, y en este proceso se van a llevar a cabo cambios en el fruto como:

- La pérdida de la firmeza de la pulpa del fruto: es debida a la solubilización gradual de las pectinas, que son componentes de las paredes celulares que les proporcionan firmeza (Agustí, 2004). La solubilización de las pectinas es llevada a cabo por enzimas pécticas o pectinasas, fundamentalmente la poligaracturonasa, cuya síntesis la promueve el etileno al inicio de la maduración, produciéndose el reblandecimiento progresivo del fruto. En aguacate, el reblandecimiento del fruto se inicia tras la recolección, y según Adato y Gazit (1974) tiene lugar unos días después de la producción del pico de etileno. En aguacate se han identificado varias enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular, entre ellas, la celulasa y poligaracturonasa y ambas aumentan su actividad durante la maduración del fruto (Awad y Young, 1979).
- En la mayoría de los frutos, durante la maduración, se produce un cambio del color de la piel, que es debido a la degradación de la clorofila y la síntesis de otros pigmentos los carotenoides y los antocianos. En aguacate cv. Hass, la piel del fruto cambia de color, de verde a negro púrpura, durante la maduración. Este cambio de color es importante tanto para la industria como para los consumidores, ya que, sirve de indicador de la maduración del fruto (Cox et al., 2004). El cambio de color de la piel de aguacate 'Hass' es debido a una

disminución, al inicio de la maduración, del contenido en clorofila, seguido de un incremento en los niveles de antocianinas, principalmente la cianidina 3-O-glucósido (Cox et al., 2004; Ashton et al., 2006).

- En aguacate, como se recoge anteriormente, la síntesis de lípidos tiene lugar durante el crecimiento del fruto, y durante la maduración no hay cambios importantes, siendo los ácidos grasos mayoritarios: ácido oleico, palmítico y linoleico, que se mantienen de forma general sin cambios (Ozdemir y Topuz, 2004).
- Otros cambios, que tiene lugar durante la maduración del fruto, son la síntesis de los compuestos del aroma, cambios en el contenido de azúcares y ácidos, etc. En aguacate, se han identificado veinticinco compuestos volátiles responsables del aroma del fruto, incluyendo aldehídos, alcoholes, ésteres, cetonas y terpenos, y de ellos, sólo doce compuestos cambian significativamente su concentración durante la maduración del fruto (Obenland et al., 2012). Respecto al contenido de azúcares en aguacate, durante la maduración del fruto, los azúcares almacenados en la pulpa del fruto durante su crecimiento (manoheptulosa, perseitol, sacarosa, fructosa y glucosa) disminuyen. Esta disminución de los azúcares C7, manoheptulosa y perseitol, después de la maduración del fruto sugiere que el fruto del aguacate tiene un mecanismo enzimático para metabolizarlos (Liu et al., 1999). Dichos autores sugieren, que en aguacate los azúcares C7 actuarían como formas de translocación del carbono, almacén de reservas y como metabolitos de la respiración.

## **6. Índices de recolección y calidad del fruto en aguacate:**

En aguacate la maduración del fruto depende de su estado de madurez en el momento de la recolección. El aguacate, a diferencia de la mayoría de los frutos, puede permanecer en el árbol muchos meses después de alcanzar el estado de madurez del fruto, ya que éste no madura hasta que no es recolectado (Woolf et al., 2004). Este hecho supone una gran ventaja para el agricultor, ya que, le permite conservar los frutos en el árbol, ampliar su periodo de recolección y acceder al mercado cuando la demanda es fuerte. Sin embargo, una óptima maduración y calidad del fruto depende de una adecuada madurez del fruto en recolección. Una recolección demasiado temprana da lugar a frutos con bajo contenido en aceite, presencia de fibras en la pulpa y aspecto arrugado, mientras que la recolección demasiado tardía da lugar a frutos de corta vida poscosecha, maduración irregular, alto contenido en aceite, calidad gustativa mediocre y germinación de la semilla (Galán, 1990). Identificar la madurez hortícola o de recolección en aguacate es difícil, ya que, no está acompañada con cambios

externos visibles en el fruto. Numerosos investigadores han testado diferentes características del fruto, para su utilización como índices de madurez y recolección del fruto (Lee, 1981).

En aguacate, el principal índice de recolección es el porcentaje de materia seca de la pulpa del fruto, y el contenido mínimo necesario para su recolección varía entre las diferentes zonas productoras y entre variedades (Seymour y Tucker, 1993; Hofman et al., 2002; Kader, 2002; Woolf et al., 2004). En la Unión Europea, el reglamento (CE) N° 387/2005 sobre normas de comercialización aplicables a los aguacates recoge que la madurez y grado de desarrollo de los aguacates, para una óptima maduración del fruto, pueden determinarse a partir del contenido en materia seca y establece unos mínimos de materia seca del fruto según variedades: ‘Hass’ (21 %); ‘Fuerte’, ‘Pinkerton’, ‘Reed’ y ‘Edranol’ (20 %) y resto de variedades (19 %, e incluso inferior para las antillanas).

Además del contenido en materia seca, en aguacate se han establecido otros índices de recolección del fruto, entre ellos: contenido en aceite, color de la cubierta seminal, etc (Lee, 1981; Hofman et al., 2002). En aguacate existe una relación directa entre el contenido de aceite del fruto y el porcentaje de materia seca, utilizándose preferentemente, debido a su más fácil determinación, el contenido en materia seca como índice de recolección del fruto (Lee, 1981; Seymour y Tucker, 1993; Hofman et al., 2002; Kader, 2002). En aguacate, cuando el fruto está próximo al estado de madurez la cubierta seminal se deseca, se hace más delgada y se oscurece, y dichos cambios se han considerado como un indicador de la madurez del fruto (Blumenfeld y Gazit, 1971; Lee, 1981). Sin embargo, la alta variabilidad en dichos cambios, limita el uso del estado de la cubierta seminal como un índice fiable de la madurez del fruto (Lee, 1981).

La calidad, en productos hortofrutícolas, ha sido definida por Kader (2000) como el grado de excelencia o de superioridad, y es una combinación de atributos, propiedades, o características que dan a cada producto valor, en función de su uso. Los componentes de la calidad de un producto son la apariencia, la textura, el sabor y el valor nutritivo (Kader, 2000). La importancia relativa de cada componente de la calidad depende del producto y del modo de empleo, y varía entre productores, distribuidores y consumidores. Los parámetros de calidad de un producto, se pueden determinar en base a métodos instrumentales y analíticos, y también mediante el análisis sensorial que nos permite conocer la percepción del consumidor de la calidad del producto.

La calidad en aguacate está determinada por el tamaño, color y forma del fruto, la ausencia de daños en la piel y en la pulpa del fruto y por su textura y sabor. Muchos de estos factores de calidad dependen del cultivar (el color es importante en variedades que cambian de color en maduración como ‘Hass’) y también dependen de las preferencias de los consumidores que varían entre regiones y países (Woolf et al., 2004). La calidad en productos frescos, se ha basado tradicionalmente en características externas como el tamaño, color y ausencia de defectos (Baldwin, 2004). En la actualidad, la percepción del consumidor de la calidad, en productos frescos, incluye parámetros como la textura, sabor, valor nutritivo, seguridad, etc. La textura es un atributo de calidad, que comprende las propiedades estructurales y mecánicas de los alimentos, y su percepción sensorial en las manos o en la boca; e incluye factores como la firmeza, jugosidad, cremosidad, crocancia, etc. (Abbott y Harker, 2004). El sabor (flavor), comprende la percepción del gusto y del aroma de muchos compuestos, e incluye factores como el dulzor, acidez, amargor, aromas, etc. (Baldwin, 2004). En aguacate, frutos recolectados en una fase temprana de madurez tienen una pobre textura (correosa, fibrosa, etc.) y sabor (herbáceo, amargo, etc.) (Gamble et al., 2010).

En aguacate, la calidad de consumo (eating quality) está determinada por el contenido en aceite del fruto (Hofman et al., 2002). Sin embargo, cultivares con alto contenido en aceite no tienen necesariamente mejor calidad de consumo, indicando que otros componentes del fruto, como la textura, juegan un papel importante (Hofman et al., 2002). Existe controversia en la literatura, sobre la mejora de la calidad de consumo en aguacate según avanza el periodo de recolección del fruto y el incremento de su contenido en aceite (Hofman et al., 2002; Gamble et al., 2010).

## **MATERIAL Y MÉTODOS**



## MATERIAL Y MÉTODOS

### 1. Descripción de la parcela de ensayo

#### 1.1. Situación:

La parcela de ensayo está ubicada en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar, situada en el término municipal de El Ejido (Almería), sus coordenadas geográficas son: Longitud 2°43' W, Latitud 36°48' N y 151 m de altitud. La Estación Experimental es un centro de investigación agroalimentario de la Fundación Cajamar, ubicado en una finca de 14 hectáreas de superficie, equipada con invernaderos, plantaciones de frutales, estaciones meteorológicas, laboratorio y todo el equipamiento necesario para llevar a cabo las diferentes actividades de investigación. Los ensayos se realizaron en una parcela de aguacate de 1860 m<sup>2</sup> situada en el bancal 207 de la Estación Experimental (Fig. 15).



Figura 15. Vista aérea de la parcela de ensayo en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar. Fuente: E. E. de la Fundación Cajamar.

#### 1.2. Características climáticas:

Según la clasificación de Papadakis, la zona donde se encuentra la Estación Experimental y la parcela de ensayo, presenta un tipo climático mediterráneo semiárido

subtropical, con un régimen térmico subtropical semicálido (Su), con tipo de invierno Citrus (Ci) y tipo de verano Gossypium (g), y un tipo de régimen de humedad mediterráneo semiárido (me). Según la clasificación de Thornthwaite, la zona presenta un clima E B<sub>3</sub> d a', con un índice de humedad tipo árido (E), eficacia térmica tipo tercer mesotérmico (B<sub>3</sub>), variación estacional de la humedad tipo pequeño o ningún exceso de agua en invierno (d), y concentración de la necesidad de agua en verano tipo baja concentración (a').

El régimen térmico de la zona se caracteriza por una temperatura media anual de 18,3 °C, siendo enero el mes más frío (12,3 °C) y agosto el más cálido (25,8 °C). La temperatura media de las máximas es de 22,8 °C y la media de las mínimas es de 14,2 °C. El régimen de humedad se caracteriza por presentar una humedad relativa media anual del 68 %, con una humedad relativa media de las máximas del 90 % y una media de las mínimas del 45,7 %.

La precipitación media anual en la zona es muy baja, de tan sólo 230,9 mm, distribuidos principalmente en los meses de otoño e invierno, con una precipitación acumulada mensual máxima de 33,5 mm en enero y una mínima de 0,9 mm en julio. Además, las precipitaciones suelen ser irregulares, con sólo una media de 40 días de lluvia al año. La evaporación media anual (Epan), medida en un tanque evaporimétrico Clase A ubicado en la misma finca, es de 1922 mm, lo que resulta en una ET<sub>0</sub> de 1283 mm. La evaporación media mensual es de 166,3 mm con un máximo en julio de 274,7 mm y un mínimo en diciembre de 72,3 mm. El número de horas de sol acumuladas en un año es elevado, con valores medios de 3275 en la serie histórica entre 1992 y 2000. Por último, los vientos dominantes en la parcela de ensayo son de componente Oeste, con rachas máximas que en algunas ocasiones han superado los 100 km h<sup>-1</sup>.

### 1.3. Descripción del suelo:

Morfológicamente, la zona está constituida por una gran extensión suavemente ondulada, rodeada al sur y al este por el mar Mediterráneo y limitada al norte por el borde sur de la Sierra de Gádor. Toda la llanura tiene como origen una plataforma de abrasión marina, que ha sufrido numerosas transgresiones y regresiones durante el cuaternario y ha sido cubierta en parte por grandes depósitos aluviales procedentes de la Sierra de Gádor bajo un régimen de lluvias torrenciales. Se cree que durante el mioceno la costa debió situarse muy cerca de la sierra. En la base de ésta aparece un conglomerado poco importante y por encima

se observa una formación margosa. Encima de estas margas, aparecen margas arenosas, arenas semiprofundas y calcarenitas (MOPT, 1991).

La parcela de ensayo se encuentra ubicada dentro de una zona abancalada (Fig. 15), lo que supone la modificación de la estructura original del suelo. El suelo en el horizonte más superficial (0-10 cm) presenta una textura franco-arcillo-arenosa (51,4 % arena; 27,6 % limo; 21,0 % arcilla), con un 2,5 % de materia orgánica, 20 % de carbonatos totales, alto contenido en nitrógeno y bajo contenido en fósforo. El suelo es ligeramente básico (pH=7,8) y la conductividad eléctrica (CE) del extracto saturado (ES) a 25 °C es de 2,7 dS m<sup>-1</sup>, por lo que no es salino. En el siguiente horizonte (10-60 cm) se encuentra el mayor porcentaje de raíces activas del cultivo. Dicho horizonte se caracteriza por un bajo contenido de materia orgánica (0,6 %), textura franco-arenosa (72,4 % arena; 14,6 % limo; 13,0 % arcilla), 30 % de carbonatos totales, bajo contenido en nitrógeno y fósforo, pH=7,8 y CE del ES a 25 °C de 1,3 dS m<sup>-1</sup>. La textura franco-arenosa supone que el suelo posea una baja capacidad de retención hídrica. Así, el contenido de humedad medido a capacidad de campo (0,33 atm) es del 13,4 %, mientras que en el punto de marchitez permanente (15 atm) es sólo del 5,1 %.

#### 1.4. Material vegetal:

La parcela de ensayo situada en el bancal 207 de la Estación Experimental de la Fundación Cajamar tiene una superficie de 1860 m<sup>2</sup> (Fig. 15). La plantación de aguacate se estableció en el año 1994, con dos variedades de aguacate ‘Hass’ y ‘Bacon’ sobre dos patrones diferentes ‘Walter Halle’ y ‘Waldin’, a un marco de plantación de 7x7 m y un total de 37 árboles. La parcela de ensayo está dividida en cuatro setos y los árboles se disponen en tres filas orientadas Este-Oeste (Fig. 16) y en la última fila con árboles de la variedad ‘Hass’ sobre el patrón ‘Walter Halle’ es donde se desarrolla el ensayo (Fig. 17). El sistema de formación de los árboles es en vaso con un número variable de brazos. El sistema de riego de la parcela de ensayo se estableció en el mismo año del cultivo y es igual para todos los setos. Consta de 14 goteros autocompensantes de 4 l/h por árbol (distantes 0,5 m).

La variedad de aguacate ‘Hass’ pertenece predominantemente a la raza guatemalteca pero con algunos genes de la raza mejicana (Newett et al., 2002). Procede de la propagación de una semilla, de parentales desconocidos, seleccionada por el agricultor Rudolph Hass en la ciudad de Habra Heights del estado de California (EEUU), y patentada en el año 1935 (Newett et al., 2002). Las ventajas obtenidas en esta variedad, de forma general, son una elevada calidad de la pulpa, un mayor rendimiento y una madurez más tardía comparada con

la variedad 'Fuerte'. Árbol de porte moderadamente extendido, muy sensible a las bajas temperaturas y al calor, es muy productivo pero con tendencia a la alternancia (Agustí, 2004). Pertenece al grupo floral A. El fruto, de forma oval o piriforme, es de tamaño pequeño a mediano, entre 150 y 350/400 g de peso, y tiene la piel rugosa y de grosor moderado (Rodríguez, 1982; Galán, 1990; Newett et al., 2002). El fruto es de color verde oscuro en el árbol y negro-violáceo cuando madura. La semilla es redondeada de tamaño pequeño a medio. La pulpa es de excelente calidad gustativa, con un sabor rico que recuerda a la nuez, y su color es amarillento con una capa más verdosa debajo de la piel del fruto (Galán, 1990; Newett et al., 2002; Agustí, 2004).

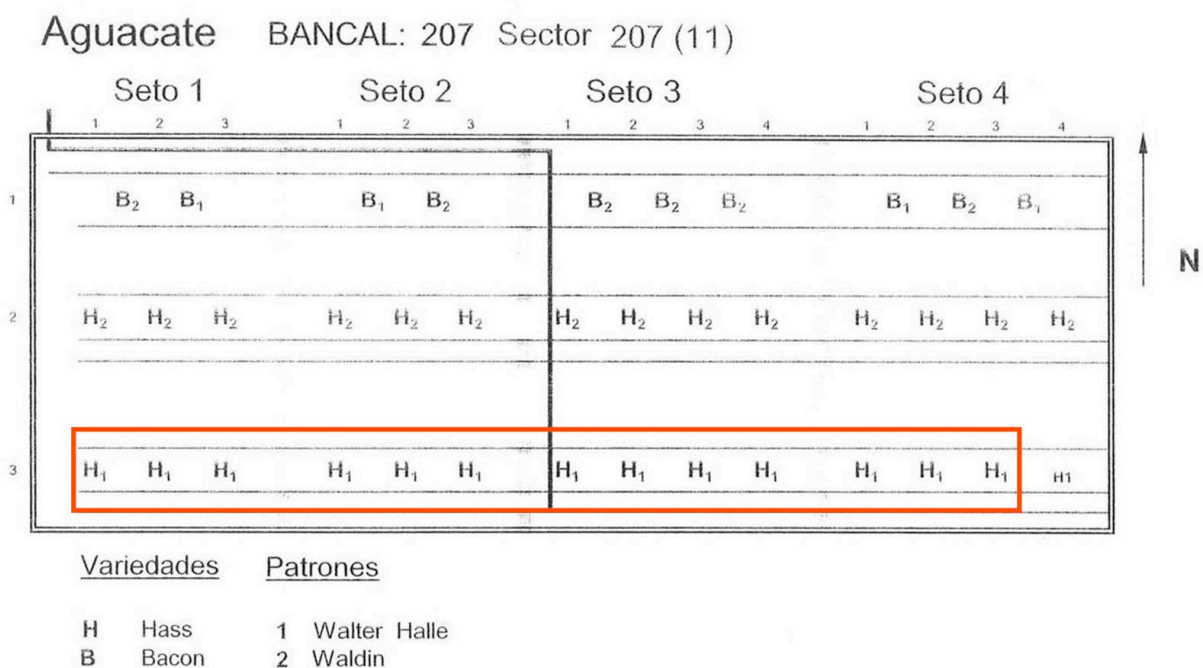


Figura 16. Croquis de la parcela de ensayo. Fuente: E. E. de la Fundación Cajamar.

Entre las características que contribuyen a la popularidad del cultivar 'Hass' se encuentran la excelente conservación en el árbol y el comportamiento en postcosecha (Galán, 1990; Agustí, 2004). El fruto puede mantenerse bastante tiempo en el árbol sin sufrir mermas importantes en su calidad, si bien puede suceder que el fruto presente una textura harinosa y un sabor rancio si se cosecha demasiado tarde (Calabrese, 1992). En los últimos 50 años 'Hass' se ha convertido en la variedad de aguacate dominante cultivada en climas subtropicales (Newett et al., 2002).



El patrón de aguacate ‘Walter Halle’ es un patrón de semilla de la raza mexicana. Se caracteriza por ser tolerante al frío e inducir en la variedad un vigor moderado. Presenta buena afinidad con las variedades comerciales de aguacate y no se debe utilizar en replantaciones, ni tampoco en suelos pesados (Fuente: Viveros Brokaw; [http://www.viverosbrokaw.com/index\\_es.html](http://www.viverosbrokaw.com/index_es.html)).



Figura 17. Árboles y frutos de aguacate del cultivar ‘Hass’ en la parcela de ensayo. Fuente: Rosa Pérez de los Cobos.

### 1.5. Diseño experimental:

En la parcela de ensayo anteriormente descrita (Fig. 16) se estableció un diseño experimental totalmente al azar con parcela elemental formada por el seto (constituida por 3-4 árboles) y 4 repeticiones (que son los cuatro setos de la parcela), lo que representa un total de 13 árboles.

## 2. Descripción del ensayo de crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate

### 2.1. Muestreo:

Para evaluar el crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate ‘Hass’, en la parcela de ensayo y durante la campaña 2011/2012, se realizaron muestreos mensuales desde el mes de septiembre al mes de marzo. Las fechas de los muestreos fueron: 30/09/2011, 25/10/2011, 22/11/2011, 20/12/2011, 17/01/2012, 21/02/2012 y 20/03/2012. En cada muestreo se recolectaron al azar 5 frutos por seto, de los cuatro setos de la parcela, que representaron un total de 20 frutos por muestreo. Los frutos se recogieron al azar de distintas partes del árbol y

de diferentes árboles dentro de cada seto. Después de la recolección, los frutos se trasladaron al laboratorio el mismo día, donde se determinaron los diferentes parámetros del fruto y de la semilla.

## 2.2. Parámetros determinados:

Se determinaron los siguientes parámetros del fruto: peso, longitud, calibre, color, firmeza de la pulpa y materia seca, y de la semilla: peso, longitud, calibre y color. Todos los parámetros, excepto materia seca, se determinaron en cada fruto y semilla individualmente, y la materia seca se analizó en una muestra de la pulpa de los 5 frutos de cada seto. Los métodos instrumentales y de análisis utilizados para determinar los diferentes parámetros se describen a continuación:

- Peso: el peso del fruto y de la semilla se determinó con una balanza digital de precisión 0,1 g. Los valores se expresan en gramos (g)
- Longitud: la longitud del fruto se determinó midiendo con un pie de rey digital la distancia entre la zona de inserción del pedúnculo y la parte más distal del fruto. Para determinar la longitud de la semilla se procedió de la misma manera midiendo las partes más distales de ésta. Los valores se expresan en milímetros (mm).
- Calibre: el calibre del fruto y de la semilla se determinó midiendo el diámetro ecuatorial máximo de cada uno con un pie de rey digital. Los valores se expresan en milímetros (mm)
- Color: para determinar el color del fruto y de la semilla se utilizó un colorímetro digital Minolta CR-400, utilizando los parámetros CIE 1976  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $C^*$ ,  $h^\circ$  y D65 como iluminante (McGuire, 1992). El parámetro  $L^*$  representa la luminosidad y va de 0 (negro) a 100 (blanco); el parámetro  $a^*$  representa la variación entre el color rojo (+) y el verde (-) y el parámetro  $b^*$  representa la variación entre el amarillo (+) y el azul (-). Los valores de  $C^*$  y  $h^\circ$  se corresponden respectivamente con croma (saturación o intensidad del color) y tono (o matiz) y se obtienen en base a las siguientes fórmulas:  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  y  $h^\circ = \arctangente\ b^*/a^*$  (McGuire, 1992). El colorímetro se calibró para realizar tres medidas y calcular y mostrar el valor medio. Se determinaron los siguientes parámetros: color de la piel del fruto realizando tres medidas diferentes en la zona ecuatorial del fruto (Fig. 18); color de la pulpa debajo de la piel del fruto: se eliminó un trozo de epidermis del fruto y las tres medidas se realizaron en el mismo sitio (Fig. 18) y color de la pulpa en el interior del fruto: se hizo un corte longitudinal del fruto y las tres medidas se realizaron en la zona

superior a la semilla (Fig. 18). Además, en la semilla se midió el color de los cotiledones realizando tres medidas sobre la misma zona (Fig, 18) y el color de la cubierta seminal las tres medidas se realizaron en la misma zona de la cubierta seminal. Este último parámetro se determinó sólo en las cuatro últimas fechas de muestreo, cuando al abrir longitudinalmente el fruto la cubierta seminal se encontraba unida a la semilla y no a la pulpa del fruto.

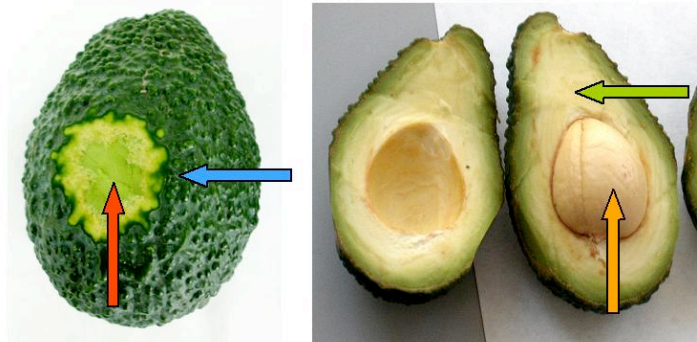


Figura 18. Izquierda. Zona de evaluación del color de la piel del fruto (flecha azul) y del color de la pulpa debajo de la piel (flecha roja). Derecha. Zona de evaluación del color de la pulpa en el interior del fruto (flecha verde) y del color de los cotiledones (flecha naranja). Fuente: Rosa Pérez de los Cobos.

- Firmeza de la pulpa: para determinar la firmeza de la pulpa se utilizó un texturómetro, modelo Mark-10 serie EG50, provisto de un pistón cilíndrico de 8 mm de diámetro (superficie 0,5 cm<sup>2</sup>) y una velocidad constante de 20 mm/min Se realizaron dos medidas en la zona ecuatorial de cada fruto, localizadas una opuesta a la otra, eliminando previamente la piel del fruto. Los valores se expresan en newton (N).
- Materia seca (%): el porcentaje de materia seca se analizó en una muestra de la pulpa de los 5 frutos de cada seto. Dichas muestras fueron pesadas en una balanza digital de precisión 0,1 g para obtener el peso en fresco de la pulpa. Posteriormente las muestras fueron introducidas en un horno donde se mantuvieron a una temperatura constante de 80 °C hasta que el peso se estabilizó y obtener así el peso en seco de las muestras. Con los datos obtenidos de los pesos en fresco y en seco de la pulpa se calcularon los porcentajes de materia seca. Los valores se expresan en porcentaje (%).

### 3. Descripción del ensayo de maduración del fruto de aguacate

#### 3.1. Muestreo:

Para la evaluación del proceso de maduración del fruto de aguacate ‘Hass’, en la parcela de ensayo y durante la campaña 2011/1012, se recogieron frutos en tres fechas diferentes: 10/12/2011 (que la denominaremos Diciembre), 10/01/2012 (Enero) y 6/03/2012 (Marzo). En cada fecha se recolectaron al azar en torno a 12-15 frutos por seto, de los cuatro setos que conforman la parcela, obteniendo un total de 48-60 frutos aproximadamente por fecha de recolección. Los frutos se recogieron al azar de distintas partes del árbol y de diferentes árboles dentro de cada seto o repetición. Tras la recolección, los frutos se llevaron al laboratorio el mismo día, donde maduraron en cámara a una temperatura constante de 22 °C y una humedad relativa del 90 % durante 14-15 días.

#### 3.2. Parámetros determinados:

Durante la maduración del fruto y en las tres fechas de recolección, se determinaron los siguientes parámetros no destructivos del fruto: peso, longitud, calibre y color de la piel; y los parámetros destructivos del fruto: firmeza de la pulpa y materia seca. En cada fecha de recolección, para la evaluación de los parámetros no destructivos se seleccionaron 5 frutos de cada seto o repetición, que se marcaron con un rotulador y los parámetros se determinaron diariamente y de forma individual en cada fruto, a lo largo de su maduración. Para la evaluación de los parámetros destructivos, durante la maduración del fruto, cada 2-3 días se seleccionó un fruto por cada repetición representando un total de 4 frutos, y se determinaron dichos parámetros de forma individual en cada fruto. Los métodos instrumentales y de análisis utilizados para determinar los diferentes parámetros han sido descritos anteriormente (apartado 2.2.).

#### 3.3. Producción de etileno:

La producción de etileno se determinó diariamente a lo largo de la maduración del fruto y en las tres fechas de recolección: 10/12/2011 (Diciembre), 10/01/2012 (Enero) y 6/03/2012 (Marzo). En cada fecha, para medir la producción de etileno, se seleccionó y se marcó con un rotulador un fruto por repetición, con un total de cuatro frutos, y a cada uno se le midió individualmente la producción de etileno a lo largo de su maduración en cámara a 20 °C y 90 % HR.



Para medir la producción de etileno, cada fruto se introdujo durante 30 minutos en un recipiente de plástico de 1 litro, con cierre hermético y provisto de un tapón de silicona (Fig. 19) y se mantuvo a 20 °C. Transcurridos los 30 minutos, se extrajo con una jeringuilla una muestra de 5 ml de la atmósfera del recipiente y se inyectó en el cromatógrafo de gases (Fig. 19). El cromatógrafo utilizado fue un VARIAN modelo 3900 provisto de detector de ionización de llama (FID) y columna de acero inoxidable F-1, con relleno de alúmina activada de 80/100 mesh. La temperatura de la columna fue de 80 °C, 150 °C el inyector y 200 °C el detector. El gas empleado como fase móvil fue helio. El cromatógrafo se conectó a un registrador HEWLETT – PACKARD. El etileno se identificó por su tiempo de retención en la columna que es característico en estas condiciones (1,5 min) y por comparación con los cromatogramas estándar obtenidos previamente, utilizando para ello el etileno como patrón a diferentes concentraciones de 1, 3, 5 y 10 ppm. El etileno emitido por los frutos se expresa en nL de etileno producidos por gramo de peso fresco y por hora ( $\text{nL g}^{-1}\text{h}^{-1}$ ), pesando para ello previamente el fruto.



Figura 19: Medida de la producción de etileno en frutos de aguacate. Fuente: Rosa Pérez de los Cobos.

### 3.4. Análisis sensorial:

El análisis sensorial se realizó sobre frutos maduros, recogidos en tres fechas diferentes: 10/12/2011 (Diciembre), 10/01/2012 (Enero) y 6/03/2012 (Marzo). La evaluación sensorial la realizó un panel de cata formado por 10 jueces seleccionados, por su motivación y disponibilidad, entre los miembros de la Universidad de Almería: estudiantes de ITA especialidad hortofruticultura y jardinería, y profesorado (♀♂, 20-55 años). Dicho panel de cata fue convocado a dos reuniones previas, al análisis sensorial definitivo, donde se entrenaron para realizar la cata, y se identificaron las propiedades o atributos perceptibles en los frutos de aguacate, necesarios para la elaboración de la ficha de cata (Fig. 20).

El análisis sensorial se realizó en las fechas siguientes: 21/12/2011, 24/01/2012 y 15/03/2012, sobre frutos maduros, procedentes de las tres fechas de recolección, del ensayo de maduración. En cada análisis sensorial, se utilizaron unos 15-20 frutos de similar estado de maduración (parámetro  $a^*$  entre valores de 0 y 4), y una muestra de 4-5 frutos fue presentada al azar a cada juez o panelista en condiciones controladas de laboratorio (Fig. 21). Para la realización del análisis sensorial se utilizó una ficha de cata, previamente elaborada por el panel de cata (Fig. 21). Los atributos externos del fruto evaluados fueron: tamaño, color, forma, defectos de la piel y firmeza del fruto (Tabla 1). Los atributos internos del fruto evaluados fueron: defectos de la pulpa, dureza, cremosidad/untuosidad, los sabores verde/herbáceo y nueces/frutos secos y la calidad de consumo (Tabla 1). Además se valoraron globalmente los parámetros externos e internos del fruto y la intención de compra. Para la evaluación de cada atributo los jueces utilizaron una escala hedónica de cinco puntos donde 1=valor más bajo o peor y 5=valor óptimo (Tabla 1).



Figura 20. Alumnos de ITA de la Universidad de Almería, integrantes del panel de cata, en una reunión previa al análisis sensorial de aguacate. Fuente: Rosa Pérez de los Cobos.

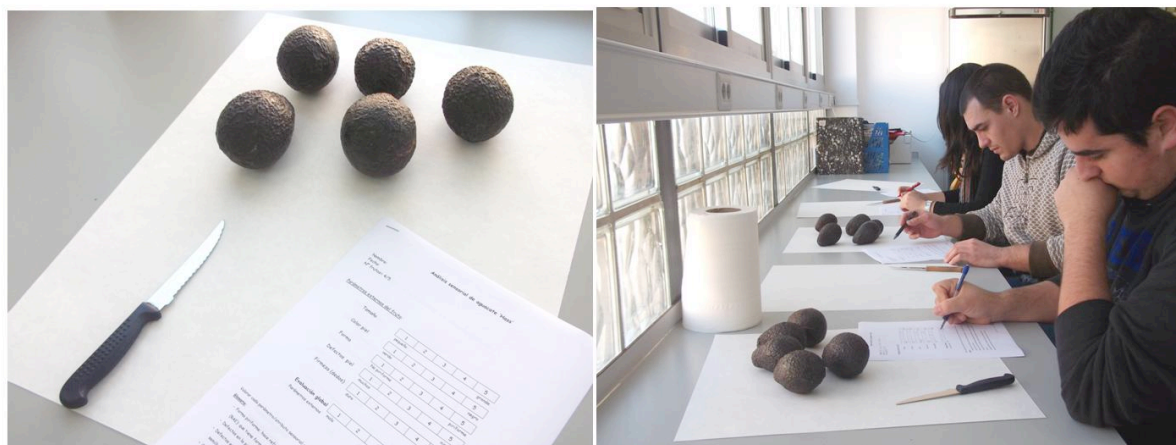


Figura 21. Realización del análisis sensorial de aguacate. Fuente: Rosa Pérez de los Cobos.

Características del fruto	Escala 1-5	
	valor=1	valor=5
<u>Parámetros externos</u>		
Tamaño	Pequeño	Grande
Color piel	Verde	Negro
Forma	No piriforme	Piriforme
Defectos piel	Muchos	Ninguno
Firmeza (dedos)	Duro	Blando
Evaluación global	Mala	Excelente
<u>Parámetros internos</u>		
Defectos pulpa	Muchos	Ninguno
Textura:		
Dureza (boca)	Duro	Blando
Cremosidad/untuosidad	Ninguna	Mucha
Sabor:		
Verde/herbáceo	Mucho	Poco
Nueces/frutos secos	Poco	Mucho
Calidad de consumo	Mala	Excelente
Evaluación global	Mala	Excelente
<u>Intención de compra</u>	Baja (0-20%)	Alta (80-100%)

Tabla 1. Atributos organolépticos del fruto evaluados en el análisis sensorial de aguacate.

#### 4. Análisis estadístico de los datos:

Los datos del ensayo de crecimiento y maduración del fruto se representan como la media  $\pm$  la desviación estándar (SD), de una muestra de 20 frutos ( $n=20$ ). El grado de correlación entre las diferentes variables del fruto se determinó mediante el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ), a  $p \leq 0,05$ . Los resultados del análisis sensorial se analizaron mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis y de comparación a  $p \leq 0,05$ . Para el análisis estadístico de los datos se utilizó programa estadístico Statistix 8.0.

## **RESULTADOS**

## RESULTADOS

### 1. Crecimiento del fruto en aguacate ‘Hass’:

El crecimiento del fruto en aguacate ‘Hass’ se evaluó mediante diferentes parámetros durante los meses de septiembre de 2011 a marzo del 2012, realizando para ello muestreos de frutos mensualmente. Los parámetros determinados fueron: peso (g), longitud y calibre del fruto (mm); peso (g), longitud y calibre de la semilla (mm); color del fruto y de la semilla ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $C^*$ ,  $h^\circ$ ); firmeza de la pulpa (N) y materia seca (%). Los resultados se muestran a continuación.

#### 1.1. Tamaño del fruto: peso, longitud y calibre:

El peso del fruto (Fig. 22) aumentó ligeramente durante el muestreo de 173,6 g a 209,4 g disminuyendo en la última fecha a 177,4 g. La evolución de la longitud y calibre del fruto (Fig. 22) fue similar al peso del fruto. La longitud del fruto aumentó ligeramente de valores de 93,3 mm a 98,2 mm, disminuyendo al final del muestro a 88,5 mm. El calibre del fruto aumentó también de 61,9 mm a 66,1 mm y disminuyó a 62,7 mm en la última fecha de muestreo (Fig. 22). La relación entre la longitud y calibre del fruto que estima la forma del fruto (Weestwood, 1993), disminuyó de 1,51 a 1,41. La correlación entre las variables estudiadas fue siempre significativa: peso y calibre del fruto ( $r=0,98$ ;  $p<0,001$ ); peso y longitud del fruto ( $r=0,84$ ;  $p=0,018$ ) y calibre y longitud del fruto ( $r=0,76$ ;  $p=0,046$ ).

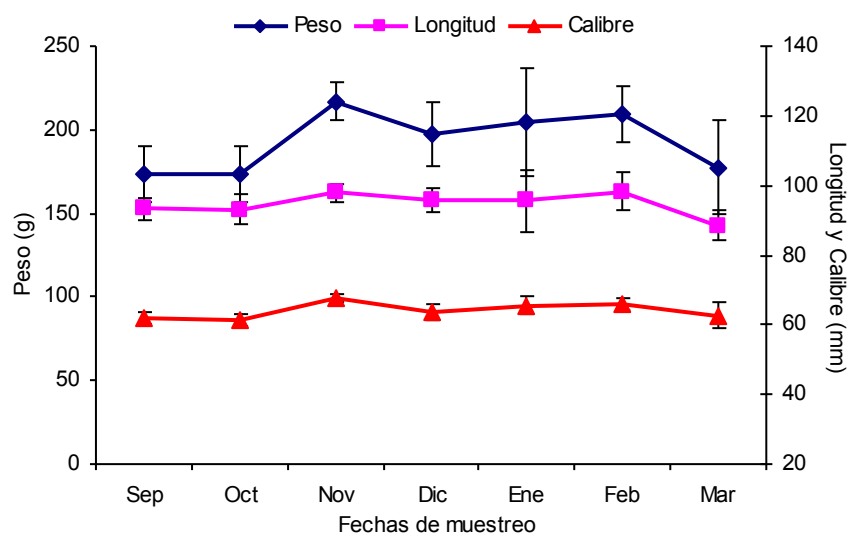


Figura 22. Evolución del peso, longitud y calibre del fruto de aguacate ‘Hass’ durante el muestreo. Campaña 2011-2012. (Media  $\pm$  SD,  $n=20$ ).

### 1.2. Tamaño de la semilla: peso, longitud y calibre:

El peso de la semilla del fruto (Fig. 23) aumentó durante las fechas de muestreo desde 21,3 g a 34,3 g disminuyendo en la última fecha a 27,6 g. La longitud y el calibre de la semilla del fruto (Fig. 23) también aumentaron durante las fechas de muestreo de valores de 35,9 mm a 40,6 mm para la longitud de la semilla del fruto y de 31,5 mm a 36,3 mm para el calibre medio de la semilla. Ambos parámetros disminuyeron en la última fecha de muestreo a valores de 36,1 mm y de 33,6 mm para la longitud y calibre de la semilla respectivamente. La disminución de las variables analizadas, en la última fecha de muestreo, fue debida probablemente a la recogida de los frutos de mayor tamaño en los anteriores muestreos. La relación entre la longitud y el calibre de la semilla, que determina la forma de la semilla, disminuyó durante el muestro de 1,14 a 1,08. La correlación entre las variables estudiadas fue siempre significativa: peso y calibre de la semilla ( $r=0,99$ ;  $p<0,001$ ); peso y longitud de la semilla ( $r=0,87$ ;  $p=0,01$ ) y calibre y longitud de la semilla ( $r= 0,86$ ;  $p=0,014$ ). Como era de esperar la correlación entre el peso de la semilla y peso del fruto fue significativa ( $r=0,95$ ;  $p=0,001$ ) y sin embargo la relación entre la forma de la semilla y la forma del fruto ( $r=0,67$ ;  $p=0,102$ ) no fue significativa.

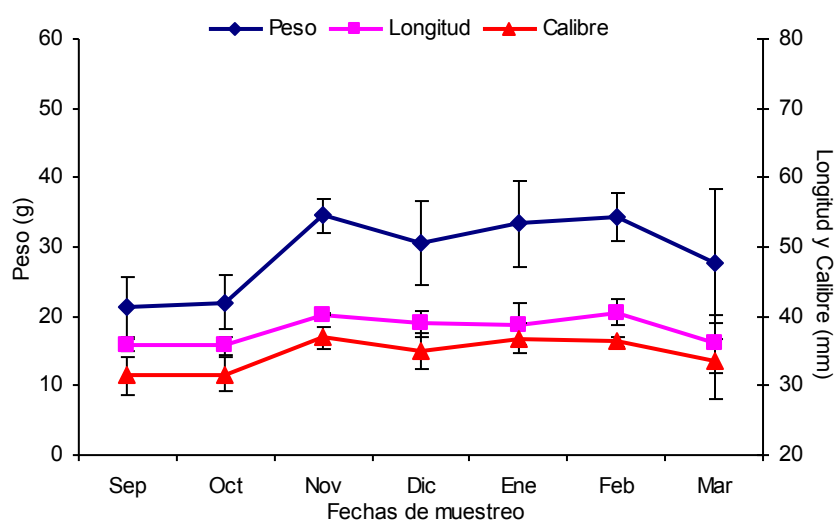


Figura 23. Evolución del peso, longitud y calibre de la semilla del fruto de aguacate 'Hass' durante el muestreo. Campaña 2011-2012. (Media  $\pm$  SD, n=20).

### 1.3. Color de la piel, pulpa y de la semilla del fruto:

El color de la piel, pulpa y semilla del fruto del aguacate se determinó mediante la medida de los parámetros L\* (luminosidad: 0negro/100blanco), a\* (variación rojo+/verde-), b\* (variación amarillo+/azul-), C\* (croma: saturación o intensidad) y h° (tono o matiz). El color de la pulpa del fruto se midió debajo de la piel y en el interior del fruto; y en la semilla

se midió el color de los cotiledones y de la cubierta seminal. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

### 1.3.1. Color de la piel del fruto:

Los parámetros que determinan el color en la piel del fruto se mantuvieron más o menos constantes durante el crecimiento y desarrollo del fruto, excepto el parámetro  $h^{\circ}$  que disminuyó ligeramente (Fig. 24). Los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $C^*$  oscilaron durante las fechas de muestreo entre los valores siguientes  $L^*$ : 34,0 a 36,3;  $a^*$ : -12,3 a -11,3;  $b^*$ : 13,9 a 16,3 y  $C^*$ : 18,3 a 20,0 (Fig. 24). El parámetro  $h^{\circ}$  disminuyó durante el crecimiento del fruto de valores de 130,6 a 125,4.

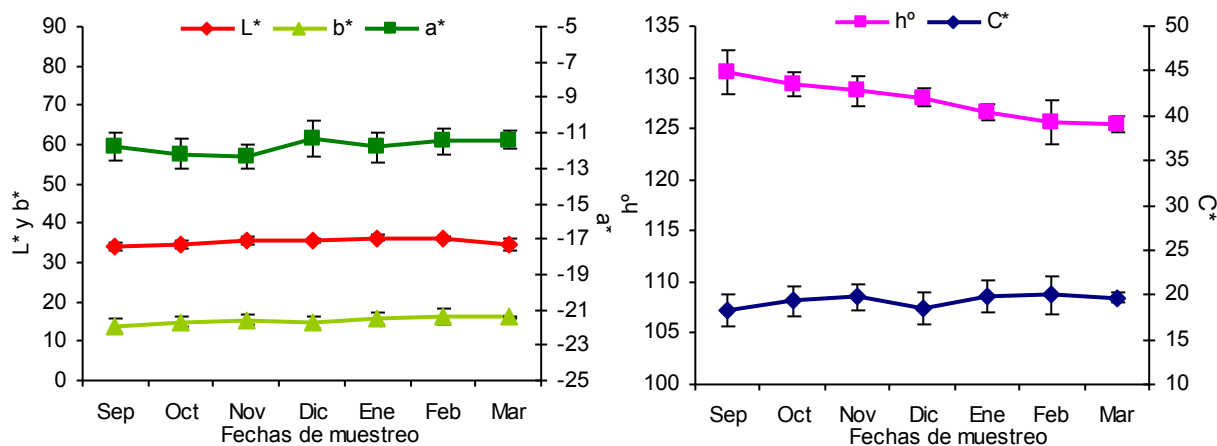


Figura 24. Evolución de los parámetros de color  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $a^*$  y  $C^*$ ,  $h^{\circ}$  en la piel del fruto de aguacate 'Hass' durante el muestreo. Campaña 2011-2012. (Media  $\pm$  SD, n=20).

### 1.3.2. Color de la pulpa del fruto:

Los parámetros que determinan el color de la pulpa, debajo de la piel del fruto, se mantuvieron en valores más o menos similares durante las fechas de muestreo (Fig. 25.A). Los parámetros  $L^*$  y  $h^{\circ}$  oscilaron durante las fechas de muestreo entre los valores siguientes  $L^*$ : 60,3 a 62,9 y  $h^{\circ}$ : 116,6 a 117,4. El parámetro  $a^*$  aumentó ligeramente durante el crecimiento del fruto desde: -21,6 a -20,3 y los parámetros  $b^*$  y  $C^*$  disminuyeron,  $b^*$ : de 42,4 a 40,0 y  $C^*$ : de 47,7 a 44,9. Respecto a los parámetros de color de la pulpa, medidos en el interior del fruto, también se mantuvieron más o menos constantes durante el muestreo (Fig. 25.B). Los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $h^{\circ}$  oscilaron durante las fechas de muestreo entre los intervalos siguientes  $L^*$ : 78,4 a 80,9;  $a^*$ : -10,6 a -8,3;  $b^*$ : 41,7 a 49,2 y  $h^{\circ}$ : 100,5 a 102,9. El parámetro  $C^*$  aumentó durante el muestreo, aunque ligeramente, desde 42,6 a 48,6.



El parámetro  $L^*$  que mide la luminosidad de la pulpa (0negro/100blanco) fue mayor en el interior del fruto (78,4 a 80,9) que debajo de la piel del fruto (60,3 a 62,9). Los valores del parámetro  $a^*$  (rojo+/verde-) en la pulpa del fruto fueron siempre negativos, y mayores en el interior del fruto (-10,6 a -8,3) que debajo de la piel (-21,6 a -20,3). El parámetro  $b^*$  (amarillo+/azul-) fue siempre positivo en la pulpa del fruto y con valores similares en el interior del fruto (41,7 a 49,2) y debajo de la piel del fruto (42,4 a 40,0) durante todo el muestreo (Fig. 25). Los valores para el parámetro  $C^*$  (croma) en la pulpa del fruto fueron también similares entre el interior del fruto (42,6 a 48,6) y debajo de la piel (47,7 a 44,9). Por último, los valores de  $h^\circ$  (tono) en la pulpa del fruto, fueron menores en el interior del fruto (100,5 a 102,9) que debajo de la piel del fruto (116,6 a 117,4) en todas las fechas de muestreo (Fig. 25).

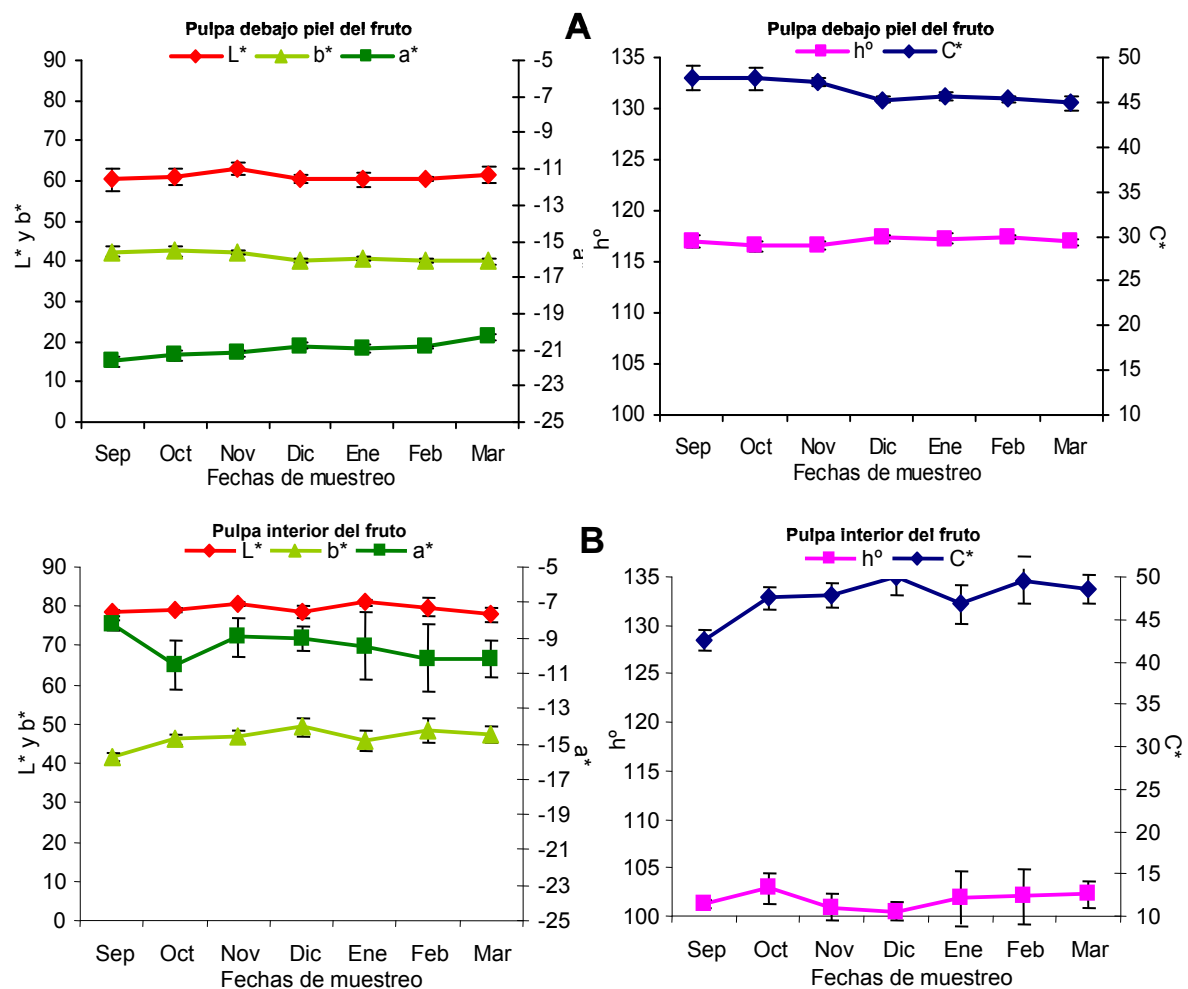


Figura 25. Evolución de los parámetros de color  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $a^*$  y  $C^*$ ,  $h^\circ$  en la pulpa del fruto de aguacate ‘Hass’ durante el muestreo. Arriba (A). Color de la pulpa debajo de la piel del fruto. Abajo (B). Color de la pulpa en el interior del fruto. Campaña 2011-2012. (Media  $\pm$  SD, n=20).



### 1.3.3. Color de la semilla:

En la semilla del fruto se midió el color de los cotiledones, durante todas las fechas de muestreo, y también el color de la cubierta seminal (Fig. 26). Este último parámetro se determinó sólo en las cuatro últimas fechas de muestreo, cuando al abrir longitudinalmente el fruto, la cubierta seminal aparecía unida a los cotiledones y no a la pulpa del fruto (Fig. 26B).

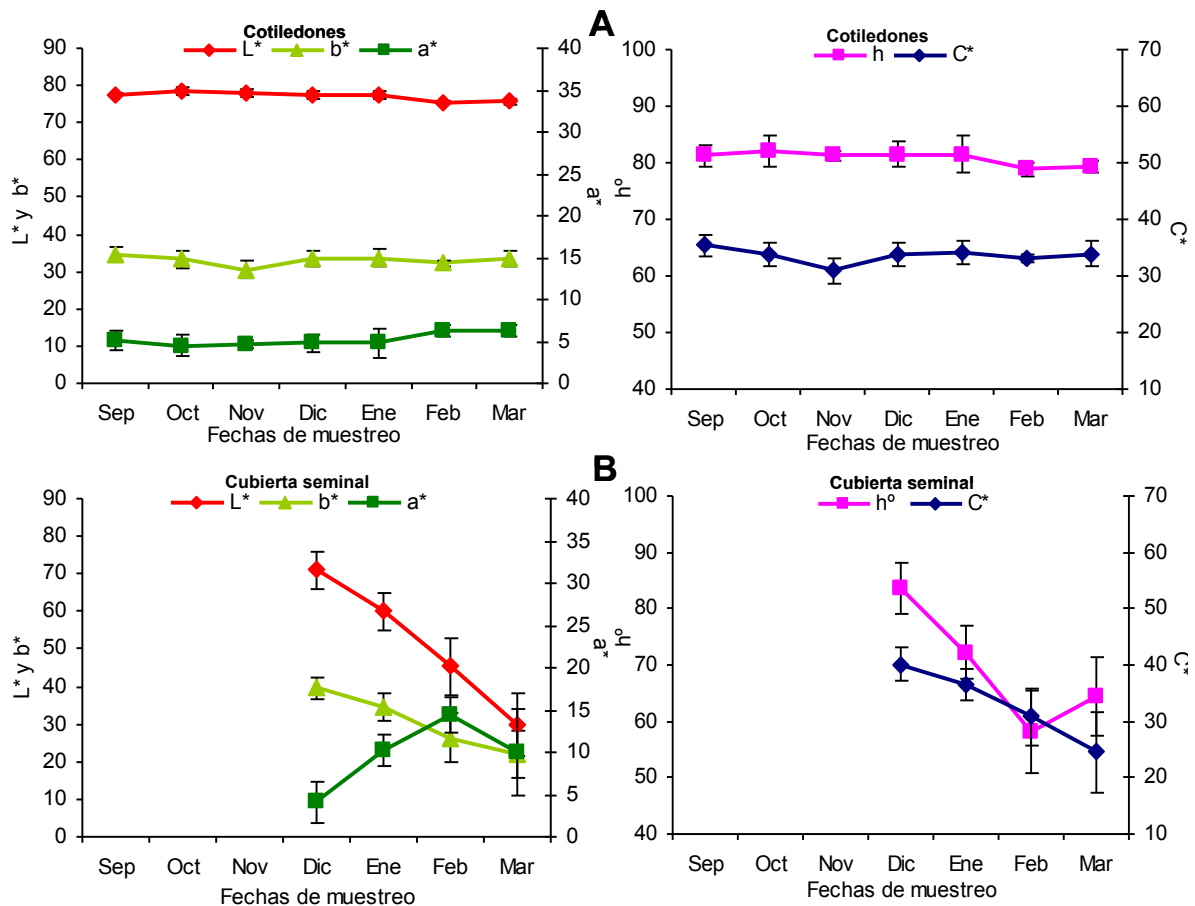


Figura 26. Evolución de los parámetros de color L\*, b\*, a\* y C\*, h° en la semilla del fruto de aguacate ‘Hass’ durante el muestreo. Arriba (A). Color de los cotiledones. Abajo (B). Color de la cubierta seminal. Campaña 2011-2012. (Media ± SD, n=20).

Los parámetros L\*, a\*, b\* y C\*, h°, medidos en los cotiledones de la semilla, permanecieron más o menos constantes durante el crecimiento del fruto, entre los siguientes valores L\*: 75,6 a 78,7; a\*: 4,5 a 6,3; b\*: 30,6 a 34,8 y C\*: 30,9 a 35,4; h°: 78,8 a 82,0 (Fig. 26A). Se observó un ligero aumento del parámetro a\* en las dos últimas fechas de muestreo y una disminución de h° (Fig. 26A). En cuanto a la evolución del color en la cubierta de la semilla, como puede apreciarse en la figura 26B, los parámetros L\*, b\*, C\* y h° disminuyeron de forma continuada durante el muestreo entre los siguientes valores L\*: 70,9 a 29,7; b\*: 39,6

a 22,0; C\*: 40,1 a 24,6 y h°: 83,5 a 64,4. Por el contrario, el parámetro a\* aumentó durante los meses de diciembre a febrero de 4,1 a 14,4 y disminuyó en marzo a 10,1 (Fig. 26B).

#### 1.4. Firmeza de la pulpa:

La firmeza de la pulpa se mantuvo en valores más o menos similares durante las fechas de muestreo, y oscilaron entre 210,6 N y 236,2 N (Fig. 27). Se observó un aumento en la firmeza de la pulpa entre la tercera (216,5 N) y cuarta fecha de muestro (236,2 N).

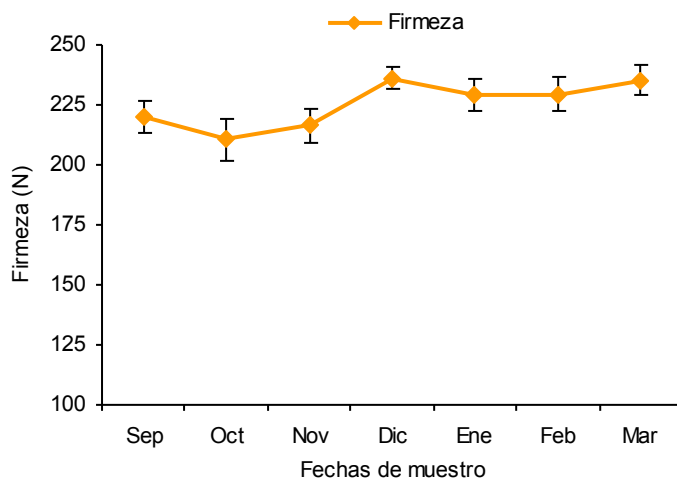


Figura 27. Evolución de la firmeza de la pulpa del fruto de aguacate 'Hass' durante el muestreo. Campaña 2011-2012. (Media  $\pm$  SD, n=20).

#### 1.5. Materia seca:

El contenido en materia de seca de la pulpa del fruto, aumentó de forma continuada durante su crecimiento y desarrollo, desde un 17,2 % en el mes de septiembre a un 28,7 % en el mes de marzo (Fig. 28). El porcentaje de materia seca de la pulpa es el principal índice de recolección en aguacate, y el contenido mínimo necesario para su recolección varía entre las diferentes zonas productoras y entre variedades (Seymour y Tucker, 1993; Kader, 2002). En la Unión Europea, el contenido mínimo de materia seca para la recolección del fruto de aguacate 'Hass' es de un 21 %, y establece la madurez y el grado de desarrollo necesario para que los frutos puedan madurar (Reglamento CE, N° 387/2005). En nuestro ensayo, como se observa en la figura 28, este contenido mínimo se alcanzó a partir del mes de noviembre (21,5%).

Los coeficientes de correlación entre la materia seca del fruto y las diferentes variables medidas en el fruto, fueron superiores a 0,9 ( $r \geq 0,9$ ) y significativos sólo entre: materia seca y color piel del fruto h° ( $r=-0,99$ ;  $p<0,001$ ); materia seca y color pulpa debajo piel a\* ( $r=0,91$ ;

$p=0,005$ ); materia seca y color pulpa debajo piel  $b^*$  ( $r=-0,91$ ;  $p=0,005$ ) y materia seca y color pulpa debajo piel  $C^*$  ( $r=-0,93$ ;  $p=0,003$ ). Para calcular los coeficientes de correlación entre la materia seca del fruto y los parámetros de color de la cubierta seminal, se utilizaron sólo las cuatro últimas fechas de muestreo y fueron significativos entre: materia seca y color cubierta seminal  $L^*$  ( $r=-0,98$ ;  $p=0,02$ ); materia seca y color cubierta seminal  $b^*$  ( $r=-0,99$ ;  $p=0,01$ ) y materia seca y color cubierta seminal  $C^*$  ( $r=-0,97$ ;  $p=0,029$ ).

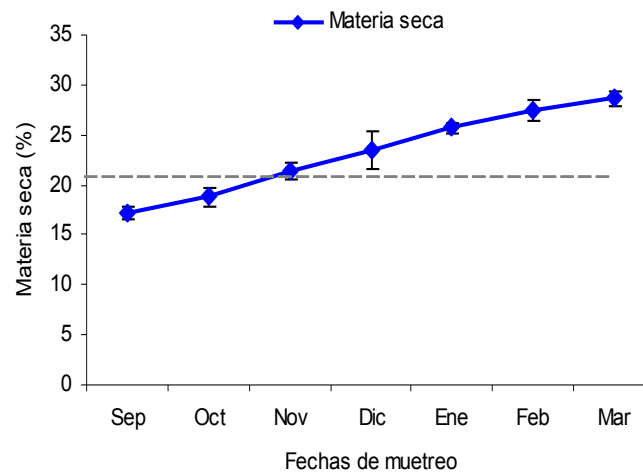


Figura 28. Evolución del contenido en materia seca de la pulpa del fruto de aguacate 'Hass' durante el muestreo. Línea gris: contenido mínimo en materia seca para recolección de aguacate 'Hass'. Campaña 2011-2012. (Media  $\pm$  SD,  $n=4$ ).

## 2. Maduración del fruto en aguacate 'Hass':

Para estudiar la maduración del fruto de aguacate 'Hass', se recogieron frutos en tres fechas: 10/12/2011 (Diciembre), 10/01/2012 (Enero) y 6/03/2012 (Marzo), y posteriormente, en el laboratorio, se introdujeron en una cámara a 22°C y 90% HR, donde tuvo lugar la maduración. Durante la maduración se determinaron los siguientes parámetros en el fruto: peso (g), longitud y calibre del fruto (mm); color de la piel del fruto ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $C^*$ ,  $h^\circ$ ); firmeza de la pulpa (N), materia seca (%) y producción de etileno ( $nL\ g^{-1}h^{-1}$ ). Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

### 2.1. Tamaño del fruto: peso, longitud y calibre:

El peso del fruto disminuyó durante su maduración en cámara (22°C; 90% HR) y en las tres fechas de recolección evaluadas (Fig. 29). La evolución de la longitud y calibre del fruto, durante la maduración, fue similar al peso del fruto (Fig. 29). En los frutos recolectados en Diciembre el peso medio disminuyó de 213,7 g a 199,9 g y la longitud y el calibre del fruto de 100,1 mm a 96,0 mm y de 66,6 mm a 64,4 mm respectivamente (Fig. 29A). Los frutos

recogidos en Enero (Fig. 29B), durante su maduración en cámara, disminuyeron en peso (de 209,4 g a 196,4 g), en longitud (de 97,7 mm a 93,5 mm) y calibre (de 66,1 mm a 64,5 mm). Por último, los frutos recogidos en Marzo (Fig. 29C) también disminuyeron durante su maduración en peso (de 211,7 g a 204,3 g), longitud (de 98,9 mm a 95,4 mm) y calibre (de 66,7 mm a 65,3 mm).

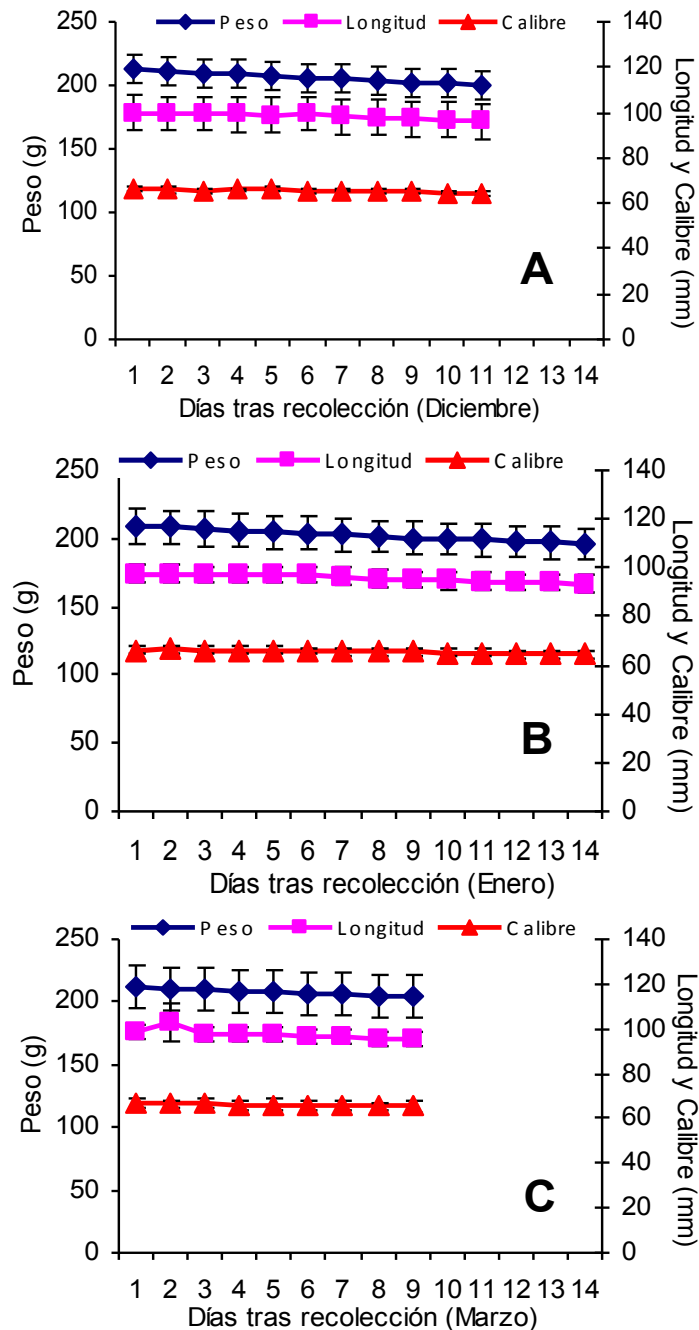


Figura 29. Evolución del peso, longitud y calibre del fruto de aguacate ‘Hass’ durante su maduración en cámara a 22°C y 90% HR. (Media  $\pm$  SD, n=20). Arriba (A). Frutos recolectados el 10/12/2011. En medio (B). Frutos recolectados el 10/01/2012. Abajo (C). Frutos recolectados el 06/03/2012.

Durante la maduración, la pérdida acumulada de peso fresco del fruto (Fig. 30) fue siempre mayor en los frutos recolectados en Diciembre (6,5 %), que en los recolectados más tarde en Enero (6,2 %) y Marzo (3,5 %).

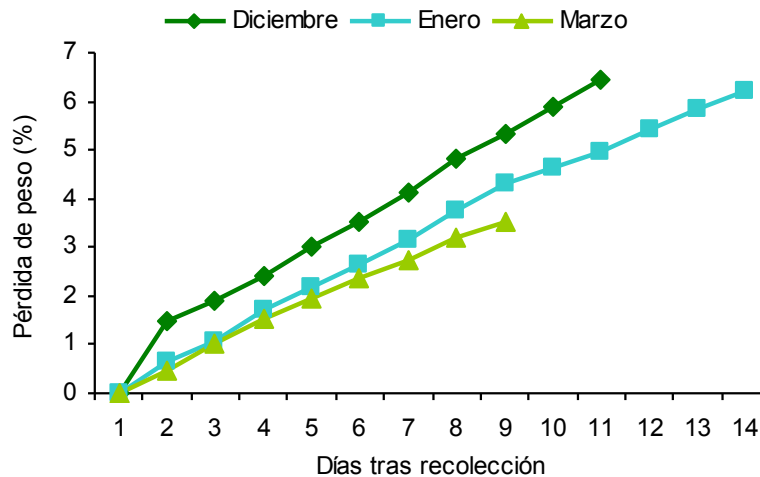


Figura 30. Evolución de la pérdida acumulada de peso fresco (%) del fruto de aguacate 'Hass' durante su maduración en cámara a 22°C y 90% HR, en diferentes fechas de recolección. (Media, n=20).

## 2.2. Color de la piel del fruto:

Durante la maduración del fruto, y en las tres fechas de recolección, los parámetros  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$  disminuyeron en la piel del fruto, y el parámetro  $a^*$  aumentó (Fig. 31). En general, la disminución de  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$  y el aumento de  $a^*$ , fue más acusada a partir del día 7 en los frutos recogidos en Diciembre, y de los días 6 y 4 en los frutos recogidos en Enero y Marzo respectivamente (Fig. 31). La evolución de dichos parámetros refleja el cambio de color, de verde a negro/violáceo, que tiene lugar durante la maduración del fruto en aguacate 'Hass' (Newett, et al., 2002). En los frutos recogidos en Diciembre disminuyeron los parámetros  $L^*$  (de 36,2 a 27,8),  $b^*$  (de 15,9 a 4,7),  $C^*$  (de 20,1 a 6,0) y  $h^\circ$  (de 127,6 a 58,1) y el parámetro  $a^*$  aumentó (de -12,1 a 2,9) (Fig. 31A). Durante la maduración de los frutos recogidos en Enero, también disminuyeron los parámetros  $L^*$  (de 35,8 a 27,2),  $b^*$  (de 15,2 a 3,6),  $C^*$  (de 19,3 a 3,9) y  $h^\circ$  (de 128,0 a 72,3) y  $a^*$  aumentó (de -11,8 a 1,0) (Fig. 31B). Resultados similares se obtuvieron para los frutos recogidos en Marzo, con valores que disminuyeron en los parámetros  $L^*$  (de 34,9 a 27,0),  $b^*$  (de 15,7 a 4,2),  $C^*$  (de 19,5 a 4,7) y  $h^\circ$  (de 126,3 a 69,9) y el parámetro  $a^*$  que aumentó (de -11,5 a 1,3) (Fig. 31C).

Como se observa en la figura 31, los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $C^*$ ,  $h^0$  variaron, durante la maduración del fruto, entre valores similares en las tres fechas de recolección del fruto. Sin embargo, la disminución de los parámetros  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y  $h^0$  y el aumento de  $a^*$  fue más rápido conforme los frutos se recogieron más tarde (Fig. 32).

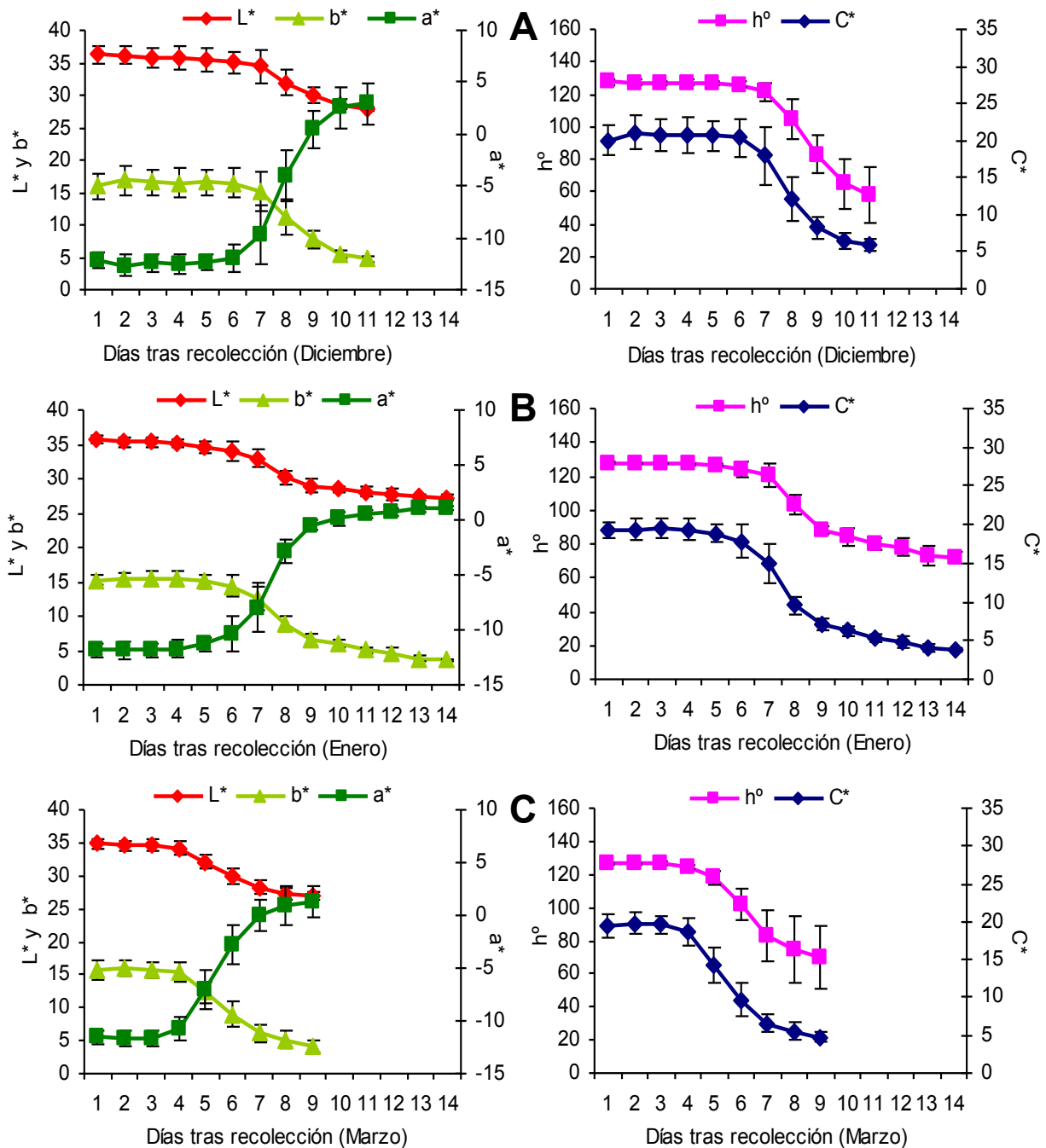


Figura 31. Evolución de los parámetros de color  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $a^*$  y  $C^*$ ,  $h^0$  en la piel del fruto de aguacate ‘Hass’, durante su maduración en cámara a 22°C y 90% HR. (Media  $\pm$  SD, n=20). Arriba (A). Frutos recolectados el 10/12/2011. En medio (B). Frutos recolectados el 10/01/2012. Abajo (C). Frutos recolectados el 06/03/2012.

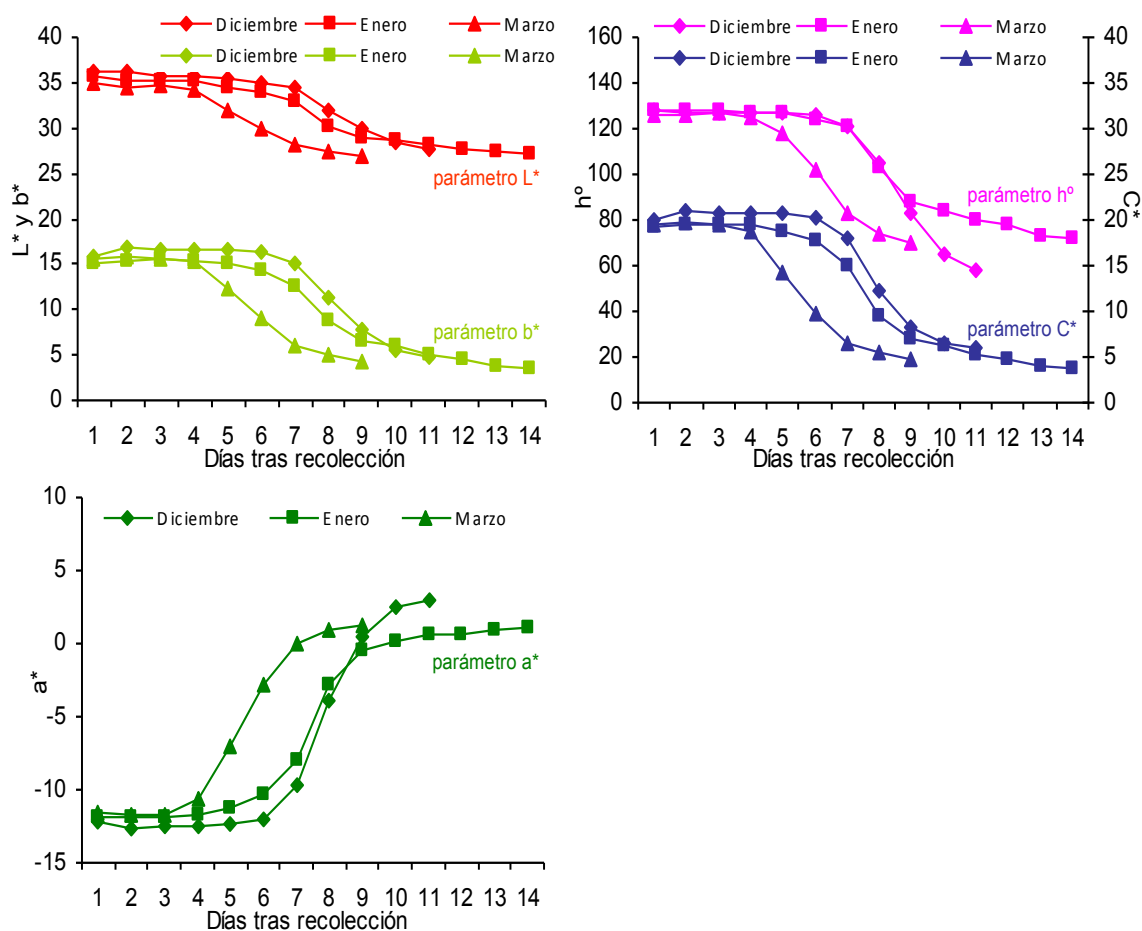


Figura 32. Evolución de los parámetros de color  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $a^*$  y  $C^*$ ,  $h^\circ$  en la piel del fruto de aguacate 'Hass', durante su maduración en cámara a 22°C y 90% HR, en diferentes fechas de recolección. (Media, n=20).

### 2.3. Firmeza de la pulpa:

Durante la maduración del fruto, y en las tres fechas de recolección, la firmeza de la pulpa disminuyó (Fig. 33). En los frutos que se recogieron en Diciembre, la firmeza de la pulpa disminuyó de 229,2 N a 2,5 N tras 9 días en cámara (Fig. 33A). La pérdida de firmeza en los frutos recogidos en Enero fue desde 239,6 N a 1,8 N tras 13 días en cámara (Fig. 33B); y en los frutos recogidos en Marzo la firmeza de la pulpa disminuyó de 220,6 N a 2,5 N después de 8 días en cámara (Fig. 33C).

### 2.4. Materia seca:

El porcentaje de materia seca de la pulpa del fruto se mantuvo en valores más o menos similares durante la maduración del fruto, y en las tres fechas de muestreo (Fig. 33). En los frutos recolectados en Diciembre el contenido en materia seca osciló entre 23,9 % y 24,8 %, y en los frutos recolectados en Enero osciló entre 23,9 % y 24,8 %, y en los frutos recolectados en Marzo osciló entre 23,9 % y 24,8 %.

con un ligero descenso en el último día de muestreo a 19,6 % (Fig. 33A). En los frutos recogidos en Enero, durante su maduración, la materia seca se mantuvo más o menos constante, entre valores de 23,4 % y 26,3 % (Fig. 33B); y en los frutos recolectados en Marzo osciló entre 27,5 % y 29,2 % (Fig. 33C).

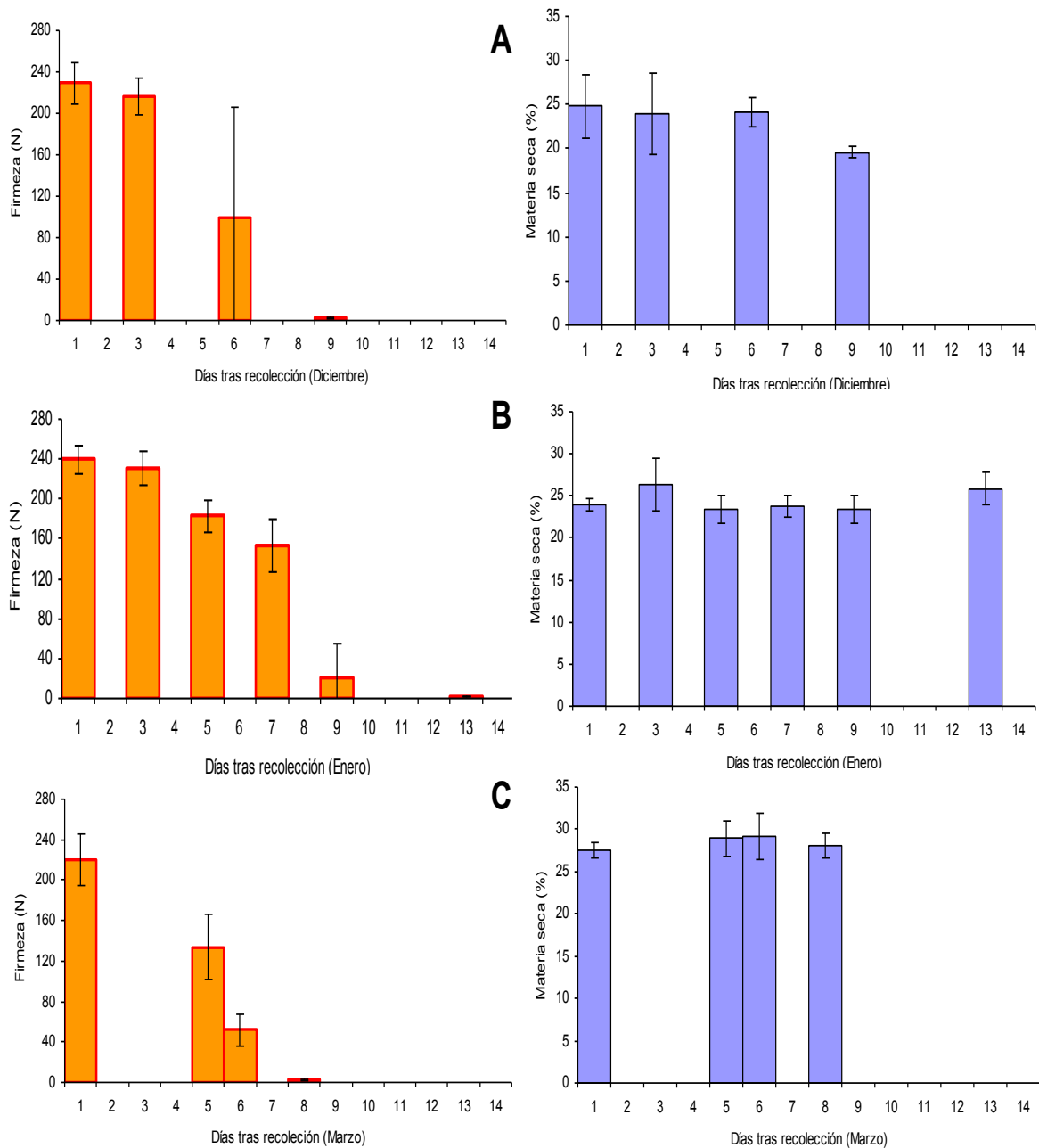


Figura 33. Evolución de la firmeza de la pulpa del fruto (izquierda) y del contenido en materia seca de la pulpa del fruto (derecha) en aguacate ‘Hass’, durante su maduración en cámara a 22°C y 90% HR. (Media  $\pm$  SD, n=4). Arriba (A). Frutos recolectados el 10/12/2011. En medio (B). Frutos recolectados el 10/01/2012. Abajo (C). Frutos recolectados el 06/03/2012.



## 2.5. Producción de etileno:

Durante la maduración del fruto, y en las tres fechas de recolección, se produjo un rápido incremento y caída de la tasa de producción de etileno (Fig. 34). Dentro de la misma fecha de recolección de los frutos, el patrón de emisión de etileno fue similar entre frutos, pero el momento en que se produjo el pico climatérico fue diferente entre frutos (Fig. 34).

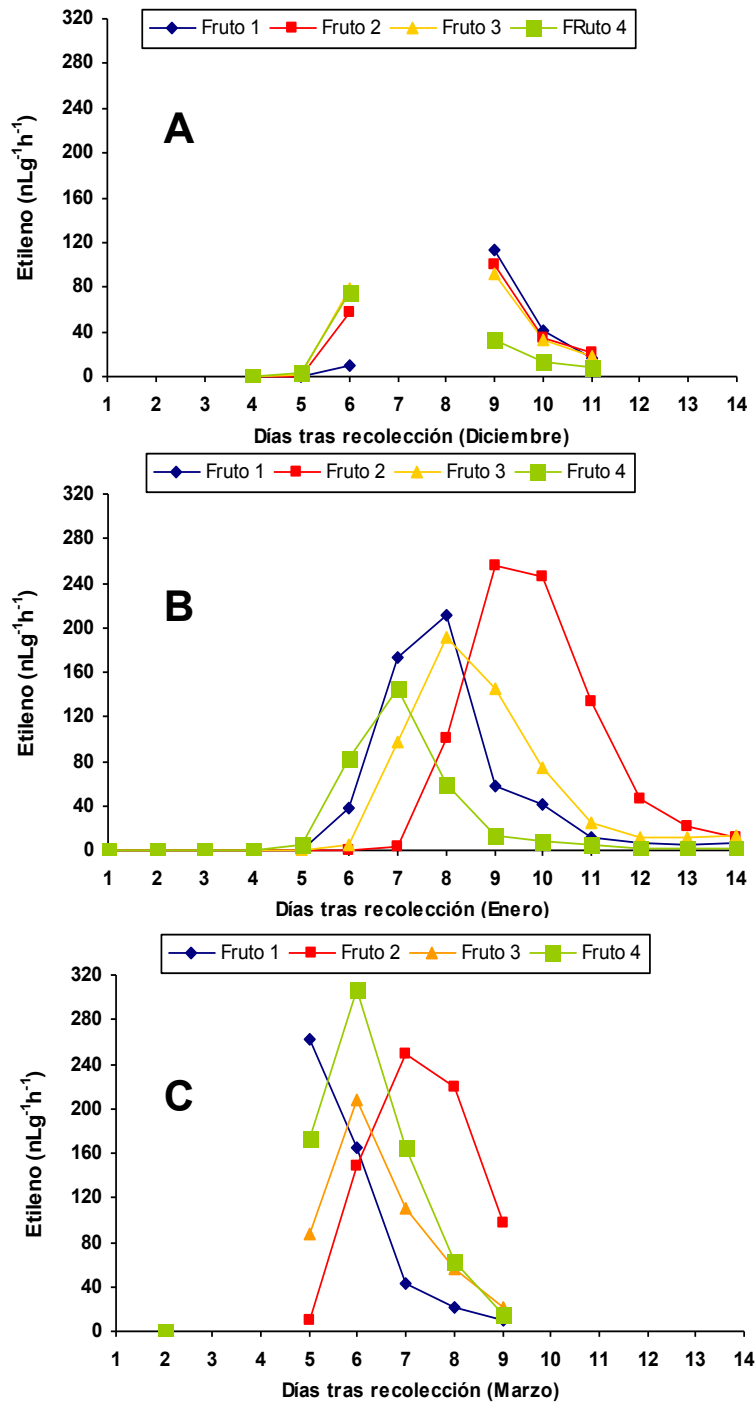


Figura 34. Evolución de la producción de etileno en el fruto de aguacate ‘Hass’ durante su maduración en cámara a 22°C y 90% HR, en diferentes fechas de recolección del fruto. Arriba (A). Frutos recolectados el 10/12/2011. En medio (B). Frutos recolectados el 10/01/2012. Abajo (C). Frutos recolectados el 06/03/2012.

En los frutos recogidos en Diciembre, la síntesis de etileno tuvo lugar entre los días 5 a 11 (Fig. 34A), y debido a la ausencia de la medida del etileno en los días 7 y 8, no se pudo establecer el pico climatérico en los diferentes frutos. En los frutos recolectados en Enero (Fig. 34B), la producción máxima de etileno se produjo el día 7 para el fruto 4 (144,5 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), el día 8 en los frutos 1 (211,1 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) y 3 (192,0 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), y el día 9 en el fruto 2 (256,0 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>). El pico climatérico, en los frutos que se recogieron y maduraron en Marzo, se produjo varios días antes, el día 5 en el fruto 1 (261,6 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), el día 6 en los frutos 3 (208,5 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) y 4 (306,2 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), y el día 7 en el fruto 2 (248,9 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) (Fig. 34C).

Durante la maduración del fruto en cámara (22°C; 90%HR), el pico climatérico se produjo más tarde en los frutos recogidos en Enero (día 8; 140,6 ± 72,8 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) que en los frutos recogidos en Marzo (día 6; 207,2 ± 70,6 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) (Fig. 35). Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en la evolución del color de la piel del fruto durante su maduración (Fig. 32), donde el cambio de color del fruto, medido con los parámetros L\*, a\*, b\* y C\*, h°, fue más rápido conforme los frutos se recogieron más tarde. Además, la pérdida de firmeza de la pulpa también fue más temprana en frutos recolectados más tarde (Fig. 33B y Fig. 33C). Dichos resultados nos permiten concluir que la maduración del fruto de aguacate en cámara (22°C; 90%HR), una vez alcanzada la madurez de cosecha, es más rápida cuanto más tarde se recoja el fruto, y además la pérdida de peso del fruto es menor (Fig. 30).

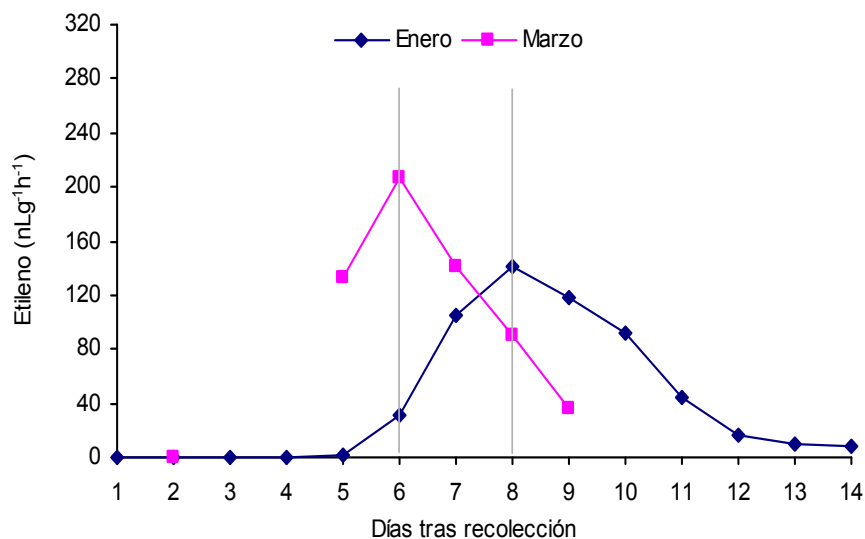


Figura 35. Evolución de la producción media de etileno en el fruto de aguacate 'Hass' durante su maduración en cámara a 22°C y 90% HR, en diferentes fechas de recolección del fruto. (Media, n=4).

## 2.6. Análisis sensorial:

La evaluación sensorial se realizó sobre frutos maduros (a\* entre 0 y 4) procedentes de las tres fechas de recolección del ensayo de maduración. Se evaluaron parámetros externos e internos del fruto sobre una escala hedónica (1=valor peor y 5=valor óptimo), y los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Los resultados del análisis sensorial no mostraron diferencias significativas, entre frutos maduros procedentes de diferentes fechas de recolección, en ninguno de los parámetros externos del fruto evaluados (Tabla 2). El panel de cata tampoco mostró diferencias significativas en la evaluación global de los parámetros externos del fruto (Tabla 2).

Parámetros externos del fruto	Fecha de recolección		
	Diciembre	Enero	Marzo
Tamaño	3,71a	4,11a	3,87a
Color piel	4,43a	4,55a	4,25a
Forma	4,00a	4,11a	3,75a
Defectos piel	3,71a	3,33a	3,50a
Firmeza (dedos)	3,14a	3,78a	3,62a
Evaluación global	4,14a	3,78a	3,87a

Tabla 2. Evaluación sensorial de los parámetros externos de frutos de aguacate 'Hass', procedentes de diferentes fechas de recolección y tras su maduración en cámara (22°C y 90% HR). Letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas (Kruskal-Wallis  $p \leq 0.05$ ).

Respecto a los parámetros internos del fruto evaluados, los resultados del análisis sensorial no mostraron diferencias significativas, entre los frutos maduros procedentes de diferentes fechas de recolección (Tabla 3). Los frutos recogidos más tarde fueron apreciados, por el panel de cata, con un sabor menos verde ó herbáceo que los frutos más tempranos, aunque las diferencias no fueron significativas (Tabla 3). Paralelamente, el sabor característico a nueces, o frutos secos, del aguacate 'Hass' (Neweett, et al., 2002), fue apreciado mejor conforme los frutos se recogieron más tarde, aunque sin diferencias significativas entre fechas de recolección (Tabla 3). Los resultados anteriores incidieron sobre la calidad de consumo, que fue evaluada más óptima conforme los frutos se recogieron más tarde, aunque también sin diferencias significativas entre fechas de recolección (Tabla 3).

Por último, la intención de compra, para el panel de cata, fue alta (80-100%) sin diferencias significativas entre frutos maduros procedentes de las diferentes fechas de recolección (Tabla 4).

Parámetros internos del fruto	Fecha de recolección		
	Diciembre	Enero	Marzo
Defectos pulpa	4,86a	4,22a	4,64a
<u>Textura:</u>			
Dureza (boca)	4,43a	4,33a	4,25a
Cremosidad/untuosidad	4,43a	4,11a	4,75a
<u>Sabor:</u>			
Verde/herbáceo	3,57a	4,11a	4,13a
Nueces/Frutos secos	3,43a	3,78a	3,88a
Calidad de consumo	4,14a	4,22a	4,63a
<b>Evaluación global</b>	<b>4,29a</b>	<b>4,00a</b>	<b>4,38a</b>

Tabla 3. Evaluación sensorial de los parámetros internos de frutos de aguacate ‘Hass’, procedentes de diferentes fechas de recolección y tras su maduración en cámara (22°C y 90% HR). Letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas (Kruskal-Wallis  $p \leq 0.05$ )

	Fechas de recolección		
	Diciembre	Enero	Marzo
<b>Intención de compra</b>	<b>4.14a</b>	<b>4.11a</b>	<b>4.25a</b>

Tabla 4. Intención de compra de frutos de aguacate ‘Hass’, procedentes de diferentes fechas de recolección y tras su maduración en cámara (22°C y 90% HR). Letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas (Kruskal-Wallis  $p \leq 0.05$ ).

## **DISCUSIÓN**

## DISCUSIÓN

### 1. Crecimiento del fruto en aguacate ‘Hass’

El fruto del aguacate es una baya unisemillada, que crece por división y elongación celular, siguiendo una curva sigmoide, y a diferencia de la mayoría de los frutos, la fase de división celular continúa hasta la recolección del fruto. En aguacate ‘Hass’ el fruto es de tamaño pequeño a mediano, forma oval o piriforme, piel rugosa, de grosor medio y de color verde oscuro apagado, que vira a negro-violáceo durante su maduración (Rodríguez, 1982; Galán, 1990; Newett et al., 2002). En la costa de Almería, el fruto de aguacate ‘Hass’ crece desde cuajado, en los meses de abril-mayo, hasta la recolección, que va desde el mes de noviembre a los meses de marzo-abril. El momento óptimo de recolección del fruto, determinado por la madurez de cosecha, depende de su contenido en aceite o en materia seca (%), y va a condicionar una óptima maduración y calidad del fruto.

En el presente trabajo se ha estudiado el crecimiento del fruto de aguacate ‘Hass’, en la costa de Almería, evaluando para ello diferentes parámetros a lo largo de siete meses, desde septiembre de 2011 a marzo de 2012. El peso del fruto (Fig. 22) aumentó ligeramente durante el muestreo desde 173,6 g a 209,4 g, alcanzando en recolección valores similares a los descritos en la bibliografía para el fruto del aguacate ‘Hass’ y que oscilan entre 150 y 350/400 g y lo describen como un fruto de tamaño pequeño a mediano si se compara con otros cultivares (Galán, 1990; Newett et al., 2002). En aguacate, el crecimiento de fruto sigue una curva simple sigmoide, con una fase inicial lenta de duración aproximada de 10 semanas tras la floración (Cowan et al., 2001). A continuación, una fase de crecimiento exponencial del fruto que se prolonga hasta 30 semanas después de la floración, dependiendo del cultivar y condiciones de cultivo, y por último, una fase de madurez del fruto en la que la tasa de crecimiento del fruto disminuye (Cowan et al., 2001). En nuestro ensayo, el escaso aumento del peso del fruto, durante el muestreo, fue debido a que éste se inició al final de la fase exponencial del crecimiento del fruto y se desarrolló durante la madurez del fruto, cuando el crecimiento es menor. La evolución de la longitud y el calibre del fruto durante el muestreo (Fig. 22) fueron similares a la del peso de fruto; y la ratio que estima la forma del fruto disminuyó ligeramente de 1,51 a 1,41, indicando que el fruto se redondea a lo largo del muestreo.

El peso de la semilla del fruto (Fig. 23) aumentó durante las fechas de muestreo desde 21,3 g a 34,3 g, siguiendo una pauta similar a la evolución del peso del fruto (Fig. 22). La alta correlación obtenida entre el peso de la semilla y el peso del fruto ( $r=0,95$ ;  $p=0,001$ ) pone de manifiesto, la importancia de la semilla en el control del crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate (Blumenfeld y Gazit, 1970; Bower y Cutting, 1988). La evolución de la longitud y del calibre de la semilla durante el ensayo (Fig. 23) fue similar a la del peso de la semilla; y la relación entre ambos parámetros, que estima la forma de la semilla, disminuyó ligeramente de 1,14 a 1,07 indicando que se hace más redonda a lo largo del muestreo. La correlación entre la forma de la semilla y la del fruto no fue significativa ( $r=0,67$ ;  $p=0,102$ ), debido a la diferente forma de la semilla (redonda) y del fruto (oval o piriforme), en aguacate ‘Hass’ (Rodríguez, 1982; Newett et al., 2002).

El fruto de aguacate ‘Hass’ es de color verde oscuro durante la fase de crecimiento y madurez en el árbol y cambia a negro púrpura o violáceo durante su maduración (Newett et al., 2002; Cox et al., 2004). El color verde de la piel del fruto es debido al contenido en clorofila, principalmente clorofila a y b; y el cambio de color se produce por una disminución, al inicio de la maduración, del contenido en clorofila, seguido de un incremento en los niveles de antocianinas, principalmente la cianidina 3-O-glucósido (Cox et al., 2004; Ashton et al., 2006). Los parámetros que determinan el color de la piel del fruto  $L^*$  (0negro/100blanco),  $a^*$  (rojo+/verde-),  $b^*$  (amarillo+/azul-) y  $C^*$  (croma) se mantuvieron más o menos constantes, durante el crecimiento del fruto, excepto el parámetro  $h^\circ$  (tono) que disminuyó ligeramente (Fig. 24). Valores negativos de  $a^*$  indican el color verde de la piel del fruto y, en nuestro ensayo se mantuvo constante durante la fase de crecimiento y madurez del fruto en un intervalo de -12,3 a -11,3. Los parámetros  $L^*$  (34,0 a 36,3) y  $C^*$  (18,3 a 20,0) permanecieron más o menos estables y  $h^\circ$  disminuyó de 130,6 a 125,4 durante el crecimiento del fruto. Dichos resultados son similares a los obtenidos previamente por Chen et al. (2009) en aguacate ‘Sharwil’.

Respecto al color de la pulpa del fruto se realizaron dos medidas, debajo de la piel y en el interior del fruto. En aguacate, la pulpa del fruto es de color amarillo pálido, con una leve cubierta más verdosa debajo de la piel del fruto (Calabrese, 1992). El color amarillo pálido de la pulpa en el interior del fruto se correspondió, en nuestro estudio, con valores cercanos a 100 (blanco) de  $L^*$  (78,4 a 80,9), negativos para el parámetro  $a^*$  (-10,6 a -8,3) y positivos para  $b^*$  (41,7 a 49,2) (Fig. 25. B). El color verde de la pulpa debajo de la piel del fruto, como

era de esperar, tuvo valores menores de  $L^*$  (60,3 a 62,9) y de  $a^*$  (-21,6 a -20,3) que se corresponden con un color más oscuro y más verde que en el interior de la pulpa, y similares de  $b^*$  (42,4 a 40,0) (Fig. 25. A). Los valores obtenidos en los parámetros  $L^*$  (78,4 a 80,9),  $C^*$  (42,6 a 48,6) y  $h^\circ$  (100,5 a 102,9) en la pulpa del interior del fruto de aguacate 'Hass', son similares a los obtenidos en trabajos previos realizados por Özdemir et al. (2009) en aguacates de los cultivares 'Bacon', 'Fuerte' y 'Zutano', y por Chen et al. (2009) en aguacate 'Sharwil'.

En aguacate, la semilla juega un papel muy importante en el desarrollo del fruto, y existe una correlación positiva entre la tasa de crecimiento del fruto y el nivel de promotores del crecimiento en los tejidos de la semilla (Blumenfeld y Gazit, 1970). Para dichos autores, la cubierta de la semilla, en frutos en desarrollo, es muy rica en auxinas, giberelinas y citoquininas, poniendo de manifiesto su importancia en el crecimiento del fruto en aguacate (Blumenfeld y Gazit, 1971). En frutos inmaduros, la cubierta seminal es blanca, gruesa, carnosa. Posteriormente, cuando la tasa de crecimiento del fruto disminuye y está próxima la madurez del fruto, la cubierta seminal comienza a desecarse, se hace más delgada y se oscurece; y en la madurez del fruto es un tejido muerto, muy oscuro y delgado (Blumenfeld y Gazit, 1974). Estos cambios en la cubierta seminal se han considerado como un indicador de la madurez del fruto (Blumenfeld y Gazit, 1971; Lee, 1981). En nuestro trabajo, se determinó el color de los cotiledones y de la cubierta seminal. Los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $C^*$ ,  $h^\circ$ , medidos en los cotiledones, permanecieron más o menos sin cambios durante el crecimiento y madurez del fruto (Fig. 26 A). Sin embargo, en la cubierta de la semilla, los parámetros  $L^*$ ,  $b^*$  y  $C^*$ ,  $h^\circ$  disminuyeron de forma acusada, y el parámetro  $a^*$  aumentó (Fig. 26 B). Dicha evolución refleja claramente el pardeamiento y oscurecimiento de la cubierta seminal durante la madurez del fruto (Blumenfeld y Gazit, 1971).

Durante la fase de crecimiento y madurez en el árbol, el fruto de aguacate 'Hass' permaneció firme con valores entre 210,6 N y 236,2 N (Fig. 27), resultado que coincide con el de Chen et al. (2009) en aguacate 'Sharwil'.

Por último, en el ensayo de crecimiento y madurez del fruto, se determinó el porcentaje de materia seca en la pulpa del fruto, que aumentó desde un 17,2 % en el mes de septiembre a un 28,7 % en marzo (Fig. 28). Este incremento en materia seca ha sido descrito anteriormente en numerosos trabajos y cultivares (Ozdemir y Topuz, 2004; Chen et al., 2009; Özdemir et al. 2009; Yousef y Hassaneine, 2010). En aguacate, existe una relación entre el



contenido en aceite del fruto y el porcentaje de materia seca de la pulpa; y este contenido de materia seca (%) del fruto se utiliza, de forma generalizada, como índice de recolección en aguacate (Lee, 1981; Seymour y Tucker, 1993; Kader, 2002). En nuestro ensayo, el porcentaje mínimo de materia seca, para la recolección del fruto de aguacate ‘Hass’ (21%; Reglamento CE, N° 387/2005), se alcanzó a partir del mes de noviembre (Fig. 28).

## 2. Maduración del fruto en aguacate ‘Hass’:

El aguacate es un fruto climatérico y a diferencia de la mayoría de los frutos la maduración y el reblandecimiento del fruto no ocurren mientras permanece unido al árbol, sino que tiene lugar varios días después de su recolección (Bower y Cutting, 1988; Seymour y Tucker, 1993; Scora et al, 2002; Barry y Giovannoni, 2007). El inicio de la maduración del aguacate está marcado por una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos en el fruto que incluyen un incremento significativo de la producción de etileno y de la respiración, cambios en la textura del fruto y el desarrollo de los compuestos del aroma (Bower y Cutting, 1988; Seymour y Tucker, 1993).

En el presente trabajo se ha estudiado la maduración, en cámara (22°C y 90%HR), de frutos de aguacate ‘Hass’ procedentes de tres fechas de recolección: 10/12/2011 (Diciembre), 10/01/2012 (Enero) y 6/03/2012 (Marzo); evaluando para ello diferentes parámetros durante los 14-15 días que permanecieron en cámara, hasta finalizar su maduración.

Durante la maduración del fruto, y en las tres fechas de recolección, se produjo un rápido incremento y caída de la tasa de producción de etileno (Fig. 34). La producción máxima de etileno se produjo el día 8 tras recolección ( $140,6 \pm 72,8 \text{ nL g}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) para los frutos recogidos en Enero y el día 6 ( $207,2 \pm 70,6 \text{ nL g}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) para los recolectados en Marzo (Fig. 35); no pudiéndose establecer el pico climatérico en los frutos recogidos en Diciembre. Los resultados obtenidos confirman trabajos previos, que ponen de manifiesto que en aguacate la producción máxima de etileno tiene lugar varios días después de iniciarse la maduración del fruto (Awad y Young, 1979; Sitrit et al, 1986; Hershkovitz et al., 2011); y que el pico climatérico se produce más tempranamente conforme los frutos se recogen más tarde (Adato y Gazit, 1974; Hershkovitz et al., 2011). Además, los valores de producción máxima de etileno obtenidos en nuestro ensayo son similares a los descritos en la bibliografía para aguacate ‘Hass’ (Adato y Gazit, 1974; Eaks, 1978).

Durante la maduración de los frutos climatéricos la producción de etileno es autocatalítica, y el etileno formado coordina y acelera el proceso de maduración del fruto (Alexander y Grierson, 2002; Barry y Giovannoni, 2007). En nuestro estudio, al inicio de la maduración del fruto de aguacate ‘Hass’, y en las tres fechas de recolección, se produjo un incremento significativo de la producción de etileno (Fig. 34), paralelo al cambio de color de la piel (Fig. 31) y al reblandecimiento del fruto (Fig. 33).

En aguacate ‘Hass’, durante la maduración la piel del fruto cambia de color de verde a negro púrpura o violáceo, utilizándose dicho cambio como principal índice de maduración (Newett et al., 2002; Cox et al., 2004). Este cambio de color, como se recoge anteriormente, es debido a la disminución de su contenido en clorofila, seguido de un incremento en los niveles de antocianinas, principalmente la cianidina 3-O-glucósido (Cox et al., 2004; Ashton et al., 2006). En nuestro trabajo, durante la maduración del fruto, y en las tres fechas de recolección, se produjo una disminución de los parámetros  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$  que determinan el color en la piel del fruto, y un aumento de  $a^*$  (Fig. 31); resultado similar al obtenido por Cox et al. (2004) en aguacate ‘Hass’. Dichos autores relacionaron el incremento de la cianidina 3-O-glucósido durante la maduración del fruto, con la disminución de los parámetros  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$  y con el cambio de color del fruto evaluado visualmente (Cox et al., 2004). En nuestro ensayo, como ocurrió con la producción de etileno (Fig. 35), el cambio de color durante la maduración del fruto (Fig. 32) fue más rápido conforme los frutos se recogieron más tarde.

Además del cambio de color, durante la maduración se produce un reblandecimiento del fruto. La pérdida de firmeza de la pulpa del fruto es debida a la solubilización de las pectinas, que es llevada a cabo por enzimas pécticas o pectinasas (fundamentalmente la poligaracturonasa) cuya síntesis la promueve el etileno al inicio de la maduración del fruto (Abbott y Harker, 2004; Agustí, 2004). En nuestro ensayo, durante la maduración del fruto, y en las tres fechas de recolección, se produjo una disminución de firmeza de la pulpa (Fig. 33), entre valores de 229,2 N a 2,5 N para los frutos recogidos en Diciembre, de 239,6 N a 1,8 N para los recogidos en Enero y los frutos recogidos en Marzo disminuyeron de 220,6 N a 2,5 N. Dicho reblandecimiento del fruto de aguacate durante su maduración ha sido descrito en trabajos previos (Adato y Gazit, 1974; Cox et al., 2004; Osuna-García et al., 2010). La pérdida de la firmeza del fruto fue más rápida en los frutos recolectados en Marzo que en los recolectados en Enero (Fig. 33).

Durante la maduración del fruto y en la tres fechas de recolección, el contenido en materia seca de la pulpa del fruto se mantuvo en valores más o menos similares (Fig. 33), resultado que coincide con el de Ozdemir y Topuz (2004) en aguacate ‘Hass’. Por último, durante la maduración, la pérdida acumulada de peso fresco del fruto fue menor conforme los frutos se recogieron más tarde (Fig. 30), resultado que coincide con el obtenido por Osuna-García et al (2010) en aguacate ‘Hass’.

Los resultados obtenidos nos permiten concluir, que durante la maduración del fruto de aguacate ‘Hass’ en cámara (22°C; 90%HR) se produce un incremento significativo de la producción de etileno varios días después de recolección, y a la vez, se produce el cambio de color y el reblandecimiento del fruto, manteniéndose el contenido en materia seca de la pulpa en valores más o menos similares (Tabla 5). En aguacate, una vez alcanzada la madurez de cosecha, la maduración del fruto en cámara (22°C; 90%HR) se produce de forma más rápida (dura menos días) cuanto mayor es su contenido en materia seca y/o más tarde se recoja el fruto, y además la pérdida de peso del fruto es menor (Tabla 5). Los valores de los parámetros L\*, a\*, b\* y C\*, h° que determinan el color de fruto fueron similares en el máximo climatérico de los frutos recogidos en Enero y en Marzo, resultado que nos permite estimar cuando se produce el pico climatérico durante la maduración de fruto en cámara (22°C; 90%HR) en aguacate ‘Hass’ (Tabla 5).

Fecha recolección del fruto	Materia seca (%) y firmeza del fruto* (N) en recolección	Producción máxima de etileno (nL g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Días desde recolección a producción máxima de etileno	Parámetros de color de fruto el día de producción máxima de etileno	Pérdida de peso fresco del fruto durante maduración (%)	Materia seca (%) y firmeza del fruto* (N) final maduración
Enero 10/01/2012	24,0±0,8 239,6±14,4*	140,6±72,8	día 8	L*= 30,2±1,0 a*= -2,9±1,0 b*= 8,8±1,1 C*= 9,5±1,2 h°= 102,9±5,9	6,2	25,9±1,9 1,8±0,2*
<b>Marzo</b> <b>06/03/2012</b>	27,5±0,9 220,6±25,5*	207,2±70,6	día 6	L*= 30,0±1,2 a*= -2,8±1,8 b*= 9,0±1,8 C*= 9,7±2,2 h°= 102,1±9,1	3,5	28,0±1,5 2,5±0,7*

Tabla 5. Influencia de la fecha de recolección del fruto sobre la maduración del fruto de aguacate ‘Hass’ en cámara a 22°C y 90% HR.

### 3. Índices de recolección y calidad del fruto en aguacate ‘Hass’:

En aguacate, el principal índice de recolección es el porcentaje de materia seca de la pulpa del fruto (Seymour y Tucker, 1993; Hofman et al., 2002; Kader, 2002; Woolf et al., 2004). En aguacate ‘Hass’ el contenido mínimo de materia seca necesario para la recolección del fruto es de 21% (Reglamento CE, N° 387/2005) y, según los resultados obtenidos en el presente trabajo, en nuestras condiciones de cultivo se alcanza a partir del mes de noviembre (Fig. 28). Otros índices de recolección del fruto se han probado a lo largo del tiempo con menor éxito, como se recoge en las revisiones sobre el tema de Lee (1981) y de Hofman et al. (2002).

Unos de los objetivos del presente trabajo fue identificar un índice de recolección del fruto de aguacate ‘Hass’, de fácil manejo y preferentemente no destructivo. Para ello se determinó el grado de correlación entre los diferentes parámetros del fruto medidos a lo largo de su crecimiento y el contenido en materia (%), existiendo una alta y muy significativa correlación entre materia seca y color piel del fruto  $h^{\circ}$  ( $r=-0,99$ ;  $p<0,001$ ). Dicho resultado nos permite estimar el contenido en materia seca del fruto, midiendo el color de la piel, medida no destructiva y de fácil manejo en campo. Aunque la utilización del color de la piel del fruto  $h^{\circ}$  como índice de recolección del aguacate ‘Hass’, en nuestras condiciones de cultivo, se debe confirmar en futuras campañas.

Por último, la calidad del fruto en aguacate ‘Hass’, evaluada mediante análisis sensorial de los parámetros externos (Tabla 2) e internos (Tabla 3) del fruto, se mantuvo en valores similares conforme avanzó el periodo de recolección del fruto. Además, la calidad de consumo (eating quality) (Tabla 3) y la intención de compra (Tabla 4) fue alta y sin diferencias significativas entre fechas de recolección. Dicho resultado corrobora la ventaja del aguacate, frente a la mayoría de los frutos, de que puede permanecer en el árbol una vez alcanzada su madurez, durante largo periodo de tiempo sin merma de la calidad. En nuestro caso la calidad del fruto en aguacate ‘Hass’ se mantuvo desde el mes de diciembre a marzo, resultado que permite al agricultor ampliar el periodo de recolección del fruto y acceder al mercado con fruta de calidad. Sin embargo, existe controversia en la literatura, sobre la mejora o no de la calidad de consumo en aguacate según avanza el periodo de recolección del fruto (Hofman et al., 2000; Gamble et al., 2010).

## **CONCLUSIONES**

**CONCLUSIONES:**

- En aguacate ‘Hass’, cultivado en la costa de Almería, la fase final de crecimiento del fruto y la madurez del fruto, tiene lugar desde el mes de septiembre a marzo. Durante este periodo, el fruto aumenta poco de tamaño (173,6 g a 209,4 g), permanece firme (210,6 N y 236,2 N), mantiene el color verde característico del cv. ( $a^*$ : -12,3 y -11,3) y aumenta su contenido en materia seca (17,2 % a 28,7 %).
- El porcentaje mínimo de materia seca para la recolección del fruto de aguacate ‘Hass’ (21%; Reglamento CE, N° 387/2005), en la costa de Almería, se alcanza a partir del mes de noviembre.
- En aguacate ‘Hass’, durante el crecimiento y madurez del fruto, el contenido en materia seca de la pulpa está altamente correlacionado con el parámetro  $h^o$  de color de la piel ( $r=-0,99$ ;  $p<0,001$ ); proponiéndose dicho parámetro como índice de recolección no destructivo del fruto, en nuestras condiciones de cultivo. Valores de  $h^o$  inferiores a 129 indican que la fruta es apta para su recolección.
- Durante la maduración del fruto de aguacate ‘Hass’ en cámara (22°C; 90%HR) se produce un incremento significativo de la producción de etileno varios días después de recolección (173,9 nL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), y a la vez, se produce el cambio de color y el reblandecimiento del fruto, manteniéndose el contenido en materia seca de la pulpa en valores más o menos similares
- En aguacate ‘Hass’, la fecha de recolección del fruto y su contenido en materia seca incide sobre la maduración del fruto, de tal manera que una vez alcanzada su madurez, la maduración del fruto es más rápida cuanto más tarde se recoja el fruto y su contenido en materia seca sea mayor, y además la pérdida de peso del fruto es menor en recolecciones más tardías.
- La calidad del fruto en aguacate ‘Hass’ evaluada mediante análisis sensorial, se mantiene conforme avanza el periodo de recolección. Además, la calidad de consumo (eating quality) y la intención de compra son altas y tampoco se ven afectadas por la fecha de recolección.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**BIBLIOGRAFIA:**

- Abbott, J. and R. Harker. 2004. Texture. In: The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks, K. C. Gross, C. Y. Wang and M. Saltveit (eds). Agriculture Handbook number 66.  
<http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/021texture.pdf>
- Adato, I. and S. Gazit. 1974. Postharvest response of avocado fruits of different maturity to delayed ethylene treatments. *Plant Physiology* 53: 899-902.
- Agustí, M. 2000. Crecimiento y maduración del fruto. En: Fundamentos de la fisiología vegetal., J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.). McGraw-Hill Interamericana de España y Edicions Universitat de Barcelona. Madrid. 419-433 pp.
- Agustí, M. 2004. Fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 493 pp.
- Alcaraz, M. and I. Hormaza. 2009. Selection of potential pollinizers for 'Hass' avocado based on flowering time and male-female overlapping. *Scientia Horticulturae* 121: 267-271.
- Alexander, L. and D. Grierson. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany* 53: 2039-2055.
- Ashton, O.; Wong, M.; Mcghie, T; Vather, R.; Wang, Y.; Requejo-Jackman, C.; Ramankutty, P. and A. Woolf. 2006. Pigments in avocado tissue and oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 10151-10158.
- Awad, M. and E. Young. 1979. Postharvest variation in cellulose, polygalacturonase and pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana* Mill, cv. Fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiology* 64: 306-308.
- Baldini, E. 1992. Arboricultura general. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 379 pp.



- Baldwin, E. 2004. Flavor. In: The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks, K. C. Gross, C. Y. Wang and M. Saltveit (eds). Agriculture Handbook number 66.  
<http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/023flavor.pdf>
- Barry, C.; Llop-Tous, I. and D. Grierson. 2000. The regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase gene expression during the transition from system-1 to system-2 ethylene synthesis in tomato. *Plant Physiology* 123: 979-986.
- Barry, C. and J. Giovannoni. 2007. Ethylene and fruit ripening. *Journal of Plant Growth Regulation* 26: 143-159.
- Blumenfeld, A. and S. Gazit. 1970. Cytokinin activity in avocado seeds during fruit development. *Plant Physiology* 46:331-333.
- Blumenfeld, A. and S. Gazit. 1971. The role of the seed coat in avocado fruit development, growth and maturation. *California Avocado Society Yearbook* 54: 100-104.
- Blumenfeld, A. and S. Gazit. 1974. Development of seeded and seedless avocado fruits. *Journal American Society Horticultural Science* 99: 442 - 448.
- Bower, J. and J. Cutting. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. In: J. Janick (ed.). *Horticultural Reviews* 10:229-271.
- Cabezas, C. 2003. Polinización y fecundación en el cv. "Hass" de aguacate (*Persea americana* Mill.). Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Almería. 214 pp.
- Calabrese, F. 1992. El aguacate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 249 pp.
- Calatrava, J. 1992. La fruticultura tropical: algunos aspectos de su realidad económica. Informe anual del sector agrario en Andalucía 1992. Analistas Económicos de Andalucía.  
<http://www.economiaandaluza.es/publicaciones/informe-anual-sector-agrario-andalucia-1992>

- Cara, B. and J. Giovannoni. 2008. Molecular biology of ethylene during tomato fruit development and maturation. *Plant Science* 175: 106-113.
- Chen, N.; Wall, M.; Paull, R. and P. Follett. 2009. Variation in 'Sharwil' avocado maturity during the harvest season and resistance to fruit fly infestation. *HortScience* 44:1655-1661.
- Cowan, A.; Cripps, R.; Richings, E. and N. Taylor. 2001. Fruit size: Towards an understanding of the metabolic control of fruit growth using avocado as a model system. *Physiologia Plantarum* 111: 127-136.
- Cox, K; McGhie, T.; White, A. and A. Woolf. 2004. Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* 31: 287-294.
- Davenport, T. 1986. Avocado flowering. In: J. Janick (ed.). *Horticultural Reviews* 8: 257-289.
- Eaks, I. 1978. Ripening, respiration, and ethylene production of 'Hass' avocado fruits at 20° to 40°C. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 103: 576-578.
- Galán, V. 1990. Los frutales tropicales en los subtropicos. I Aguacate, mango, litchi y longan. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 133 pp.
- Gamble, J.; Harker, F.; Jaeger, S.; White, A.; Bava, C.; Beresford, M.; Stubbings, B.; Wohlers, M.; Hofman, P.; Marques, R. and A. Woolf. 2010. The impact of dry matter, ripeness and internal defects on consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase. *Postharvest Biology and Technology* 57: 35-43.
- Gazit, S. and C. Degani. 2002. Reproductive biology. In: *The avocado: botany, production and uses*, A.W. Whiley, B.B. Schaffer and B.N. Wolstenholme (eds.). CABI Publishing. 114-133 pp.

- Gil-Albert, F. 1996. Tratado de arboricultura frutal. Vol. I: Morfología y fisiología del árbol frutal. 4ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 102 pp.
- Gillaspay, G.; Ben-David, H. and W. Gruissem. 1993. Fruits: a developmental perspective. *The Plant Cell* 5: 1439-1451.
- Hershkovitz, V.; Friedman, H.; Goldschmidt, E.; Feygenberg, O. and E. Pesis. 2011. Effect of seed on ripening control components during avocado fruit development. *Journal of Plant Physiology* 168: 2177-2183.
- Hofman, P.; Fuchs, Y. and D. Milne. 2002. Harvesting, packing, postharvest, technology, transport and processing. In: *The avocado: botany, production and uses*, A.W. Whiley, B.B. Schaffer and B.N. Wolstenholme (eds.). CABI Publishing. 363-401 pp.
- Ibar, L. 1986. Cultivo del aguacate, chirimoyo, mango y papaya. Editorial Aedos. Barcelona. 175 pp.
- Kader, A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Horticulturae* 485: 203-208.
- Kader, A. 2000. Quality of horticultural products. *Acta Horticulturae* 518: 15-16.
- Kader, A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. Third edition. University of California. Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. 535 pp.
- Lee, S. 1981. A review and background of the avocado maturity standard. *California Avocado Society Yearbook* 65: 101-109.
- Lelièvre, J.; Latché, A.; Jones, B.; Bouzayen, M. and J. Pech. 1997. Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum* 101:727-739.

- Lovatt, C. 1990. Factors affecting fruit set /early fruit drop in avocado. California Avocado Society Yearbook 74: 193-199.
- Lui, X.; Robinson, P.; Madore, M.; Witney, G. and M. Arpia. 1999. 'Hass' avocado carbohydrate fluctuations. II. Fruit growth and ripening. Journal of the American Society for Horticultural Science 124: 676-681.
- McGregor, S. 1976. Insect pollination of cultivated crop plants. USDA Agriculture Handbook 496. 411 pp.
- McGuire, R. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience 27: 1254-1255.
- Monselise, S. 1986. Closing remarks. In: CRC Handbook of fruit set and development, S.P. Monselise (ed.). CRC Press Inc., Boca Raton, Florida. 521-537 pp.
- M.O.P.T. (Ministerios de Obras Públicas y Transportes). 1991. Atlas Nacional de España, Sección II Grupo VII: Edafología.
- Newett, S.; Crane, J. and C. Balerdi. 2002. Cultivars and rootstocks. In: The avocado: botany, production and uses, A.W. Whiley, B.B. Schaffer and B.N. Wolstenholme (eds.). CABI Publishing. 161-187 pp.
- Nitsch, J. 1970. Hormonal factors in growth and development. In: The biochemistry of fruits and their products, A.C. Hulme (ed.). Academic Press, New York. 427-472 pp.
- Obenland, D.; Collin, S.; Sievert, J.; Negm, F. and M. Arpaia. 2012. Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in 'Hass' avocado. Postharvest Biology and Technology 71: 41-50.
- Osuna-García, J.; Doyon, G.; Salazar-García, S.; Goenaga, R. and I. González-Durán. 2010. Effects of harvest date and ripening degree on quality and shelf life of 'Hass' avocado in Mexico. Fruits 65: 367-375.

- Ozdemir, F. and A. Topuz. 2004. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post- harvesting ripening period. *Food Chemistry* 86: 79-83.
- Özdemir, A.; Candir, E.; Toplu, C.; Kaplankiran, M.; Demirkeseer, T. and E. Yildiz. 2009. The effects of physical and chemical changes on the optimum harvest maturity in some avocado cultivars. *African Journal of Biotechnology* 8: 1878-1886.
- Ozga, J. and M. Reinecke. 2003. Hormonal interaction in fruit development. *Journal of Plant Growth Regulation* 22: 73-81.
- Popenoe, W. 1963. Early history of the avocado. *California Avocado Society Yearbook* 47: 19-24.
- Reglamento CE, N° 387/2005 de la comisión de 8 de marzo de 2005 que modifica el Reglamento (CE) n° 831/97, por el que se establecen las normas de comercialización aplicables a los aguacates. DO L 62 de 9.3.2005, p. 5.
- Requejo-Tapia, L.; Woolf, A.; Roughan, G.; Schroeder, R.; Young, H. and A. White. 1999. Seasonal changes in lipid content and fatty acid composition of 'Hass' avocados. The Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Ltd. (HortResearch).
- Rodríguez, F. 1982. El aguacate. AGT Editor. Méjico. 167 pp.
- Saltveit, M. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 15: 279-292.
- Scora, R. and B. Bergh. 1990. The origins and taxonomy of avocado (*Persea americana*) Mill. Lauraceae. *Acta Horticulturae (ISHS)* 275: 387-394.

- Scora, R.; Wolstenholme, B. and U. Lavi. 2002. Taxonomy and botany. In: The avocado: botany, production and uses, A.W. Whiley, B.B. Schaffer and B.N. Wolstenholme (eds.). CABI Publishing. 15-37 pp.
- Seymour, G. and G. Tucker. 1993. Avocado. In: Biochemistry of fruit ripening, G.B. Seymour, J.E. Taylor and G.A. Tucker (eds.). Chapman & Hall. London. 53-81 pp.
- Sitrit, Y.; Riov, J. and A. Blumenfeld. 1986. Regulation of ethylene biosynthesis in avocado fruit during ripening. *Plant Physiology* 81: 130-135.
- Srivastava, A. and A. Handa. 2005. Hormonal regulation of tomato fruit development: a molecular perspective. *Journal of Plant Growth Regulation* 24: 67-82.
- Storey, W.; Bergh, B. and G. Zentmyer. 1986. The origin, indigenous range, and dissemination of the avocado. *California Avocado Society Yearbook* 70:127-133.
- Téliz, D. 2000. El aguacate y su manejo integrado. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 219 pp.
- Tingwa, P. and R. Young. 1975. Studies on the inhibition of ripening in attached avocado (*Persea americana* Mill.) fruits. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 100: 447-449.
- Westwood, M. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 461 pp.
- Westwood, M. 1993. Temperate-zone pomology: physiology and culture. Third edition. Timber Press. Portland, Oregon. 523 pp.
- Woolf, A.; White, A.; Arpaia, M. and K. Gross. 2004. Avocado. In: The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks, K. C. Gross, C. Y. Wang and M. Saltveit (eds). Agriculture Handbook number 66.  
<http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/034avocado.pdf>

- Yang, S. and N. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 35: 155-189.
- Yousef, A. and M. Hassaneine. 2010. Influence of different harvest dates and ripening periods on fruit quality and oil characteristics of 'Fuerte' avocados. *Agriculture and Biology Journal of North America* 1: 1223-1230.
- Zacarías, L. y M. Lafuente. 2000. Etileno, ácido abscísico y otros reguladores del desarrollo. En: *Fundamentos de la fisiología vegetal.*, J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.). McGraw-Hill Interamericana de España y Edicions Universitat de Barcelona. Madrid. 361-375 pp.

**Base de datos y páginas WEB:**

- Base de datos de la FAO: <http://faostat.fao.org/>
- Anuario de estadística del MAGRAMA: <http://www.magrama.gob.es/es/>
- Base de datos del ICEX:  
[http://www.icex.es/icex/cda/controller/pageICEX/0,10304,5518394\\_6764863\\_6735919\\_0\\_0\\_-1,00.html](http://www.icex.es/icex/cda/controller/pageICEX/0,10304,5518394_6764863_6735919_0_0_-1,00.html)
- Viveros Brokaw: [http://www.viverosbrokaw.com/index\\_es.html](http://www.viverosbrokaw.com/index_es.html)