

EVALUACIÓN DEL DESARROLLO Y PRODUCTIVIDAD DE ÁRBOLES DE AGUACATE CV. HASS PLANTADOS EN DIVERSOS AMBIENTES EN EL TRÓPICO ANDINO DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, COLOMBIA.

J. Bernal Estrada¹, J. Cartagena Valenzuela²

¹ Agrosavia. Rionegro, Antioquia, Colombia.

² Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Medellín, Colombia.

Resumen

En este estudio, se analizó la evolución en el crecimiento y la producción de árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, Colombia. (Támesis, 1.340 msnm, Venecia PB, 1.510 msnm, Venecia SC, 1.770 msnm, Jericó 1.900 msnm, Marinilla, 2.087 msnm, Rionegro, 2.140 msnm y Entrerríos, 2.420 msnm). En todos los ambientes evaluados, se presentó incompatibilidad entre el portainjerto y la copa, observándose que la circunferencia en los portainjertos fue menor que en las copas. Los más altos rendimientos en dos años de producción (2011-2012) se lograron en ambientes por encima de los 1.700 msnm; así, el mayor rendimiento en $t\ ha^{-1}$ se obtuvo en Marinilla con 17,42, seguido de Jericó, con 17,12, luego Venecia SC, con 15,77, Rionegro con 11,41 y Entrerríos con 7,99; en las localidades por debajo de los 1.700 msnm, como Venecia PB, a 1.510 msnm, se recolectaron $5,88\ t\ ha^{-1}$ y Támesis, a 1.340 msnm solo se cosecharon $2,55\ t\ ha^{-1}$. La más consistente eficiencia promedio en $kg\ m^2$ se obtuvo en Marinilla, con valores de 1,40 en 2011 y de 1,82 en 2012; Venecia SC tuvo el mayor valor en 2011 con 1,41, sin embargo, fue un 57 % menor en 2012; Támesis mostró una eficiencia promedio muy baja, siendo de 0,05 en 2011 y de 0,19 en 2012. Las producciones de fruto, por árbol y por hectárea, así como la eficiencia productiva promedio, de las localidades en estudio no fueron consistentes (altas en un año, seguidas de bajas en el siguiente y viceversa), lo que supone una alternancia productiva en este cultivar. Las cosechas fueron variables en ocurrencia y duración; no obstante, en 2011, la mayoría de las cosechas se concentró en el primer semestre y en 2012 en el segundo.

Palabras clave: *Persea americana* Mill, cultivos permanentes, frutales.

Abstract

In this study, was analyzed the evolution in the growth and production of avocado trees cv. Hass, planted in seven locations in the department of Antioquia, Colombia. (Tamesis, 1,340 masl, Venecia PB, 1,510 masl, Venecia SC, 1,770 masl, Jericó 1,900 masl, Marinilla, 2,087 masl, Rionegro, 2,140 masl and Entrerríos, 2,420 masl). In all the environments evaluated, there was an incompatibility between stock and scion, observing that the circumference in the rootstocks was lower than in the scions. The highest yields in two years of production (2011-2012), were achieved in environments above 1,700 masl; thus, the highest yield in $t\ ha^{-1}$ was obtained in Marinilla with 17.42, followed by Jericó, with 17.12, then Venecia SC, with 15.77, Rionegro with 11.41 and Entrerríos with 7.99; in the localities below 1,700 masl, like Venecia PB, at 1,510 masl, $5.88\ t\ ha^{-1}$ were collected and Tamesis, at 1,340 masl, only $2.55\ t\ ha^{-1}$ were harvested. The most average efficiency in $kg\ m^2$ was obtained in Marinilla, with values of 1.40 in 2011 and 1.82 in 2012; Venecia SC had the highest value in 2011 with 1.41, however, it was 57% lower in 2012; Tamesis showed a very low average efficiency, being 0.05 in 2011 and 0.19 in 2012. Fruit yields, per tree and per hectare, as well as the average production efficiency, of the localities in the study were not consistent (high in one year, followed by low in the next and vice versa), what is suppose an

alternate bearing in this cultivar. The harvests were variable in occurrence and duration, however, in 2011, most of the harvests were concentrated in the first semester and in 2012 in the second.

Key words: *Persea americana* Mill, permanent crops, fruit trees.

Introducción

Al establecer un huerto, la elección de la densidad de plantación determina en gran medida el tiempo que tarda en desarrollarse completamente la copa, logrando la máxima interceptación de la luz. Sin embargo, son muchas las opciones de densidad de plantación y diseño del huerto para una determinada condición ambiental, social y económica. La elección debe apuntar a un balance apropiado entre la simpleza y la complejidad que corresponda con las habilidades que se posean para manejar y mantener el huerto (Whiley, 2007). El tamaño de los árboles de aguacate, es uno de los mayores problemas que enfrenta la industria de esta especie a nivel mundial (Kohne y Kremer-Kohne, 1990). El negocio agrícola basado en producción de aguacate para la exportación exige diseñar huertos altamente productivos en el corto y mediano plazo, con fruto de calibre exportable y con árboles fáciles de manipular en cuanto a labores agrícolas (Stassen, 1999). El diseño de la mayoría de los huertos modernos de aguacate utiliza densidades de plantación medias a altas (6 x 4 a 9 x 7 m, con 159 a 416 árbolesha⁻¹). La topografía, el cultivar, los sistemas de poda y la conducción, se han convertido en los factores claves para la determinación del espaciamiento entre los árboles y el diseño el huerto (Cristoffanini *et al.*, 2011).

Los problemas de poco amarre de frutos y baja producción pueden ser incrementados por otro limitante que es común a la mayoría de las áreas productoras de aguacate, la alternancia productiva. La alternancia, vecería, añerismo o bianualidad productiva es un fenómeno que se caracteriza por un año de cosecha abundante (año “on”), seguido por un año de baja producción (año “off”) (Monselise y Goldschmidt, 1982). La magnitud de la alternancia es variable entre cultivares de las distintas razas, dependiendo en algunos casos de la zona productora (Téliz, 2000).

La alternancia varía con las condiciones ambientales, el cultivar, el portainjerto y el manejo agronómico. Esta es más acentuada en ambientes bajo estrés (de clima y suelo). Puede ser un problema a escala nacional, regional, en diferentes lotes dentro de un cultivo y aún en diferentes ramas en un árbol. Una vez ocurre esta solo puede ser reducida hasta cierto punto, mediante un paquete completo de intervenciones de manejo (Lomas y Zamet, 1994). Alternativamente, fuertes fenómenos ambientales como ciclones, tormentas, huracanes, granizo, sequías o inundaciones, entre otros, pueden cambiar este patrón. Enfermedades (especialmente pudrición por *Phytophthora*, agravada por el estrés de una cosecha abundante) y plagas, agravan la alternancia. Condiciones climáticas desfavorables en el periodo crítico floración/fructificación, pueden causar en el cultivo, una falla en el inicio de un año “on” (Lomas y Zamet, 1994). De acuerdo con Thomas (1997), la incompatibilidad entre el portainjerto y la copa puede contribuir a aumentar el fenómeno de la alternancia productiva. Este autor encontró que árboles de aguacate con un sobrecrecimiento en la zona de injertación, presentaban ciclos de altas y bajas producciones y además, produjeron cuatro veces menos, que los árboles sin esta característica, debido principalmente a que la parte aérea contenía menores cantidades de carbohidratos.

La capacidad de unión de dos plantas para desarrollarse de modo satisfactorio desde el punto de vista de la producción como una sola planta compuesta, se le llama compatibilidad. Es difícil definir entre compatibilidad e incompatibilidad de un injerto (Camacho-Ferre y Fernández-

Rodríguez, 2000). Las incompatibilidades suelen manifestar algunos de estos síntomas: Porcentaje bajo en el prendimiento del injerto, amarillamiento en hojas, a veces defoliación y falta de crecimiento, muerte prematura del cultivar injertado, diferencias en la tasa de crecimiento entre el portainjerto y la copa, formación de un desarrollo excesivo en torno a la unión del injerto y ruptura por la zona de unión del injerto (Camacho-Ferre y Fernández-Rodríguez, 2000).

La superficie lateral o cara exterior de la figura geométrica que en particular se asuma para una especie determinada, permite en un momento dado establecer una relación entre la superficie antes citada y el número de frutos contenidos en la misma. Esta relación define la eficiencia productiva o reproductiva de una planta, en cualquier momento a lo largo de su vida, en general, o dentro de un ciclo o año de producción, en particular. Esta relación se denomina Índice de Fructificación (Avilán, 1981). Para calcular el área productiva de la copa de aguacate Barrientos-Villaseñor *et al.* (1999) asumieron una forma regular: un paraboloide, cuya ecuación fue: $0,5236 r h^{-2} [(r^2 + 4h^2)^{3/2} - r^3]$; donde, r =radio de la copa y h =altura de la copa, ambos en metros.

En huertos comerciales de aguacate, los bajos rendimientos por hectárea han sido una causa de preocupación mundial por muchos años. En California, un buen rendimiento para el cv. Fuerte está entre 5,6 y 11,2 t ha⁻¹ y para el cv. Hass de 7,8 a 13,4 t ha⁻¹ (Gustafson y Rock, 1976). En México, el promedio nacional de producción de todas los cultivares de aguacate en 1987 fue de 7,5 t ha⁻¹ (CONAFRUT, 1988). Información más reciente para el cv. Hass en Michoacán (México), indicó que una producción común para un huerto adulto (100 árboles ha⁻¹) con manejo intermedio, oscila entre 11 y 15 t ha⁻¹ (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1996). Las zonas productoras de aguacate en Colombia presentan grandes variaciones en altitud, radiación solar, humedad relativa, temperatura y precipitación, entre otros factores. Esto proporciona gran variación en la respuestas de los cultivares en cuanto a comportamiento agronómico, productividad, rendimiento y calidad de fruto, sumado al hecho de que existe gran cantidad de genotipos criollos, que son producto del cruce entre las diferentes razas, lo cual hace que exista un suministro casi permanente de fruto y por lo cual la producción total del país es consumida internamente.

Lo anterior pone de relieve el vacío que existe en la información sobre las condiciones en las cuales se desarrolla el cultivo en Colombia, pues estas son bastante diferentes a las zonas mencionadas por Whiley y Schaffer (1994), lo cual ha traído como consecuencia la adopción de prácticas procedentes de otras latitudes, las cuales deben ser validadas debido al potencial riesgo de pérdidas de dinero y tiempo. Es por ello que se hace imperioso adelantar investigación básica en el país, con miras a mejorar las condiciones de cultivo en ambientes de características tan particulares. Cada día se hace más elocuente la necesidad de desarrollar tecnologías adecuadas al medio colombiano, utilizando como sustento bases científicas y tecnológicas de la agricultura moderna, que han acusado exitosos cambios en los países desarrollados. En los últimos años se vienen haciendo plantaciones de aguacate cv. Hass en Colombia y en especial en Antioquia, en diferentes ambientes, desde el trópico medio al trópico alto, mostrándose, en algunos casos, fracasos por baja adaptación del cultivar, especialmente en ambientes de alta temperatura. Con este estudio se buscó obtener información sobre el desarrollo, productividad y rendimiento de árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete ambientes del departamento de Antioquia.

Materiales y Métodos

Ubicación

El estudio se hizo durante los años 2011 y 2012, en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en el oriente, altiplano norte y suroeste de Antioquia, Colombia (Tabla 1).

Tabla 1. Condiciones ambientales de los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass utilizados para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa.

Municipio	Altura (msnm)	Temp. (°C)	H.R. (%)	Precipitación promedio año (mm)	Brillo solar (horas año ⁻¹)	Zona de vida*
Támesis	1.340	22,5	81,0	1.917	1.726	(bh-PM)
Venecia PB	1.510	20,1	74,0	2.504	2.090	(bh-PM)
Venecia SC	1.770	19,5	75,0	2.300	2.164	(bh-PM)
Jericó	1.900	19,0	82,0	1.917	2,430	(bh-MB)
Marinilla	2.087	17,0	81,5	1.800	1.876	(bh-MB)
Rionegro	2.147	17,0	78,0	1.900	1.861	(bh-MB)
Enterríos	2.420	14,7	82,7	1.917	1.684	(bh-MB)

* Holdridge, 1967.

Material biológico

Se utilizaron árboles de aguacate cv. Hass adultos, de cinco años de edad, injertados sobre portainjertos de raza antillana. Al inicio del estudio, se hicieron en todos los huertos, análisis de suelo y foliar, con el fin de conocer sus condiciones fisicoquímicas. Con base en los resultados se generaron las recomendaciones para el manejo nutricional de los árboles. En todas las localidades los suelos eran de textura franco o franco arenosos.

Condiciones ambientales

La temperatura de aire, la humedad relativa, la precipitación y el brillo solar se registraron a diario en cada huerto, con estaciones meteorológicas automatizadas SpecWare 9 Pro[®], Spectrum Technologies Inc. (Versión 9.03 Build 0240).

Evaluación del desarrollo de los árboles

Con el fin de conocer la evolución en el crecimiento de los árboles en las diferentes localidades, como un indicativo de la respuesta de la planta a las condiciones ambientales, se seleccionaron 15 árboles por parcela, a los cuales se les midió anualmente, el perímetro (cm) del tronco de la copa 10 cm por encima de la zona de injertación, el perímetro (cm) del tronco del portainjerto, 10 cm por debajo de la zona de injertación, el diámetro (m) cruzado de la copa, en direcciones N-S y E-O y la altura (m) de la misma (Barrientos-Villaseñor *et al.*, 1999). Ambos valores de diámetro de copa se promediaron (DP, m) para obtener el radio de copa ($r=DP/2$) (Padilla-Ramirez *et al.*, 2007).

Evaluación de la productividad de frutos

Esta actividad se llevó a cabo en 15 árboles en cada una de las localidades seleccionadas y para tal fin se tomó información de la producción, durante todo el tiempo de duración del estudio, cuando hubo fruto para cosechar. Durante la cosecha de cada ciclo de cultivo se contabilizó y pesó el fruto en cada corte. Las variables a medir fueron rendimiento en kg/árbol y kg/ha, así como,

productividad medida en kg/cm del perímetro de tallo y kg/vol de copa. Con los datos de peso de frutos por árbol y área productiva de cada planta se calculó y comparó la eficiencia promedio de los árboles. Para deducir el área productiva de la copa se supuso una forma regular: un paraboloide, cuya ecuación fue: $0,5236 r h^{-2} [(r^2 + 4 h^2)^{3/2} - r^3]$; donde, r=radio de la copa y h=altura de la copa, ambos en metros (Ben-Ya'acov *et al.*, 1993, Barrientos-Villaseñor *et al.*, 1999).

Análisis Estadístico

El estudio se realizó en las siete localidades descritas anteriormente, a fin de contar con un rango amplio de exploración de las condiciones ambientales en que suele cultivarse el aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia, sin la pretensión de aplicar técnicas inferenciales para la comparación de localidades (modelos de clasificación de una vía: análisis de varianza), dado que los árboles evaluados dentro de cada una de ellas no constituyen repeticiones válidas de las mismas, siendo, por el contrario, pseudo-repeticiones, en el sentido del término acuñado por Hurlbert (1984). En este contexto, los resultados se analizan con base en técnicas de regresión, adicionadas con herramientas descriptivas y solo se muestran los casos en los que se encontraron diferencias significativas.

Resultados y Discusión

Evaluación del desarrollo de los árboles

Respecto al desarrollo de los árboles, en la Figura 1 se observan las diferencias en el crecimiento entre el portainjerto y la copa, en dos fechas de muestreo (2011- 2012), en las diferentes localidades donde se adelantó el estudio. Al analizar los resultados alcanzados, se destaca una tendencia al incremento de los valores obtenidos en los dos años de evaluación. Esto sin embargo no se manifestó de manera uniforme en todas las localidades del estudio, como consecuencia de cierta variabilidad en el grado de compatibilidad entre el injerto/portainjerto, lo que resulta normal. La explicación a ese hecho viene dada desde el punto de vista anatómico y fisiológico de los cultivares, esto corrobora lo informado por diferentes autores (Samson, 1991; Jiménez *et al.*, 2007). Se puede decir que el crecimiento del aguacatero coincide en forma general con el crecimiento de otros frutales de porte alto en las condiciones tropicales. Las variables del crecimiento del tronco son importantes, porque se ha demostrado que existe una correlación entre el volumen de la copa del árbol, rendimiento de frutos y materia seca (Stassen *et al.*, 1998). Este mismo autor plantea que la circunferencia del tronco puede usarse para predecir el potencial de rendimiento, requerimientos nutricionales y otro tipo de información.

En todos los ambientes evaluados, se presentó incompatibilidad entre el portainjerto y la copa, observándose que la circunferencia en los portainjertos era menor que en las copas. En todos los lotes, excepto en Venecia PB, la diferencia entre la circunferencia de la copa y la del portainjerto, fue superior a los 10 cm en ambos años de evaluación, mostrando un desarrollo desuniforme entre el portainjerto y la copa; esta condición, generalmente se ha atribuido a la desadaptación de los portainjertos a las condiciones ambientales donde se establece el cultivo, ya que la mayoría de ellos, pertenece a las razas antillanas o híbridos entre antillanos y guatemaltecos. Andrew y Serrano-Márquez (1993) definen la incompatibilidad como el fracaso de unión en el injerto debido a una intolerancia celular fisiológica, causada por el desarrollo de metabolitos y/o causas anatómicas entre el portainjerto y la copa. El efecto de la incompatibilidad portainjerto/copa apreciada en los árboles, sobre las variables evaluadas en este estudio, no fue considerado. En este estudio, la incompatibilidad se manifestó por diferencias marcadas en la tasa de crecimiento entre el portainjerto y la copa, como lo mencionan Camacho-Ferre y Fernández-Rodríguez (2000). A

veces, la aparición de estos síntomas, de forma aislada, no significa incompatibilidad, ya que pueden producirse por condiciones ambientales inadecuadas.

En este estudio se observó que, desde la zona más fría hasta la más cálida, siempre hubo incompatibilidad portainjerto/copa (Figura 1), lo cual desvirtúa el concepto generalizado, no respaldado con resultados de una investigación formal, de que la incompatibilidad que se presenta en las principales zonas de cultivo comercial en Colombia es debida al origen antillano de la mayoría de los portainjertos utilizados, que al ser injertados con copas del cv. Hass y posteriormente establecidos en zonas frías, éstos no se adecúan a tales condiciones. Sin embargo, como se observa en la Figura 1 el ambiente no tendría tal influencia sobre el desarrollo del portainjerto, por lo que la incompatibilidad es debida, más a la relación genética entre el portainjerto y la copa, que a las condiciones ambientales. Por tal razón, la copa del cv. Hass requeriría de portainjertos con condiciones genéticas similares a las de su raza de origen; es decir, portainjertos de tipo guatemalteco o mexicano o sus híbridos (Hass presenta alrededor de un 20 % de genes mexicanos), para evitar que se presenten incompatibilidades. Ben-Ya'acov y Michelson (1995) aseguran que en algunos casos ciertos portainjertos no se adaptan a ciertos cultivares y viceversa, lo que puede resultar en la muerte de árboles jóvenes, hasta en un 50 % de la población de una combinación dada. Tales casos no deben ser identificados como incompatibles, ya que la razón para tal desorden no es aún conocida.

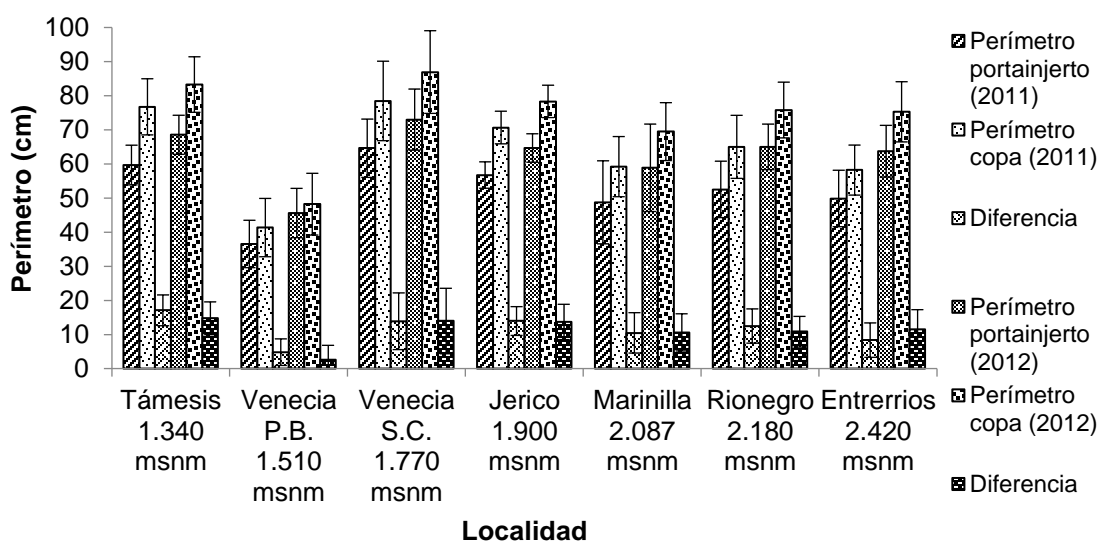


Figura 1. Perímetro del portainjerto y la copa (10 cm arriba y abajo del injerto), en árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

La incompatibilidad está relacionada de forma clara con diferencias genéticas entre el portainjerto y la variedad. En los injertos se combinan una amplia gama de sistemas fisiológicos, bioquímicos o anatómicos diferentes, con muchas interacciones favorables o desfavorables. En algunos casos se han demostrado que algunos compuestos que produce el patrón reaccionan con otros de la variedad, dando otros nuevos que inhiben la actividad del cambium. La reducción de la concentración de azúcares que llegan a la raíz por dificultades de traslocación a través del injerto puede liberar en ella compuestos tóxicos que producen su degeneración y muerte. En otros casos,

en las superficies en contacto de dos especies incompatibles, se deposita una capa de suberina a lo largo de la pared celular, formándose una capa necrótica de espesor creciente que conduce a la desecación de la púa (Parkinson *et al.*, 1987).

Al dividir el perímetro del tallo del cv. Hass (copa) entre el perímetro del tallo del portainjerto, los valores más cercanos a uno (1), son característicos de una buena compatibilidad entre ambos (Schâffer *et al.*, 2001; Milla *et al.*, 2009); por consiguiente, valores bajos en esta relación implican un sobrecrecimiento de la copa con respecto al portainjerto; situación contraria a lo que ocurre en cítricos, donde el portainjerto, por lo general, crece más que la copa (Schâffer *et al.*, 2001; Stenzel *et al.*, 2005). En este estudio en 2011, los árboles de Támesis tuvieron una relación más baja, lo que implica una mayor compatibilidad entre el crecimiento del portainjerto con respecto a la copa y, contrariamente, los árboles de Venecia PB fueron los más incompatibles; sin embargo en todos los casos hubo un mayor crecimiento de la copa con respecto al portainjerto, tal como fue discutido anteriormente (Tabla 2). En 2012, la diferencia en todos los casos fue mayor, siendo la relación más cercana a uno (1), excepto en Entrerríos, donde esta relación descendió; lo anterior supone que a medida que los árboles crecen la incompatibilidad disminuye, probablemente por una mejor afinidad entre los tejidos de los elementos puestos en contacto.

Tabla 2. Dimensiones* del portainjerto y la copa de aguacate cv. Hass, en árboles plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Localidad	Perímetro (cm) (2011)			Perímetro (cm) (2012)		
	Portainjerto	Copa	PP/PC	Portainjerto	Copa	PP/PC
Támesis	59,67	76,73	0,77758471	68,53	83,27	0,8230584
Venecia P.B.	36,53	41,33	0,88387097	45,60	48,20	0,9460580
Venecia S.C.	64,60	78,47	0,82327952	73,00	86,93	0,8397239
Jericó	56,73	70,67	0,80283019	64,67	78,33	0,8255319
Marinilla	48,73	59,20	0,82319820	58,87	69,47	0,8474088
Rionegro	52,53	65,00	0,80820513	65,00	75,80	0,8575197
Entrerríos	49,87	58,20	0,85681558	63,73	75,27	0,8467670

PP: Perímetro portainjerto; PC: Perímetro copa.

*** 10 cm arriba y abajo del injerto.**

Altura de los árboles

En la Figura 2, se observan los valores para la altura (m) de los árboles en las diferentes localidades, en dos fechas (2011-2012); al igual que para la circunferencia del portainjerto y la copa; la altura de los árboles aumentó en los años evaluados en todas las localidades (Figura 2). Los árboles con mayor altura estaban ubicados en Jericó, seguidos por los de Venecia SC, Támesis, Rionegro, Entrerríos, Marinilla y Venecia PB. La diferencia en altura de los árboles entre los más altos (Jericó) con los más bajos (Venecia PB) en 2011 fue de 1,76 (desviación estándar 0,655) y en 2012 fue de 1,77 (desviación estándar 0,653), lo cual muestra una cierta similitud en este aspecto. La localidad con mayor tasa de crecimiento de los árboles fue Rionegro (0,734 m); en un segundo grupo Jericó, Venecia PB, Venecia SC y Marinilla, que crecieron 0,689, 0,675, 0,663 y 0,620 m, respectivamente y en otro pequeño grupo Entrerríos y Támesis con 0,531 y 0,406, respectivamente, observándose gran similitud entre los grupos, lo cual significa uniformidad de los árboles en evaluación.

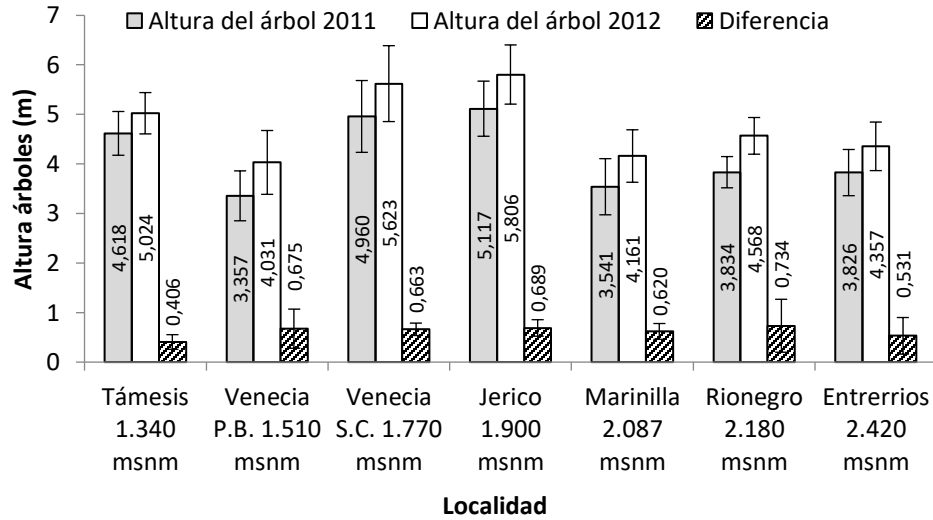


Figura 2. Altura de los árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Diámetro de la copa

En la Figura 3 se observa que los árboles de Venecia SC, alcanzaron los mayores diámetros de copa en los dos años de medición, seguidos por los de Támesis, Rionegro, Jericó, Entrerrios, Marinilla y Venecia PB. La diferencia entre los árboles de mayor diámetro de copa (Venecia SC) con los más bajos (Venecia PB) en 2011 fue de 2,23 (desviación estándar 0,80) y en 2012 fue de 2,52 (desviación estándar 0,876), lo cual muestra una cierta similitud en el desarrollo de los árboles. La localidad con mayor tasa de aumento en el crecimiento de copa fue Entrerrios, seguido de Támesis, Marinilla, Rionegro, Jericó, Venecia SC y Venecia PB, (desviación estándar de 0,17). En el año de observación los árboles crecieron en altura y diámetro del dosel (Figura 3); sin embargo, no se tiene evidencia que el incremento registrado en los parámetros mencionados sea atribuible al ambiente; se requerirían más años de evaluación para determinar este efecto.

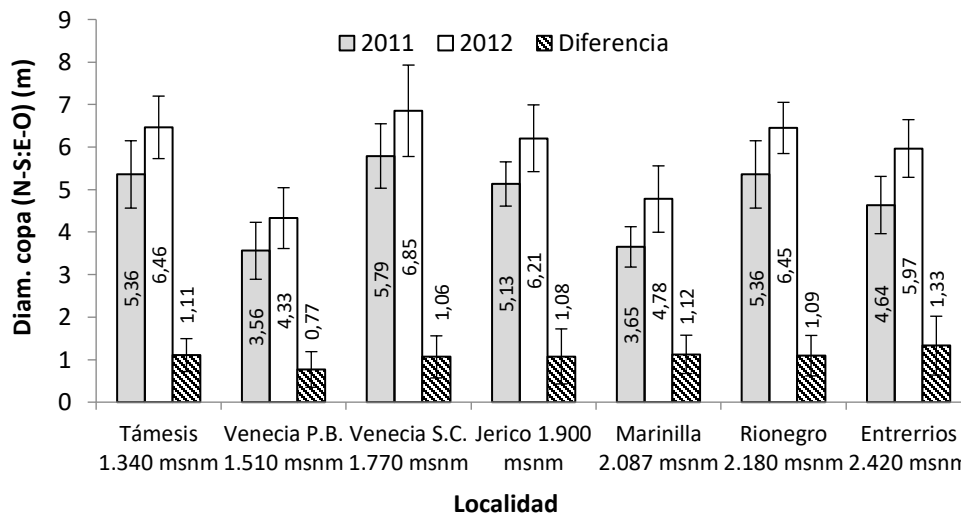


Figura 3. Diámetro promedio de la copas en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Rendimiento de fruto

Con respecto a la evaluación del rendimiento en fruto, en la Figura 4, se detalla la diferencia en la producción entre las localidades, en kg/árbol, información obtenida de una población de 15 árboles, durante los años 2011 y 2012. En 2011, Venecia SC presentó la mayor producción por árbol (94,03 kg), seguido de Rionegro (52,43 kg), Entrerriós (38,43 kg), Venecia PB (26,02 kg), Jericó (21,85 kg), Marinilla (6,05 kg) y por último Tamesis (3,13 kg); esta última localidad presentó una producción por árbol muy baja, 70 % por debajo del valor obtenido en la localidad siguiente en producción (Jericó con 21,85 kg árbol⁻¹); este resultado posiblemente se debe a la baja adaptación del aguacate cv. Hass en estas condiciones o a problemas de alternancia productiva. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, las localidades donde se presentaron buenas producciones en 2011, mostraron menores rendimientos en 2012 y contrariamente, aquellos huertos con producciones muy bajas, resultaron con producciones muy altas en el año siguiente, lo cual puede ser considerado como alternancia. La alternancia, vecería, añerismo o bianualidad productiva es un fenómeno que se caracteriza por un año de cosecha abundante (año “on”) seguido por un año de baja producción (año “off”) (Monselise y Goldschmidt, 1982). La magnitud de la alternancia es variable entre diferentes zonas productoras y entre cultivares de las distintas razas (Teliz, 2000); sin embargo, es más común en cultivares como Hass o Fuerte, siendo una característica muy marcada en zonas subtropicales (Bergh, 1986; Téliz, 2000). La alternancia varía con las condiciones ambientales, el cultivar, el portainjerto y el manejo agronómico. A pesar de que este estudio solo se hizo durante dos años y no se tiene un registro histórico de todas las localidades, estos resultados muestran un comportamiento alternante, que pudo verse acentuado por condiciones extremas de alta precipitación en 2011, ocasionando modificaciones en el ritmo productivo de los árboles, como lo señalan Lomas (1992) y Lomas y Zamet (1994); un ciclo de alternancia por lo general será el resultado de condiciones de manejo del huerto o de eventos inusuales en el medio ambiente, que resultan, ya sea en una excepcional carga de los cultivos o en una muy pobre (Garner y Lovatt, 2008).

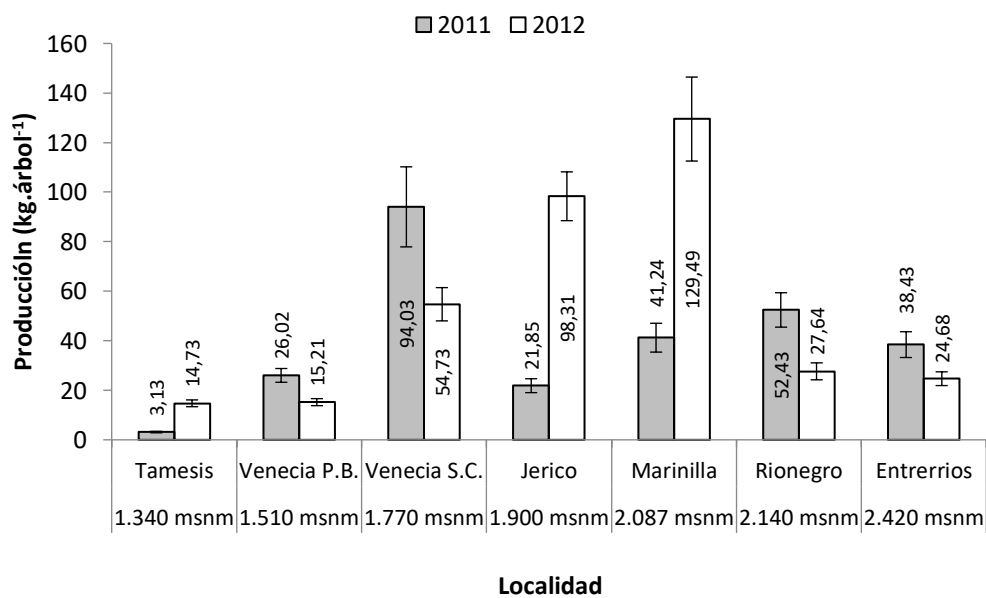


Figura 4. Rendimiento de fruto por árbol de aguacate cv. Hass, cosechado en siete localidades del departamento de Antioquia en 2011-2012.

Al respecto, la producción por árbol en Entreríos pasó de 38,43 kg árbol⁻¹ a 24,68 kg árbol⁻¹ (Figura 4), situación que se vio reflejada por obvias razones, en una reducción del rendimiento esperado, que pasó de 10,95 t ha⁻¹ en 2011 a 5,03 t ha⁻¹ en 2012 (Figura 5). En Rionegro se observó la misma tendencia pues la producción en 2011, paso de 52,43 kg a 27,64 kg árbol⁻¹ en 2012, lo cual representó que el rendimiento esperado pasara de 14,94 t ha⁻¹ en 2011 a 7,88 t ha⁻¹ en 2012, prácticamente la mitad (Figuras 4 y 5). En Marinilla el comportamiento fue inverso, ya que la producción en 2011 fue de 41,24 y en 2012 pasó a 129,49 kg árbol⁻¹, lo que representó un aumento en el rendimiento de 8,41 a 26,42 t ha⁻¹, respectivamente. En Jericó se superó la producción por árbol lograda en 2011, de 21,85 kg, obteniéndose 98,31 kg ha⁻¹ en 2012, lo cual representó pasar de un rendimiento esperado de 6,23 t ha⁻¹ a 28,02 t ha⁻¹, en esos respectivos años, triplicando así el promedio nacional de 9,26 t ha⁻¹ (MADR, 2013).

En Venecia SC, el comportamiento fue similar al observado en Enterrios y Rionegro donde la producción por árbol en 2011 pasó de 94,03 a 54,73 kg casi la mitad del año inmediatamente anterior, lo cual se reflejó en rendimientos que pasaron de 19,18 a 11,16 t ha⁻¹; sin embargo, en ambos años se superó el promedio nacional de 9,26 t ha⁻¹. En Venecia PB esta tendencia fue análoga, pues la producción por árbol pasó de 26,02 kg árbol⁻¹ en 2011 a 15,21 kg árbol⁻¹, lo que significó pasar de un rendimiento de 7,42 t ha⁻¹ a 4,33 t ha⁻¹, en ambos años estos rendimientos fueron inferiores al promedio nacional.

Para el caso de Tamesis, la localidad más baja y mas cálida, la diferencia entre los años en estudio fue muy notoria, pues la producción por árbol obtenida en 2011 de 3,13 kg, fue casi cinco veces superiores en 2012, alcanzándose registros de 14,73 kg, lo que significó obtener rendimientos de menos de una tonelada por hectárea en 2011, a conseguir rendimientos de hasta 4,20 t ha⁻¹ en 2012 (Figuras 4 y 5). Malo (1977) indica que el aguacate no es un árbol extremadamente productivo, como el peral o el manzano, añadiendo que una buena cosecha anual sería de unos 125 kg, lo cual es coherente con lo mencionado por Brom y Carvalho (1966) en México, quienes indican un rendimiento promedio de 83 kg planta⁻¹; sin embargo, Simao (1971) y Medina *et al.* (1978) en Brasil, señalan producciones para árboles adultos entre 200 a 800 frutos y 115 a 465 kg planta⁻¹.

En 2011, la producción de los árboles en Venecia SC con 19,18, Rionegro con 14,93 y Enterrios con 10,95 t ha⁻¹, superaron el promedio nacional de 9,26 t ha⁻¹ (MADR, 2013), en tanto que los de Marinilla con 8,41 t ha⁻¹, Venecia PB con 7,42 t ha⁻¹ y Jericó con 6,23 t ha⁻¹, estuvieron por debajo de este promedio, mientras que en los de Tamesis la producción de ese año, fue apenas de 890 kg ha⁻¹ (Figura 4). En 2012, llama la atención los rendimientos obtenidos en los árboles de Jericó a 1.900 msnm y Marinilla a 2087 msnm, de 28,02 y 26,42 t ha⁻¹, respectivamente, practicamente triplicando el promedio nacional y mundial, 9,26 t ha⁻¹ (MADR, 2013) y 8,4 t ha⁻¹ (FAO, 2012). Los árboles de Venecia SC, tambien superaron el promedio nacional con un a producción de 11,19 t ha⁻¹, mientras que los de Rionegro (7,88 t ha⁻¹), Enterrios (5,03 t ha⁻¹), Venecia PB (4,33 t ha⁻¹) y Tamesis (4,20 t ha⁻¹) estuvieron por debajo de ese promedio en el mismo año (Figura 5). Se resalta el hecho que los árboles de aguacate estabilizan su producción a partir del octavo o noveno año y si se toma en consideración que los árboles de este estudio tenían aproximadamente una edad de seis años, los rendimientos obtenidos en algunas de estas localidades son altas, pues este rendimiento puede ser superior.

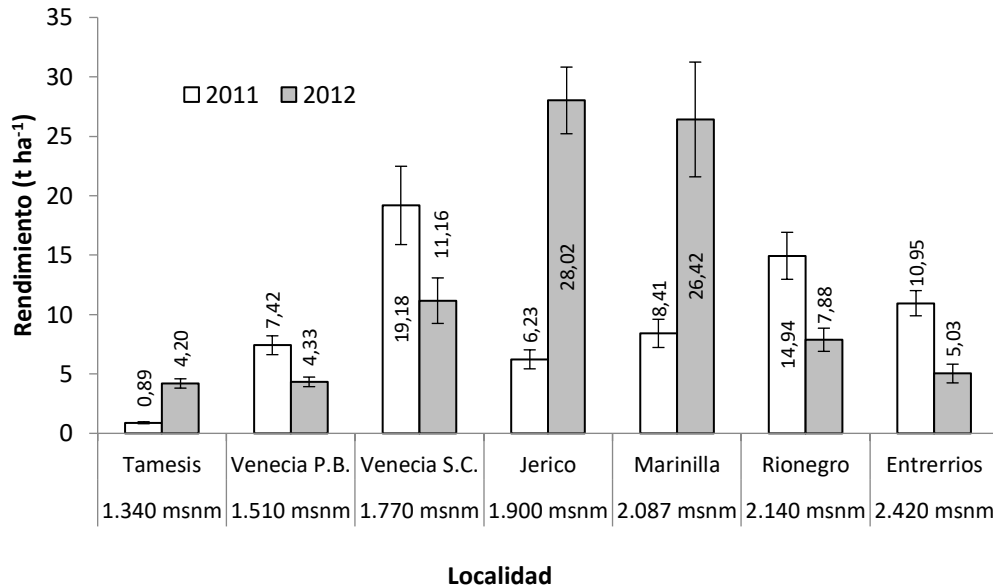


Figura 5. Rendimiento de fruto en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia en 2011 y 2012.

Cuando se promedió el rendimiento de los dos años continuos, se observó un efecto ambiental, donde los mejores rendimientos ($t\ ha^{-1}$) se obtuvieron en el rango comprendido entre los 1.770 y los 2.140 msnm, notándose que en los extremos los valores fueron inferiores. Cabe destacar que el rendimiento obtenido en Entrerrios ($7,99\ t\ ha^{-1}$), fue apenas $1,27\ t$ por debajo del promedio nacional, mientras que en Venecia PB esta diferencia fue casi de $3,38\ t\ ha^{-1}$ y en Tamesis de $6,71\ t\ ha^{-1}$, lo que indica que estas últimas zonas, por debajo de los 1.770 msnm, presentan mayores desventajas que aquellas por encima de este límite (Figura 6). Los rendimientos obtenidos en Venecia SC ($15,17\ t\ ha^{-1}$), Jericó ($17,12\ t\ ha^{-1}$) y Marinilla ($17,42\ t\ ha^{-1}$), superaron en $5,91$, $7,86$ y $8,16\ t\ ha^{-1}$, respectivamente, el promedio nacional, indicando una muy buena respuesta de este cultivar bajo tales condiciones.

En huertos comerciales de aguacate, los bajos rendimientos por hectárea han sido una causa de preocupación mundial por muchos años. En California, un buen rendimiento para el aguacate cv. Fuerte esta entre $5,6$ y $11,2\ t\ ha^{-1}$ y para el cv. Hass de $7,8$ a $13,4\ t\ ha^{-1}$ (Gustafson y Rock, 1976). En México, el promedio nacional de producción de todas las cultivares de aguacate en 1987 fue de $7,5\ t\ ha^{-1}$ (CONAFRUT, 1988). Información más reciente para el cv. Hass en Michoacán indicó que una producción común para un huerto adulto ($100\ árboles\ ha^{-1}$) con manejo intermedio, oscila entre 11 y $15\ t\ ha^{-1}$ (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1996). Una de las posibles causas de los bajos rendimientos del aguacate en Colombia y en varias áreas productoras del mundo, es que la mayoría de la producción esta basada en cultivares comunes, los cuales tienen un bajo nivel de domesticación (Wolstenholme y Whiley, 1992; Téliz y Mora, 2007).

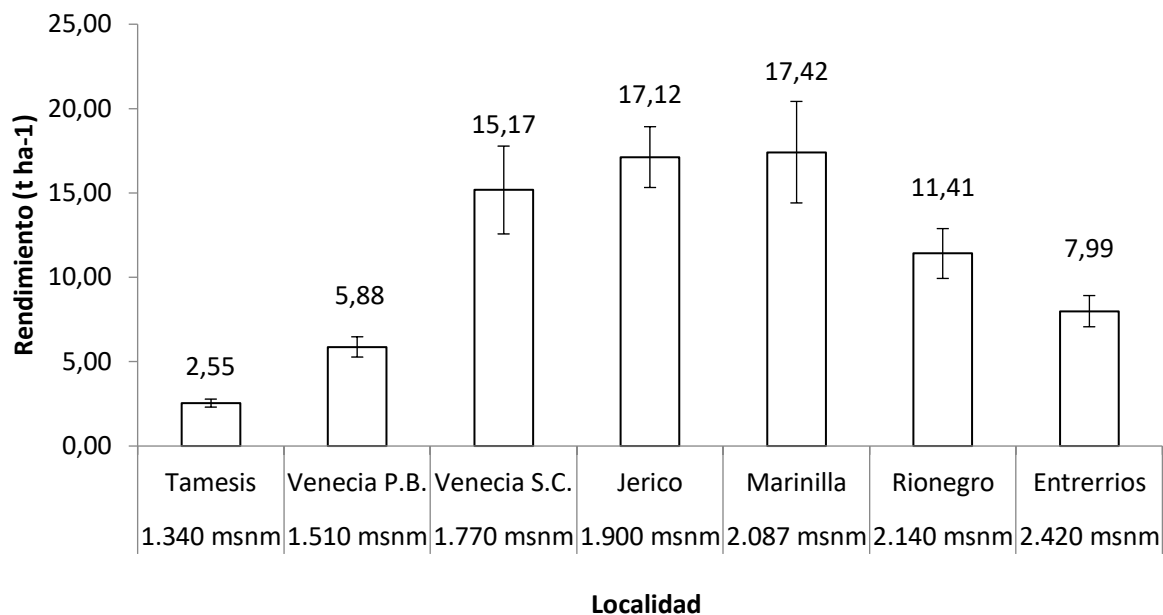


Figura 6. Rendimiento de fruto en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en dos años continuos de evaluación (2011-2012).

Eficiencia productiva del árbol

Ben-Ya'acov *et al.* (1993) sugirieron que para medir la productividad de un árbol, es mejor determinar su eficiencia. La eficiencia del árbol es la relación entre la producción y el área productiva de la planta, expresada en masa por unidad de área. De esta manera en la Tabla 3, se observan los resultados obtenidos en cuanto a la eficiencia de los árboles en dos años de evaluación en las diferentes localidades consideradas. De acuerdo con los resultados para 2011, la localidad que los árboles presentaron el mayor índice de productividad fue Venecia SC, seguido de Marinilla, Rionegro, Venecia PB, Entrerrios y Tamesis. Para 2012 la mayor eficiencia productiva se obtuvo en Marinilla y Jericó, ambas localidades por encima de los 1.800 msnm, en un segundo grupo sobresalen Rionegro y Venecia SC, por encima de los 1.700 msnm; Venecia PB y Entrerrios, ubicadas en altitudes contrastantes se agrupan en un tercer grupo y finalmente Tamesis, que presentó el mas bajo índice de fructificación, con una diferencia mayor a $0,2 \text{ kg m}^{-2}$ con Venecia PB, siguiente en orden y de mas de $1,6 \text{ kg m}^{-2}$ menos que Marinilla, con el mayor índice.

De nuevo se observa el comportamiento alternante, de tal forma que las producciones en Tamesis, Jericó y Marinilla aumentaron, de un año a otro, su eficiencia promedio, mientras que Venecia PB, Venecia SC, Rionegro y Entrerrios, la disminuyeron. Barrientos-Villaseñor *et al.* (1999) encontraron que en 1996 la eficiencia promedio de 'Hass'/Raza Mexicana fue de $1,32 \text{ kg m}^{-2}$, mientras que en 1997, fue de $1,16 \text{ kg m}^{-2}$, en árboles de cinco años de edad.

En este estudio solo los árboles de Venecia SC y Marinilla, en 2011, tuvieron valores mayores a los referidos, mientras que en 2012, el huerto de Jericó obtuvo índices equivalentes y el de Marinilla fue superior al valor máximo reportado. Se destacan los árboles de Tamesis por su bajo índice en ambos años. En los dos años de lectura, los máximos índices promedio de productividad se obtuvieron en localidades ubicadas entre los 1.700 y los 2.140 msnm.

Rionegro	2.140	■					■						■	
Entrerriós	2.420													■

Conclusiones

Las condiciones climáticas de las zonas en estudio, tuvieron una influencia diferencial sobre el desarrollo de los árboles, el rendimiento y época de cosecha.

En todos los ambientes evaluados, se presentó un crecimiento asimétrico en la unión del injerto, siendo menor el perímetro en el portainjerto, lo cual podría asimilarse a un síntoma de incompatibilidad localizada.

Al igual que para la circunferencia del portainjerto y la copa, la altura y el diámetro de los árboles, aumentó en todos los ambientes; sin embargo, el tiempo de evaluación no fue suficiente para establecer si los factores bióticos y abióticos asociados al crecimiento de los árboles, influían en su desarrollo.

El comportamiento del cv. Hass, en condiciones del trópico andino, guarda una fuerte correlación con las condiciones ecológicas de su centro de origen, por lo que su mayor respuesta productiva se da en ambientes ubicados por encima de los 1.700 msnm.

El rendimiento por árbol y por unidad de área obtenidos en los huertos en estudio, no fueron consistentes (altas en un año, seguidas de bajas en el siguiente y viceversa), por lo que se deduce que el cv. Hass presentó alternancia productiva en el tiempo de evaluación.

Literatura citada

- Aguilera-Montañez, J.L. y Salazar-García, S. 1996.** Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento y tamaño del fruto de aguacate. Folleto Técnico No.12. INIFAP. Campo Experimental Uruapan, México. 24 p.
- Andrew, P.K. and C.S. Serrano-Márquez. 1993.** Graft incompatibility. *Hortic. Rev.* 15:183–231.
- Avilán, L. 1981.** Sistema de siembra con altas densidades de población. Una necesidad en la fruticultura nacional. *Agropecuaria de Hoy*. Caracas. 7s: 34-37.
- Barrientos-Villaseñor, A.; Barrientos-Priego, A.F.; Rodríguez-Pérez, J.E.; Peña-Lomeli, A. y Muñoz-Pérez, R. 1999.** Influencia del interinjerto cv. Colín V-33 sobre algunos aspectos fisiológicos en aguacatero (*Persea americana* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 103-116.
- Ben-Ya'acov, A. and Michelson, E. 1995.** Avocado Rootstocks. *Horticultural Reviews* 17: 381-429.
- Ben-Ya'acov, A.; Michelson, E. and Sela, I. 1993.** Rootstock effect on avocado vigor and productivity. *Acta Hort.* 349: 191-195.
- Bergh, B.O. 1986.** *Persea americana*. In: Halevy, A.B. (ed.) *CRC Handbook of Flowering*, Vol. 5. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 253–268.
- Brom, R. E. y Carvalho, C. F. 1966.** El aguacate. Ed. Juan Lozoya Dávila. 122 p.
- Camacho-Ferre, F. y Fernández-Rodríguez, E.J. 2000.** El cultivo de sandía apirena injertada, bajo invernadero, en el litoral mediterráneo español. *Caja Rural de Almería*. I.S.B.N.: 84-922785-

- 9-5. Escobar Impresores, S.L. El Ejido (Almería). Mundi-Prensa Libros, S.A. Castelló, 37 – 28001. Madrid. 316 p.
- CONAFRUT. 1988.** Inventario Frutícola 1987. Comisión Nacional de Fruticultura. Subdirección de Planeación y Evaluación. México. D.F., México. 150 p.
- Cristoffanini, L.; Lienlaf, P. y Ramella A., F. 2011.** Efecto de la distancia de plantación en huertos de alta densidad en palto cv. Hass – primer avance. En: VII Congreso Mundial del Aguacate 2011. Cairns, Queensland, Australia. 8 p.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2012.** <http://faostat.fao.org/c> FAO; consulta: noviembre de 2012.
- Garner, L.C. and Lovatt, C.J. 2008.** The relationship between flower and fruit abscission and alternate bearing of ‘Hass’ avocado. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 133:3-10.
- Gustafson, C.D. and Rock, R.C. 1976.** Costs to produce avocados in San Diego county. *Calif. Avocado Soc. Yrbk.* 60: 22-24.
- Hurlbert, S.H. 1984.** Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54(2): 187-211.
- Jiménez, R.; Lima, H.; Simón, A.; Hernández, L.; Armenteros, I. y Rodríguez, C. 2007.** Influencia de dos portainjertos sobre el crecimiento, rendimiento y calidad física de la fruta de seis cultivares de aguacatero en la Habana Cuba. *Memorias VI Congreso Mundial Aguacatero.* Vaparaíso, Chile. 10 p.
- Kohne, J.S. and Kremer-Kohne, S. 1990.** Results of a high density avocado planting. *South African Avocado Growers’ Association Yearbook* 13: 31-32.
- Lomas, J. 1992.** Analysis of the effect of heat stress during flowering on the yield of avocado under Mediterranean climatic conditions. *Agric. For. Meteorol.* 59:207-216.
- Lomas, J. and Zamet, D. 1994.** Long-term analysis and modeling of agroclimatic effects on national avocado yields in Israel. *Agric. For. Meteorol.* 61: 315-336.
- MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2013.** Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero. Dirección de Política Sectorial - Grupo Sistemas de Información. <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/anuario/anuario.pdf>; consulta: abril 2014.
- Malo, S. 1977.** Manual del cultivo del aguacate. XOBA. *Revista de Agricultura.* Monografía 1. Caja Insular de Ahorros de Gran Canarias. 77 p.
- Milla, D.; Arizaleta, M. y Díaz, L. 2009.** Crecimiento del limero ‘Tahití’ (*Citrus latifolia* Tan.) y desarrollo del fruto sobre cuatro portainjertos en un huerto frutal ubicado en el Municipio Palavecino, estado Lara, Venezuela. *Revista UDO Agrícola* 9 (1): 85-95.
- Monselese, S.P. and Goldschmidt, E.E. 1982.** Alternate bearing in fruit trees. *Hort. Rev.* 4: 128-173.
- Samson, J.A. 1991.** *Fruticultura Tropical.* Editorial Limusa. México D.F., México. 396 p.
- Schaffer, B. and Andersen, P.C. 1994.** Introduction. In: Schaffer, B. and Andersen, P.C. (eds) *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol. 2, Subtropical and Tropical Crops.* CRC Press. Boca Raton, Florida. pp. 165–197.
- Schaffer, B. y Whaley, A.W. 2007.** Fisiología ambiental. En: Whaley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.) *El Palto. Botánica, Producción y Usos.* Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 133-154.
- Schaffer, G.; Bastianel, M. e Dornelles, A.L.C. 2001.** Porta-enxertos utilizados na citricultura. *Ciencia Rural, Santa María* 31(4): 723-733.
- Simao, S. 1971.** *Manual de Fruticultura.* Sao Paulo. Editora Agronómica Ceres. 530 p.
- Stassen, P.J.C. 1999.** Results with spacing, tree training and orchard maintenance in young avocado orchards. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 159-164.

- Stassen, P.J.C.; Davie, S.J. and Snijder, B. 1998.** Training young 'Hass' avocado trees into a central leader for accommodation in higher density orchards. In: Proceedings of World Avocado Congress III. Tel Aviv, Israel. pp. 351-354.
- Stenzel, N.M.C.; Neves, C.S.V.J.; Scholz, M.B.D.S.; Gomes, J.C. 2005.** Comportamento da laranjeira 'Folha Murcha' em sete porta-enxertos no Noroeste do Paraná. Rev. Bras. Frutic. 27(3): 408-411.
- Téliz, D. 2000.** El aguacate y su manejo integrado. Ed. Mundi-Prensa. México. 219 p.
- Téliz, D. y Mora, A. 2007.** El aguacate y su manejo integrado. 2a. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. México D.F., México. 308 p.
- Thomas, G. 1997.** The influence of seedling rootstock on yield. In: Proceedings of Conference '97 – Searching for Quality. The Australian Avocado Grower's Federation and NZ Avocado Growers Association Conference. Rotorua, New Zealand. pp. 138-145.
- Whiley, A.W. 2007.** Manejo del cultivo. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. 215-240.
- Whiley, A.W. and Schaffer, B. 1994.** Avocado. In: Schaffer, B. and Anderson, P.C. (eds) Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol. 2 Subtropical and Tropical Crops. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp. 165-197.
- Wolstenholme, B.N. and Whiley, A.W. 1992.** Requirements for improved fruiting efficiency in the avocado tree. Proc Second World Avocado Congr. Orange, California p. 161-167.