

Factores que intervienen en los procesos de floración, cuajado y fructificación en el aguacate (*Persea americana* Mill)

Edgar Armando Aza Alpala

Universidad de Caldas

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Manizales, Colombia

2023

Factores que intervienen en los procesos de floración, cuajado y fructificación en el aguacate (*Persea americana* Mill)

Edgar Armando Aza Alpala

Trabajo de formación investigativa en modalidad Monografía
como requisito para optar al título de:
Ingeniero Agrónomo

Director (a):
José Fernando Kogson Quintero; I.A, Ms.

Universidad de Caldas
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Manizales, Colombia
2023

Dedicatoria

*A mi familia, en especial a mis padres José Miguel
Aza Tapie Y Flor Elisa Alpala por sus consejos
inmensurables y su apoyo incondicional durante todo el
transcurso de mi vida, que me mantuvieron firme y guiaron
mis pasos.*

Agradecimientos

A mi tutor Ms. José Fernando Kogson Quintero por su colaboración, tiempo, dedicación y consejos, que permitieron el desarrollo y elaboración de este trabajo.

A mi universidad de Caldas por abrirme las puertas y darme la oportunidad de aprender y seguir creciendo como persona, gracias por formar profesionales integrales con valores de respeto, pertenencia y responsabilidad.

A mis amigos, Nancy Milena Tarapues, Andrea Ximena Guadir Tapie, Diego Marcelo Cuaical, Dania Lizeth Cuaical, Veronica Alexandra Alpala, Jenny Alexandra Tarapues; quienes recorrieron conmigo este trayecto universitario, que me brindaron su cariño y compañerismo. Hoy se cierra un capítulo maravilloso y agradezco por su apoyo y consejos en los momentos difíciles.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	8
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo General	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3. REVISIÓN DE LITERATURA	13
3.1 Situación Mundial de la Producción y Rendimiento del Aguacate.....	13
3.2 Situación nacional de la Producción y Rendimiento del Aguacate.....	14
3.3 Generalidades del Cultivo de Aguacate	18
3.3.1 Taxonomía.	20
3.3.2 Origen.	20
3.3.3 Razas del aguacate.	21
3.3.4 Cultivares	22
3.4 Biología Reproductiva.....	23
3.4.1 Iniciación y Desarrollo Floral	24

3.4.2	Factores Ambientales de Inducción y Diferenciación Floral.....	25
3.5	Floración.....	31
3.6	Polinización.....	34
3.7	Cuajado.....	35
3.8	Alternancia.....	35
3.9	Abscisión de Flores y Frutos	36
4.	FACTORES INVOLUCRADOS EN LA FLORACIÓN Y CUAJADO	37
4.1	Deficiente Fertilización.....	37
	Efecto de la temperatura y la humedad relativa en la fase de fertilización.....	39
4.2	Abscisión de Frutos.....	42
4.3	Competencia por Carbohidratos.....	46
4.4	El ácido abscísico	52
4.5	Polinización.....	53
4.5.1	Efecto de la Carga Polínica.....	58
4.5.2	Insectos Polinizadores en el Aguacate.....	59
4.5.3	Hábitats para los insectos.....	61

4.6	Alternancia.....	62
4.6.1	Factores que predisponen la alternancia.....	64
5.	PRÁCTICAS DE MANEJO QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN	66
5.1	Reguladores de crecimiento vegetal.....	67
5.1.1	Ácido giberélico.....	68
5.1.2	Triazoles.....	69
5.2	Anillado.....	71
5.3	Densidad y poda.....	72
5.4	Selección del portainjerto.....	75
5.5	El riego	78
5.6	Boro.....	83
5.7	Nitrógeno.....	85
6.	REFERENCIAS.....	86

1. INTRODUCCIÓN

El aguacate, es una planta muy versátil que se adapta a diversas condiciones agroclimáticas, cuya distribución se encuentra en los cinco continentes, siendo originario en el continente Americano, en la región mesoamericana, teniendo como centro de origen México, Guatemala y las Antillas, cuyas zonas geográficas dieron como resultado el desarrollo de tres razas que se conocen como, mexicana, guatemalteca y antillana (Chen et al., 2009; Galindo-Tovar et al., 2007). A través del cruzamiento natural y el retrocruzamiento se han derivado los distintos cultivares comerciales que hoy se conocen. Esto no solo ha promovido la adaptación del aguacate a diversas zonas climáticas del lugar de origen, sino que ha permitido que el aguacate pueda cultivarse en regiones distintas a las de su origen (Ramos, 2019).

Aunque el aguacate abarca una gran distribución y adaptación a diferentes climas, el panorama referente a los bajos rendimientos que presenta no difiere significativamente entre los países que se dedican a la explotación comercial del cultivo de aguacate. FAOSTAT (2022), reporta que el rendimiento promedio para los diez principales países productores de aguacate en el mundo oscilo en $10,48 \text{ t ha}^{-1}$ para el 2020. Entre los países con el mejor rendimiento promedio se destaca Indonesia con 15 ton ha^{-1} , Estados Unidos, Perú y Republica Dominicana con 13 ton ha^{-1} . Para el caso de Colombia, se reporta un rendimiento de 11 ton ha^{-1} , aunque también se han encontrado rendimientos más altos, como es el caso del departamento de Caldas que en el 2019 tuvo un rendimiento de 14 t ha^{-1} .

Además, en Colombia se ha identificado un alto potencial para la producción de aguacate, contando con condiciones agroambientales aptas para su producción, que a

diferencia de los países de regiones subtropicales que concentran su oferta en dos picos de producción, en regiones tropicales permite tener oferta de producción en diferentes épocas del año. Este fenómeno se debe a la gran variabilidad agroclimatológica que existe en el país, que están determinadas por la altura sobre el nivel del mar (Bernal, 2016). De este modo se reporta el cultivo de aguacate en más de 15 departamentos (MADR, 2021), lo cual refleja un alto potencial de abastecer la demanda del mercado internacional y nacional. El cultivar en el que se enmarca nuevas áreas de siembra e inversión en el país está representada por el cv. Hass, que ha permitido tener volúmenes de producción considerables para ser dirigida al mercado de exportación, como a países de la UE (Unión Europea), Estado Unidos, China, Japón, entre otros.

En este orden de ideas y por la importancia del cultivo de aguacate que refleja a nivel mundial, se ha tratado de buscar respuesta al comportamiento productivo en aras de aplicar alternativas de manejo que permita mejorar los rendimientos. Es por ello, que la búsqueda de información no deja de ser importante, ya que esto ha de permitir dar respuesta al incognito que existe del bajo rendimiento que se presentan en general el cultivo de aguacate. De esta manera se han realizado numerosos estudios. Algunos autores mencionan que los rendimientos están influenciados por las condiciones del suelo; la calidad y manejo del agua en cultivo en sus diferentes etapas que comprende desde el establecimiento, desarrollo y producción; el clima; la fertilización y control fitosanitario (Cristancho-Pinilla et al., 2021). Por otra parte, (Bergh, 1967) hace énfasis en que los rendimientos en el cultivo de aguacate están determinados por factores genéticos, hormonales, nutricionales y biológicos, los cuales en su mayoría están influenciados por factores climáticos.

Además, los bajos rendimientos se los ha asociado con la reducción en la floración, bajo porcentaje de cuajamiento de frutos que llegan a cosecha, excesiva abscisión de flores y frutos (Lahav & Zamet, 1999). Cabe resaltar que, el cultivo de aguacate se caracteriza por producir hasta dos millones de flores en un solo periodo de floración (Bernal-Estrada et al., 2020), inclusive se ha reportado que en una inflorescencias se puede encontrar entre 200 a 545 flores, pero solo entre 1 a 2 frutos llegan a la madurez (Bernal, 2016; Carabalí-Muñoz et al., 2017).

Otros autores, mencionan que el rendimiento es el resultado del comportamiento alternante que caracteriza al aguacate, es decir la producción que se concentran en un ciclo de abundante cosecha, denominado “año on” y un ciclo de baja producción denominado “año off”. Además, de su dicogamia y la marcada protoginia que busca la heterogeneidad en la especie, lo cual dificulta el proceso de polinización y fertilización del óvulo, que da como resultado bajos rendimientos (M. L. Alcaraz et al., 2013; Garner & Lovatt, 2008, 2016; Lovatt, 2010).

En este sentido se ha propuesto que los rendimientos se pueden incrementar a través de la selección de la variedad, la cual se debe caracterizar por su adaptación a las condiciones climáticas; selección de la mejor cepa tanto del portainjerto como el de la copa, que tenga tolerancia a medios adversos y a enfermedades, como, por ejemplo, (*Phytophthora cinnamomi*); además de poseer un excelente potencial productivo. A diferencia de estos criterios, se ha propuesto que el proceso de polinización y la aplicación de boro, nitrógeno, carbohidratos y reguladores de crecimiento vegetal pueden mejorar el proceso de fertilización floral y por lo tanto el porcentaje de cuajamiento y rendimiento (Boldingh et al., 2016; Carabalí-Muñoz et al., 2017; Ramírez-Gil, 2017).

Sin embargo, la mayoría de investigaciones han sido desarrollados en su gran medida en regiones subtropicales que se dedican a la producción de aguacate, cuyas condiciones difieren en gran medida a las condiciones del trópico colombiano. De esta manera, los pocos estudios realizados en condiciones del trópico, aunque son muy escasos conducen a información relevante que permite la construcción de un marco de referencia hacia las condiciones del trópico y el comportamiento productivo del aguacate en el país.

Ante este panorama, es necesario la búsqueda de información que ayude a comprender y dar respuesta al comportamiento del bajo rendimiento que presenta el aguacate, y su asociación con los diversos factores que incluyan los procesos genéticos, fisiológicos, hormonales, nutricionales, climáticos y de manejo cultural.

Es por estas razones que la revisión de literatura, permitirá un acercamiento a los diferentes factores que intervienen en los procesos de floración, cuajado y fructificación que determinan en el rendimiento en el aguacate. Así mismo, conduzca a un acercamiento del porqué de los bajos rendimientos en este cultivo que representa gran importancia en el desarrollo rural del país. Es por ello, que a través de la recopilación de información actualizada juega un papel preponderante y necesario para entender los diferentes factores que están involucrados en el comportamiento productivo del aguacate.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Compilar información concerniente a los factores que intervienen en los procesos de floración, cuajado, que determinan el comportamiento productivo en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill).

2.2 Objetivos Específicos

- 1 Aportar en la construcción de un marco teórico integrador que permita estudiar los conceptos: floración, cuajado y producción en el cultivo de aguacate.
- 2 Determinar los principales factores que están involucrados en el comportamiento de floración, cuajado y el comportamiento productivo en el cultivo de aguacate
- 3 Analizar las principales prácticas y estrategias de manejo que influyen en el comportamiento productivo.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Situación Mundial de la Producción y Rendimiento del Aguacate.

Entre los principales países productores de aguacate en el mundo, según (FAOSTAT, 2022) se encuentra: México, Colombia, Perú, Indonesia, República Dominicana, Haití, Etiopía, Chile, Kenia y Estados Unidos. En la tabla 1, se ordena de mayor a menor los diez países que reportan la mayor área cosechada, con su producción y los rendimientos promedio. Así, para el 2020 México lidero con la mayor área cosechada que correspondió a 224.422 ha con una producción de 2.393.849 t; seguido por Colombia y Perú, que se posiciona en segundo y tercer lugar, con un área cosechada de 78.578 ha y 50.605 ha y una producción de 876.754 t y 660.003 t, respectivamente (FAOSTAT, 2022).

A pesar de que México y Colombia tienen una de las áreas sembradas en aguacate y una de las producciones más representativas, no lo están con respecto al rendimiento, según la base de datos estadísticos FAOSTAT (2022), establece que el rendimiento del cultivo de aguacate está liderado por los países de Indonesia con un rendimiento promedio de 15,68 t ha⁻¹, seguida por Estados Unidos. Perú y República Dominicana, con un rendimiento promedio de 13 t ha⁻¹. Por el contrario, México y Colombia registran rendimientos promedio de 10,67 y 11,16 t ha⁻¹, respectivamente. Países como Kenia, Haití, tienen los rendimientos más bajos de 5,81 y 5,33 t ha⁻¹, respectivamente.

Tabla 1. Área sembrada en los principales países productores de aguacate a nivel mundial

No	País	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
1	México	224.422,00	2.393.849,00	10,67
2	Colombia	78.578,00	876.754,00	11,16
3	Perú	50.605,00	660.003,00	13,13
4	Indonesia	46.383,00	609.049,00	15,68
5	República Dominicana	43.129,00	676.373,00	13,04
6	Haití	32.997,00	191.713,00	5,33
7	Etiopía	30.588,00	245.336,00	8,02
8	Chile	30.143,00	160.535,00	8,79
9	Kenia	24.447,00	322.556,00	5,81
10	Estados Unidos de América	21.335,00	187.433,00	13,19

Fuente: tabla adaptada por el autor con datos obtenidos de FAOSTAT 2022.

3.2 Situación nacional de la Producción y Rendimiento del Aguacate.

En Colombia, el cultivo de aguacate se encuentra en una gran variedad de tipos de suelos y de condiciones climáticas muy variables que dependen de cada región del país, que en cierta forma permiten su establecimiento, crecimiento y producción, en donde cada raza o cultivar de aguacate se adapta a distintos ecotipos. De este modo las plantaciones de aguacate se pueden encontrar desde los 0 m hasta los 2.500 m.s.n.m., con temperaturas que oscilan entre los 14°C y 24 °C (Bernal & Díaz, 2020; Rios-Castaño & Tafur-Reyes, 2003).

Por consiguiente, existe un alto nivel de oportunidad en Colombia para extenderse a los mercados internacionales, ya que su ubicación resulta en una ventaja comparativa, además de disponer de tierras aptas que pueden ser cultivadas en aguacate. De acuerdo a

la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria y Fonseca., et al (2018), informan que se ha identificado 3.935.177 hectáreas para el cultivo de aguacate Hass, de las cuales el 16 % corresponde a 632.639 ha, que tienen una aptitud alta; 1.806.841 ha, a aptitud media y 1.495.697 ha, a aptitud baja, que corresponde al 46 % y 38%, respectivamente. En este sentido, Colombia puede aprovechar de las tierras aptas y de sus condiciones diferenciales que le permitan obtener una cosecha permanente, logrando así proveer el mercado exportador en épocas en donde no sea abastecida por los países productores como México y Perú que son los países con el mayor volumen de aguacate para exportación.

En la tabla 2, se muestra el área, la producción y el rendimiento nacional; que para el año 2021 se registraron 92.699 hectáreas sembradas, que a diferencia del año 2015 fueron 57.826 hectáreas, evidenciando un crecimiento del 60 % en los últimos 7 años. Esto a razón del crecimiento de la demanda del fruto en el mercado internacional, en donde el consumo de aguacate a nivel mundial crece entre un 3 y 3,5 % cada año y se proyecta que alcance un consumo per cápita de 0,85 kg por persona año⁻¹ (García et al., 2021; González et al., 2018). Por otra parte. García et al., (2021) hacen énfasis sobre el crecimiento de las áreas sembradas en Colombia en los últimos años, cuyo aumento se debe en gran manera a las inversiones extranjeras que se han realizado en el cv. Hass y a la generación de oportunidades para los pequeños, medianos y grandes productores. Además, la alta preferencia por los consumidores que se debe a sus características saludables y a su alto contenido de antioxidantes son algunas de las razones que establecen una demanda permanente a nivel mundial.

En cuanto a la producción se evidencia que se ha incrementado en un 112% en los últimos 7 años, al igual que el rendimiento nacional ha aumentado, esto se debe a razón

de la tecnificación de los predios, el acceso a nuevas tecnologías y la asistencia técnica (Fonseca et al., 2019), por lo que en los últimos 3 años se reporta un rendimiento de 10 t ha⁻¹, que en comparación con los años anteriores había sido de 8 y 9 t.

Tabla 2. Área, producción y el rendimiento nacional

AÑO	ÁREA SEMBRADA (ha)	ÁREA COSECHADA (ha)	PRODUCCIÓN (t)	RENDIMIENTO (t/ha)
2016	64.102	40.981	335.877	8
2017	69.841	52.017	490.266	9
2018	77.999	56.267	533.921	9
2019	82.883	60.042	591.623	10
2020	87.791	63.574	626.430	10
2021	92.699	67.107	661.237	10

Fuente: Evaluaciones Agropecuarias Municipales (MADR, 2021)

Con respecto al área, la producción y el rendimiento por departamento, según el (MADR, 2021) se tiene que para el 2021 el departamento de Antioquia, lidero con un 21% del área sembrada nacional, seguido por los departamentos de Tolima y Caldas, 16% y 14%, respectivamente. En cuanto a la producción los departamentos que lideran son: Antioquia, Caldas y Tolima que representan el 54% de la producción nacional que para el año 2021 equivalió a 661.239 t. Aunque, estos departamentos registran el área y la producción mayor, el departamento de Caldas y Bolívar son los que lideran en el rendimiento, registrándose para el 2021 un rendimiento de 11 t/ha.

Entre los principales departamentos que se destacan por ser productores competitivos, se encuentra: Antioquia, Tolima, Huila, el eje cafetero que comprende (Caldas, Quindío y Risaralda) quienes representan el 68% del área sembrada de aguacate

Tabla 3. Superficie cosechada, producción y rendimiento de aguacate, obtenido por departamento en Colombia (2017-2021)

DEPARTAMENTO	VARIABLE	2017	2018	2019	2020	2021
ANTIOQUIA	área sembrada	11.992	15.980	17.107	18.289	19.313
	producción (t)	133.461	121.010	137.179	146.946	155.278
	rendimiento (t/ha)	11	8	8	8	8
CALDAS	área sembrada (ha)	9.821	10.229	11.189	12.025	12.698
	producción (t)	81.447	85.804	94.776	102.218	108.014
	rendimiento (t/ha)	10	12	14	11	11
TOLIMA	área sembrada (ha)	13.348	13.309	13.603	14.139	14.930
	producción (t)	72.063	82.500	83.110	86.570	91.479
	rendimiento (t/ha)	7	8	8	8	8
VALLE DEL CAUCA	área sembrada (ha)	3.060	4.427	4.661	4.939	5.216
	producción (t)	21.535	28.208	31.182	32.754	34.611
	rendimiento (t/ha)	9	9	10	10	10
META	área sembrada (ha)	1.649	3.264	3.322	3.587	3.788
	producción (t)	15.570	23.769	31.037	33.581	35.485
	rendimiento (t/ha)	9	8	11	9	9
SANTANDER	área sembrada (ha)	5.572	4.194	4.421	4.593	4.850
	producción (t)	24.732	23.101	28.094	28.878	30.515
	rendimiento (t/ha)	7	8	10	8	8
RISARALDAS	área sembrada (ha)	3.751	4.340	4.578	4.894	5.168
	producción (t)	24.259	25.412	27.175	28.995	30.639
	rendimiento (t/ha)	10	10	10	10	10
QUINDIO	área sembrada (ha)	3.644	4.275	4.424	4.737	5.002
	producción (t)	20.597	25.336	26.417	28.306	29.911
	rendimiento (t/ha)	8	8	9	8	8
HUILA	área sembrada (ha)	2.817	3.295	3.382	3.647	3.851
	producción (t)	17.145	21.256	25.668	27.657	29.225
	rendimiento (t/ha)	11	10	10	10	10
BOLÍVAR	área sembrada (ha)	2.972	2.519	2.549	2.414	2.550
	producción (t)	26.744	24.144	25.049	23.547	24.882
	rendimiento (t/ha)	11	11	12	11	11
OTROS	área sembrada (ha)	11.215	12.166	13.645	14.527	15.332
	producción (t)	52.712	63.381	81.935	86.979	91.200
	rendimiento (t/ha)	11	11	12	11	11

Fuente: tabla adaptada de (Bernal, 2016), con datos suministrados del MADR (2021).

en el país (MADR, 2021). En cuanto a las principales variedades que se cultivan en Colombia, según los reportes de (MADR, 2021), son los aguacates de pieles verdes como los antillanos y de piel color morado, como el Hass; cada uno con su mercado específico, nacional e internacional, respectivamente. Asimismo, el aguacate en Colombia se posiciona en el quinto lugar en las exportaciones agrícolas nacionales, el cual solo está superado por el café, banano y flores que son productos tradicionales y superado por palma de aceite (UPRA, 2021).

Entre los países que exportan la producción de aguacate colombiano son: principalmente Países bajos, que para el 2021 importó cerca de 20.788 t, seguido de Reino Unido, España, Estados Unidos, Bélgica, Francia, entre otros (Corpohass, 2022). Además, de los nuevos mercados como Japón, China y Corea del Sur que han sido establecidos a través del Tratado de Libre Comercio, permitiéndole a Colombia posicionarse como un proveedor de aguacate con una participación significativa en el continente asiático. Esto ha permitido que este producto tenga un alto potencial para las exportaciones, según (Corpohass, 2022) en el 2019, 2021 y en primer cuatrienio del 2022 se registraron 20.820 t, 41.195 t y 38.621 t exportadas, respectivamente.

3.3 Generalidades del Cultivo de Aguacate

El cultivo de aguacate se adapta a diversas condiciones edafoclimáticas, que comprende latitudes entre los 8-24°N y altitudes que van desde los 0 hasta los 2.500 m, que presenta cuatro tipos de clima en los que se cultiva el aguacate, entre ellos el clima de las tierras altas templadas de Centroamérica, en las que se encuentra Colombia; las tierras que están entre el límite del trópico y el subtrópico húmedo del clima cálido a templado; las tierras de clima semiárido y por último las tierras del subtrópico húmedo y

las tierras bajas tropicales (Wolstenholme, 2012). En este sentido las condiciones del clima son muy variables y están determinadas por la especificidad de cada cultivar.

Entre las condiciones generales, el árbol de aguacate prefiere suelos con profundidad efectiva mínima de 1 m, aunque en condiciones de altas precipitaciones lo ideal está entre 1,5 a 2 m, que facilite un drenaje interno rápido, evitando condiciones de saturación que provocan hipoxia radical y favorecen el desarrollo de patógenos del suelo como *Phytophthora cinnamomi*; suelos de textura liviana con contenidos no muy altos de arcilla (20%), con densidad aparente $< 0,9 \text{ g cm}^{-3}$, pH entre 5,5-6,5 y ricos en materia orgánica $>2\%$ es lo más recomendable (Wolstenholme, 2012).

En cuanto a las condiciones climáticas más relevantes está la precipitación, que están comprendidas entre 1.200 a 2.000 mm anuales bien distribuidas en el año (Bartoli, 2008); también se ha sugerido que las precipitaciones no deben ser menores a 1.800 mm. La temperatura depende del tipo de raza que lo conforman a cada cultivar. Anguiano et al. (2007), sugiere que para el cv. Hass las zonas más aptas están comprendidas entre 1.600 a 2.200 m, con temperatura entre los 20 a 25 °C, siendo las marginales máximas de 28 a 31 °C. De acuerdo a Bernal (2016), alturas por encima de los 1.770 y por debajo de los 2.140 m son las más recomendables para obtener buenas cosechas y de buena calidad para el cv. Hass en el departamento de Antioquia, Colombia.

3.3.1 *Taxonomía.*

Reino: Plantae

Phylum: Magnoliophyta

Clase: Magnoliópsida

Orden: Laurales

Familia: Lauraceae

Género: *Persea*

Especie: *Persea americana* Mill.

americana, drymifolia, guatemalensis

(Bernal & Díaz, 2008; Troiani et al., 2017)

3.3.2 *Origen.*

El origen del aguacate presenta un caso particular, teniendo tres zonas de origen, con poblaciones geográficamente diferentes (Chen et al., 2009), esto ha permitido una gran adaptación a diversas regiones del mundo, encontrándose desde países subtropicales y tropicales, que difieren en gran medida en su clima y sus características edáficas. (Galindo-Tovar et al., 2007), menciona que el aguacate fue cultivado y domesticado por las primeras culturas mesoamericanas, entre ellos, los Mokayas quienes posiblemente dejaron su legado a las culturas que los precedieron como los Mayas y Olmecas, quienes fueron seleccionando, domesticando y dispersando la planta de aguacate. Esta selección pudo estar basada por las características determinadas por aquellas comunidades, como, por ejemplo, la adaptación del aguacate a diferentes condiciones ecológicas y sobre todo por las preferencias del gusto por el fruto, ya sea por buscar un tamaño de fruto más grande, por la forma, el sabor, el color, la textura, entre otras.

Los escritos, reportan que el consumo de aguacate por la población data hace aproximadamente 8000 a 7000 a.C., que se remontan a los sitios arqueológicos en los que se encontró frutos de tamaño pequeño en el municipio de Coxatlán (Smith, 1996). Por otra parte, en su singularidad, el árbol de aguacate, inicialmente abarcó una gran distribución geográfica, encontrándose desde las tierras centrales y orientales de México y Guatemala, pasando por Centro América, Colombia, Venezuela y Ecuador (Téliz, 2000, citado por Bernal & Díaz, 2008), actualmente se encuentra distribuido en todos los continentes.

3.3.3 *Razas del aguacate.*

Entre la domesticación las comunidades al seleccionar, dispersar, conservar y sembrar el árbol de aguacate, fueron propagando y eligiendo descendientes primitivos del ancestro (*Persea americana* var. *Americana* Mill) que influyó en su remplazo y fue siendo precedido por las tres variedades ecológicas (Galindo, Ogata & Arzate, 2007), que hoy se conocen como raza guatemalteca (*Persea americana* var. *guatemalensis* Williams), raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia* Blake) y raza antillana (*Persea americana* var. *americana* Mill), las cuales poseen características especiales que las hacen diferentes entre sí (Chen et al., 2009; Whiley et al., 2012).

Raza Mexicana. Esta raza se caracteriza por presentar un mayor vigor en comparación con las otras razas, siendo la que más tolerancia tiene al frío. En cuanto al fruto, es de tamaño pequeño, con cascara delgada y suave, con pulpa de excelente calidad y alto contenido de aceite a sabor a nuez; las hojas se diferencian de las demás porque desprenden un olor a anís intenso (Girard, 1977). La maduración del fruto no es ni precoz ni tardía. En Colombia se encuentra cultivado hasta alturas de 2.500 m.

Raza Guatemalteca. Esta raza a diferencia de las demás, se caracteriza por presentar frutos con cascar gruesa, áspera y rugosa; con una maduración tardía que cambia de coloración a morado cuando alcanza la madurez de consumo. Gracias a las particularidades del fruto y su duración en el anaquel es ideal para realizar su comercialización internacional. Además, la fruta es de excelente calidad, con alto contenido de aceite (Girard, 1977). Esta raza puede cultivarse desde los 1.500 - 2.350 m de altura (Whiley et al., 2012).

Raza Antillana. Es una raza que se adapta a condiciones cálidas y es tolerante a suelos que presentan salinidad y suelos calcáreos, Whiley et al., (2012) citando a Praloran (1970) sintetizaron que el aguacate en Colombia se siembra en alturas comprendidas entre los 100 a 450 m, sin embargo esta raza se encuentra cultiva hasta 1500 m, característica que la diferencia de las demás razas por su adaptación a zonas más cálidas, por lo cual es muy utilizado como portainjerto en zonas semiáridas que presentan altos niveles de salinidad. Su fruto se caracteriza por ser el de mayor tamaño, con peso promedio de 400 a 500 g, aunque puede encontrarse frutos hasta de un kilogramo (Girard, 1977). En cuanto a su calidad es aceptable, cuyo contenido de aceite es menor a comparación con las otras razas.

3.3.4 Cultivares

Las plantaciones comerciales que se conocen hasta el día de hoy, han sido el resultado del cruzamiento, retrocruzamiento e hibridación entre las diferentes razas, ya que el aguacate permite la autopolinización, la polinización cerrada y la polinización cruzada (Bernal & Díaz, 2020). Entre los cultivares se destaca el Hass, siendo uno de los más cultivados a nivel mundial, el cual según estudios realizados confirman que es un

híbrido que resulto de un retrocruzamiento entre la raza guatemalteca (G) y mexicana por guatemalteca (M x G), con una probabilidad derivada entre (85 a 90 %) de genes pertenecientes a la raza guatemalteca y entre (15 a 10%) a genes pertenecientes a la raza mexicana; mientras que los cultivares Gwen y Fuerte, son híbridos con una asignación de descendencia guatemalteca (99,4%) y mexicana (99,3%) (Chen et al., 2009), esta diferencia parece ser la responsable de la alta adaptación del cv. Hass a diferentes condiciones climáticas.

En cuanto a las variedades comerciales con mayor importancia en Colombia, según las descritas por Castaño y Reyes (2003) está: Choquette, Lorena y Trapica, que se caracterizan por tener el fruto de mayor tamaño (910 – 499 g); Fuerte, Reed, Collinred, Trinidad y Booth 8 son de tamaño medio (430 – 414 g); Gwen y Hass presentan el fruto de menor tamaño (310 – 285 g). Lo que respecta la variedad Lorena, según Ríos-Castaño (2005, citado por Bernal & Díaz, 2020), es una variedad nativa de Colombia, siendo reportada por primera vez en el año 1957 en el departamento del Valle del Cauca, cuyo nombre se lo atribuyo al nombre de la finca; las demás variedades han sido introducidas principalmente desde Estados Unidos y México.

3.4 Biología Reproductiva

Del mismo modo que el fenómeno de la alternancia juega un papel determinante en el comportamiento productivo, la biología reproductiva no es ajena a este problema, ya que se ha incluido la caída de flores y frutos en fases iniciales del desarrollo, por una inadecuada fertilización del óvulo que determina bajo cuajamiento. Para ello, los factores o momentos que se han asociado en esta sección es la inducción de la floración, la floración y sus tipos (A y B), la polinización deficiente, la receptividad del estigma

(adhesión y germinación), el crecimiento del tubo polínico y falta de fertilización del óvulo. Por lo tanto, es importante conocer los procesos que tienen lugar durante la fase reproductiva, con el fin de optimizar algunos eventos a través de estrategias de manejo.

Además, el conocimiento de la biología reproductiva en el aguacate deberá ser un proceso que se necesita conocerse en profundidad, incluyendo la transición del crecimiento vegetativo al reproductivo, los factores ambientales que inducen a la floración, el desarrollo de la floración y la fase de fertilización son fundamentales para mitigar la alternancia, favorecer la floración, el cuajado y el rendimiento (Salazar-García et al., 2012).

3.4.1 *Iniciación y Desarrollo Floral*

El aguacate como la mayoría de las plantas frutales se caracteriza por presentar dos fases marcadas de desarrollo, la juvenil y la adulta. En la fase juvenil la planta únicamente se dedica al crecimiento vegetativo, es decir aún no ha desarrollado la capacidad de iniciar la fase productiva, debido a la falta de señales que le permitan inducir la floración y consiga el desarrollo floral. Esta etapa en condiciones naturales y propagada por semilla puede tardar hasta 15 años antes de producir flores (Gazit & Degani, 2007), aunque es dependiente de la genética del árbol y las condiciones ambientales. Sin embargo, con las técnicas de mejoramiento, como la propagación por injertación han logrado reducir este problema, en donde los árboles responden a señales internas y externas que inician el desarrollo floral tras un corto desarrollo vegetativo, comprendido entre 2 a 5 años (Salazar-García et al., 2012), aunque dependerá del cultivar y del manejo del cultivo. También la inducción y la diferenciación de las flores requieren de una cantidad importante de hidratos de carbono, lo mismo que los frutos, pero estos últimos

son mucho más hábiles en la competencia por dicho recurso que las yemas en procesos de diferenciación floral (Fichet, 2021)

3.4.2 Factores Ambientales de Inducción y Diferenciación Floral

El efecto de las condiciones ambientales tiene un efecto sobre la conversión del crecimiento vegetativo al reproductivo, de las yemas apicales y lateral y en general en la fisiología del aguacate, ya que la posterior producción dependerá de la floración de retorno, que está determinada por el crecimiento vegetativo y la activación de las yemas que están en reposo a yemas reproductivas (Lovatt, 2010). Asimismo, la producción según García (2021), puede depender del destino que tengan las yemas apicales que pueden ser del tipo vegetativas o reproductivas. En su estudio determinaron la influencia del clima sobre el desarrollo fenológico en el aguacate cv. Hass en dos zonas del trópico andino de Caldas, en donde la conversión de las yemas apicales varía dependiendo a las condiciones ambientales, así las observaciones realizadas en el estudio indican que la zona de Aranzazu (1.950 m) puede ser más productiva en número de flores y frutos que la zona de Villamaría (2.400 m), debido a la presencia de diferencias estadísticamente significativas en el destino de las yemas apicales reproductivas (figura 1).

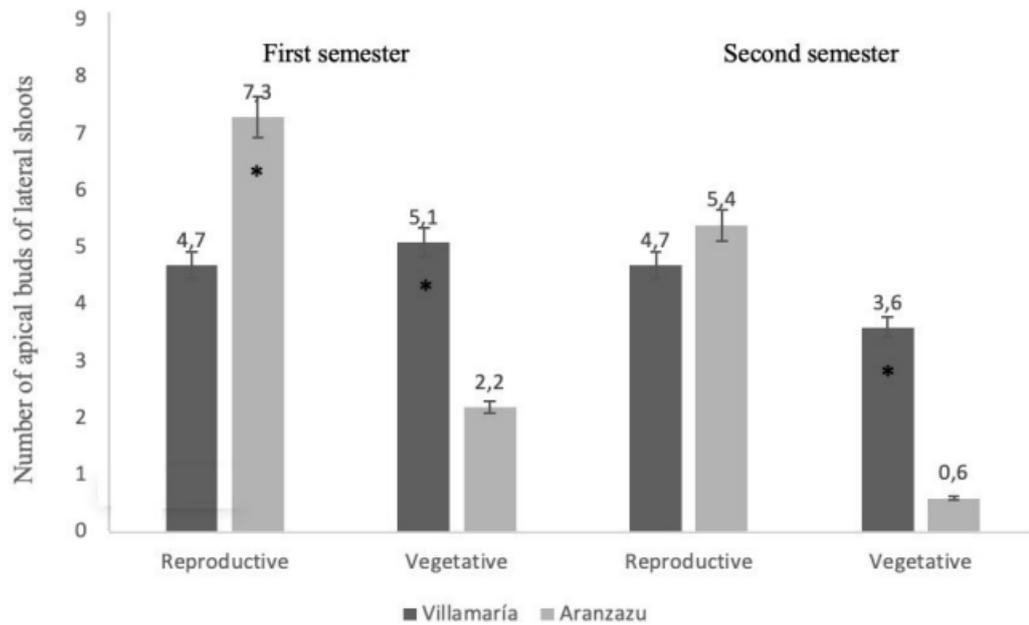


Figura 1. Destino de yemas apicales de brotes laterales en el primer y segundo semestre de 2021 en dos zonas contrastantes del trópico andino de Caldas (García et al., 2022).

La Temperatura. En el cultivo de aguacate la variable climática que tiene más relevancia en el proceso de floración es la temperatura, debido a que juega un papel importante en la inducción floral. Las bajas temperatura se las incluído como un factor conocido por inhibir o potenciar la iniciación floral en el aguacate en condiciones subtropicales, ya que es la responsable de generar cambios anatómicos que determinan la iniciación floral (Salazar-García et al., 2012).

De este modo la temperatura es responsable de la transición entre el crecimiento de los brotes vegetativos al reproductivo, un estudio realizado por Salazar-García et al., (1999), evaluó el comportamiento de árboles de aguacate del cv. Hass, cultivados en contenedores, los cuales fueron expuestos a tratamientos de baja temperatura diurnas de 10 °C y temperaturas nocturnas de 7°C para estimular la floración y a temperaturas cálidas

de 25 °C diurnas y 20°C nocturnas, con el fin de detener el proceso. El estudio mostró que los árboles de control mantenidos bajo las temperaturas cálidas y los árboles que recibieron 1 o 2 semanas de tratamiento con bajas temperaturas no llegaron a florecer, y el crecimiento fue meramente vegetativo. Sin embargo, cuando los árboles fueron sometidos a cuatro semanas a 10/7°C (10-h de día/14-h de noche) el 83 % de las yemas apicales produjeron inflorescencias y no se presentó crecimiento vegetativo en los brotes, permaneciendo las yemas restantes inactivas. De este modo Salazar- García (1999), confirma que el cv. Hass no necesita más de cuatro semanas de estrés por bajas temperaturas para inducir la floración.

Por otra parte, un estudio realizado en huertos comerciales de aguacate cv. Hass de 2 años de edad, cultivados en el clima semicálido de Nayarit, México, se determinó que la acumulación de 27.5 días a temperaturas <19°C resultó en la floración de yemas apicales en brotes de invierno y verano (Salazar-García et al., 2006), además se ha encontrado que la iniciación floral ocurre cuando las temperaturas nocturnas son menores o iguales a 21°C (Salazar-García et al., 2007).

Un estudio más reciente realizado por Acosta-Rangel et al.,(2021), evaluaron en el cv. Hass, los efectos de la temperatura, la humedad de suelo, la intensidad lumínica y condiciones óptimas de crecimiento sobre el patrón de expresión génica de la floración en California para determinar cuáles de los factores evaluados eran responsables de la inducción y diferenciación floral. Los árboles fueron sometidos a los diferentes tratamientos durante 8 semanas y después fueron transferidos a condiciones óptimas de crecimiento durante 6 semanas, para un total de 15 semanas de evaluación. El primer tratamiento fue el control con condiciones óptimas de crecimiento (día de 14 horas,

radiación fotosintética activa $> 900 \mu\text{moles m}^{-1} \text{s}^{-1}$ a 30°C día/noche de 10 h a 20°C , con humedad relativa al 80% y con un contenido volumétrico de agua entre el 20% y 25%) sin producir estrés hídrico; el tratamiento de baja temperatura consistió con un día de 10 h a 14°C /noche de 14 h a 10°C ; baja humedad del suelo con contenido volumétrico entre el 8 a 12%, generando estrés hídrico; y por último el tratamiento de baja intensidad de luz (radiación fotosintéticamente activa $< 130 \mu\text{moles m}^{-1} \text{s}^{-1}$). Los resultados, encontrados informan que solo llegaron a florecer los árboles que recibieron el tratamiento de baja temperatura (10 horas día a 14°C /14 horas noche a 10°C) durante 8 semanas y luego cambiaron a condiciones óptimas de crecimiento (día de 14 horas a 30°C / 10 horas noche a $<20^\circ\text{C}$; con un contenido volumétrico del suelo entre 20% y 25%), esto demuestra que en condiciones subtropicales el principal inductor de la floración responde a bajas temperaturas.

Asimismo, Acosta-Rangel et al.,(2021) identificaron la expresión de los genes que son responsables de la inducción, diferenciación y desarrollo de los órganos florales que determinan la formación de las flores. Entre ellos están, los genes FT, LFY, que corresponden para inducción floral; LFY y AP1 para determinación e identidad del meristemo floral; AP2 y AP3 para diferenciación del órgano floral; PI, AG1 y AG2, para formación de flores(Acosta-Rangel et al., 2021). Se ha demostrado que el gen FT, se expresa cuando hay descenso en las temperaturas y luego pasa a temperaturas más cálidas, puesto que en el estudio encontraron que después de someter el cultivo de aguacate por 8 semanas a bajas temperaturas y luego a condiciones óptimas de crecimiento hubo la máxima transcripción del gen; además, de la expresión de los genes AP3, PI, AG1, AG2 (genes identidad y floración) solo se presentaron en condiciones de baja temperatura y sólo aumentaron después de haber cambiado sus condiciones óptimas de crecimiento,

alcanzando su máxima transcripción génica en la semana 12, es decir 4 semanas después de haber pasado a condiciones óptimas de crecimiento. De esta manera las temperaturas juegan un papel preponderante en el proceso de inducción de la floración que está determinada por la expresión génica que responden a bajas temperaturas y deja claro que el fotoperiodo y el estrés hídrico no son factores responsables de la inducción de la floración en esas condiciones de estudio.

Las temperaturas máximas y mínimas han sido un mecanismo de estimación del tiempo que requiere la transición entre el estado de yema reproductiva hasta la floración y desde la antesis hasta la cosecha. Esto permite determinar las Unidades de calor Acumulada (UCA), García et al., (2022), determinaron en dos zonas del trópico andino de Caldas, las cuales difiere entre las localidades. En Aranzazu ubicado a una altura de 1.950 m, con temperatura media de 21,4 °C, la cantidad de UCA para alcanzar la antesis fue de 1.096,55 y en Villamaría ubicada a 2.400 m, con temperatura media solo se observó 862,7 UCA. En cuanto a las UCA determinadas para el período de floración ha cosecha en ambas localidades mostro la misma tendencia, 2.530,9 UCA para Aranzazu y 279 días hasta cosecha, mientras que Villamaría tuvo 2.092,72 UCA y 355 días hasta cosecha.

La Precipitación o Déficit Hídrico. El déficit hídrico en el cultivo de mango, de cítricos, se le ha atribuido ser el principal inductor de la floración. Sin embargo, en el aguacate no se ha encontrado una relación clara, un estudio realizado por Chaikiattiyos et al., (1994) sugirieron que ni el estrés por déficit hídrico constante con potencial gravimétrico a -2,1 MPa, ni el déficit hídrico cíclico durante 12 semanas, fueron efectivo para estimular la floración en árboles de aguacate Hass, sobre portainjerto desconocido.

Más, sin embargo, el estrés por déficit hídrico impidió el crecimiento vegetativo y retrasó la floración de las plantas tratadas hasta que fueron regadas de nuevo.

En el estudio que realizaron (Acosta-Rangel et al., 2021) sometieron la planta de aguacate a estrés hídrico durante 4 semanas para determinar si influía en la expresión de genes responsables de la floración. En donde concluyeron que el estrés hídrico no determina en su totalidad la expresión génica, por lo tanto, no se presenta la inducción de la floración. Sin embargo, cabe destacar que en su estudio el déficit hídrico si presentó la expresión de algunos genes que intervienen en el proceso de floración. De esta manera hace suponer que, en condiciones del trópico al no presentar condiciones continuas de bajas temperaturas, la expresión génica responsable de la floración puede complementarse con las condiciones ambientales del trópico.

En cuanto a las condiciones del trópico alto andino parece ser que la inducción de la floración no se debe a los cambios de la temperatura, debido a que las temperaturas máximas y mínimas no cambian significativamente a lo largo del año; más, sin embargo, la precipitación puede ser la responsable de inducir los árboles de aguacate a florecer en condiciones del trópico. Un estudio realizado por Bernal (2016), demuestró que el comportamiento ecofisiológico en cuatro localidades del departamento de Antioquia, el inicio de la floración coincidió con el periodo de bajas precipitaciones en donde se generaba déficit hídrico, por lo cual hace suponer que el estrés hídrico en esta región no está determinado por el déficit hídrico ya que coincide la época de floración, no obstante argumenta que la inducción de la floración en las zonas de estudio están promovidas por los periodos de precipitaciones que se presentan entre 4 a 5 meses atrás, antes de llegar a la época de verano en la que se puede presentar déficit hídrico. Otro estudio realizado por

Romero-Sánchez (2012) en el departamento de Tolima, estudio el comportamiento ecofisiológico sobre árboles de la variedad Lorena injertados sobre portainjertos criollos, de 8 años de edad, encontrando como resultado que en esa localidad las bajas precipitaciones fueron las responsables de inducir a la floración y se requirió de alta disponibilidad hídrica para dar inicio al desarrollo de las inflorescencias.

De este modo se evidencia que la inducción de la floración que determina el comportamiento de los brotes apicales a convertirse en yemas vegetativas o reproductivas, responden a las diferencias en el clima, altitud, temperatura, precipitaciones y el cultivar de aguacate; además de ser factores que influyen en la fenología del árbol y determinan el momento de ocurrencia de los diferentes eventos que se presentan en el desarrollo de la planta.

3.5 Floración

La planta de aguacate tiene los órganos femeninos y masculinos en la misma flor, es decir son bisexuales. Que se caracterizan por presentar una dicogamia y una marcada protoginia, que consiste en la maduración de los órganos sexuales en diferentes momentos, iniciando con la fase femenina, en donde el estigma está receptivo pero las anteras no están dehiscentes (Troiani et al., 2017). Por lo tanto, cada flor presenta dos periodos en los que se abre, cada uno durante algunas horas, debido a que la parte femenina y masculina alcanzan una madurez sexual a destiempo: el primero momento en que abre la flor actúa como una flor femenina con el estigma receptivo; y en el segundo momento en el que abre la flor, el estigma no está receptivo, pero las anteras están con los granos de polen maduros (dehiscencia) y pueden ser liberados (Boldingh et al., 2016;

Stout, 1923). Por tal motivo, las diferentes variedades se clasifican por el comportamiento de la floración, ya sea del tipo A o B.

Tipo A y tipo B. Según (Stout, 1923), el tipo A, en los que se incluye el cv. Hass, las flores abren en la mañana antes del mediodía del primer día del ciclo en estado femenino y reabren en la tarde del día siguiente en estado masculino. Las flores de los cultivares tipo B, en los que se encuentra el cultivar “Fuerte”, las flores abren en la tarde del primer día del ciclo en estado femenino, cierran al anochecer y reabren en el siguiente día por la mañana en estado masculino.

Tabla 4. Grupos y estado de floración

Tipo	Día 1		Día 2	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
A				
B				

Fuente. Insectos polinizadores del aguacate (Carabalí-Muñoz et al., 2017)

Factores que afectan el comportamiento floral. El ciclo floral normal responde a condiciones climática, principalmente a la temperatura, en donde se requiere de temperaturas en la noche que sean superior a los 12°C y la temperatura máxima en el día sea mayor a los 22°C para los cultivares del grupo A o 26° para los del grupo B (Lesley & Bringham, 1951), en consecuente el comportamiento será como el anteriormente mencionado. Sin embargo, las temperaturas son muy variables y están determinadas por las latitudes en el subtrópico y por la altura sobre el nivel del mar en el trópico (Bernal, 2016), por consecuente, a medida que las temperaturas nocturnas y diurnas bajan, tanto la apertura femenina como masculina se pueden retrasar e incluso el comportamiento floral se puede invertir o suprimir en alguna de sus fases (femenina o masculina). De ese modo, la fase femenina en cultivares tipo A puede empezar al medio día o inclusive en la tarde, mientras que las flores de los cultivares B se pueden retrasar, por lo que las flores en fase femenina pueden abrir en la mañana del día siguiente (Gazit & Degani, 2007). A diferencia de ello, (Gazit & Degani, 2007; Stout, 1923) señalan que los cultivares tipo B son más sensibles a temperaturas bajas, en donde se ha demostrado que, cuando las temperaturas diurnas oscilan entre 18 y 21°C y la temperatura nocturna que oscila entre 7 y 12°C, en el cv. Fuerte se suprimió la apertura de la flor en fase femenina, mientras que el cv. Hass del grupo A, el ciclo floral si se completó. Además, se ha demostrado que días nublados y lluviosos, retrasan la apertura floral, que puede ir desde minutos hasta horas (Nirody, 1992; Papademetriou, 1976; Sedgley, 1977). Esto parece demostrar que los cultivares antillanos evolucionaron en ambientes de tierras bajas tropicales, en donde las temperaturas son mayores a los 20°C en el día y en la noche.

Traslape Entre la Apertura Femenina y Masculina. En distintos cultivares de aguacate se ha observado un traslape entre la apertura funcional como floral femenina y masculina que puede ser de corta duración; cuyo traslape se ha encontrado que es más común que ocurra en los cultivares del grupo A que en los grupos del tipo B (Gazit & Degani, 2007). Para que el traslape sea efectivo se requiere que las flores simultáneamente estén con los sacos polínicos abiertos y las anteras dehiscentes y el estigma este receptivo, dando lugar a una polinización cerrada dentro del mismo cultivar, y una polinización cruzada entre el cultivar del mismo grupo de floración (Gazit & Degani, 2007)

3.6 Polinización.

En el aguacate se puede presentar tres rutas posibles de polinización (Gazit & Degani, 2007): la autopolinización, la polinización cerrada y la polinización cruzada. En los dos primeros casos, se conduce a una autofertilidad; en donde la autopolinización ocurre dentro de la misma flor, es decir el polen que se transfiere hacia el estigma pertenece a una sola flor, mientras que la polinización cerrada o comúnmente llamada geitonogamia, el polen que se deposita en el estigma pertenece a otra flor pero del mismo árbol o cultivar; a diferencia de ello, la polinización cruzada (alogamia) hace referencia a la transferencia de polen desde flores de otro cultivar con diferente grupo de floración (Gazit & Degani, 2007). Por la dicogamia y protoginia que presenta el aguacate se evidencia un mecanismo que busca asegurar la diversidad genética.

3.7 Cuajado.

En un árbol de aguacate cuando ha alcanzado su estabilidad productiva que esta entre el quinto al octavo año, se puede encontrar entre 1 a 2 millones de flores (Cossio, Vargas et al., 2007), pero únicamente la décima parte del 1% de las flores se convierten en frutos, debido a la abscisión que se produce después de la floración, es decir solo el 0,1% llegan a frutos de cosecha e incluso en árboles del cultivar “Fuerte”, se ha encontrado que después de la floración solo llegan a frutos cosechados el 0,015% (Bergh, 1967; Lahav & Zamet, 1999), otros autores han mencionado que el cuajado oscila entre 0,001 a 0,23% (Sedgley, 1980) y estos valores pueden variar dependiendo del cultivar.

Por tal motivo, la principal dificultad o problemática que se presenta en el aguacate es el bajo número de frutos que llegan a cosecha, que son el resultado de la abscisión de flores y frutos durante el ciclo productivo, que terminan en un bajo porcentaje de cuajamiento, además se une la producción alternante, es decir años de buena cosecha y años de baja cosecha.

3.8 Alternancia.

La alternancia hace referencia al comportamiento productivo que tiene el aguacate, el cual se caracteriza por presentar un año de alta producción denominado “on” y un año de baja producción denominado “off”, esto quiere decir que el aguacate desarrolla una reciprocidad, cuanto mayor es la producción en un año, menor es la producción en el siguiente año (Hodgson & Cameron, 1935). El año “on” se caracteriza por presentar una intensa floración, alto porcentaje de cuajamiento, que conduce a una producción abundante, mientras que un año “off” ocurre todo lo contrario, la floración es

menor, el porcentaje de cuajamiento es bajo y los rendimientos son inferiores a los de un año “on” (Hodgson & Cameron, 1935; Rebolledo & Romero, 2011).

Para determinar si un cultivo es alternante, se ha realizado estimaciones a través del Índice de Producción Alternante (ABI) definido por Pearce & Dobersek-Urbanc (1967) como:

$$ABI = \frac{1}{n - 1} \left(\frac{|a_2 - a_1|}{a_1 + a_2} + \frac{|a_3 - a_2|}{a_2 + a_3} \right)$$

Donde: n es el número de temporadas y “a” es la producción de fruta para cada temporada. En particular, ABI igual a 0 implica ausencia de alternancia y ABI igual a 1 implica alternancia completa. De este modo, cuando hace referencia a que el índice de producción alterna es igual a 1, significa que en un año se concentra la cosecha, mientras que en el siguiente año no se presenta ninguna producción por lo cual no se cosecha, es decir la alternancia es del 100 %; por el contrario, cuando la alternancia es de 0 significa que no hay alternancia y la cosecha tiene igual comportamiento en los diferentes años.

3.9 Abscisión de Flores y Frutos

Después de que se lleva a cabo el proceso de polinización y fertilización, en el aguacate se presenta una intensa abscisión de flores y frutos, que parecen responde a numerosos cambios genéticos, hormonales, nutricionales, fisiológicos y ambientales, que afectan la producción de frutos. Entre otros factores que se han estudiado y parecen responder a la abscisión de flores y frutos en el aguacate, es a la deficiente polinización y fertilización que resulta en un embrión inviable; respuesta a concentraciones hormonales,

desbalances nutricionales y condiciones climáticas adversas como temperaturas extremas que estén por fuera de las temperaturas marginales soportadas para cada cultivar (Bernal & Díaz, 2020; Gazit & Degani, 2007). Aunque esto es muy relativo y no se ha encontrado una razón determinada e incluso en condiciones óptimas, la abscisión de flores y frutos del aguacate es altamente excesiva (Romero, 2011). Gazit & Degani (2007), concluyen que la baja producción en árboles sanos y sin estrés nutricional o estrés hídrico, se debe a una excesiva caída de frutos y un inconsistente cuajamiento.

4. FACTORES INVOLUCRADOS EN LA FLORACIÓN Y CUAJADO

4.1 Deficiente Fertilización

La fase de fertilización es aquella que está comprendida entre la polinización y la doble fecundación del oocito haploide que se lleva a cabo en el saco embrionario (Gazit & Degani, 2007), que parece ser la interacción polen-pistilo, cuyo período desencadena el desarrollo de interacciones en los órganos de la flor, ya sea en tejidos masculinos o femeninos. Entre ellos, el pistilo que es el órgano femenino de la flor, que está constituido por el estigma, el estilo y el ovario (Troiani et al., 2017), cuya estructura está diseñada para llevar a cabo la fecundación, en la que se presentan una serie de mecanismos que pueden favorecer y dificultar los diferentes procesos como la adhesión, al igual que la germinación del grano de polen y el crecimiento de los tubos polínicos, a través del control de su crecimiento (M. L. Alcaraz, 2009). En resumen, los granos de polen que se adhieren y germinan en el estigma, deben viajar a lo largo del estilo hasta llegar finalmente al óvulo para que se realice el proceso de fecundación.

Para llevarse a cabo, la fecundación, se requiere de momentos específicos, iniciando con la llegada del polen hasta el estigma a través del proceso de polinización, ya sea por medio de la autopolinización, la polinización cerrada o la polinización cruzada, que se favorece o dificulta con las condiciones ambientales y la entomofauna. El segundo momento, se lleva a cabo en el estigma, que es el primer paso que conduce a la fecundación, cuyo órgano es el encargado de la recepción, adhesión y germinación del grano de polen; además de conferir el medio óptimo para la adhesión y germinación, puesto que el polen cuando se ha desprendido de la antera carece de metabolismo activo, para lo cual requiere una hidratación en el estigma para su reactivación (Buitink et al., 1998; Hoekstra & Bruinsa, 1980), en ese mismo momento se da lugar al transporte de nutrientes, agua, y moléculas variadas como proteínas, lípidos y carbohidratos (Sedgley & Buttrose, 1978); razón por la cual la secreción del estigma juega un papel fundamental en la germinación y crecimiento del tubo polínico (Sanzol et al., 2003; Sedgley & Buttrose, 1978), cabe resaltar que la germinación del polen está estrechamente relacionada con la secreción estigmática que debe ser tenida como un requisito para el proceso de germinación del polen y la continuación de la fase para la ocurrencia de la fertilización. El tercer momento, se da lugar cuando ocurre la germinación y empieza el crecimiento del tubo polínico en el estilo hasta llegar al ovario. El estilo es un tejido que tiene la funcionalidad de proporcionar un soporte nutritivo para favorecer el crecimiento del tubo polínico (Herrero & Hormaza, 1996). El cuarto momento, se lleva a cabo en el ovario que al parecer envía señales quimiotrópicas que dirigen el crecimiento del tubo polínico dentro del ovario y provee soporte nutricional; además, es el lugar donde ocurrirá la fecundación que es requisito para el cuajamiento.

Así como el pistilo, puede favorecer la germinación y el crecimiento del tubo polínico, también puede limitar su crecimiento, en respuesta a la incompatibilidad, que producirá un bloqueamiento en los pasos anteriormente mencionados, que con un fallo que resulte en cualquiera de los eventos conllevará a que la llegada del gametofito masculino no alcance el óvulo (Herrero & Hormaza, 1996), generando así una no fertilización que afecta en si el cuajamiento en el aguacate.

Efecto de la temperatura y la humedad relativa en la fase de fertilización.

La adhesión del grano de polen en el estigma es posible durante toda la etapa 1 de apertura de la flor en fase femenina hasta el cierre de la flor en fase masculina y se pierde su receptividad en la fase masculina, aunque se ha encontrado que la receptividad del estigma también puede extenderse hasta un 35% o más durante la etapa 2 (flor en fase masculina), este efecto es más común que se presente en condiciones de climas húmedos en comparación con climas secos o mediterráneos (Davenport, 2019). Existen momentos que son más oportunos que favorecen el proceso de fertilización y están estrechamente relacionados con el efecto de las condiciones climáticas, principalmente se ha estudiado a la temperatura y la humedad relativa como los principales responsables del éxito para el desarrollo de la fase de fertilización. Alcaraz (2009) evaluó el efecto de la temperatura en la receptividad estigmática en las dos fases de la floración del cv. Hass, en donde la máxima adhesión y germinación del grano de polen se obtuvo con 20 y 25 °C en ambas fases y disminuyó como aumento la temperatura; cabe mencionar que el porcentaje de germinación del polen fue mayor en la etapa femenina.

En cuanto a efecto de la humedad relativa tuvo variaciones según la fase femenina y masculina, puesto que la máxima adhesión del polen en la primera fase se dio lugar

cuando la HR fue del 50%, mientras que en la fase masculina se presentó la máxima adhesión con HR del 75%. No obstante, la germinación fue similar para ambas fases, encontrándose la máxima germinación del polen con HR del 75 y 95 % y disminuyendo con < del 50 % de HR. Es así, que se evidencia que la adhesión y germinación poseen requisitos diferentes, en donde la autora concluyo que, ambientes con baja humedad relativa y altas temperaturas intervienen en el proceso de fertilización, acelerando la desecación del estigma y por lo tanto acortan el periodo de receptividad del estigma

La temperatura también influye en el crecimiento del tubo polínico, actuando de forma directamente proporcional, es decir cuando la temperatura aumenta el tiempo que tarde el tubo polínico en llegar a la base del pistilo se acorta. Alcaraz (2009) en su estudio menciona que cuando la temperatura es de 30°C, el crecimiento del tubo polínico tarda hasta llegar a la base del estilo aproximadamente 2 horas y 4 horas desde la polinización hasta penetrar en el ovario, mientras que a 20 °C requiere de 4 horas hasta llegar a la base del estilo y 8 horas para alcanzar el ovario, con 10° se reduce significativamente el crecimiento, en donde se requiere entre 6 a 8 horas para llegar hasta la base del estilo, además de presentar un caso particular que dentro las 24 y 48 horas de evaluación no se presentó proximidad del tubo polínico al óvulo.

Por último, la temperatura tiene un efecto en la viabilidad del óvulo, cuya etapa es el último requisito para garantizar la fecundación. Se ha encontrado que la temperatura entre 10 y 20°C en el cv. Hass garantizan una viabilidad del 100 %, mientras que a 30°C la viabilidad se reduce al 85% (M. L. Alcaraz, 2009). De esta manera las bajas y altas temperaturas tienen un efecto perjudicial sobre el proceso de fertilización, del cuajado y el desarrollo del fruto (Gazit & Degani, 2007).

En este orden de ideas, la abscisión de flores parece estar relacionada con la falta de adhesión y germinación del grano de polen que resulta en la no fertilización del óvulo, que da como resultado una inviabilidad o deterioro del óvulo. Aunque, se presente una polinización efectiva que permita la llegada del polen al estigma y la germinación del grano de polen no significa que se produzca necesariamente la fertilización del óvulo, como lo menciona Gazit & Degani (2007) que la germinación del polen no significa totalmente una viabilidad, lo cual concuerda con lo descubierto por Robbertse et al., (1997), en donde manifiesta que el polen de cv. “Ettinger” almacenado en el estigma no perdió la capacidad de germinar, sin embargo, el tubo polínico no alcanzó el ovario. Otro estudio más reciente realizado por Garner & Lovatt (2016) registraron que más del 70% de las flores que sufrieron caída fueron polinizadas, sin embargo, los granos de polen no germinaron ni produjeron tubos polínicos, lo cual no permite que se dé la fertilización y en consecuencia el resultado es un óvulo degenerado que termina produciendo la caída de flores.

La carga polínica también ha sido estudiada, con el fin de determinar si a mayor número de granos polen depositados sobre el estigma ayudan a alcanzar el óvulo y permitir la fertilización, aunque si bien es cierto para la fecundación del gameto femenino solo se requiere de un grano de polen que alcance el óvulo. Sin embargo, se ha encontrado que el proceso de fertilización responde positivamente a la carga polínica, puesto que un único grano de polen tiene una menor posibilidad de alcanzar el óvulo, mientras cuanto mayor es la densidad de polen en el estigma aumenta significativamente el éxito de que el grano de polen alcance el óvulo. A razón de ello, para garantizar una polinización efectiva se ha sugerido que se deben depositar al menos 20 granos de polen sobre el estigma (Ish-Am, 1994). En un estudio según (Garner & Lovatt, 2016) se demostró que

entre el 75% y 78% de las flores que presentaron abscisión tenían menos de un grano de polen y más del 55% tenían más de un grano de polen. Para garantizar una mayor deposición de polen sobre el estigma se requiere de aliados como los insectos.

Asimismo, se ha incluido que las flores que logran fructificar, presentan un número mayor de granos de polen adheridos en el estigma, germinados y el número de tubos polínicos en crecimiento es mayor en los frutos que llegan a cosecha si se los compara con los frutos que se abscisan (M. L. Alcaraz & Hormaza, 2021). Estudios han demostrado que el crecimiento de los tubos polínicos está fuertemente afectado por el número de granos de polen depositados en el estigma, en donde flores con menos de 5 granos de polen han dado como resultado solo un 4% de fertilización, mientras que con 5 a 19 granos de polen se ha observado un 11%, y alrededor del 80 % con más de 20 granos de polen (Shoval, 1987 citado en M. L. Alcaraz & Hormaza, 2021). De tal forma que el porcentaje de flores que tienden a desarrollar tubos polínicos varían con el número de granos de polen, en donde densidades mayores actúan de forma proporcional, así, 1 grano de polen > 5 granos de polen > 20 granos de polen. Aunque en condiciones de campo, muy pocas flores pueden acumular más de 20 granos de polen, en vista de esto se debe gestionar una polinización efectiva a través de la entomofauna polinizadora.

4.2 Abscisión de Frutos

La abscisión de frutos puede clasificarse en dos tipos, el primero se caracteriza por presentar frutos jóvenes que presentan endospermo, embrión o ambos, en donde se presenta una degeneración, esta se caracteriza por empezar por el extremo micropilar de la nuclea (Gazit & Degani, 2007) o también en frutos de mayor tamaño (2-17 g) empezando por la capa interna de la cubierta seminal, derivada de la nuclea, y se extiende

por toda la cubierta y por el embrión (Davenport & Manners, 1982). La mayoría de estos frutos se abscisan, aunque algunos de ellos se pueden desarrollar sin semilla (Gazit & Degani, 2007) pero resultan ser insignificantes en la producción. El segundo tipo de frutos que se abscisan, se caracteriza por presentar frutos con un ovario hinchado, pero no desarrollan embrión ni endospermo. Estos frutos no fertilizados caen del árbol en las 4 semanas posteriores a la polinización (Gazit & Degani, 2007)

Además, la abscisión de frutos se caracteriza por presentarse en dos épocas en un ciclo productivo, que inicia con la floración y termina con la maduración del fruto; la mayor tasa de abscisión de frutos ocurre generalmente un mes después del cuajado y continúa a una tasa menor y finaliza cuando el fruto casi ha alcanzado la madurez (Gazit & Degani, 2007). En condiciones del subtrópico en California y en condiciones del trópico, se ha encontrado que se presentan dos periodos de alta intensidad de abscisión en diferentes momentos de desarrollo del fruto, por lo que se denomina caída temprana y caída tardía.

En el cv. Hass la caída de frutos jóvenes se ha encontrado que se abscisan aquellos que no tenían semilla o sufrían algún tipo de degeneración (Biran, 1979, citado en Gazit & Degani, 2007) en contraste Gazit & Gafni (1986) citado en Gazit & Degani (2007) reportaron que todos los frutos carentes de embrión y endospermo cayeron en las primeras 3 semanas después de la antesis. Por otra parte, según (Canet-Climent, 2021) en la primera semana después de la antesis el 80% de los frutos caídos proceden de flores polinizadas, pero no fecundadas, mientras que un mes después de la antesis todos los frutos caídos han sido fecundados y presentan un normal desarrollo del embrión y del endospermo.

Garner & Lovatt (2016) registraron que la mayoría de los frutos jóvenes que sufrieron caída temprana se produjo en las primeras 15 semanas después de la antesis, en cambio la caída tardía se presentó después de la semana 16; en contraste (Whiley, 1988 citado en Bernal, 2016) menciona que el fruto en la caída temprana tiene un tamaño menor al 10% del tamaño final, mientras que la segunda caída del fruto se presenta cuando el fruto tiene un tamaño entre el 10 y 40 % del tamaño final.

En un estudio realizado por (Bernal-Estrada et al., 2020), encontraron que en ocho localidades evaluadas en el departamento de Antioquia, únicamente se presentó un caída de frutos significativa y cerca del 80% tenían un tamaño inferior a 1 cm de diámetro, lo cual concuerda con lo reportado en diferentes investigaciones que se han realizado en condiciones climáticas diferentes. Esto hace suponer que la abscisión frutos responde a factores genéticos y coevolutivos que resultan en la caída de frutos unido con la deficiente polinización y la falta de fecundación del óvulo.

Por otra parte (Garner & Lovatt, 2016), en su investigación informan que el 68 y 69% de los frutos que sufren caída, se deben a problemas en el desarrollo de un óvulo degenerado. Mientras que la caída tardía se debe a condiciones ajenas al desarrollo de un embrión inviable, ya que en esta etapa los frutos ya presentan cotiledones bien desarrollados, más bien se ha sugerido que la caída tardía se debe a procesos hormonales y desabastecimiento de fotoasimilados que promueven la abscisión de la fruta.

Anteriormente se creía que la caída de flores y frutos era el resultado de la alternancia que determinaba la carga de cosecha en un año, sin embargo Garner et al., (2008) en su investigación determinaron que la carga de fruta en un año no influye en la caída de flores y frutos del siguiente año. La abscisión de frutos en un año “on” fue de 405

frutos árbol, mientras que en un año “off” fue de 54 frutos al día; el comportamiento de abscisión de flores tuvo el mismo comportamiento, es decir la alternancia no es la causante de la abscisión de flores y frutos, por lo cual la caída de flores y frutos supusieron que pueden ser ocasionados por factores fisiológicos y genéticos.

Romero-Sánchez (2012) determinó la abscisión de estructuras reproductivas en los dos ciclos productivos año “on” y año “off” sobre la variedad Lorena cultivada en el departamento de Tolima, en donde observo un comportamiento similar, tanto en el año “on” como en el año “off”, el primer pico de abscisión se presentó cerca de los 20 días después de la antesis, el segundo pico de abscisión para el año “on” se presentó a los 61 días después de la antesis, mientras que para el año “off” se presentó a los 49 días después de la antesis.

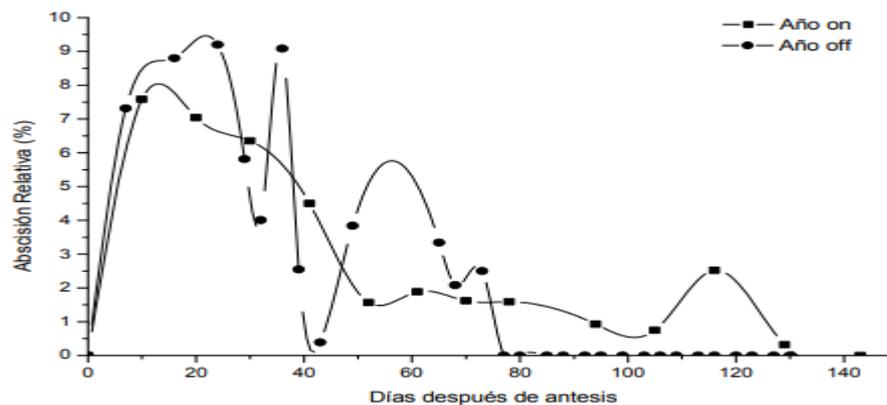


Figura 2. Abscisión relativa de estructuras reproductivas en inflorescencias en árboles de aguacate variedad Lorena durante dos ciclos de producción (Romero-Sánchez, 2012).

Aunque la alternancia no puede influir en la abscisión de flores y frutos, si tiene un efecto de detrimento en los rendimientos del siguiente año, ya que puede ocasionar una menor floración del año siguiente, disminución de carbohidratos, disminución de

brotos vegetativos, entre otros. Esto conduce a obtener porcentajes de cuajamiento menor, por tal motivo, entre mayor sea la floración mayor será la producción.

En el estudio realizado por Romero-Sánchez (2012), encontró que en el año “on” se produjo en promedio 108.318 flores árbol⁻¹ con un cuajado inicial del 5,39 % y el cuajado final fue de 0,15 %, lo cual representa una abscisión de estructuras reproductivas del 99,84 %, esto significó una producción de 168 frutos árbol⁻¹, mientras que en el año “off” el promedio de 94.685 flores árbol⁻¹ con un cuajado inicial del 2,79 % y el cuajado final fue de 0,052%, esto representa una abscisión de estructuras reproductivas del 99,94%, lo cual significó una producción de 50 frutos árbol⁻¹. Esto permite evidenciar que en un año de baja producción se presenta una menor cantidad de flores y un menor porcentaje de cuajamiento tanto el inicial como el final.

4.3 Competencia por Carbohidratos

El cultivo de aguacate se caracteriza por presenta flujos de crecimiento rítmicos, es decir los flujos de crecimiento vegetativo coinciden con los flujos de crecimiento de raíces, con el flujo de floración y desarrollo del fruto (Bernal, 2016; Schaffer & Whiley, 2007), de modo que no cabe duda que el destino de los fotoasimilados (carbohidratos) sufre una competencia, disminuyendo así el tamaño del fruto en el llenado y además puede provocar la abscisión de la fruta lo cual representa un menor cuajamiento.

Bernal et., al (2016) describe el cv. Hass en el trópico alto andino colombiano, en cuatro localidades del departamento de Antioquia, se ha encontrado que existe una influencia ambiental en el comportamiento fenológico. En las cuatro localidades se presentaron diferentes flujos de floración con una duración e intensidad diferente en cada

localidad pero que se desarrolla en el primer semestre del año mostrando así un comportamiento cíclico; esto implica floraciones sucesivas y permite un comportamiento fenológico que origina la presencia de frutos de diferentes edades y cosechas en distintas temporadas. Las localidades que se evaluaron fueron Rionegro, Jericó y Támesis, que expresaron dos flujos florales, y Entreríos que presentó tres flujos de floración, durante todo el período de evaluación (Figuras 3 - 6).

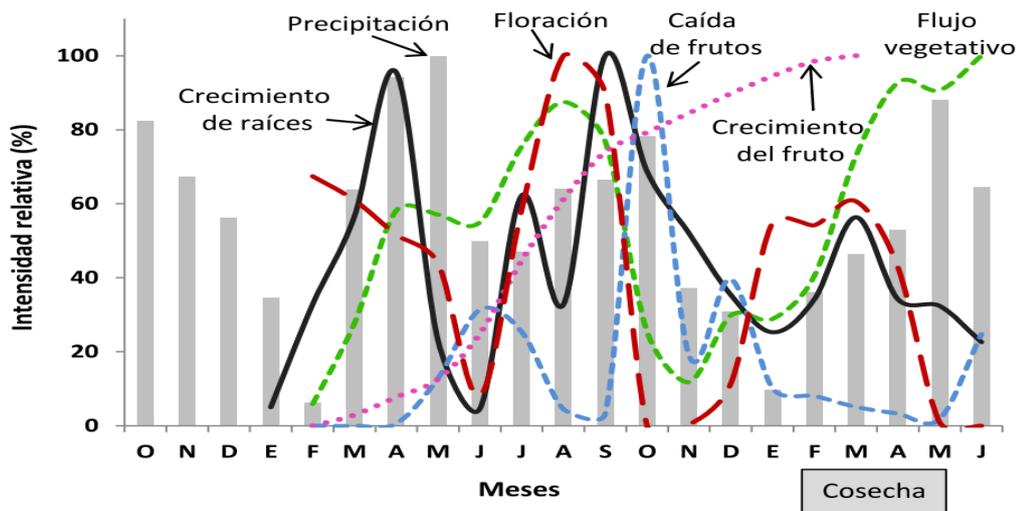


Figura 3. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones de Entreríos, Antioquia, Colombia (2,420 msnm) (2011-2013). Fuente (Bernal, 2016).

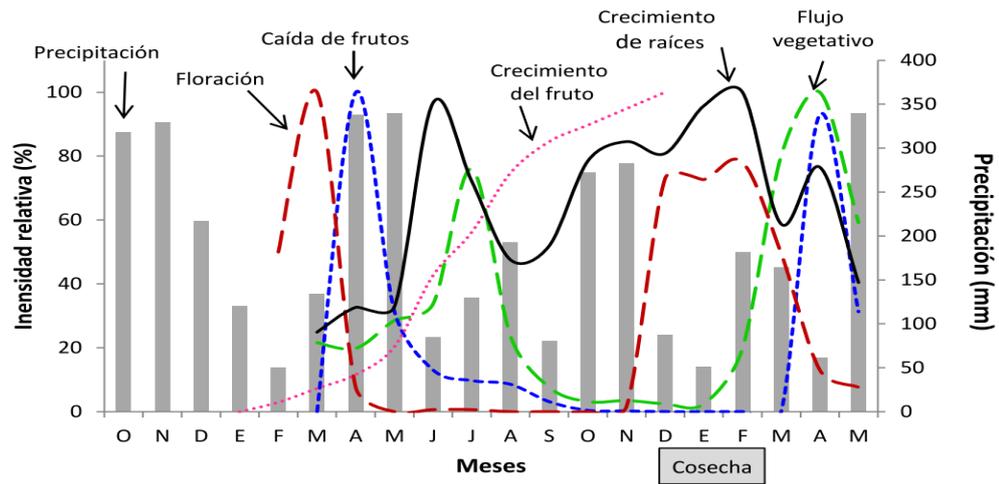


Figura 4. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones del municipio de Rionegro, Antioquia, Colombia (2,420 msnm) (2011-2013). Fuente (Bernal, 2016)

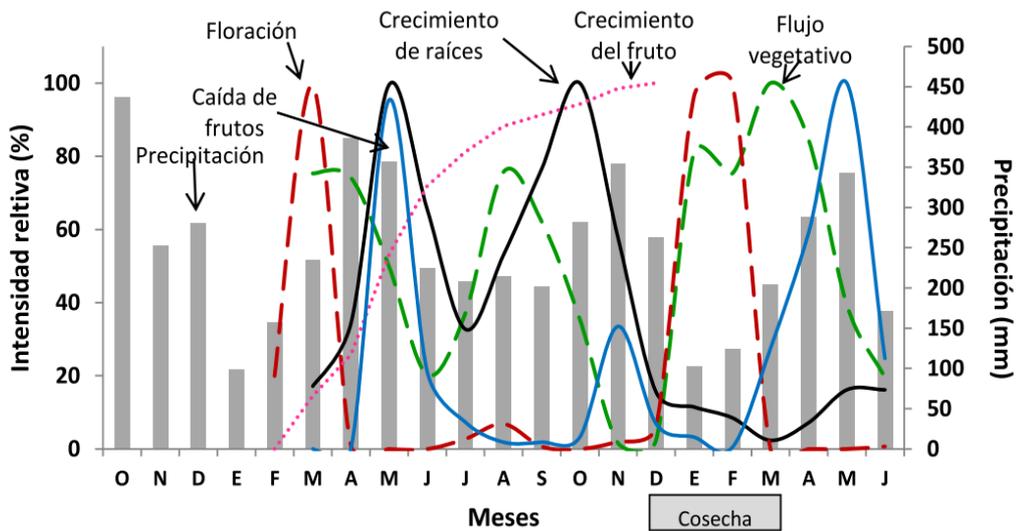


Figura 5. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones de Jericó, Antioquia, Colombia (1,900 msnm) (2011-2013). Fuente (Bernal, 2016)

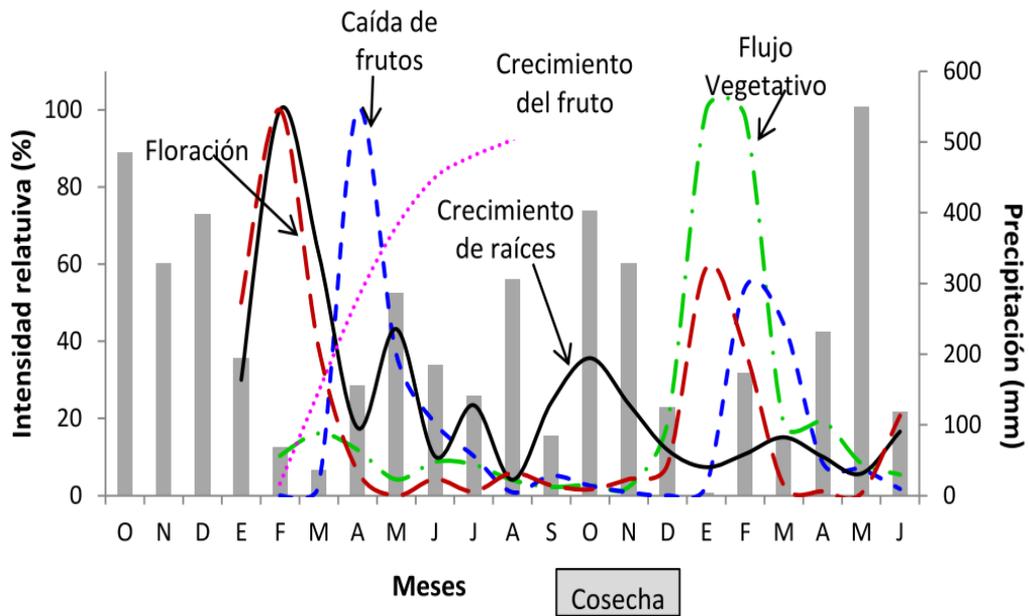


Figura 6. Fenología de árboles de aguacate cv. Hass bajo condiciones de Támesis, Antioquia, Colombia (1,340 msnm) (2011-2013). Fuente (Bernal, 2016)

El inicio de la floración se desarrolla cuando cambia a temporada de bajas precipitaciones (verano) pero antecedido por 4 meses de lluvia; para el caso de los flujos vegetativos y crecimiento de raíces, es muy variable y pueden presentarse flujos continuos u alternantes, los cuales se presentan con la ocurrencia de las lluvias (Bernal, 2016). En su investigación, informa que la máxima caída de frutos se presentó cuando los diferentes flujos de crecimiento coincidieron los unos con los otros, por lo cual, se plantea que la planta ajusta el número de frutos según su capacidad de nutrirlos.

El contenido de azúcares y carbohidratos han sido el tema de numerosas investigaciones que han buscado determinar su importancia en el éxito de la floración y el cuajamiento, debido a su correlación con la germinación, el crecimiento del tubo polínico en el pistilo y la fertilización. Un estudio realizado por Alcaraz et., al (2016),

encontró que los estilos tenían mayor concentración de carbohidratos en las flores que llegaron a ser fertilizadas en comparación con las flores que no lograron ser fertilizadas; este evento se lo ha atribuido al complejo que forma el perseitol con el boro a través del conducto del floema, favoreciendo su transporte hasta los órganos reproductores de la flor, cuyos elementos trabajan de forma sinérgica (Hapuarachchi et al., 2022). De este modo, la caída prematura de las flores o frutos se relacionan con el manejo de la fertilización del óvulo y el contenido de carbohidratos durante el proceso de polinización y viabilidad del polen (Hapuarachchi et al., 2022).

La competencia por carbohidratos se ha planteado desde la perspectiva de un menor amarre de fruto en las inflorescencias indeterminadas en comparación con las determinadas tienden a ser más productivas y se ha encontrado que las inflorescencias determinadas tienen un mayor porcentaje de frutos cuajados por flor (0,1%) respecto a las indeterminadas (0,05%) (Salazar-García & Lovatt, 1998; Thorp et al., 1995), aunque las inflorescencias determinadas no se desarrollan con mucha frecuencia.

En las inflorescencias determinadas el fruto se encuentra acompañando por hojas maduras provenientes del ciclo anterior, donde todo el sistema asimilatorio está completamente desarrollado al momento de antesis y el cuajado del fruto, mientras que en inflorescencias indeterminadas el fruto en desarrollo se encuentra acompañado por hojas del nuevo flujo de crecimiento vegetativo (Dixon et al., 2007; Rosales et al., 2003). En contraste, se produce una competencia con el crecimiento vegetativo, en las primeras etapas en las que las hojas aún no son fotosintéticamente activas, las cuales se desarrollan en el momento en que las inflorescencias están amarrando frutos. De tal manera que

provocan una competencia por carbohidratos, agua y/o reguladores de crecimiento, entre otros (Teliz, 2000 citado en Bernal, 2016).

Por tal motivo, los carbohidratos juegan un papel importante, cuya cantidad y disponibilidad se relaciona con el ciclo fenológico y las reservas de almidón en el tronco, que es el lugar donde se almacenan temporalmente y se distribuyen a las demás partes del árbol (hojas, raíces, flores y frutos). En un estudio se encontraron que la máxima reserva de almidón (carbohidratos) se presenta cuando el crecimiento es lento (Whiley & Wolstenholme, 1990), es decir durante el periodo de reposo invernal que se presenta en las condiciones del subtrópico en donde las temperaturas llegan a descender considerablemente entre temporadas. Por otra parte, las reservas de almidón descienden rápidamente durante la floración y el cuajado y alcanzan su concentración más baja durante el período de caída de frutos en verano antes de aumentar hasta su máximo valor en invierno.

De este modo cuando el crecimiento es rítmico produce una competencia por los carbohidratos que reducen la capacidad de llegar a los órganos que más lo requieren en una etapa determinada, por ejemplo, el desarrollo de los frutos y floración son muy susceptible a la competencia por fotoasimilados, lo cual conlleva a una abscisión de frutos para ajustar la carga de frutos que puede soportar el árbol, en donde los frutos en etapa de desarrollo más temprana son más susceptibles a dicha competencia (Gazit & Degani, 2007).

Asimismo, el crecimiento vegetativo tiene dos pros uno a favor y uno en contra, el primero contribuye con la formación de fotoasimilados y los almacena como carbohidratos, es decir si el desarrollo es bajo puede afectar la actividad fotosintética que

resulta en bajas reservas acumuladas. La otra actividad del crecimiento vegetativo, se relaciona con uno de los principales factores que afecta la acumulación de reservas de carbohidratos, que hace referencia al crecimiento vegetativos vigoroso y prolongado que puede retrasar la acumulación de carbohidratos para la siguiente temporada al entrar por competencia con la etapa de floración y desarrollo del fruto (Whiley & Wolstenholme, 1990).

La carga de cultivo y la persistencia del fruto en el árbol por una cosecha tardía también afecta la acumulación de carbohidratos, el efecto consigo puede retrasar la floración y reducir la intensidad de la floración, por consiguiente, la cosecha del siguiente año es significativamente inferior (Whiley & Wolstenholme, 1990). Otro factor que limita la acumulación de carbohidratos se asocia con la pudrición radicular causada por *Phytophthora cinnamomi*, considerada una de la enfermedad más importante y destructiva del aguacate en el mundo, debido a que puede afectar árboles en todas las etapas de desarrollo, incluyendo las plantas de vivero (Pegg et al., 2007), se ha encontrado que afecta la acumulación de carbohidratos de dos maneras; la primera, interrumpe la fotosíntesis, cuya función es la fuente de carbohidratos, y destruye las raíces alimentadoras, lo cual conduce a un proceso de actividad regenerativa que busca combatir la enfermedad, sin embargo, termina agotando las reservas de los árboles (Whiley & Wolstenholme, 1990).

4.4 El ácido abscísico

La abscisión de flores, frutos y hojas, ha sido muy estudiado en diferentes cultivos de importancia económica como el algodón, el arroz, los cítricos, el aguacate y frutales de hoja caduca (Lira, 2007). Esto ha permitido relacionar la abscisión de hojas, flores o

frutos con el ácido abscísico, cuyo mecanismo consiste en el debilitamiento de la pared celular en peciolo o pedúnculo que ocasiona su caída (E. Alcaraz, 1992). Garner & Lovatt (2016), dan a conocer que los frutos que se abscisan presentan mayores concentraciones de ácido abscísico (ABA) con respecto a los frutos que persisten en la planta de aguacate y han encontrado que la concentración de ABA, aumenta como se desarrolla el fruto, es decir el ABA se relaciona más con la caída tardía del fruto. Por consiguiente, se sugiere, que la caída temprana de frutos es el resultado de una falta de germinación del polen y ausencia de fertilización del óvulo. Esta respuesta de la planta a la acción a los reguladores de crecimiento, varían con la especie y la variedad, de igual forma cambia con las condiciones ambientales (E. Alcaraz, 1992; Lira, 2007).

4.5 Polinización

El proceso de polinización se asocia con una escasa fecundación del óvulo, que es el resultado de un deficiente transporte del polen hasta el estigma, tiempo reducido de receptividad del polen, escasa germinación del tubo polínico en el pistilo (Canet-Climent, 2021), por consiguiente un bajo porcentaje de cuajamiento que determina la productividad. De allí, uno de los retos para el manejo de insectos polinizadores, yace en la floración que caracteriza al aguacate por presenta una dicogamia y protoginia que hace difícil el proceso de polinización. Por lo tanto, a razón de que la floración del aguacate presenta una dicogamia se hace necesario de agentes que ayuden con la transferencia del polen al estigma de las flores en fase femenina, entre ellos los más importantes son los insectos (Gazit & Degani, 2007).

Aunque el concepto de dicogamia sincrónica aplica para algunas regiones subtropicales y mediterráneas y es estrictamente acentuado, es decir el grupo floral A abre

en la mañana como flor femenina hasta el mediodía con el estigma receptivo y al día siguiente en la tarde abre como flor masculina con las anteras dehiscentes, y el grupo floral B abre el primer día por la tarde como flor femenina y al día siguiente por la mañana como flor masculina y está determinado su comportamiento por las condiciones ambientales (Lesley & Bringham, 1951; Stout, 1923), sin embargo, se ha encontrado que la floración no es en un 100% sincrónica, lo cual posibilita el cruzamiento entre el mismo cultivar. Según (Hapuarachchi et al., 2022) en el cv. Hass encontraron que la mayoría de frutos que llegaron a cosecha fueron polinizados por el mismo cultivar, lo cual demuestra que existe una alta autocompatibilidad y por tanto este cultivar no necesariamente requiere de una variedad que tenga el tipo de floración opuesta. No obstante, no aplica para todos los cultivares, ya que en condiciones del subtrópico la variedad Fuerte, requiere necesariamente de un árbol polinizador para aumentar su producción.

Caso contrario en condiciones del trópico la sincronía floral no ocurre con tal exactitud, por tal razón en esta región es más común que se produzca un traslape entre ambas fases, masculina y femenina de la floración que permiten llevar a cabo la polinización (Bernal & Díaz, 2020), además depende del tipo de cultivar. Se ha informado que la mayoría de los cultivares que se cultivan comercialmente responde a un comportamiento de traslape de por lo menos 3 horas (Ish-Am, 2004). Asimismo, esto posibilita no utilizar árboles de diferente grupo floral como polinizadores, y por ello se puede encontrar plantaciones con un único cultivar.

En diferentes lugares en donde las condiciones ambientales favorecen la sincronía de la floración, se ha sugerido por diversos autores que para aumentar los rendimientos se necesitan árboles que presenten tipo de floración A y B, para mejorar el proceso de

polinización, puesto que cuando la flor del tipo A abre por la mañana en estado femenino, el de tipo B, abre por la mañana, pero en estado masculino. Por esta razón, se requiere necesariamente de cultivares autocompatibles, es decir que presenten el grupo floral opuesto, y que la fase floral coincida para que se favorezca la polinización cruzada, aunque, el éxito de la polinización cruzada también depende del cultivar polinizador y de las condiciones ambientales (Ish-Am, 2004). Por tal motivo la polinización cruzada es crucial cuando no hay traslape entre la apertura femenina y la apertura masculina y cuando la autopolinización en fase masculina no es efectiva (Gazit & Degani, 2007).

Como ya se mencionó anteriormente, para que se inicie el proceso de fertilización del óvulo en la flor, se necesita que el polen llegue hasta el estigma cuando este está receptivo. El polen puede ser transferido por tres rutas; el primero se puede presentar en flores individuales (autopolinización) que puede ocurrir por acción del viento, la lluvia o meramente por la gravedad y solo puede ocurrir cuando las flores se encuentran en fase masculina; el segundo mecanismo de llegada se da por medio de la polinización cerrada entre flores del mismo árbol o cultivar, este mecanismo se presentan cuando hay traslape entre la fase femenina y masculina, y por último por medio de la polinización cruzada entre árboles con diferente grupo floral (Gazit & Degani, 2007; Ish-Am, 2004). De este modo la autopolinización y la polinización cerrada conducen a una autofertilización.

En condiciones del trópico las plantaciones de aguacate se encuentran sembradas en su mayoría con un único cultivares del mismo grupo floral, con ello la autopolinización y la polinización cerrada juega un papel importante en el trópico. En este sentido el traslape entre la floración permite la transferencia de polen desde las flores en fase masculina a las flores en fase femenina y es realizada casi exclusivamente por los insectos

(Gazit & Degani, 2007). El traslape florar se ha encontrado que ocurre comúnmente cuando las condiciones climáticas cambian repentinamente, como el caso de días soleados con presencia de lluvias ocasionales, situación que es muy común en el trópico (Bernal & Díaz, 2020). Además, las condiciones ambientales con alta humedad favorecen la autopolinización en las condiciones del trópico, ya que el tiempo de receptividad es mayor, si se lo compara con las condiciones mediterráneas donde no es muy común la autopolinización debido a que los estigmas permanecen secos y no receptivos durante la apertura floral en etapa 2 (fase masculina) o las condiciones en los estilos no facilita el crecimiento del tubo polínico (M. L. Alcaraz, 2009; Davenport, 2019)

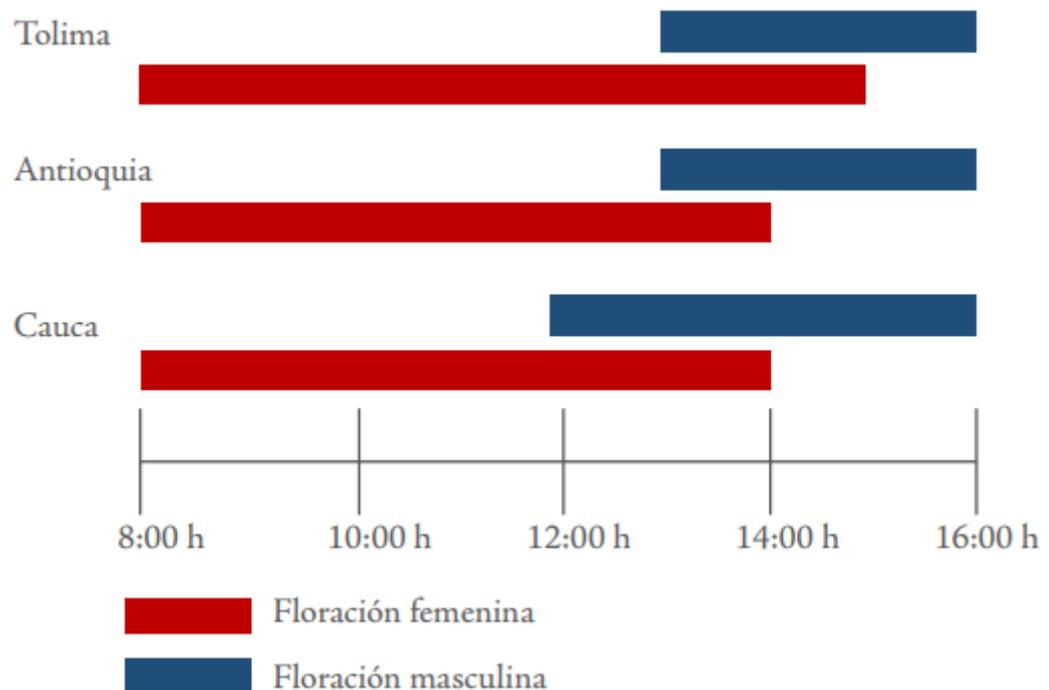


Figura 7. Comportamiento de la floración diaria en *P. americana* cv. Hass en los departamentos de Antioquia, Cauca y Tolima (Carabalí-Muñoz et al., 2017).

En Colombia, en un estudio realizado por Carabalí-Muñoz et al., (2017) sobre el cv. Hass cultivado en los departamentos de Antioquia, Cauca y Tolima, mostraron un comportamiento de traslape, en donde coincidió la flor femenina con el estigma receptivo y la flor masculina con las anteras dehiscentes. Este periodo de traslape fue variable en el tiempo, pero tuvo la misma intensidad en el departamento de Tolima y Cauca que fue de 2 horas, mientras que en el departamento de Antioquia fue de 1 hora (figura 7). Este comportamiento parece responder a las condiciones ambientales que a su vez pueden favorecer o dificultar la ocurrencia del traslape de la floración.

En particular, el cultivo de aguacate puede presentar una autocompatibilidad alta que permite obtener cosechas significativas, no obstante, requiere de aliados que promuevan el proceso de polinización. En efecto los insectos, representan este grupo y cumplen con la función de trasladar los gametos masculinos que se encuentran contenidos en el polen y lo depositan sobre el estigma (Troiani et al., 2017). De acuerdo con Hapuarachchi (2022), las abejas melíferas son las principales visitantes de las flores en los huertos de aguacate.

(Garner & Lovatt, 2016) en su investigación determinaron que la abscisión de flores se debe a la no germinación del polen a lo largo del estigma, por lo que no se presenta la fertilización del óvulo o el resultado es un óvulo degenerado que no tiene viabilidad, además se comprobó que la abscisión de las flores no se debió a la alternancia de la producción. En concordancia el proceso de fertilización del óvulo está determinado por el tiempo en el que permanece receptivo el estigma, en donde se debe realizar la adhesión y germinación del polen, y para ello se necesita del proceso de polinización y de mediadores como los insectos, ya que por medio de su requerimiento alimentario

llegan hasta las flores en busca de néctar o néctar y polen (Gazit & Degani, 2007), visitan tanto flores femeninas como masculinas, y de esta forma puede polinizar las flores en ambos estados sexuales. Además, los insectos polinizadores se caracterizan por desplazarse de una flor a otra en periodos de tiempo muy cortos, lo cual representa una alta capacidad de transportar eficientemente el polen hasta el estigma. Boldingh et al., (2016) destacan que el mejor momento de receptividad del estigma se presenta en la mitad del tiempo en el que permanece abierta la flor en fase femenina, sin embargo, la máxima germinación se registra en las primeras horas de la mañana y justo antes de cerrar las flores en etapa femenina. Por otra parte, la germinación del polen se reduce cuando éste es recolectado por los insectos antes de que las anteras estén dehiscentes (Boldingh et al., 2016).

4.5.1 Efecto de la Carga Polínica.

Por otra parte, la caída de flores se ha asociado con el número de granos de polen que se depositan sobre el estigma, ya que a mayor densidad aumenta la adhesión del polen en el estigma y en consecuencia la germinación permite el crecimiento del tubo polínico; aunque se ha determinado para que ocurra la fecundación del gameto femenino solo se requiere de un grano de polen que alcance el óvulo, sin embargo se ha encontrado que el proceso de fertilización responde positivamente a la carga polínica, puesto que un único grano de polen tiene una baja posibilidad de fertilizar el óvulo, mientras cuanto mayor es la densidad de polen en el estigma aumenta significativamente el éxito de que el grano de polen alcance el óvulo. A razón de ello, para garantizar una polinización efectiva se ha sugerido que se deben depositar al menos 20 granos de polen sobre el estigma (Ish-Am, 1994). Garner & Lovatt (2016), mencionan en su investigación que entre un 75 a 78 %

de flores que se abscisaron tenían al menos un grano de polen en el estigma y cuando aumenta la carga polínica aumenta el éxito de la floración que puede generar una fertilización; sin embargo menos de 20 granos de polen también generan el crecimiento del tubo polínico en el pistilo.

Asimismo, la polinización y la carga polínica parecen responder de forma positiva al aumento del éxito de la floración y con ello un porcentaje de cuajado final mucho mayor, que representa una mayor producción en el aguacate. En estudios realizados con polinización manual que ha sido un mecanismo utilizado principalmente para el mejoramiento genético en el que se busca obtener una planta que contenga las características de la planta madre con fines agronómicos, se ha encontrado según (M. L. Alcaraz & Hormaza, 2014), que las flores que fueron polinizadas manualmente entre el 2,8 a 3,1 % produjeron frutos que llegaron a madurez fisiológica. Además, mencionan que la floración exitosa depende del tipo de inflorescencia, en donde las de tipo determinado son más productivas que las del tipo indeterminado; se ha presentado que llegan a producir frutos entre un 3 y 2,2 %, respectivamente.

4.5.2 *Insectos Polinizadores en el Aguacate.*

Dentro de este orden de ideas, los insectos polinizadores juegan un papel importante en el proceso de polinización. Entre el insecto que mayor se hace referencia a nivel mundial es a la abeja (*Apis mellifera*), que debido a sus características morfológicas la convierten en un excelente polinizador. Esto se debe principalmente, a su gran capacidad de transportar polen en su cuerpo y al número de visitas que realiza en las flores, en donde se ha encontrado que la duración de visita a las flores no es más de diez segundos, además se desplaza a distancias cortas y superiores a los 250 m, el proceso de

pecoreo lo realiza con mayor abundancia y frecuencia en el periodo comprendido entre las 10:00 de la mañana hasta las 2:00 de la tarde en el cultivo de aguacate (Carabalí-Muñoz et al., 2017; A. E. Muñoz et al., 2021). También se ha demostrado que su participación relativa de visita en la flores de aguacate puede ser mayor al 80%, aunque depende de la biodiversidad de insectos que se encuentren en el cultivo; (Carabalí-Muñoz et al., 2017), señalan que en tres localidades de los departamentos de Cauca, Tolima y Antioquia encontraron una participación relativa de las abejas nativas y melíferas con un 30%.

De la misma forma, insectos pertenecientes a otros órdenes y familias han sido poco estudiados, pero no dejan de ser importantes en el cultivo de aguacate, ya que en condiciones tropicales la riqueza de insectos en comparación con las regiones subtropicales es muy amplia. Carabalí-Muñoz et al., (2017), en su estudio de insectos polinizadores del cultivo de aguacate en Colombia, cultivados en los departamentos del Cauca, Tolima y Antioquia, ha permitido evidenciar que los principales ordenes que visitan las flores del aguacate son: Díptera, Hymenoptera, Coleóptera y Hemíptera. En cuanto a las familias con mayor abundancia en las tres localidades se ha registrado a Syrphidae (Díptera), Tachinidae (Díptera) y Vespidae (Hymenoptera), que han resultado con una colecta del 70% sin incluir a las abejas. Este grupo representa una importancia inmensurable en el cultivo de aguacate cultivado en las regiones tropicales de Colombia, debido a que conforman una gran capacidad de polinización, debido a su comportamiento que puede ser diferente al de las abejas melíferas.

Los insectos como los Díptera comúnmente denominados moscas y las abejas nativas, comprenden unos hábitos diferentes al de las abejas melíferas, que pueden

complementar el proceso de polinización en el aguacate; como lo hace notar Carabalí-Muñoz et al., (2017) que las abejas nativas realizan la polinización en dos fases de la floración mientras que las abejas melíferas se concentran en un periodo determinado, lo cual posibilita que las flores sean visitadas en diferentes momentos logrando así una mayor polinización y transferencia de polen hasta el estigma. Es así, que se debe permitir aprovechar la riqueza de insectos polinizadores que se encuentran en las regiones tropicales, esto permitirá potencializar la polinización que puede resultar en mayores producciones.

4.5.3 *Hábitats para los insectos.*

En efecto, alternativas como el uso de coberturas entre los surcos de las plantaciones de aguacate han sido implementadas como medio de conservación y con el fin de atraer insectos polinizadores que realicen el proceso de polinización y así aumentar los rendimientos. En lugares donde la actividad de los insectos es muy baja se ha sugerido el establecimiento de 9, 5 colmenas de abejas por hectárea en épocas de floración para aumentar los rendimientos (A. E. Muñoz et al., 2021). El manejo de coberturas perennes nativas en Chile ha demostrado que promueve la participación de los dípteros en la polinización de los árboles que se encuentran cerca de las coberturas nativas (A. E. Muñoz et al., 2021). Además, la actividad de los insectos ha logrado incrementar el amarre de frutos en un 20% (Carabalí-Muñoz et al., 2017), mientras que el uso de coberturas nativas ha logrado un aumento en la actividad de los insectos polinizadores, en consecuencia el porcentaje de cuajamiento es mayor; (A. E. Muñoz et al., 2021), encontró que el porcentaje de cuajamiento se aumentó en un 60,5% en los árboles que tenían cerca coberturas de especies nativas a diferencia de los árboles que no presentaban coberturas.

En este orden de ideas el manejo de coberturas de arvenses en medio de las calles de las plantaciones de aguacate puede contribuir a la conservación de insectos nativos y aumenta la diversidad de los mismos, puesto que estos en condiciones del trópico tiene un papel más importante que el de las abejas melíferas, ya que han coevolucionado de manera conjunta.

Uno de los principales retos que se tiene en los cultivos de aguacate es la conservación de insectos y hábitats, ya que las actividades del hombre y las prácticas que se realizan dentro del cultivo para el control de insectos fitófagos y arvenses han ocasionado la degradación y pérdida de hábitats de los insectos y han cambiado su comportamiento, consigo la alteración de la cadena trófica produce un desequilibrio natural que afecta el comportamiento productivo del aguacate. Por tal motivo, el manejo de coberturas representa un punto a favor de la conservación de los insectos y aumento de la posibilidad de mejorar los rendimientos. Para ello, se requiere de la elección adecuada de las coberturas, en donde se debe tener en cuenta diferentes criterios, como, por ejemplo, que las flores sean menos atractivas para los insectos polinizadores, pero que sirvan de hábitat para los insectos (Carabalí-Muñoz et al., 2017; A. Muñoz, 2022). Esto se debe a que las abejas prefieren las flores más atractivas que las del aguacate, ya que con éstas no han evolucionado, prefiriendo las flores de los cítricos, itchis (Gazit & Degani, 2007) y flores pertenecientes a la familia Asteraceae.

4.6 Alternancia.

La alternancia también llamada porte bienal o desigual es la tendencia que tienen el árbol de aguacate a presentar un año de alta producción denominado “on” y un año de baja producción denominado “off”, es decir el aguacate desarrolla una reciprocidad,

cuanto mayor es la producción en un año, menor es la producción en el siguiente año (Hodgson & Cameron, 1935). El año “on” se caracteriza por presentar una intensa floración y mayor porcentaje de cuajamiento, mientras que un año “off” ocurre todo lo contrario, la floración es menor, el porcentaje de cuajamiento es bajo y los rendimientos son inferiores a los de un año “on” (Hodgson & Cameron, 1935; Rebolledo & Romero, 2011). Garner & Lovatt (2016), demostraron que los frutos que llegan a cosecha en un año de alta producción “on” son hasta 10 veces mayor al de un año de baja producción “off” (Garner & Lovatt, 2016).

La alternancia está relacionada con la disminución de carbohidratos, cuyo efecto influye en la producción, De modo que, cuando el año es de baja producción se da lugar a una mayor disponibilidad de carbohidratos para el siguiente año, lo cual representa en una mayor producción; caso contrario ocurre cuando la producción es alta, que disminuye la disponibilidad de carbohidratos que terminan en una baja producción el siguiente año. En la figura 8. se muestra el comportamiento para el cv. Hass, en donde para el año 1 hubo una carga de fruta baja (10-15 kg árbol) que se tradujo en un 18% de almidón que favoreció una alta producción para el año 2 (65 kg árbol). Sin embargo, en el año 2 se nota que a mayor carga de frutos mayor es el requerimiento de carbohidratos, por lo cual se produce un agotamiento que resulta en una baja disponibilidad de almidón para el año 3, que en efecto produce un bajo rendimiento (5 Kg árbol). Esto ha tratado de justificarse por medio de la menor acumulación de hidratos de carbono en las yemas florales (almidón), debido al alto consumo de hidratos de carbono por los frutos que no los dejan disponibles para la formación de almidón en las yemas y finalmente las yemas no logran ser florales y terminan siendo vegetativas (Fichet, 2021).

Una de las desventajas que tiene la producción alternante es que impacta de forma negativa la economía del productor, ya que la producción no es estable ni permanente en el tiempo, que conlleva a una dificultad en la comercialización y aún más cuando los diferentes mercados exigen estabilidad en las entregas de la materia prima; además se incluye los bajos ingresos que pueden llegar a ser en un año de baja producción “off”. Si bien es cierto, el año de baja producción se caracteriza por producir frutos de mayor tamaño (calibre), que comúnmente son pagados a un mayor precio, sin embargo, en la mayoría de los casos no alcanza siquiera a pagar el retorno de la inversión, afectando de manera directa a los productores y sus familias por los bajos o limitados ingresos (Lovatt, 2010).

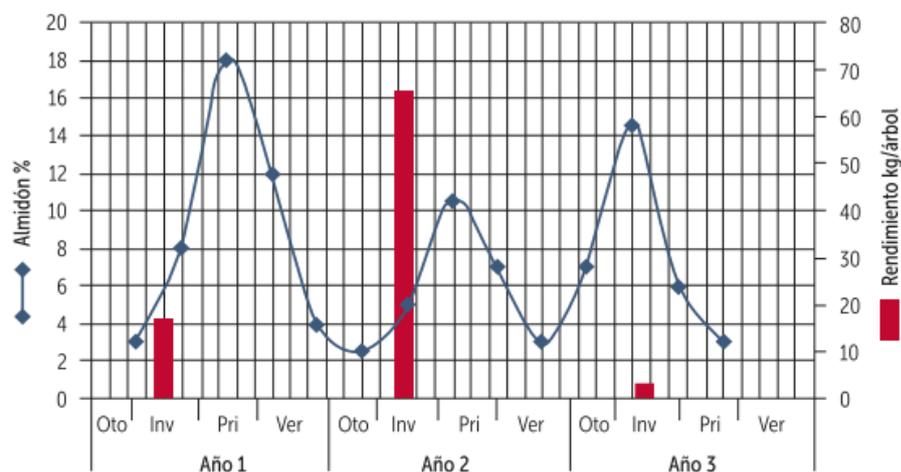


Figura 8. Distribución de almidón y su relación con la producción en el aguacate cv. Hass. Adaptado de Scholefield et al., 1985, tomado de (Fichet, 2021).

4.6.1 Factores que predisponen la alternancia.

La alternancia es recurrente a los eventos climáticos adversos como las heladas, temperaturas bajas o altas que sobrepasan las temperaturas marginales, las cuales están

dadas por la adaptación del cultivar, el estrés hídrico, la abscisión de flores y frutos, entre otros (Gazit & Degani, 2007). Estos factores pueden actuar de forma independiente o correlacionarse los unos con los otros, pero el destino será el mismo, es decir conducen a un año de baja producción “off” que da inicio a la alternancia. Una vez iniciada la alternancia los ciclos “on” y “off” son efecto de la carga de cosecha que influye de manera directa en la intensidad de la floración (Lovatt, 2010). Hodgson & Cameron (1935), encontraron que en los años de buena actividad productiva se desarrollaron con temperaturas que estaban dentro del promedio establecido, mientras que en los años de baja producción se presentaron cuando las temperaturas estaban bajo el promedio establecido para el cultivar Fuerte en condiciones de California. Esto concuerda con lo informado por Lovatt (2010), en donde hace énfasis en los factores climáticos que afectan el comportamiento fisiológico de la planta de manera negativa que en consecuencia resulta en un periodo de baja cosecha lo cual da inicio a una marcada alternancia.

La alternancia también puede ser provocada por déficit de nutrientes, manejo inadecuado de la poda que puede resultar excesiva, en consecuencia, se induce a un crecimiento intenso de brotes vegetativos que compiten con los flujos florales, flujo de raíces y de crecimiento del fruto, e inclusive una poda excesiva no llega a recuperarse sino después de un año (Lovatt, 2010; Whiley, 2007).

Por otra parte, la importancia de la floración de retorno es determinante para disminuir el porte de alternancia en el aguacate, por lo cual el manejo del cultivo debe garantizar la floración de retorno del siguiente año. En California para el cv. Hass, se ha encontrado que los brotes que se originan en verano del año anterior son los responsables

de producir el 80% de los brotes florales determinados que contribuyen en la floración del año siguiente (Lovatt, 2004, 2005).

Cuando un año de alta producción “on” se establece en la misma temporada inhibe el crecimiento de los brotes vegetativos de verano que son los responsables de producir los brotes florales, por lo tanto, el árbol de aguacate al no desarrollar un crecimiento de brotes vegetativos significativos, en el año siguiente la cosecha va a resultar en una baja producción “off”. En esta condición son importante los brotes que permanecen inactivos y los que no fructificaron, puesto que de estos depende la producción del año siguiente. Esto significa que independiente del año, cuanto mayor sea la intensidad de la floración de retorno mayor será el número de frutos que cuajan en el siguiente año, es decir son directamente proporcionales.

En un experimento se evaluó el efecto de un año “on” en la floración de retorno para ver si era acumulativo y como influía en el siguiente año. Para ello, se retiró los frutos en diferentes temporadas, frutos jóvenes y frutos tardíos, los resultados fueron contundentes, los cuales indican que al retirar los frutos en exceso y cuando están en etapa temprana de desarrollo, en efecto aumenta la formación e intensidad de floración del rendimiento del año siguiente, mientras que, si los frutos son retirados cuando el fruto ya se encuentra en una etapa avanzada de desarrollo (tardía), se reducen los brotes de verano y por lo tanto la cosecha de año siguiente resulta en una baja producción (Lovatt, 2010).

5. PRÁCTICAS DE MANEJO QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN

Uno de los referentes para el manejo del cultivo del aguacate es Whiley (2007), quien menciona que la herramienta más poderosa está determinada por el

comportamiento fenológico y las condiciones ambientales, cuyo entendimiento permite obtener resultados con un enfoque práctico que inicia por comprender el crecimiento y desarrollo del cultivo. Además, hace énfasis en el manejo del cultivo, ya que es posible manipular la ocurrencia de algunos eventos que compiten por los fotoasimilados, con el fin de disminuir la competencia entre los sumideros de la planta que tiene un impacto directo sobre la producción final del aguacate. De tal forma que las diferentes prácticas de manejo que se realicen, implican modificación en la distribución de los recursos (fotoasimilados) entre las estructuras vegetativas y reproductivas que tienen el fin de mejorar los rendimientos (Whiley, 2007).

5.1 Reguladores de crecimiento vegetal

Las fitohormonas se presentan en bajas concentraciones en todas las partes de la planta, promoviendo o inhibiendo el crecimiento de las células (Whiley, 2007). Entre las hormonas se encuentran las auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico, etileno, entre otras. Dichas hormonas responden a diferentes eventos de crecimiento y desarrollo de la planta, cuya influencia se relaciona con factores ambientales tales como la temperatura, la intensidad lumínica y el estrés hídrico (Lira, 2007; Luckwill, 1980).

Entre las hormonas que más influyen en el comportamiento de la floración están las giberelinas, que producen efectos pleiotrópicos, debido a que regulan diversos procesos fisiológicos, pudiendo llegar a intervenir en todas las fases de desarrollo, tanto en el crecimiento vegetativo como el reproductivo. A veces actúan como factores hormonales que regulan el crecimiento y elongación del tallo y en otros casos participan en la inducción de la floración, en el crecimiento y la producción de flores, en el cuajado, entre otras (Azcón-Bieto & Talón, 2003).

Por el contrario, los reguladores de crecimiento vegetal se definen como compuestos sintéticos que pueden modificar el crecimiento de la planta. Estos actúan como compuestos químicos que imitan a la acción hormonal, o bien pueden comportarse de forma similar a las fitohormonas que se producen de forma natural. Otro grupo de reguladores de crecimiento son los triazoles, cuya relación tiene con las fitohormonas al bloquear la síntesis o bien interferir con su traslocación (Whiley, 2007).

5.1.1 *Ácido giberélico*

Las aplicaciones exógena de AG3 en cultivos de árboles frutales como los cítricos y el mango, han demostrado cambiar la época e intensidad de la floración (Whiley, 2007). En el caso del aguacate, Salazar-García & Lovatt (1997), mostraron el potencial de manipulación de la floración en el aguacate. Para ello, evaluaron el comportamiento del cv. Hass a las aplicaciones foliares de AG3, en dosis de 25 mg kg⁻¹ a fines de otoño (noviembre en el hemisferio norte), invierno (enero), o primavera (marzo) en el año de alta producción, se produjo un incremento de ésta en el año siguiente año de baja producción. Los árboles que no recibieron el tratamiento en el año de baja cosecha produjeron 18 kg por árbol, mientras que los que fueron asperjados en una de las tres temporadas, otoño, invierno o primavera, produjeron 35, 27 y 34 kg árbol⁻¹, respectivamente y no presentaron diferencias significativas. No obstante, la aplicación de AG3 en otoño aumento el número de frutos pequeños (135-177) en comparación con los árboles no tratados, mientras que la aplicación en primavera produjo frutos de mayor tamaño (213-269 g) (Salazar-Garcia & Lovatt, 1997).

Estrategias como la aplicación foliar de AG3, auxinas y diferentes fitorreguladores han sido alternativas estudiadas para aumentar el amarre de frutos y

evitar la abscisión de frutos durante el ciclo productivo. La aplicación de AG3 cuando las inflorescencias están en etapa de coliflor han incrementado el amarre inicial en un 23,6 % en un año de alta producción (Espíndola-Barquera et al., 2008); a diferencia de ello (Canet-Climent, 2021) encontró que la aplicación de AG3 en diferenciación floral, produjo menor cantidad de frutos en comparación con un cultivo en el que no se realizó ninguna aplicación. Demostrando que su efecto puede variar entre localidades y depende de las condiciones ambientales. Por otra parte, (Ramírez-Gil, 2017), estudiaron el efecto de la aplicación de ANA (ácido naftalenacético “auxinas”) aplicado cuando el 50% de la floración estaba en etapa de coliflor en combinación con una fuente de energía, que resultó en un incremento en la producción en 13% en comparación con los árboles que no recibieron ningún tratamiento.

5.1.2 *Triazoles*

Dentro de los inhibidores de la biosíntesis de giberelinas están los triazoles, en este grupo se encuentra el uniconazol y el paclobutrazol. Estudios en plantas de *A. thaliana* han sido el referente para determinar el efecto de uniconazol en la inhibición de la biosíntesis endógena de giberelinas, en donde se ha encontrado que la respuesta se debe a la interferencia en la actividad del citocromo P450. Este proceso inhibe la actividad de la enzima ent-kaureno oxidasa, lo cual evita la oxidación del ent-kaureno en ácido ent-kaurenoico, cuyas enzimas son las precursoras de las giberelinas endógenas (Azcón-Bieto & Talón, 2003; Fichet, 2021; Rademacher, 2000; Saito et al., 2006; Sasaki et al., 2013; Sun, 2011).

En respuesta los triazoles son utilizados por medio de la aplicación exógena para la inhibición de la biosíntesis de giberelinas (Davis et al., 1988) y tiene efectos sobre el

crecimiento vegetativo; además al utilizar inhibidores de biosíntesis de giberelinas pueden influir en el desarrollo de la planta, rendimiento, contenido de carbohidratos, densidad del follaje y adelanto en la floración (Bórquez-Lillo et al., 2015). Este tipo de reguladores de crecimiento, del tipo de los triazoles como el paclobutrazol, se usa para controlar el crecimiento vegetativo en árboles frutales, como mango, litchi y aguacate (Bhatla, 2018), también pueden ayudar al control de la floración que es la base en la obtención de una buena cantidad de frutos (Fichet, 2021).

Al controlar el crecimiento vegetativo se busca reducir así la competencia por recursos entre el crecimiento vegetativo y los frutos en desarrollo, de esta forma a las aplicaciones de paclobutrazol y uniconazol se les ha atribuido por aumentar la producción y el tamaño del fruto. Kremer-Kohne (1987), señala que una aplicación foliar de paclobutrazol al 0,4% de I.A., aplicada en el cultivar Fuerte durante la floración, redujo el crecimiento de los brotes en un 43% y aumento de manera significativa la producción de fruta, en comparación con las ramas no tratadas.

La época de aplicación tiene una importancia relativa y el mejor momento parece ser cuando son aplicados en plena floración (Whiley, 2007). Por el contrario Fichet (2021), enfatiza en que el momento oportuno de aplicar los inhibidores de giberelinas para mejorar floración, es cuando ocurre la inducción y diferenciación floral, y que en ningún caso conviene utilizar inhibidores de giberelinas cuando hay alta floración y/o presencia de inflorescencias determinadas (inflorescencias sin brotes apicales vegetativos), puesto que en éste tipo no hay competencia entre el brote vegetativo con las inflorescencias, además las inflorescencias determinadas se han observado que pueden

resultar ser hasta tres veces más productivas que las inflorescencias indeterminadas (Salazar-Garcia & Lovatt, 1997).

5.2 Anillado

Una de las prácticas de manejo en los cultivos frutícolas para incrementar el amarre de la fruta ha sido por medio del anillado, que consiste en realizar incisiones en la parte exterior de una rama productiva, con un ancho que fluctúa entre 5 a 25 mm (Lynce-Duque, 2019). Una de las funciones que tiene el anillado es bloquear el flujo del floema con el fin de controlar la distribución de carbohidratos, en este caso por encima del anillado, Van Bel (2003), hace énfasis en que el bloque del flujo del floema es muy rápido que puede ser menor o igual a 1 segundo, esto se debe a la respuesta de proteínas que se desplazan por el floema, cristalizadores y la formación de calosa que permiten la obstrucción de los poros de las placas cribosas, por lo tanto, el anillado interfiere con el sistema de transporte del floema, en consecuente hay un cambio en el mecanismo de direccionamiento de carbohidratos que evita que sean dirigidos a otra fuente de almacenamiento que estén por debajo de la incisión del anillado, provocando así una acumulación de fotosintatos y probablemente de algunos cambios hormonales.

Ramírez-Gil (2017), encontró que la práctica de anillado realizada cuando el árbol de aguacate está en etapa de floración (50 %), por si sola incrementa la retención de los frutos en etapa inicial en un 20 % e incluso se ha reportado que se aumenta el amarre inicial en un 91,6% en un año de baja producción (Espíndola-Barquera et al., 2008). A diferencia de ello, el anillado cuando se asocia con la aplicación de boro, nitrógeno y carbohidratos el amarre se incrementa en un 28, 26 y 25 %, respectivamente; mientras que en etapa de llenado el amarre de fruta se incrementa en un 33%, y cuando se

acompaña con la aplicación de carbohidratos se incrementa en un 30,7 % (Ramírez-Gil, 2017); también se informa que el amarre final se ha logrado incrementar en un 41,1% con el anillado y en un 44,1% con la práctica de anillado más la aplicación de N y AG3. De esta manera la práctica del anillado se complementa al trabaja de forma sinérgica con la aplicación de B, N, carbohidratos y AG3.

Aunque el amarre de frutos no siempre significa una mayor producción, debido a que también está en función al peso acumulado y el número de furtos. (Ramírez-Gil, 2017), encontró que la práctica del anillado asociado con la aplicación de N, B y carbohidratos disminuyo la producción entre un 6 a 18 %; otra investigación realizada por Canet-Climent (2021), concuerda con estos resultados en donde la práctica de rayado más boro aumentan el amarre de frutos, pero no el tamaño del fruto . Sin embargo, el plan de fertilización no se ajustó de acuerdo a la producción esperada, y por lo tanto el llenado de frutos puede ser una respuesta a la limitada cantidad de reserva de nutrientes que son insuficientes para el llenado del fruto. Esto sugiere que un mayor amarre de frutos y un mayor porcentaje de cuajamiento, requiere una mayor cantidad de nutrientes, en caso contrario el fruto puede quedar de tamaño inferior y afectar su calidad. Además, se hace énfasis en que el amarre del fruto en etapas iniciales puede mejorarse con la aplicación de reguladores de crecimiento, mientras que el anillado puede favorecer el amarre de frutos en etapa más avanzada de desarrollo del fruto.

5.3 Densidad y poda.

El diseño se la mayoría de las plantaciones utilizan una densidad de plantación medias con un marco de plantación de 9 x 6 y 4 x 6, con 159 - 417 árboles ha⁻¹. La densidad y el tipo de distribución depender de la topografía, el cultivar y el sistema de

podas (Whiley, 2007). En la actualidad en países como Chile, Israel han utilizado densidades de plantación muy altas (ultra-alta densidad) > 800 árboles por hectárea ajustando un manejo de cultivo diferente al tradicional, uso de patrones de porte bajo, como por ejemplo los “Mexicola”, al igual que inhibidores de crecimiento (paclobutrazol y uniconazol), anillado y raleo.

La ventaja que representan las plantaciones de alta densidad es que permite la recuperación de la inversión más rápido que los hueros establecidos con densidades medias (Whiley, 2007). Aunque, también presenta desventajas como mayor susceptibilidad al desarrollo de enfermedades como *Phytophthora cinnamomi* y *verticillum*, ya que altas densidades generan microclimas que general el medio ambiente para que se desarrollen las enfermedades; además, el coste por eliminación de los árboles para reducir la densidad en posteriores años es elevado y el manejo se dificulta.

En el caso de Colombia no hay información suficiente y determinante en el uso de diferentes densidades de plantación, por lo cual no existe aún datos de los efectos de utilizar altas densidades bajo las condiciones ambientales, que difieren entre la temperatura y la humedad relativa que pueden limitar el desarrollo continuo de los árboles y el establecimiento de altas densidades (Bernal & Díaz, 2020). Un informe preliminar, realizado por Cano-Gallego et al., (2021), en Rionegro (2.200 m) y el Peñol (2.100m), municipios de Antioquia, evaluaron diferentes densidades de siembra: 7 x 7 m (204 árboles ha⁻¹); 6 x 6 m (277 árboles ha⁻¹); 6 x 5 m (333 árboles ha⁻¹); 5 x 5 m (400 árboles ha⁻¹); 4 x 4 m (625 árboles/ha⁻¹) y 3.5 x 3.5 m (816 árboles/ha⁻¹), con el fin de determinar el comportamiento en la altura de la planta, diámetro de la copa y el patrón, altura de la copa y su volumen. Como resultado obtuvieron que para la variable altura de planta el

mayor valor se observó en arboles a bajas densidades entre 204 y 333 árboles ha⁻¹, mientras que el menor valor fue a mayores densidades de 816 árboles ha⁻¹. Comportamiento similar fue observado para la variable volumen del dosel del árbol, donde los menores valores se observaron en las mayores densidades (625 y 816 árboles ha⁻¹). En cuanto a la variable de compatibilidad entre el portainjerto y la copa por medio de sus diámetros no presentaron diferencias significativas.

Uno de los retos en el manejo de altas densidades, se debe a su disminución del área efectiva fotosintética, por lo que los árboles ajustan su arquitectura del dosel en ambientes de mayor competencia (mayores densidades). Por lo tanto, ante esta situación por medio de la poda se busca obtener un área fotosintética que garantice una mayor interceptación de luz y de tal forma que facilite la floración (Cano-Gallego et al., 2021). De acuerdo con Menzel & Le Lagadec (2014) existe una relación entre el rendimiento acumulado y el volumen del dosel en árboles de aguacate cv. Hass, por lo que, a mayor densidad de árboles por hectárea menor dosel del árbol, pero mayor rendimiento acumulado; en este sentido los tratamientos con mayores densidades presentan los mayores volúmenes por hectárea. En este mismo sentido, Toft et al. (2019) plantean que el éxito de los sistemas intensivos o de altas densidades de plantación depende de lograr un equilibrio entre una adecuada arquitectura del árbol.

La densidad y la poda busca aprovechar el espacio y facilitar el manejo del huerto proporcionando un diseño que garantice una optimización de recursos y se potencialice la producción; que en teoría el aguacate presenta un buen crecimiento vegetativo y el potencial fotosintético es muy representativo y vigoroso, con la capacidad de producir hasta 32,5 t ha de fruta con un contenido de 17% de aceite (Wolstenholme, 1986). Esta

situación plantea que la poda debe estar dirigida a mantener la forma del árbol, su altura, que facilite la interceptación de luz solar y asegure una productividad continua (Whiley, 2007). Además, que facilite las labores culturales y permita la cosecha de frutos, así mismo disminuya los costos de esta labor por medio de la optimización del tiempo.

Del mismo modo, no se debe abusar de la poda, puesto que para garantizar una interceptación de luz se debe disponer de una buena cantidad y calidad de hojas que permita la formación de fotoasimilados y promueva el llenado de los frutos. Se ha estimado que se necesitan entre 100 y 120 hojas por fruto, para que estos sean bien nutridos y puedan crecer. Asimismo, es muy relevante una buena iluminación de las hojas para que la fotosíntesis aporte la mayor cantidad de hidratos de carbono tanto al proceso de inducción y diferenciación floral como en el cuajado, tamaño del fruto y materia seca o contenido de aceite (Fichet, 2021).

5.4 Selección del portainjerto.

En Colombia a nivel de portainjertos, los más utilizados en Colombia son provenientes de semilla. Estos presentan alta variabilidad por su heterocigosis, que es el resultado de la obtención de plantas en vivero en donde la semilla proviene de cultivos parentales no aislados y no determinados para la producción de portainjertos; consigo generan una desuniformidad en el desarrollo del crecimiento de los árboles y en la producción. Por su parte, en condiciones del subtrópico e Israel, utilizan portainjertos obtenidos de forma asexual (clones), resultan se portainjertos idénticos a la madre, cuyo comportamiento presenta alta uniformidad (Mickelbart et al., 2012)

La selección del portainjerto comúnmente sigue atributos, el primero y de mayor importancia es que confiera tolerancia a enfermedades, como (*Phytophthora cinnamomi*) y estrés abiótico (vigor), por ejemplo a la salinidad, suelos calcáreos, exceso o déficit hídrico, y que sean árboles de porte bajo, con producciones altamente sustentables (Bender & Whiley, 2007; Cohen et al., 2022). El patrón o portainjerto puede ser obtenido sexualmente por semilla, o asexualmente por medio de estacas (vegetativa) o in vitro (Bernal & Díaz, 2020). En la primera se presenta una alta variabilidad genética y es altamente heterogénea, mientras que la segunda permite obtener plantas idénticas a la planta madre (clones). Por otra parte, el portainjerto obtenido de semilla resulta económico y de fácil propagación, sin embargo, tiene la desventaja, debido a que no presentar uniformidad, resultado de la deriva genética. Por el contrario los portainjertos clonales, tienen como objetivo conservar la tolerancia a agentes patógenos y estrés abiótico, además, han mostrado una mayor uniformidad en el comportamiento productivo, que facilita el manejo del cultivo (Mickelbart et al., 2007).

Uno de los retos más representativos en el cultivo de aguacate es obtener una cosecha estable en el tiempo, reduciendo el comportamiento alternante. Para ello, en los portainjertos obtenidos de forma vegetativa (asexual) han resultado en menores índices de alternancia productiva. Cohen., et al (2022) determinaron en su estudio el promedio del índice de producción alterna multianual para seis portainjertos de raza Antillana en dos zonas de estudio en Israel durante seis temporadas consecutivas, dichos valores oscilaron entre 0,35 y 0,46; y se evidencio que los portainjertos de raza Antillana obtenidos de forma vegetativa estuvieron por debajo del promedio del índice de producción alterna y los portainjertos obtenidos de semilla estuvieron por encima del promedio del índice de producción alterna. Mickelbart et., al (2007), también reporta que

el porte alterno de diez portainjertos clonales en condiciones de Irvine, California, los índices de producción alterna más bajos fueron presentados por la sección de portainjertos de origen guatemalteca (G755A, G755,B, G755C, G1033), variando entre 0,33 a 0,52, mientras que para “Topa Topa” y “Toro Canyon” fue de 0,55 y 0,56, respectivamente. A diferencia de ello, se informa que los portainjertos de semilla y los clones “Dusa” en condiciones de clima húmedo-seco tropical de Brasil, no tuvieron diferencias significativas en el índice de alternancia, la cual fue de 0,49 y 0,47, respectivamente (Moraes et al., 2022).

En cuanto a los rendimientos, se ha demostrado que los portainjertos (clones) tradicionales como Duke 7 y Borchard en condiciones de California, han dado los mejores rendimientos 70,83 kg árbol año y 75,33 Kg año árbol, respectivamente. Sin embargo, hay que destacar que Duke 7 es resistente a *Phytophthora cinnamomi*, mientras que Borchard es altamente susceptible a este patógeno. (Moraes et al., 2022), compararon la influencia de los portainjertos de semilla de manera tradicional y clonales “Dusa” sobre los rendimientos del cv. Hass en condiciones de clima húmedo-seco tropical en Brasil, como resultado no presentaron diferencias marcadas en el rendimiento, no fue sino en el año 5 después de la siembra en la que se presentó una mayor producción en el portainjerto Dusa de 39,83 Kg árbol⁻¹, mientras que en el portainjerto de semilla fue de 29,48 kg árbol⁻¹, sin embargo en los años siguientes fue mayor en los portainjertos de semilla, además resaltar que el rendimiento acumulado durante los 5 años de evaluación no difirieron en gran manera, lo que da como resultado un rendimiento promedio por año de 44,66 kg árbol⁻¹ en Dusa, y 45,46 kg árbol⁻¹ para portainjerto de semilla; cabe mencionar que el portainjerto “Dusa” es reconocido por ser tolerante a la pudrición de la raíz causa por *P. cinnamomi*, y en el estudio no se presentaron unidades formadoras de colonia

significativas y no difieran entre los portainjertos evaluados. Lo cual hace suponer que, si se compara los rendimientos en condiciones de alta incidencia de *P. cinnamomi*, los rendimientos se esperarían que fueran mayores para el portainjerto Dusa.

La selección del portainjerto no solo está determinada por la transmisión de caracteres de resistencia a la planta y su adaptabilidad a diferentes localidades, sino que también juega un papel importante la compatibilidad entre la copa y el portainjerto. Una incompatibilidad entre el portainjerto y la copa, ocasionan una pérdida de vigor, disminuyen el tiempo de vida del árbol e incluso puede provocar una muerte total (Mickelbart et al., 2007). Para ello, evaluar la compatibilidad en determinadas condiciones climáticas puede favorecer un buen establecimiento del cultivo y garantizar una rentabilidad para los productores. En este sentido se recomienda evaluar la relación entre la circunferencia del tallo por encima y por debajo del injerto (Bernal, 2016).

5.5 El riego

Los periodos de precipitación en el trópico colombiano están determinados por regímenes pluviométricos bimodales, es decir se presentan dos periodos de lluvias y dos periodos de verano durante el año. En estudios se ha comprobado que muchas veces las precipitaciones anuales superan a los requerimientos del cultivo, sin embargo, esto no ocurren de manera distributiva y homogénea en el tiempo, sino que se pueden presentar altas precipitaciones en tiempos de corta duración, como también puede ocurrir el cese de precipitaciones por un largo periodo de tiempo (Bernal, 2016; Garcia et al., 2022; Romero-Sánchez, 2012). Este efecto puede afectar el comportamiento productivo, disminuir el crecimiento vegetativo, alterar el crecimiento de raíces, ocasionar la caída de flores y frutos, entre otras.

En vista a estas circunstancias el abastecimiento de agua es un factor de gran relevancia y debe tenerse en cuenta en el manejo del cultivo, ya que influye sobre el crecimiento del árbol, su productividad y la calidad del fruto (Lahav & Whiley, 2007). Además, es esencial para realizar todos los procesos fisiológicos de la planta y es el medio para que la planta pueda absorber los nutrientes que necesita para los procesos de crecimiento. Una de las etapas más susceptible es el desarrollo del fruto, ya que demanda de gran cantidad de agua y de nutrientes, que cualquier estrés que se presente puede ocasionar la caída de los frutos.

Silber et al., (2019), señala que el estrés hídrico puede afectar los procesos de floración, fructificación y los rendimientos, además puede ocasionar clorosis en las hojas, defoliación y abscisión de los frutos y su severidad se incrementa con la aparición de los botones florales, floración y fructificación, respectivamente. De este modo, cuando la planta de aguacate sufre déficit hídrico en la etapa de desarrollo del fruto, lo más común es que los rendimientos disminuyan. Por otra parte, Lira (2007), menciona que los cultivos son más susceptibles al estrés hídrico en las etapas de polinización y desarrollo del fruto, y enfatiza en que el aborto floral y de caída de frutos jóvenes no es el resultado de una inhibición de la polinización, sino a un estrés hídrico, que en consecuencia reduce el suministro de fotoasimilados desde el suelo hasta el sumidero (frutos).

Dorado et al., (2017), evaluaron el efecto del riego en la producción de aguacate Hass durante dos años consecutivos, en tres subregiones del país en la que se incluyó tres departamentos, Antioquía (Rionegro), Tolima (Herveo) y Cauca (Morales). Para ello, se basaron en tres tratamientos de requerimiento hídrico el cual estuvo en función de 50 %, 75% y 100% de la ETo. En Herveo para el 2014 la producción fue de 13,4 t ha⁻¹ mientras

que con Eto al 75% se obtuvo los mayores rendimientos, que fue de 19,2 t ha⁻¹; en Rionegro en el 2014 y 2015 en donde no se aplicó riego la producción fue de 14,6 t ha⁻¹ y 5,3 t ha⁻¹, mientras que con riego al 75 % de la ETo fue de 15,4 t ha⁻¹ y 7,8 t ha⁻¹, respectivamente; en cuanto al municipio de Morales en el 2014 y 2015 en donde no se aplicó riego la producción fue de 4,1 t ha⁻¹ y 7,7 t ha⁻¹, respectivamente; mientras que con riego al 75 % de la Eto para el 2014 fue de 17,6 t ha⁻¹ y al 100 % de la ETo en el 2015, fue de y 28,6 t ha⁻¹, respectivamente. Estos datos demuestran que el riego puede ser una alternativa para aumentar los rendimientos, ya que permite abastecer a la planta con el requerimiento de agua en el momento que lo necesite, además de disminuir la caída de flores y frutos por condiciones de estrés que se puedan presentar.

Asimismo, Dorado et al., (2017) incluyeron la factibilidad económica del proyecto de instalación de sistema de riego, en donde se obtuvo que la lámina de riego al 75 % de la ETo presentaba el mejor comportamiento en las tres localidades, además de brindar un costo-beneficio mucho mayor en comparación con la ETo en un 100%. Por lo tanto, los autores concluyen que en el cultivar Hass, la mejor respuesta productiva es cuando el coeficiente del cultivo (Kc) es igual a 0,75. Esta información concuerda con lo obtenido por Ferreyra et al., (2007) quienes informan que el mayor rendimiento se presentó con un Kc igual a 0,72.

Por su parte, los cultivos comerciales que se encuentran tanto en climas subtropicales, semiáridos o tropicales con veranos extendidos, necesariamente requieren de riego para lograr productividades significativas (Lahav & Whiley, 2007), a razón de ello, se han realizado numerosas investigaciones para establecer la importancia del riego en el aguacate para estas regiones.

Silber et al., (2019), evaluaron diferentes tratamientos de riego en el aguacate cv. Hass, cultivado en clima semiárido de Israel ($32^{\circ}57'N$; $35^{\circ}05'E$) y determinaron su efecto en el rendimiento; como resultado mostraron que los tratamientos sin estrés hídrico y con riego excesivo produjeron los mejores rendimientos que estuvieron entre 25 a 31 t ha⁻¹ con una densidad de 417 árboles ha⁻¹, que fueron muy superiores a los rendimientos nacionales (11 t ha⁻¹) reportados para ese país. Por el contrario, los rendimientos con déficit hídrico y déficit hídrico controlado estuvieron entre 15-21 t ha⁻¹, que permite evidenciar la importancia del riego en esta localidad, ya que si no es implementado los rendimientos disminuyen considerablemente. Por otra parte, en su estudio (Silber et al., 2019), encontraron que cuando la planta de aguacate no sufría estrés hídrico durante ninguna temporada no se produjo una alternancia, mientras que con estrés hídrico el cultivo era susceptible a la alternancia, reduciéndose así su productividad; un estudio similar mostro el mismo comportamiento, cuando se aumentó el nivel de riego se obtuvo menores índices de alternancia, obteniéndose valores de 0,68 (25% Eto) a 0,38 (100% Eto), esto hace parecer que la influencia del riego ayuda a disminuir la alternancia y puede resultar beneficioso en los sistemas productivos de aguacate, además de acompañar con otras estrategias que permitan aumentar los rendimientos. Para ello, se debe mantener regímenes hídricos adecuados, sin que se genere estrés hídrico en el árbol de aguacate, incluso en los años de baja producción con el fin de garantizar una producción más estable al reducir el porte alterno.

Holzapfel et al., (2017), estudiaron la respuesta de la producción de aguacate a la variación en los niveles de riego en árboles cv. Hass de 7 años de edad, sembrados en el Valle Central de Chile, zona climática subhúmeda, del tipo mediterráneo. Dicho estudio se realizó durante tres temporadas consecutivas, los tratamientos correspondieron a 25%,

50%, 75% y 100% de la ETo, en donde la aplicación de riego se aplicó durante toda la etapa productiva de 8 meses en todas las temporadas, el plan de fertilización fue el mismo para todos. Como resultado se obtuvo que el tamaño del fruto del aguacate en referencia al diámetro polar y ecuatorial al momento de la cosecha aumento con los niveles de agua aplicados durante las tres temporadas; siendo el tratamiento de 100 % de Eto en donde fueron mayores, de 6,4 y 11,3 cm, respectivamente. En cuanto al número de frutos con el 25 % y 50 % de la ETo, respectivamente; es decir cuando se presenta déficit hídrico, el número de frutos se vio afectado, obteniéndose un número menor, sin embargo el tamaño del fruto aumento en el período de baja cosecha (Holzapfel et al., 2017), esto debido al menor número de frutos que compiten por los fotoasimilados, que concuerda con lo señalado por Michelakis (1993), que encontró que a medida que aumenta el número de frutos por árbol el tamaño se reduce y el rendimiento esta influenciado principalmente por la cantidad de frutos que produce un árbol.

Si se comparan los rendimientos promedio de los años de alta producción con los de baja producción, se obtiene que con el riego al 75 % y el 100 % de la ETo en la temporada alterna represento en un 41 %, mientras que con 25 y 50 % de la ETo solo represento al 22%. Es así, cuando el nivel de agua aumento de 25 a 100 % ETo la producción de aguacate aumento de 20,83 t ha a 29,55 t ha; 3,72 a 12,67 t ha y 18,85 a 26,85 t ha para tres temporadas consecutivas (años de abundante cosecha y años de baja cosecha) (Holzapfel et al., 2017).

En Israel (32° 42'09" N, 35° 35'07" E), con clima mediterráneo, (Silber et al., 2012), evaluaron el efecto de diferentes frecuencias de riego que producían diferentes intensidades de estrés hídrico en el cv. Hass sobre portainjerto Degania 117, originario de

las Indias Occidentales. Se determino el rendimiento durante dos años consecutivos, en donde el mayor rendimiento se obtuvo cuando no se produjo estrés hídrico en la planta, el cual equivalió a 40 kg árbol, con una densidad de árboles alta (1.100 árboles ha⁻¹) para un rendimiento estimado de 44 t ha. Por otra parte, cabe mencionar que la cantidad de agua aplicada fue igual para todos los tratamientos, sin embargo los que se cambió fue la frecuencia de riego, en donde el riego cada dos días ocasiono déficit hídrico severo que provoco que el fruto se afectara considerablemente con la aparición de manchas negras y aumento el grado de abscisión de frutos (Silber et al., 2012). En último, al manipular la frecuencia de riego se afecta la disponibilidad de agua y nutrientes, por tanto, la eficiencia de absorción que afecta el rendimiento.

5.6 Boro

El boro ha sido asociado al proceso de viabilidad del polen y su influencia en el crecimiento del tubo polínico en el estilo de la flor, por lo cual la aplicación de boro en la diferenciación floral o en la época de floración han incrementado el amarre de frutos y por lo tanto la producción. Hannes & Coetzer (1992), hacen énfasis en la eficiencia de las aplicaciones de foliares con micronutrientes, en donde recomiendan que se debe llevar a cabo desde la parte baja del árbol hasta la parte más alta en forma vertical, procurando que llegue por la parte abaxial de la hoja; este mecanismo garantiza que la aplicación pueda ser absorbida por la planta y las concentraciones de boro que se encuentra en las hojas jóvenes y se transporten hasta las inflorescencias. Por otra parte, se ha encontrado que la aplicación de boro en etapa de brotación de la inflorescencia, en el inicio de la floración y en la máxima floración, responden positivamente con el aumento del cuajado y en consecuencia la producción se incrementa.

(Ramírez-Gil, 2017), encontró que, con la aplicación de 11 Kg de ácido bórico, fraccionado en tres aplicaciones durante el periodo de floración (50 % en fase de coliflor) ha incrementado el amarre inicial en un 18,21 %, y cuando es acompañado con una fuente de energía fraccionada en dos aplicaciones una en floración y una en etapa de llenado, se ha incrementado el porcentaje de amarre final de la fruta en un 25,25 %. Por otra parte, la práctica de anillado realizado cuando la planta está con un 50% de su floración y la aplicación de boro han incrementado el amarre inicial y final de frutos en un 26% y 22,4 %, respectivamente.

En cuanto a la producción acumulada y a la calidad de la fruta, la aplicación de carbohidratos y boro han demostrado mejoran estos parámetros. (Ramírez-Gil, 2017) combino la aplicación de boro con carbohidratos en donde se incrementó la producción en un 14% y prácticas como la del anillado en combinación del boro han ocasionado disminución en la producción y en la calidad de la fruta en un 15 %.

El boro juega un papel fundamental en la polinización y la fertilización, por lo tanto, puede afectar el cuajado y el rendimiento. (Hapuarachchi et al., 2022), en Australia evaluó como la aplicación de boro afecta la concentración de nutrientes en las hojas y en las flores y la influencia en el rendimiento del aguacate; encontrando que el boro está asociado directamente con el rendimiento final. Sin embargo, aplicaciones por encima de lo requerido por la planta, puede ocasionar desbalances y en consecuente los rendimientos disminuyen, (Hapuarachchi et al., 2022) encontraron que la aplicación de boro (Yara kaliatha), cuando se cambió de dosis de 15 a 30 g por árbol redujo el porcentaje de cuajado de frutos inicial en un 56% y también se redujo el rendimiento final en un 25%. Para ello, se debe conocer los requerimientos que tiene cada cultivo, uno de las alternativas es

realizar un análisis foliar o de estructuras de la inflorescencia. (Hapuarachchi et al., 2022) asocia que las concentraciones de boro en las hojas entre 104-117 mg kg⁻¹ respondieron positivamente y fueron responsables del 90 % de los rendimientos máximos obtenidos; además las aplicaciones de boro (Yara Kaliatha) con dosis de 20 g árbol⁻¹ aumentaron el peso del fruto en un 5 a 6 % e incrementaron el diámetro del fruto en un 2 %.

5.7 Nitrógeno

La aplicación de N se asocia con el incremento en el amarre final con un 19,6% y cuando se acompaña con una fuente de energía se ha demostrado que incrementan el porcentaje de amarre final de la fruta en un 22,22 % y ha aumentado la producción en un 14% (Ramírez-Gil, 2017). Otro estudio realizado por (Espíndola-Barquera et al., 2008) observaron que la aplicación de N (160 g/árbol) aumento el amarre inicial en un 50 % en un año de baja producción. En cambio, en un año de alta producción, se incrementó el amarre en un 26,6 %. La gestión del nitrógeno en el cultivo de aguacate debe realizarse cuidadosamente, ya que puede favorecer el crecimiento vegetativo excesivo que puede ocasionar la competencia por fotoasimilados y en efecto ocasionar la caída del fruto.

6. REFERENCIAS

- Acosta-Rangel, A., Li, R., Mauk, P., Santiago, L., & Lovatt, C. J. (2021). Effects of temperature, soil moisture and light intensity on the temporal pattern of floral gene expression and flowering of avocado buds (*Persea americana* cv. Hass). *Scientia Horticulturae*, 280, 109940. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109940>
- Alcaraz, E. (1992). *Manual del fruticultor moderno* (LIMUSA). 1992.
- Alcaraz, M. L. (2009). *BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL AGUACATE (Persea americana Mill .). IMPLICACIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CUAJADO*. http://www.avocadosource.com/international/spain_papers/alcarazml2009b.pdf
- Alcaraz, M. L., & Hormaza, J. I. (2021). Fruit set in avocado: Pollen limitation, pollen load size, and selective fruit abortion. *Agronomy*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy11081603>
- Alcaraz, M. L., Hormaza, J. I., & Rodrigo, J. (2013). Pistil Starch Reserves at Anthesis Correlate with Final Flower Fate in Avocado (*Persea americana*). *PLoS ONE*, 8(10), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078467>
- Alcaraz, M. L., & Hormaza, J. L. (2014). Optimization of controlled pollination in avocado (*Persea americana* Mill., Lauraceae). *Scientia Horticulturae*, 180, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.022>
- Anguiano, C. J., Alcántar, J. J., Toledo, B. R., Tapia, L. M., & Vidales, J. A. (2007). Caracterización Edafoclimática Del Área Productora De Aguacate De Michoacán, México. *Actas VI Congreso Mundial del aguacate*, 978, 12-16. <http://avocadosource.com/WAC6/es/Extenso/3c-112.pdf>

- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2003). Fundamentos de fisiología vegetal. En *McGrawHill*.
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Bartoli, A. (2008). *Manual Técnico del Cultivo del Aguacate Hass (Persea americana L.)*.
- Bender, G. S., & Whiley, A. W. (2007). Propagación. En *El Palto: Botánica, Producción y Usos* (pp. 177-197).
- Bergh, B. O. (1967). Reasons for Low Yields of Avocados. *California Avocado Association. Annual Report, 51*, 161-172.
- Bernal-Estrada, J. A., Tamayo-Vélez, A. D. J., & Díaz-Diez, C. A. (2020). Dynamics of leaf, flower and fruit abscission in avocado cv. Hass in Antioquia, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(3), 324-333.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i3.10850>
- Bernal, J. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia*. 296.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/50844/>
- Bernal, J., & Díaz, C. (2008). *Tecnología para el cultivo del Aguacate: generalidades del cultivo*.
<http://www.unlpam.edu.ar/images/extension/edunlpam/QuedateEnCasa/botanica-morforlogia-taxonomia-y-fitogeografia.pdf>
- Bernal, J., & Díaz, C. (2020). Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate. En *Actualización tecnológica y buenas prácticas*

agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate.

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>

Bhatla, C. (2018). Fisiología Vegetal en Agricultura y Biotecnología. En *Fisiología, Desarrollo y Metabolismo Vegetal*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_34

Boldingh, H. L., Alcaraz, M. L., Thorp, T. G., Minchin, P. E. H., Gould, N., & Hormaza, J. I. (2016). Carbohydrate and boron content of styles of «Hass» avocado (*Persea americana* Mill.) flowers at anthesis can affect final fruit set. *Scientia Horticulturae*, *198*, 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.011>

Bórquez-Lillo, C., Castro, M., Fichet, T., & Cautín, R. (2015). Efecto combinado de portainjertos y aplicación de uniconazol-p vía riego, sobre el dosel de árboles de aguacates «Hass». *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, *21*(3), 243-255. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.11.047>

Buitink, J., Walters, C., Hoekstra, F., & Crane, J. (1998). Polen y humedad relativa.pdf. *Physiologia plantarum*, *103*, 145-153. <https://scihub.se/https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1030201.x>

Canet-Climent, J. (2021). *Tratamientos para mejorar la producción del aguacate*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/179238>

Cano-Gallego, L. E., Bedoya-Ramírez, S. I., Bernal-Estrada, J. A., Barrera-Sánchez, C. F., & Cordoba-Gaona, O. J. (2021). CRECIMIENTO DEL ÁRBOL DE AGUACATE CV. HASS EN DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTACIÓN EN ANTIOQUIA, COLOMBIA. En *VI CONGRESO LATINOAMERICANO DE AGUACATE 2021* (pp. 63-70).

- Carabalí-Muñoz, A., Pinchao-Tenganan, S.-Y., Peña-Mojica, J. F., Lamprea-Rodríguez, Ilba, M., & Carabalí-Banguero, Diana, J. (2017). Insectos polinizadores del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en Colombia. En *Insectos polinizadores del aguacate (Persea americana Mill.) cv. Hass en Colombia*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402360>
- Chaikiattiyos, S., Menzel, C. M., & Rasmussen, T. S. (1994). Floral induction in tropical fruit trees: Effects of temperature and water supply. *Journal of Horticultural Science*, 69(3), 397-415. <https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516469>
- Chen, H., Morrell, P. L., Ashworth, V. E. T. M., De La Cruz, M., & Clegg, M. T. (2009). Tracing the Geographic Origins of Major Avocado Cultivars. *Journal of Heredity*, 100(1), 56-65. <https://doi.org/10.1093/JHERED/ESN068>
- Cohen, H., Bar-Noy, Y., Irihimovitch, V., & Rubinovich, L. (2022). Effects of seedling and clonal West Indian rootstocks irrigated with recycled water on ‘Hass’ avocado yield, fruit weight and alternate bearing. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 0(0), 1-13. <https://doi.org/10.1080/01140671.2022.2098779>
- Corpohass. (2022). *Especial de exportaciones enero a abril 2022*.
- Cristancho-Pinilla, E., López, L., Mojica, A., Pedraza, E., & Valqui, A. (2021). *Estudio sobre las necesidades y brecha de calidad en la cadena productiva de aguacate Hass y plan de acción: Antioquia y su zona de influencia*. editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/57/40/578-1
- Davenport, T. L. (2019). Cross- vs. self-pollination in ‘Hass’ avocados growing in coastal and inland orchards of Southern California. *Scientia Horticulturae*, 246(October

2018), 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.051>

Davenport, T. L., & Manners, M. M. (1982). Nucellar senescence and ethylene production as they relate to avocado fruitlet abscission. *Journal of Experimental Botany*, 33(4), 815-825. <https://doi.org/10.1093/jxb/33.4.815>

Davis, T. D., Steffens, G. L., & Sankhla, N. (1988). Triazole Plant Growth Regulators. *Horticultural Reviews*, 63-105. <https://doi.org/10.1002/9781118060834.ch3>

Dixon, J., Elmsly, T. A., & Greenwood, A. C. (2007). Differences in initial fruit set on determinate and indeterminate flowering shoots. *New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report*, 7, 31-40.

Dorado, D., Grajales, L., & Rebolledo, A. (2017). *Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate*. <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/14/12/115-1>

Espíndola-Barquera, M., Cano-Medrano, R., Rodríguez-Alcázar, J., & Sánchez-García, P. (2008). Amarre de fruto en aguacate «Hass» con aplicaciones de AG3, N y anillado. *Agricultura técnica en México*, 34(4), 407-419. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

FAOSTAT. (2022). *Cultivos y productos ganaderos*. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

Ferreya, R., Sellés, G., Gil, P., Ruiz, R., Barrera, C., Maldonado, P., & Celedón, J. (2007). *Manejo del riego y suelo en palto*. Instituto de Investigación Agropecuaria, INIA Boletín N° 160.

- Fichet, L. T. (2021). *REGULADORES DE CRECIMIENTO PARA EL CONTROL DE GIBERELINAS EN LA FLORACIÓN, CUAJA Y ÁREA FOLIAR EN PALTO*. Revista Red Agrícola. N° 122. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/68247>
- Fonseca, F., Aguilar, D., Siachoque, R., Urbina, J., García, J., Páramo, G., García, E., Yucumá, Y., García, L., & Escobar, C. (2019). El Cultivo comercial de aguacate hass identificación de zonas aptas en Colombia a Escala 1:100.000. En *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural dem Colombia*. https://www.upra.gov.co/documents/10184/13821/Zonificación_aguacate_hass1/a47cae97-e208-4eec-818e-99f256b7c28e?version=1.3
- Fonseca, F., Aguilar, D., Siachoque, R., Urbina, J., Otero, J., Ráramo, G., & García, E. (2018). Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000. En *UPRA* (pp. 1-437). UPRA. <https://upra.gov.co/documents/10184/104284/CULTIVO+COMERCIAL+DE+AGUACATE+HASS>
- Galindo-Tovar, M. E., Ogata-Aguilar, N., & Arzate-Fernández, A. M. (2007). Some aspects of avocado (*Persea americana* Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution* 2007 55:3, 55(3), 441-450. <https://doi.org/10.1007/S10722-007-9250-5>
- García, J. S. A., da Silva, D. P., Salazar, A. H., Espinoza, R. A. I., & Ceballos-Aguirre, N. (2022). Phenology of hass avocado in the Andean tropics of Caldas, Colombia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 44(5). <https://doi.org/10.1590/0100-29452022252>
- García, J. S. A., Hurtado-Salazar, A., & Ceballos-Aguirre, N. (2021). Current overview

- of hass avocado in colombia. Challenges and opportunities: A review. *Ciencia Rural*, 51(8), 1-9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200903>
- Garner, L. C., & Lovatt, C. J. (2008). La relación entre la abscisión de la flor y el fruto y la alternancia del aguacate «Hass». *Sociedad Americana de Ciencias Hortícolas*, 133. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.1.3>
- Garner, L. C., & Lovatt, C. J. (2016). Physiological factors affecting flower and fruit abscission of «Hass» avocado. *Scientia Horticulturae*, 199, 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.009>
- Gazit, S., & Degani, C. (2007). Biología reproductiva. En *El Palto: Botánica, Producción y Usos* (pp. 103-154).
- Girard, E. O. (1977). *El cultivo del aguacate* (ICA (ed.)). Curso sobre frutales.
- González, G., Liliana, G., Sánchez, F., Iván, C., Ortiz, P., Fernanda, M., Rojas, A., & Andrea, X. (2018). PRODUCCIÓN DE AGUACATE HASS UNA ALTERNATIVA PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA HASS AVOCADO PRODUCTION AN ALTERNATIVE FOR THE DEPARTMENT OF HUILA Eje temático: Riesgo de Mercado. *Journal of Management and Development*, 7-15. <https://www.scielo.br/j/cr/a/sjPfnQ47hJt3g5jzzpp4Z9D/?format=pdf&lang=en>
- Hapuarachchi, N. S., Kämper, W., Wallace, H. M., Hosseini Bai, S., Ogbourne, S. M., Nichols, J., & Trueman, S. J. (2022). Boron Effects on Fruit Set, Yield, Quality and Paternity of Hass Avocado. *Agronomy*, 12(6), 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061479>
- Herrero, M., & Hormaza, J. I. (1996). Pistil strategies controlling pollen tube growth.

Sexual Plant Reproduction, 9(6), 343-347. <https://doi.org/10.1007/BF02441953>

Hodgson, R. W., & Cameron, S. H. (1935). *Temperature in Relation to the Alternate Bearing Behavior of the Fuerte Avocado Variety*. 55-60.

Hoekstra, F. A., & Bruinsa, J. (1980). Control of respiration of binucleate and trinucleate pollen under humid conditions. *Physiologia Plantarum*, 48(1), 71-77. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1980.tb03221.x>

Holzapfel, E., de Souza, J. A., Jara, J., & Guerra, H. C. (2017). Responses of avocado production to variation in irrigation levels. *Irrigation Science*, 35(3), 205-215. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0533-0>

Ish-Am, G. (1994). Interrelationship between avocado flowering and honeybees and its implication on the avocado fruitfulness in Israel. *Thesis*, 4. http://www.avocadosource.com/papers/Israeli_Papers/Ish_Am_1994.pdf

Ish-Am, G. (2004). Polinización Del Palto En Israel: Prácticas Y Experiencias – Un Breve Revisión. *Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. Quillota*, 11. http://www.avocadosource.com/journals/2_seminario/2_seminario_ish_am_avocado_pollination_span.pdf

Kremer-Kohne, S. (1987). Vegetative growth and fruit retention in avocado as affected by a new plant growth regulator (Paclobutrazol). *South African Avocado Grower's Association Yearbook*, 10, 64-66. http://www.avocadosource.com/WAC1/WAC1_p064.pdf

Lahav, E., & Whiley, A. W. (2007). Riego y Nutrición Mineral. En *El Palto: Botánica, Producción y Usos* (pp. 241-274).

- Lahav, E., & Zamet, D. (1999). Flowers, Fruitlets and Fruit Drop in Avocado Trees. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 95-100.
- Lesley, J. W., & Bringhurst, R. S. (1951). Environmental Conditions Affecting Pollination of Avocados. *California Avocado Association. Annual Report*, 36, 169-173.
http://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_36_1951/CAS_1951_PG_169-173.pdf
- Lira, R. (2007). *Fisiología vegetal* (Trillas).
- Lovatt, C. J. (2004). Eliminating Alternate Bearing Of «Hass» Avocado. *California Avocado Society Yearbook*, 89-95.
- Lovatt, C. J. (2005). Eliminating Alternate Bearing Of «Hass» Avocado. *California Avocado Society Yearbook*, 75-86.
http://www.avocadosource.com/ARAC/Symposium_2005/ARAC2005_PG_075-086.pdf
- Lovatt, C. J. (2010). Alternate Bearing Of «Hass» Avocado. *California Avocado Society Yearbook*, 93, 125-140.
http://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_93_2010/CAS_2010_V93_PG_125-140.pdf
- Luckwill, L. C. (1980). *HORMONES AND THE PRODUCTIVITY OF FRUIT*. 31, 60-68.
<https://www.jstor.org/stable/45126776>
- Lynce-Duque, D. (2019). Poda del aguacate en Colombia. *Acta VIII Congreso Mundial del Aguacate* 2011), 2011(September).

https://www.avocadosource.com/WAC7/Section_10/LynceDuqueDavid2011c.pdf

MADR, (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). (2021). *Cadena productiva del aguacate*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2021-06-30/CifrasSectoriales.pdf>

Menzel, C. M., & Le Lagadec, M. D. (2014). Increasing the productivity of avocado orchards using high-density plantings: A review. *Scientia Horticulturae*, 177, 21-36. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.013>

Michelakis, N., Vougioucalou, E., & Clapaki, G. (1993). Water use, wetted soil volume, root distribution and yield of avocado under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 24(2), 119-131. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(93\)90003-S](https://doi.org/10.1016/0378-3774(93)90003-S)

Mickelbart, M. V., Bender, G. S., Witney, G. W., Adams, C., & Arpaia, M. L. (2007). Effects of clonal rootstocks on «Hass» avocado yield components, alternate bearing, and nutrition. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(3), 460-466. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512259>

Mickelbart, M. V., Robinson, P. W., Witney, G., & Arpaia, M. L. (2012). «Hass» Avocado tree growth on four rootstocks in California. I. Yield and flowering. *Scientia Horticulturae*, 143, 184-188. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.06.023>

Moraes, A. F. G., Micheletti, L. B., Santoro, M. B., Teixeira dos Santos, N., Avilés, T. C., & da Silva, S. R. (2022). Horticultural performance of ‘Hass’ avocado grafted onto seedling and clonal rootstocks under tropical wet-dry climate conditions. *Scientia Horticulturae*, 302(March). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111155>

Muñoz, A. (2022, julio 29). *El aguacate se posiciona en el quinto renglón de las*

exportaciones agrícolas del país. <https://www.agronegocios.co/agricultura/el-aguacate-se-posiciona-en-el-quinto-renglon-de-las-exportaciones-agricolas-del-pais-3412745#>

Muñoz, A. E., Plantegenest, M., Amouroux, P., & Zaviezo, T. (2021). Native flower strips increase visitation by non-bee insects to avocado flowers and promote yield. *Basic and Applied Ecology*, 56, 369-378. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.08.015>

Nirody, B. S. (1992). *Investigations in avocado breeding* (Número February). <https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2386&context=theses>

Papademetriou, M. K. (1976). Some Aspects of the Flower Behavior , Pollination and Fruit Set of Avocado (*Persea Americana* Mill .) in Trinidad. *Society*, 106-152. http://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_60_1976/CAS_1976_PG_106-152.pdf

Pearce, S. C., & Dobersek-Urbanc, S. (1967). The Measurement of Irregularity in Growth and Cropping. *Journal of Horticultural Science*, 42(3), 295-305. <https://doi.org/10.1080/00221589.1967.11514216>

Pegg, K. G., Coates, L. M., Korsten, L., & Harding, R. M. (2007). Enfermedades foliares, del fruto y el suelo. En *El Palto: Botánica, Producción y Usos* (pp. 275-309).

Rademacher, W. (2000). Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Biology*, 51, 501-531. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.501>

Ramírez-Gil, J. G. (2017). Calidad del fruto de aguacate con aplicaciones de ANA, boro, nitrógeno, sacarosa y anillado. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 591.

<https://doi.org/10.15517/ma.v28i3.23688>

- Ramos, A. M. (2019). *El papel de las giberelinas en el cuajado del fruto del aguacate (Persea americana Mill)*. 31. <http://hdl.handle.net/10251/129940>
- Rebolledo, A., & Romero, M. (2011). Avances En Investigacion Sobre El Comportamiento Productivo. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 12, 113-120. http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:220
- Rios-Castaño, D., & Tafur-Reyes, R. (2003). Variedades De Aguacate Para El Trópico: Caso Colombia. *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate)*, 143-147.
- Robbertse, P., Johannsmeier, M. F., & Morudu, T. M. (1997). Pollination studies in Hass avocado in relation to the small fruit problem. *South African Avocado Growers' Association Yearbook (South Africa)*, 84-85. https://www.avocadosource.com/Journals/SAAGA/SAAGA_1997/SAAGA_1997_PG_084-085.pdf
- Romero-Sánchez. (2012). *Comportamiento fisiológico del aguacate* ([Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9437/790700.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rosales, J., Parodi, G., & Carlini, B. (2003). Evaluación del ciclo Fenológico del palto Persea americana Mill cv.Hass para la zona de irrigación Santa Rosa, Perú. *Actas V Congreso Mundial del Aguacate*, 311-316. https://www.researchgate.net/profile/Guillermo_Parodi2/publication/237748537_E

VALUACION_DEL_CICLO_FENOLOGICO_DEL_PALTO_PERSEA_AMERICANA_MILL_CV_HASS_PARA_LA_ZONA_DE_LA_IRRIGACION_SANTAROSA_PERU/links/5654b0b608ae4988a7b05d72/EVALUACION-DEL-CICLO-FENOLOGI

Saito, S., Okamoto, M., Shinoda, S., Kushiro, T., Koshihara, T., Kamiya, Y., Hirai, N., Todoroki, Y., Sakata, K., Nambara, E., & Mizutani, M. (2006). A plant growth retardant, uniconazole, is a potent inhibitor of ABA catabolism in Arabidopsis. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 70(7), 1731-1739. <https://doi.org/10.1271/bbb.60077>

Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L. E., González-Durán, I. J. L., & Lovatt, C. J. (2007). DESARROLLO FLORAL DEL AGUACATE 'HASS' EN CLIMA SEMICÁLIDO. PARTE I. INFLUENCIA DE LA CARGA DE FRUTO Y EDAD DE LOS BROTES. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XIII(1), 87-92. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2007.03.013>

Salazar-García, S., Garner, L. C., & Lovatt, C. J. (2012). Biología reproductiva. En *El aguacate: botánica, producción y usos* (pp. 118-167). <https://www.pdfdrive.com/the-avocado-botany-production-and-uses-e191463175.html>

Salazar-García, S., Garner, L. C., & Lovatt, C. J. (2012). Biología reproductiva. En *The avocado: Botany, production and uses* (pp. 118-167).

Salazar-García, S., & Lovatt, C. J. (1997). USE OF GIBBERELIC ACID TO MANIPULATE FLOWERING IN THE «HASS» AVOCADO: A PRELIMINARY REPORT. *Proceedings of the Australian Avocado Growers' Federation and the*

New Zealand Avocado Growers' Association Conference '97, 'Searching for Quality'. Rotorua, September, 106-111.

http://www.avocadosource.com/journals/ausnz/conf97/conference_1997_pg_106-111.pdf

Salazar-García, S., & Lovatt, C. J. (1999). Winter trunk injections of gibberellic acid altered the fate of «Hass» avocado buds: Effects on inflorescence type, number and rate of development. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(1), 69-73. <https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511074>

Salazar-García, S., & Lovatt, C. J. (1998). GA3 application alters flowering phenology of «Hass» avocado. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(5), 791-797. <https://doi.org/10.21273/jashs.123.5.791>

Sanzol, J., Rallo, P., & Herrero, M. (2003). Asynchronous development of stigmatic receptivity in the pear (*Pyrus communis*; Rosaceae) flower. *American Journal of Botany*, 90(1), 78-84. <https://doi.org/10.3732/ajb.90.1.78>

Sasaki, E., Ogura, T., Takei, K., Kojima, M., Kitahata, N., Sakakibara, H., Asami, T., & Shimada, Y. (2013). Uniconazole, a cytochrome P450 inhibitor, inhibits trans-zeatin biosynthesis in *Arabidopsis*. *Phytochemistry*, 87, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.11.023>

Schaffer, B., & Whiley, A. W. (2007). Fisiología ambiental. En *El Palto: Botánica, Producción y Usos* (pp. 133-154).

Sedgley, M. (1977). The Effect of Temperature on Floral Behaviour, Pollen Tube Growth and Fruit Set in the Avocado. *Journal of Horticultural Science*, 52(1), 135-141.

<https://doi.org/10.1080/00221589.1977.11514739>

Sedgley, M. (1980). Anatomical investigation of abscised avocado flowers and fruitlets. *Annals of Botany*, 46(6), 771-777. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a085974>

Sedgley, M., & Buttrose, M. S. (1978). Structure of the stigma and style of the avocado. *Australian Journal of Botany*, 26(5), 663-682. <https://doi.org/10.1071/BT9780663>

Silber, A., Israeli, Y., Levi, M., Keinan, A., Shapira, O., Chudi, G., Golan, A., Noy, M., Levkovitch, I., & Assouline, S. (2012). Response of «Hass» avocado trees to irrigation management and root constraint. *Agricultural Water Management*, 104, 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.003>

Silber, A., Naor, A., Cohen, H., Bar-Noy, Y., Yechieli, N., Levi, M., Noy, M., Peres, M., Duari, D., Narkis, K., & Assouline, S. (2019). Irrigation of 'Hass' avocado: effects of constant vs. temporary water stress. *Irrigation Science*, 37(4), 451-460. <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00622-w>

Stout, A. (1923). A study in cross-pollination of avocados in southern California. *California Avocado Association Annual Report*, 8(Iii), 29-45. http://www.avocadosource.com/cas_yearbooks/cas_08_1922/cas_1922-23_pg_29-45.pdf%5Cnhttp://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_08_1922/CAS_1922-23_PG_29-45.pdf

Sun, T. P. (2011). The molecular mechanism and evolution of the GA-GID1-DELLA signaling module in plants. *Current Biology*, 21(9), R338-R345. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.02.036>

- Thorp, T. G., Anderson, P., & Camilleri, M. (1995). AVOCADO TREE GROWTH CYCLES - A QUANTITATIVE MODEL. *The Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Ltd.*, 76-79.
http://www.avocadosource.com/WAC3/wac3_p076.pdf
- Troiani, H., Prina, A., Tamame, M., & Beinticinco, L. (2017). Botanica, morfología, taxonomía y fitogeografía. En *EdUNLPam*.
<http://www.unlpam.edu.ar/images/extension/edunlpam/QuedateEnCasa/botanica-morforlogia-taxonomia-y-fitogeografia.pdf>
- Van Bel, A. J. E. (2003). The phloem, a miracle of ingenuity. En *Plant, Cell and Environment* (Vol. 26, Número 1, pp. 125-149). John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00963.x>
- Whiley, A. W. (2007). Manejo del cultivo. En *El Palto: Botánica, Producción y Usos* (pp. 215-240).
- Whiley, A. W., & Wolstenholme, B. N. (1990). Carbohydrate management in avocado trees for increased production. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 13, 25-27.
http://www.avocadosource.com/journals/saaga/saaga_1990/saaga_1990_pg_25-27.pdf
- Whiley, A. W., Wolstenholme, N., & Schaffer, B. (2012). *The Avocado. Botany, production and uses*. <https://www.pdfdrive.com/the-avocado-botany-production-and-uses-e191463175.html>
- Wolstenholme, B. N. (1986). Energy costs of fruiting as a yield-limiting factor with

special reference to avocado. *Physiology of Tree Fruits*, 175. [https://scihub.hkvisa.net/10.1016/0378-3774\(93\)90003-S#](https://scihub.hkvisa.net/10.1016/0378-3774(93)90003-S#)

Wolstenholme, N. (2012). Ecology: climate and soils. En *The avocado: Botany, production and uses* (pp. 86-118). <https://www.pdfdrive.com/the-avocado-botany-production-and-uses-e191463175.html>