

Capítulo II



Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo

Álvaro de Jesús Tamayo Vélez
Ángela María Castaño Marín
Jorge Alonso Bernal Estrada
Lucas Esteban Cano Gallego
Mauricio de Jesús Londoño Bonilla

INTRODUCCIÓN

La diversidad de climas en Colombia se debe a su ubicación geográfica en la zona intertropical y a su sistema montañoso. La oferta de radiación solar, precipitación, temperatura del aire y humedad relativa está estrechamente relacionada con la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), los vientos alisios y la orografía. En el trópico, la temperatura media del aire disminuye en cerca de 0,65 °C por 100 m de aumento en la altitud (Jaramillo-Robledo, 2018), por lo que las variaciones de la temperatura no están sujetas a las estaciones, sino a los cambios en altitud.

El departamento de Antioquia, situado en la región noroccidental de Colombia, tiene una notable diversidad climática a lo largo de las subregiones en donde se cultiva el aguacate cv. Hass. En el norte, el clima cálido tropical presenta temperaturas que van desde los 24 °C hasta los 30 °C, con una temporada de lluvias que generalmente ocurre entre los meses de abril y noviembre. En el oriente, las temperaturas oscilan entre 18 °C y 24 °C. El suroeste se caracteriza por temperaturas que fluctúan entre 22 °C y 28 °C, con lluvias que supera los 3.000 mm. En la región de occidente, las temperaturas varían entre 25 °C y 30 °C. Finalmente, en el Valle de Aburrá, el clima templado de montaña se traduce en temperaturas que oscilan entre 15 °C y 24 °C. Las últimas cuatro subregiones presentan históricamente dos temporadas de mayor precipitación: entre marzo y mayo, y entre septiembre y noviembre. En la tabla 1, se muestra el promedio mínimo y máximo de la precipitación anual con su respectivo coeficiente de variación. Nótese el amplio rango de precipitación, debido a las contrastantes condiciones topográficas y geográficas de los municipios que las componen, lo cual hace posible una gran oferta climática para el aguacate cv. Hass.

Tabla 1. Precipitación promedio multianual, periodo 1981 a 2010, para Antioquia

Subregión	Precipitación (mm) año			
	Promedio	Máximo	Mínimo	cv.
Oriente	3.328	5.070	1.594	0,21
Norte	3.046	4.920	1.332	0,23
Suroeste	2.690	4.870	1.700	0,20
Valle de Aburrá	2.098	3.181	1.444	0,17
Total	231	54.896	37.349	487.455

Fuente: Ideam (s. f.)

TEMPERATURA

El aguacate cv. Hass de origen guatemalteco (con cierto porcentaje de genes de la raza mexicana), se adapta muy bien a las tierras altas del trópico, análogas a los lugares donde ocurrió su desarrollo evolutivo y no en las zonas bajas, donde prevalecen circunstancias ambientales muy disímiles a las de su centro de origen (Galán Saucó, 1990). De las tres razas, la mexicana está más adaptada a climas más fríos y puede tolerar temperaturas de hasta 2,2 °C, pero tiene una temperatura óptima de 5 a 17 °C; la raza guatemalteca se adapta a condiciones subtropicales con una temperatura óptima de 4 a 19 °C; mientras que la antillana se adapta a temperaturas de 18 a 26 °C (Avilán et al., 1992). Para el amarre del fruto del aguacate cv. Hass, se requieren temperaturas en un rango mínimo que oscila entre 20 y 25 °C y un máximo de 28 a 33 °C (Whiley & Wiston, 1987). El mayor amarre de frutos de aguacate ocurre con temperaturas entre 20 y 25 °C, mientras que una temperatura superior a 28 °C provoca la abscisión de flores individuales (Lovatt, 1990).

Benacchio Scotton (1982) menciona que los umbrales para el crecimiento del cultivo de aguacate Hass están entre los 10 y los 35 °C (tabla 2); sin embargo, se estima que el rango de temperatura para aguacate Hass en condiciones del trópico alto colombiano está entre los 14 y los 27 °C; en cambio, temperaturas por debajo de los 10 °C provocan daños por frío en distintos órganos de la planta, cuando se presentan de forma recurrente; temperaturas inferiores a los 15 °C o superiores a los 40 °C provocan una disminución de hasta un 33 % de la tasa fotosintética, en comparación con las obtenidas en temperaturas óptimas; además, causan daños en la fecundación y el cuajado del fruto.

De acuerdo con Salazar-García et al. (2005), la temperatura influye sobre la duración de las fases fenológicas del cultivo y puede acortar o alargar el periodo de cosecha. Trabajos de investigación realizados por Bernal Estrada (2016) determinaron que el peso del fruto era influenciado por la temperatura y, por ende, por la altitud del cultivo, con una masa que varía entre 156,12 g a 1.340 m s. n. m. y 215,18 g a 2.140 m s. n. m. (tabla 3).

Tabla 2. Condiciones de temperaturas mínimas, óptimas y máximas para el cultivo de aguacate cv. Hass

Condición	Temperatura en OC			Fuente
	Mínima	Máxima	Óptima	
Temperatura crítica	10			Zamet, 1990
Temperatura de zona radicular	5			Körner & Paulsen, 2024
Umbral para el crecimiento y desarrollo	10		35	Benacchio Scotton, 1982
Resistencia a frío cv. Hass	-1,1			Gardiazábal, 1990
Temperatura nocturna	>10			Körner & Paulsen, 2024
Requerimiento estacional	Invierno >4		Verano >31	Körner & Paulsen, 2024
Amarre del fruto		20 a 25		
Amarre del fruto cv. Hass	12 a 17		28 a 33	
Absición de flores			>28	
Detrimento de la polinización			>32	
Reducción en el cuajado de frutos	<10 noche		<20 día	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Características del fruto cv. Hass en siete localidades del departamento de Antioquia

Localidad	Altura (m s. n. m.)	Peso fruto (g)	Pulpa (%)	Semilla (%)	Cáscara (%)	*DP (cm)	**DE (cm)	Relación (DP/DE)
Támesis	1.340	156,12	63,05	20,87	16,08	8,36	6,41	1,30
Venecia PB	1.510	156,21	63,48	20,77	15,75	8,42	6,65	1,27
Venecia SC	1.770	190,49	67,89	17,65	14,47	8,92	7,05	1,28
Jericó	1.900	182,09	64,71	20,70	14,6	8,77	6,91	1,27
Marinilla	2.087	189,55	67,05	18,54	14,42	8,54	6,81	1,25
Rionegro	2.140	215,18	69,51	18,62	11,87	9,04	7,06	1,26
Entrerriós	2.420	193,06	70,61	16,11	13,28	8,56	6,78	1,26

*Fuente: Elaboración propia – *DP: diámetro polar **DE: diámetro ecuatorial*

Temperaturas máximas observadas en algunas localidades del departamento con aguacate cv. Hass, como es el caso de Támesis, pueden alcanzar los 32,25 °C, las cuales son consideradas por Anguiano et al., (2007) como marginales y podrían tener un impacto en el rendimiento y calidad de la fruta en comparación con otras localidades.

Existen muchas evidencias sobre el efecto que tiene la temperatura en el desarrollo de los árboles de aguacate cv. Hass, así como en el rendimiento, la producción, el peso promedio de los frutos, la forma, la calidad externa e interna, entre otros. De acuerdo con Bernal Estrada (2016), las frutas obtenidas de cultivos establecidos en ambientes fríos (2.420 m s. n. m.) tienden a

ser más redondas y menos rugosas que las frutas obtenidas bajo condiciones cálidas, que suelen ser más alargadas y con mayor rugosidad en su corteza.

La temperatura también ejerce una influencia en el tiempo que transcurre desde la floración hasta la cosecha. En este sentido, en un estudio realizado por Bernal Estrada (2016), en cuatro localidades del departamento de Antioquia (Colombia), se encontró que el periodo entre la floración y la cosecha variaba según el ambiente en el que se desarrollaba el cultivo: en sitios a 1.340 m s. n. m., con una temperatura media anual de 20 °C, este periodo fue de 8 a 9 meses; los frutos de los árboles sembrados a 1.900 m, con temperatura de 18° C, se cosecharon de 10 a 11 meses después de la anthesis; para los cultivos establecidos en altitudes de 2.180 m y temperaturas de 17 °C, este tiempo fue de 11 a 12 meses, y, finalmente, en regiones con temperatura media anual de 14,7 °C a 2.420 m s. n. m., duró entre 12 y 13 meses. De igual manera, Díaz Díez y Bernal Estrada (2017) reportaron que el tiempo transcurrido desde el cuajamiento hasta la cosecha en cultivos de aguacate cv. Hass plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia tiende a ser mayor, debido a la mayor altitud de las fincas.

En árboles de aguacate cv. Hass, el aumento de la temperatura en zonas muy bajas genera una pérdida de agua por mayor transpiración foliar y bajo tales condiciones este cultivar no logra aclimatarse; esta situación no se presenta en ambientes con menores temperaturas, donde los árboles crecen y producen con una adecuada respuesta.

El efecto de la temperatura sobre la calidad de la fruta en este cultivar también fue reportada por Bernal Estrada (2016), quien encontró que, en zonas por encima de los 1.770 m s. n. m., el porcentaje de pulpa fluctuó entre 64 y 70 % (similar a lo reportado por Newett et al. (2007), quienes mencionan que el aguacate cv. Hass tiene entre un 66 y 70 % de pulpa aprovechable); mientras que, en ambientes por debajo de esta altitud, los frutos tuvieron porcentajes de pulpa más bajos (aproximadamente 63 %). El mismo estudio encontró que los porcentajes de semilla y cáscara fueron mayores en los frutos donde el contenido de pulpa fue menor, y viceversa. La mayor respuesta en calidad de fruto cosechado (peso del fruto, % de pulpa, % de semilla, % de cáscara y aceptación por análisis sensorial) se presentó en ambientes de menor temperatura en las zonas altas tropicales y, contrariamente, las más bajas calidades se encontraron en los ambientes de mayor temperatura, en las zonas medias tropicales. El peso promedio de los frutos obtenidos en las localidades por encima de los 2.000 m s. n. m. fue superior a los 190 g, catalogado dentro de este estudio como de categoría “extra” (mayor de 180 g). Además, se pudo constatar que por debajo de los 1.770 m s. n. m. se obtuvieron no solo frutos de menor tamaño, sino con menores contenidos de pulpa aprovechable, tanto para consumo en fresco como para la agroindustria, es decir, que al aumentar la temperatura promedio, se disminuyó el porcentaje de pulpa en los frutos. De otra parte, se comprobó que los frutos procedentes de ambientes más frescos (localidades

a mayor altura) tuvieron un mayor porcentaje de unidades de categoría extra, y que, contrariamente, al aumentar la temperatura promedio, disminuyó el porcentaje de frutos de esta calidad.

Por otra parte, los ácidos grasos insaturados (favorables para la salud humana), en frutos cosechados de árboles plantados en alturas mayores sobre el nivel del mar, demuestran un efecto de la temperatura sobre la calidad interna de la fruta. Por el contrario, los ácidos grasos saturados se reducen a medida que los cultivos se plantan en cotas más altas, lo cual coincide con lo indicado por White y Weber (2003), quienes aseguran que dentro de los factores ambientales que tienen mayor influencia sobre el perfil de ácidos grasos está la temperatura ambiental, que al aumentar incrementa a su vez la proporción de ácidos grasos saturados a expensas de los insaturados.

Pero no solo la temperatura ambiental afecta el desarrollo, la productividad, el rendimiento y la calidad de la fruta en árboles de aguacate Hass en Antioquia; se ha encontrado que las temperaturas del suelo óptimas para el crecimiento de las raíces en el aguacate Hass se encuentra entre los 14 y los 18 °C, y que por encima o por debajo de este intervalo se afecta el desarrollo del sistema radical; sin embargo, para la zona productiva en la región Andina colombiana, el suelo presenta una condición *buffer*, con tendencia a que, cuando hay temperaturas altas en el ambiente, el suelo se mantiene a temperaturas bajas y viceversa (Bernal Estrada, 2016; FAO, 1999; Salazar-García et al., 2008).

PRECIPITACIÓN

Los requisitos de agua son bajos durante la etapa de receso del crecimiento vegetativo; sus niveles aumentan de moderados a altos durante la floración y permanecen en niveles moderados durante la mayor parte de la temporada de crecimiento, excepto durante la caída de frutos y al comenzar los flujos de crecimiento vegetativo (en esta etapa los requerimientos son más altos) (Wolstenholme, 2015).

Con respecto a los requerimientos hídricos, se reporta que a nivel mundial el cultivo tiene un buen comportamiento entre 665 a 2.000 mm/año de precipitación; sin embargo, bajo las condiciones del trópico alto colombiano, el mejor comportamiento del aguacate cv. Hass se encuentra en un rango de entre los 1.800 a los 3.000 mm/año. Precipitaciones por debajo de los 1.500 mm/año provocan caída de hojas, flores y frutos, debido a la disminución en la disponibilidad de agua en el suelo; por encima de los 3.000 mm/año, pueden causar reducción en el desarrollo de los árboles por asfixia radicular y reducir los rendimientos; además, si estos volúmenes de agua se combinan con la presencia de granizadas, provocan la caída de flores y frutos (Benacchio Scotton, 1982; Bernal & Díaz, 2008; Galán Saucó, 1990; Gandolfo Wiederhold, 2008; Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981).

El concepto de requerimiento hídrico varía de acuerdo con las etapas de crecimiento fenológico (Whiley et al., 1988). Al respecto, Avilán et al. (2007) mencionan que la ocurrencia de los flujos vegetativos está relacionada con los meses de mayor

precipitación. Además, Whiley (1990) manifiesta que en zonas donde un descenso en la temperatura no es suficiente para lograr una detención completa del crecimiento vegetativo, como en las regiones productoras de aguacate cv. Hass del departamento, un déficit hídrico de pequeña duración (de 1 a 2 meses) es favorable para la inducción floral.

La distribución de las precipitaciones en las zonas de producción del aguacate Hass en Antioquia muestra un comportamiento de tipo bimodal, más bajas en los periodos de diciembre a marzo, y de junio a agosto, y altas en los meses de abril y mayo, así como de septiembre a noviembre, cubriendo los requerimientos hídricos del cultivo. Esta situación genera dos épocas de cosecha que coinciden con los meses de menor precipitación, las cuales se denominan cosecha principal, que ocurre en los meses de menor régimen de lluvias, y la traviesa, en la otra época seca del año.

Es frecuente que en las zonas productoras la precipitación sobrepase el óptimo requerido por el cultivo, lo que implica realizar drenajes en los lotes productivos, pues las raíces de esta especie son más propensas a problemas radicales que cualquier otro árbol frutal; es por ello que, además, necesita de suelos excepcionalmente bien drenados (Avilán et al., 1992). Contrariamente, en las épocas secas, cuando no se cubre el requerimiento hídrico, se deben hacer prácticas de riego (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020; Jaramillo-Robledo & Chaves-Córdoba, 2000; Rondón Salas et al, 2020).

El manejo del agua en un cultivo es un factor influyente en su producción. Se han realizado diversas investigaciones enfocadas en el estudio de los requerimientos hídricos del cultivo de aguacate.

HUMEDAD RELATIVA

El aguacate se adapta a condiciones húmedas y semihúmedas con claras diferencias entre las estaciones húmeda y seca. La humedad relativa ideal para los aguacates, según Baíza Avelar (2003), está entre 60 y 70 %, aunque algunos cultivos, como el Hass, pueden soportar hasta el 80 %. Este aspecto afecta tanto la calidad del fruto, como la salud general de los órganos aéreos del árbol. En hojas, ramas y frutos, la alta humedad relativa favorece el crecimiento de enfermedades fúngicas; por otro lado, la humedad relativa por debajo del mínimo necesario provoca el cierre de estomas, lo que resulta en deshidratación y ausencia de fotosíntesis.

En este sentido, al aguacate Hass presenta valores favorables de humedad relativa entre 50 % y 80 %; por debajo de 50 % provoca la muerte por desecación del polen, y por encima del 80 % aumenta la incidencia de enfermedades, principalmente fúngicas (Bernal & Díaz, 2008; Galán Sauco, 1990; Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981).

En la mayoría de las zonas de producción de aguacate Hass en Antioquia, ubicadas desde el norte hasta el suroeste del departamento, se encuentran porcentajes de humedad relativa que oscilan desde el 72 % hasta valores superiores al 90 %, sin

que existan limitaciones en la producción y rendimiento de los cultivos; sin embargo, esta situación genera condiciones muy restrictivas por la proliferación de algunas plagas y enfermedades que se ven favorecidas bajo tales circunstancias (Rondón Salas et al., 2020).

VIENTO

El viento es un factor muy importante porque las ramas de aguacate son muy frágiles y se rompen fácilmente. Por lo tanto, es necesario contar con buena protección natural contra el viento o establecer una buena barrera cortavientos, preferentemente un año antes del establecimiento de la plantación. El viento no debe ser constante y no debe alcanzar velocidades superiores a los 20 km/h. Cuando sopla el viento, las ramas se rompen, las flores y los frutos caen, y las hojas y los brotes de los árboles se queman. La deshidratación por la presencia del viento impide la fecundación y la formación de los frutos (Avilán et al., 1992).

Bartoli (2008) afirma que vientos fuertes, por encima de 6 m/s, inhiben la polinización y la fructificación, lo cual causa fuertes daños y caída de ramas, flores y frutos; además, provoca perjuicios por fricción entre frutos y ramas. Los vientos secos lesionan el estigma y entorpecen el vuelo de los agentes polinizadores; además, provocan deshidratación y aborto de frutos pequeños. Vientos huracanados pueden causar el volcamiento de los árboles, ya que el sistema radicular del aguacate es susceptible a este fenómeno.

BRILLO SOLAR

Dado que el brillo solar se considera una expresión de la radiación solar directa recibida diariamente, en los trópicos se presenta muy poca variación estacional durante del año, en comparación con las latitudes altas, donde en los largos días de verano se presenta una mayor radiación solar diaria que la recibida en los trópicos, que se ve amortiguada por las nubes y el vapor de agua transportado por el aire a través de la reflexión y la absorción. Por lo anterior, la radiación no es una limitante para el crecimiento del aguacate en los trópicos; por el contrario, puede haber afectaciones en el desarrollo de los cultivos en épocas y zonas de mucha nubosidad y humedad relativa ambiental, así como en áreas sombreadas por vegetación o montañas (Paull & Duarte, 2011).

Por otra parte, el rango óptimo de radiación solar para este cultivo está entre 4 y 5,5 horas/día; por debajo de ese intervalo se reduce el crecimiento vegetativo, así como el número y la longitud de los brotes, el área foliar y la actividad fotosintética (Bernal Estrada, 2016); mientras que, por encima de este, hay riesgo de quemaduras en frutos y ramas (golpe de sol) (Galán Sauco, 1990; Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981). En Antioquia, para aguacate Hass se reportan valores de BS que fluctúan entre 5,24 horas por día, o 1.912,6 horas por año, y 6,4 horas/día, es decir 2.336 horas en un año, los cuales están acordes con lo recomendado por Gaillard y Godefroy (1995), quienes señalan que los aguacates se desarrollan bien

en regiones con alrededor de 2.000 horas de luz solar al año. Cabe destacar que en zonas subtropicales, como las áreas de producción de California en Estados Unidos e Israel, reciben entre 3.000 y 3.500 horas de luz solar al año, debido principalmente a los largos días de verano.

A pesar de que los valores de BS reportados en Antioquia para esta especie están dentro de los requerimientos del cultivo, es importante recalcar que las ramas de aguacate que están demasiado sombreadas son improductivas, lo que resalta la importancia de utilizar técnicas de poda adecuadas y manejar la densidad de plantación. Por otro lado, la plena exposición a la luz solar es muy beneficiosa para la plantación; sin embargo, un exceso de luz produce quemaduras en ramas, hojas, frutos, e incluso en los troncos de árboles jóvenes (Bárceñas et al., 2002).

ALTITUD

Las tres razas se adaptan a diferentes altitudes de la siguiente manera: la variedad mexicana se adapta a altitudes superiores a los 2.000 m s. n. m. (piso térmico frío); la raza guatemalteca tiene un rango de altitud adaptable entre 800 y 2400 m s. n. m. (piso térmico frío moderado a moderado) y, finalmente, la variedad Antillana tiene un rango adaptativo de 0 a 800 m s. n. m., lo que corresponde a un piso térmico cálido. Los híbridos entre estas razas muestran una gama más amplia de adaptación (Avilán et al., 1992).

La altura a la que se encuentra un huerto afecta directamente el peso de la fruta: son mayores los pesos en cuanto mayor

es la altura sobre el nivel del mar. Rionegro (214,16 g; el más pesado) y Entrerriós (205,22 g) fueron las localidades donde se encontraron frutos con un peso medio superior a los 200 g. En Támesis se identificó un peso promedio de 143,09 g, y fue la región que ofreció frutos de menor peso. Esto se encuentra en consonancia con los hallazgos de Tapia et al. (2007), quienes afirman que, en climas templados subhúmedos, propios del sector de Entrerriós, los frutos tienden a obtener mayor peso fresco y mayor peso de pulpa. También concluyen que los frutos presentan menor peso fresco y menor peso de pulpa en climas semicálidos subhúmedos. Un estudio realizado por Díaz-Díez y Bernal Estrada (2017), para varias localidades del departamento de Antioquia, mostró una tendencia similar: se encontraron frutos más grandes en zonas por encima de los 2.280 m s. n. m. En ese sentido, las frutas cosechadas en ambientes más fríos (mayores alturas) se caracterizaron por un mayor peso de la fruta; es decir, a medida que aumentó la temperatura promedio, disminuyó el peso promedio del fruto, observándose el efecto ambiental.

En Antioquia se ha detectado que, en alturas por encima de 1.770 m., la fracción de pulpa varía entre 64 y 70 %, mientras que por debajo de esta altitud las fracciones de pulpa son menores (alrededor de 63 %); esta característica también refleja que, en ambientes por debajo de los 1.770 m, no solo se producen frutos de menor tamaño, sino que la calidad de estos también disminuye, ya que tienen un menor contenido de pulpa aprovechable.

En general, los predios de mayor altitud producen frutos más grandes, lo que se traduce en mayor peso, diámetro y contenido de pulpa, y menor contenido de piel y semillas. Para una adecuada producción de aguacate, el tamaño del fruto tiene una enorme importancia económica y al mismo tiempo, considerando la calidad interna, el contenido de aceite también tiene una relevancia significativa. Se ha encontrado que el contenido de aceite en los aguacates depende en gran medida de la producción y el tamaño de la fruta; de manera que, a mayor tamaño, mayor contenido de aceite (Lahav & Whiley, 2007).

LATITUD

Las tres razas de aguacate se originan en su totalidad en latitudes tropicales de América Central, por lo que el árbol se describe comúnmente como una especie tropical. Tanto el ecotipo mexicano como el guatemalteco son nativos de las selvas y las zonas montañosas, también conocidas como las “tierras altas tropicales”. Ambos se adaptan a diferentes grados y a muchas regiones subtropicales cálidas o frías; es decir, cuando la latitud norte o sur supera los 23 grados. Los cultivares de estos dos ecotipos, especialmente aquellos con predominio de genes guatemaltecos y que contienen al menos algunos genes mexicanos, no solo son la base de la industria subtropical del aguacate, sino también las de las zonas industrial subtropical y tropical de las tierras altas de países como México, Guatemala, Kenia, Colombia (Wolstenholme, 2015).

Se ha sugerido que el ecotipo mexicano es nativo de las tierras altas entre los

paralelos de latitud 19° y 24°, en el límite entre las tierras altas subtropicales y subtropicales (Storey et al., 1986). Los aguacates guatemaltecos silvestres se encuentran en las tierras altas muy tropicales entre los 14° y los 16° de latitud norte. El ecotipo más tropical de todos es el antillano, que se extiende entre los 8° y los 15° de latitud norte en las tierras bajas del Pacífico (Wolstenholme, 2015).

Por lo tanto, se considera que el hábitat natural de los aguacates silvestres antillanos oscila entre los 8° y los 24°, que van desde el nivel del mar hasta los 1500 m. En contraste, los aguacates se cultivan comercialmente desde los 40° de latitud norte en la costa del Mar Negro, en la región de Batoum, y hasta los 39° de latitud sur en la Bahía de Plenty, en la Isla del Norte de Nueva Zelanda. A pesar del origen tropical de los aguacates, los cultivos de aguacate crecen al norte y al sur hasta los 43° de latitud (Wolstenholme, 2015).

A pesar de que los valores reportados para aguacate cv. Hass en el mundo hacen referencia a su desarrollo adecuado en condiciones latitudinales entre los 14° y 16° N y S, este presenta muy buena respuesta en condiciones del trópico alto colombiano (4° a 10° N), lo cual demuestra el poder adaptativo del cultivar (Díaz Díez, 2020).

REQUERIMIENTOS EDÁFICOS

En algunos municipios productores de aguacate cv. Hass en Antioquia, se presentan condiciones edáficas de mal drenaje sub y superficial, lo que obliga a los agricultores a realizar zanjas de drenaje para evitar el exceso de agua y el daño a las raíces.

El aguacate, como especie, posee raíces superficiales muy ramificadas y presentes en los primeros 60 cm del perfil del suelo; por lo tanto, son muy susceptibles a la pudrición y asfixia, y, en ese sentido, requiere suelos de texturas franca, franco-arenosa o franco-limosa. Suelos con porcentajes de arcilla superiores al 35 % no son recomendables para el establecimiento del cultivo de aguacate Hass, como los de las clases texturales franco-arcillosas y las franco-arcillo-limosas (Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981). En las zonas de producción dentro del departamento, la mayoría de los suelos presenta profundidades efectivas adecuadas para el desarrollo del cultivo de aguacate cv. Hass en Antioquia, las cuales permiten un buen anclaje del sistema radical del cultivo (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020).

La profundidad efectiva en la cual se presenta el mejor desarrollo de las raíces del árbol se ubica en un rango de entre 60 y 100 cm; por debajo de 60 cm se produce muy poco desarrollo del sistema radical (Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981). La pendiente óptima está por debajo del 12 %; sin embargo, estas condiciones no son comunes en las zonas productoras del departamento, ya que la mayoría de las fincas se encuentran en pendientes muy superiores a las óptimas, superando en algunos casos el 40 % (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020). En tales condiciones topográficas, existe como limitante la erosión y la remoción laminar, lo que pone en riesgo la sostenibilidad y la sustentabilidad del cultivo; por estas circunstancias, se recomienda

realizar el trazado de la plantación, siguiendo curvas a nivel, preferiblemente en trespelillo y, una vez se ha establecido el cultivo, establecer un terraceo, para evitar las pérdidas de suelo y facilitar las prácticas de cultivo (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020).

El cultivo requiere suelos en rangos que van desde los bien drenados hasta los moderadamente bien drenados; suelos en condiciones de anegación por periodos superiores a 24 h provocan asfixia radical (FAO, 1999, 2017). En términos generales, los suelos donde se encuentran los cultivos de aguacate Hass en Antioquia son moderadamente bien drenados en todo el perfil. En algunos casos, se reportan lotes de cultivo con buen drenaje hasta los 60 cm, pero en horizontes más profundos son moderadamente mal drenados, donde se acumulan elementos precipitados como el calcio, el hierro y el azufre (Osorio, 2014). Por esta situación, y por otras mencionadas anteriormente, los agricultores recurren al drenaje mediante zanjas dentro de los lotes (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020).

Los contenidos de materia orgánica, bajo las condiciones de cultivo en Colombia, se encuentran en un rango entre el 10 % y el 22 %, los cuales se consideran óptimos. Contenidos menores que el 2 % no son deseables, dada la función de la MO como fuente y sumidero de nutrientes (Bernal & Díaz, 2008; Jaramillo-Robles & Chaves-Córdoba, 2000; FAO, 2017).

Las plantas de aguacate cv. Hass crecen adecuadamente en suelos con un rango de acidez entre 5,5 a 6,0; por encima de 6,0 se

reduce la disponibilidad de los elementos menores, causando desordenes en el desarrollo foliar de los árboles; cuando el pH está por debajo de 5,5, se presentan efectos tóxicos, debido a la alta saturación con aluminio. Cabe destacar que esta especie es bastante susceptible a la presencia de sales en el suelo, especialmente al sodio, a causa de las cuales se presentan síntomas de toxicidad y posterior muerte de las plantas (FAO, 1997, 1999, 2017; Jaramillo-Robledo & Chaves-Córdoba, 2000; Salazar-García et al., 2008).

En la actualidad, algunos suelos en los que se produce aguacate cuentan con un pH cercano a 5,3, que está por debajo del valor mínimo recomendado; en esta circunstancia específica, los agricultores acuden a la práctica de la aplicación de enmiendas (encalado), con el fin de obtener una mayor disponibilidad de elementos nutritivos para la planta; dada la condición *buffer* de algunos suelos, esta situación puede ser momentánea y, por tal razón, esta práctica debe ser periódica (al menos dos veces al año durante la vida del cultivo), para lograr el mayor potencial productivo de la planta (Rondón Salas et al., 2020).

Los rangos asociados a las variables anteriormente descritas no deben ser considerados como absolutos. Muchas de las

condiciones definidas no limitan de manera independiente el establecimiento del cultivo. De hecho, la interacción de muchas de estas variables son las causantes del éxito o del fracaso de las plantaciones comerciales. Además, algunos de los indicadores explicados tienen mayor importancia que otros sobre el cultivo y pueden ser mejorados con prácticas de manejo agronómico adecuadas. En este sentido, el factor pendiente, por sí mismo, puede llegar a tener efectos compuestos sobre otros, como la fertilidad, el drenaje o la erosión, por mencionar algunos de los aspectos involucrados; así, la pendiente puede ser manejada con la elaboración de terrazas, la erosión se puede disminuir con coberturas y el drenaje se puede corregir con zanjas de escorrentía o de infiltración.

Las zonas potenciales en cada región aumentan o disminuyen de acuerdo con la variable que se considere limitante; por lo tanto, habrá zonas consideradas como altamente potenciales, en las cuales el número de factores limitantes sea mínimo, o áreas con potencial limitado, por tener más de una cantidad significativa de variables; estas últimas necesitan mayor inversión económica inicial y de mantenimiento para el manejo y la producción exitosa del cultivo (Rondón Salas et al., 2020).