

**Universidad De Caldas – Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Departamento de Producción Agropecuaria**



**Factores involucrados en el crecimiento y desarrollo radical en aguacate (*Persea americana*)**

**Presentado por:  
Yeison Felipe Rincón Gómez**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo  
Monografía**

**Director: José Fernando Kogson**

**Manizales  
9 de diciembre de 2022**

## **Resumen**

El presente trabajo monográfico, tiene como objetivo realizar una investigación documental sobre los factores agronómicos implicados en el crecimiento y desarrollo radical del aguacate (*Persea americana*), realizando una descripción general de su importancia económica, características generales del cultivo, condiciones agroecológicas, taxonomía y clasificación ecológica. Se realiza una descripción de los factores más relevantes que afectan e influyen en el desarrollo radical, teniendo en cuenta que este renglón productivo a tenido un crecimiento importante, siendo un elemento de vital importancia la arquitectura radical como base fundamental para el establecimiento y producción de las plantas.

**Palabras claves:** *Persea americana*, desarrollo radical, establecimiento, producción, arquitectura radical

## **Abstract**

The objective of this monographic work is to carry out documentary research on the agronomic factors involved in the growth and radical development of avocado (*Persea americana*), making a general description of its economic importance, general characteristics of the crop, agroecological conditions, taxonomy and classification. ecological. A description of the most relevant factors that affect and influence the radical development is made, taking into account that this productive line has had an important growth, radical architecture being a vital element as a fundamental basis for the establishment and production of the floors.

**Key words:** *Persea americana*, radical development, establishment, production, radical architecture

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>II. ANTECEDENTES .....</b>	<b>9</b>
Principales países productores de aguacate.....	10
Principales destinos para exportaciones de Aguacate.....	11
Departamentos exportadores de aguacate en Colombia.....	11
Importaciones de aguacate .....	12
Área, Producción y Rendimiento nacional.....	12
Principales departamentos productores de aguacate en Colombia .....	13
<b>III. GENERALIDADES DEL CULTIVO.....</b>	<b>13</b>
Morfología:.....	14
Semilla .....	14
Raíces .....	14
Tallo .....	15
Hojas .....	15
Yemas.....	16
Ramas .....	16
Flores .....	16
Frutos.....	17
<b>IV. CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA .....</b>	<b>18</b>
La raza Mexicana .....	18
La raza Guatemalteca (.....	18
La raza Antillana.....	19
Variedades comerciales de aguacate importantes en Colombia .....	20
<b>V. CONDICIONES CLIMÁTICAS Y EDÁFICAS .....</b>	<b>21</b>
Materia Orgánica. ....	21
Textura .....	21
Profundidad. ....	21
pH y acidez del suelo .....	21
Temperatura .....	21
Humedad relativa .....	22

Agua.....	22
Viento.....	22
<b>VI. CICLO DE DESARROLLO.....</b>	<b>23</b>
Fase vegetativa.....	23
Fase de floración.....	28
Fase de fructificación.....	29
Fase de maduración del fruto.....	29
<b>VII. PRACTICAS CULTURALES.....</b>	<b>30</b>
Propagación.....	30
Producción de patrones.....	30
Injertación.....	31
Selección y preparación de suelos.....	33
Trazado.....	33
Ahoyado.....	33
Siembra.....	34
Manejo de arvenses y plateo.....	34
Podas, deschuponadas y aclareos.....	35
Nutrición y fertilización.....	36
Riego.....	37
Enfermedades que afectan las raíces.....	38
Pudrición de las raíces ( <i>Phytophthora cinnamomi</i> var. <i>cinnamomi</i> ).....	38
Pudrición de la raíz por <i>Rosellinia</i> ( <i>Rosellinia necatrix</i> , <i>Rosellinia bunodes</i> y <i>Rosellinia pepo</i> ).....	39
Fusariosis o marchitez vascular ( <i>Fusarium oxysporum</i> ).....	40
Llaga radical ( <i>Armillaria spp.</i> ).....	40
<i>Rosellinia necatrix</i> .....	40
Pudrición de raíces, muerte de plántulas ( <i>Cylindrocladium Morge.</i> ).....	40
Cosecha y Postcosecha.....	41
<b>VIII. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA RAÍZ.....</b>	<b>41</b>
Pelos radicales.....	42
Estructura y desarrollo.....	42
Desarrollo de raíces laterales.....	45

<b>Desarrollo de raíces adventicias .....</b>	<b>46</b>
<b>Desarrollo de yemas en las raíces.....</b>	<b>47</b>
<b>Renovación de raíces .....</b>	<b>47</b>
<b>Desarrollo y distribución en superficie y profundidad del sistema radical .....</b>	<b>48</b>
<b>Distribución en superficie .....</b>	<b>49</b>
<b>Distribución en profundidad .....</b>	<b>49</b>
<b>Proceso de enraizamiento .....</b>	<b>50</b>
<b>IX. RELACIÓN SUELO – RAÍZ.....</b>	<b>51</b>
<b>Textura .....</b>	<b>52</b>
<b>Temperatura del suelo .....</b>	<b>52</b>
<b>Aireación .....</b>	<b>52</b>
<b>Compactación y crecimiento radicular .....</b>	<b>53</b>
<b>X. RELACIÓN AGUA OXIGENO – RAÍZ.....</b>	<b>53</b>
<b>XI. RELACIÓN ENTRE FOLLAJE Y RAÍCES.....</b>	<b>55</b>
<b>Influencia del sistema radical sobre la parte aérea .....</b>	<b>55</b>
Vigor .....	55
Adaptación al medio.....	55
Fructificación .....	55
Características del fruto.....	56
Ciclo vegetativo y longevidad.....	56
<b>Influencia de la parte aérea sobre el desarrollo radical.....</b>	<b>56</b>
<b>XII FERTILIDAD Y OTRAS PROPIEDADES QUÍMICAS.....</b>	<b>57</b>
<b>XIII. RELACIÓN HORMONAS – RAÍZ .....</b>	<b>58</b>
<b>Auxinas.....</b>	<b>58</b>
<b>Poliaminas.....</b>	<b>59</b>
<b>Estrigolactonas.....</b>	<b>60</b>
<b>XIV. MICROORGANISMOS BENÉFICOS RELACIONADOS CON RAÍCES.....</b>	<b>61</b>
<b>Azotobacter .....</b>	<b>61</b>
<b>Azospirillum.....</b>	<b>61</b>
<b>Micorrizas .....</b>	<b>62</b>
<b>Efectos benéficos de las micorrizas .....</b>	<b>63</b>

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>65</b>

### **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1. Área y producción de países productores de aguacate .....</b>	<b>10</b>
<b>Tabla 2. Principales países exportadores de aguacate .....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 3. Departamentos origen de las exportaciones.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 4. Importaciones de aguacate .....</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 5. Crecimiento de áreas de producción.....</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 6. Área, Producción y Rendimiento Departamental .....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 7. Resumen de Ecología del Aguacate.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 8. Variedades comerciales más cultivadas en Colombia.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 9. Descripción de estadios en la fase vegetativa del cultivo de aguacate .....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 10. Enfermedades registradas en el cultivo del aguacate.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 11. Efecto de diferentes contenidos de aire en el suelo.....</b>	<b>54</b>

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1. Dinámica de crecimiento productivo.....</b>	<b>12</b>
<b>Ilustración 2. Estados fenológicos tipo del aguacate en fase de floración .....</b>	<b>28</b>
<b>Ilustración 3. Estados A-B-C de la fructificación.....</b>	<b>29</b>
<b>Ilustración 4. Injerto lateral e injerto de yema. Propagación de aguacate. ....</b>	<b>32</b>
<b>Ilustración 5. Injerto de parche e injerto de hendidura. Propagación de aguacate. ...</b>	<b>32</b>
<b>Ilustración 6. Poda de formación en Aguacate .....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 7. Síntomas de la pudrición radical en aguacate.....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 8. Invasión de micelio en raíz y localización dentro de la raíz. ....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 9. Formas del sistema radical.....</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 10. Estructura primaria de la raíz.....</b>	<b>43</b>
<b>Ilustración 11. Estructura secundaria de la raíz .....</b>	<b>44</b>
<b>Ilustración 12. Formación de una raíz lateral.....</b>	<b>45</b>
<b>Ilustración 13. Raíces adventicias. Formación de raíces.....</b>	<b>46</b>
<b>Ilustración 14. Relación entre la extensión del sistema radical y la superficie proyectada por la copa .....</b>	<b>49</b>

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de aguacate (*Persea americana*) se ha convertido en un renglón productivo muy importante para el país, esto posiblemente por el interés de participar en las exportaciones de este producto, algunos países como México, República Dominicana, Perú, Chile y Colombia aumentaron su área cultivada, con el propósito de orientar la oferta hacia destinos como EEUU, Europa y Asia, especialmente China (Xion & Song, 2018).

Fonseca, Alves, Dellinghausen & Barboza, (2016) en su trabajo de características, beneficios para la salud y aplicaciones, reconocen que los hábitos de consumo han sido motivados por la promoción del aguacate como un “súper alimento”. Tanto así que en Europa ya se requieren entre 5000 a 5500 toneladas semanales, estimándose un consumo per cápita de 0,75Kg (Van Rijswick. 2016). También, es necesario reconocer que, a nivel interno, los países productores tienen un potencial de consumo importante; tal es el caso, para el año 2017, de República Dominicana, que llegó incluso a los 54,4 kilogramos per cápita; México, donde se alcanzaron los 11,6 kilogramos por persona año; y Colombia con 6,3 kilogramos (Arias, 2018).

Sin embargo, en el caso de Colombia, según el ministerio de agricultura en la caracterización de la cadena productiva del primer trimestre del 2020 se estima que el consumo per cápita en Colombia aumentó cerca de 70% en los últimos 5 años, pasando de 6,1 a 12,3 Kg / persona / año.

En la actualidad las exportaciones mundiales de aguacate disminuyeron en 2020, un 0,8% (2,3 Mt) en comparación con 2019, esto debido al impacto generado con el COVID-19 en las cadenas de suministro mundiales, en consecuencia México experimentó una caída estimada de 8,1% (1,3 Mt) en las exportaciones en 2020, mientras tanto, aprovechando las condiciones de clima favorables y las inversiones que se vienen dando en expansión de la producción, se estimó significativamente la oferta de Colombia, Perú y Kenia (OECD/FAO. 2021).

De manera general el sistema radical de las plantas es el encargado de satisfacer varias necesidades, como su anclaje en el sustrato, la adquisición y transporte de los recursos del suelo (agua y nutrientes esenciales), y además del almacenamiento de los mismos. La calidad del sistema radicular tiene una gran influencia con la calidad de los frutos mediante dos vías, las raíces como el principal factor en el balance de carbohidratos y micronutrientes y, el suministro de agua y nutrientes esenciales para el crecimiento aéreo y fructificación (Tradecorp®. 2020). Por estos motivos se hace importante revelar, demostrar y argumentar con evidencia documental cómo se da el crecimiento y desarrollo radical en las plantas de aguacate cuyo sistema de producción ha venido presentando una dinámica de promoción y expansión, según lo relatado.



## II. ANTECEDENTES

La palabra aguacate proviene de la lengua náhuatl en la que, para designar este fruto, usaban un símil en el que por su forma y posición en el árbol lo comparaban a un testículo (Avilán et al., 1992); la palabra empleada era ahuacatl y fue usada por primera vez por Francisco Cervantes de Salazar, en su obra “México en 1554” (Popenoe, 1920; Galán-Saúco, 1990).

El primer reporte sobre el conocimiento en aguacate se da en 1966. Según Smith el aguacate era bien conocido por el hombre desde tiempo atrás, ya que la evidencia más antigua del consumo de aguacate fue encontrada en una cueva en Coxcatlán, región de Tehuacán, Puebla, México, datados entre los años 8,000-7,000 B.C. Las culturas antiguas también contaban con un buen conocimiento acerca del aguacate y de sus variantes, como se muestra en el Códice Florentino, donde se mencionan tres tipos de aguacate, que de acuerdo a su descripción; “aoacatl” podría tratarse de *Persea americana* var. *drymifolia* (raza Mexicana), “tlacacolaocatl” a *Persea americana* var. *americana* (Raza Antillana) y “quilaocatl” a *Persea americana* var. *guatemalensis* (raza Guatemalteca)

El origen del aguacate como especie frutal, de acuerdo con Williams (1977), tuvo lugar en las tierras altas del centro y oriente de México, así como en tierras altas de Guatemala y en las tierras bajas de Centroamérica (costa Pacífica). Esta misma región está incluida en lo que se conoce como Mesoamérica, y también es considerada como el área donde se llevó a cabo su domesticación.

Después de esto, el aguacate emigró hacia el sur, en donde ocurrieron diferentes domesticaciones y evolucionaron las actuales variedades comerciales. Cada variedad se adaptó a diferentes condiciones ecológicas y empezó a ser domesticada por diferentes grupos culturales (Galindo & ArzateFernández, 2010).

El aguacate, domesticado por los Aztecas, se dispersó desde México hasta el Perú en el período precolombino. En Sudamérica, solo se conocía en la región oriental, comprendida desde la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia, hasta el norte de Chile (Téliz, 2000). El aguacate domesticado se extendió por varias regiones de México y Centroamérica. La reproducción de nuevos árboles se hacía por semilla y así fue como se promovió una gran diversidad genética, que facilitó la adaptación de este frutal a diversas regiones (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2011)

Entre los siglos XVI y XVII, durante la Colonia, esta especie fue llevada a las Antillas, Brasil y al sur de Europa. A Hawái, La Florida y California fue introducida en el siglo XIX; mientras que, en Sudáfrica, Argentina e Israel, se iniciaron cultivos comerciales en la primera mitad del siglo XX (Ibar, 1979; Knight, 2007).

Después del descubrimiento de América, y con la conquista de México, Centroamérica, Colombia y Perú, el aguacate fue llevado a España en 1600 y, posteriormente, comenzó su distribución a nivel mundial (Barrientos-Priego & López-López, 2002).

Según MADR (2019), en Colombia había un área sembrada de aguacate de 82.882 ha y un área en producción de 60.042 ha, que posiciona al país como el segundo a nivel mundial en área cosechada y como quinto en producción (Food and Agriculture Organization [FAO], 2018). Las zonas productoras de aguacate en Colombia presentan grandes variaciones en altitud, radiación solar, humedad relativa, temperatura y precipitación, entre otros factores, lo que proporciona una gran variación en las respuestas de los cultivos en cuanto a comportamiento agronómico, productividad, rendimiento y calidad de fruta. Sumado a lo anterior, existe una gran cantidad de genotipos criollos, producto del cruce entre las diferentes razas, que permite un suministro casi permanente de fruta y por lo que la producción total del país es consumida internamente. Así pues, se pone de relieve el vacío que existe en la información sobre las condiciones en las que se desarrolla el cultivo en Colombia, pues estas son bastante diferentes a las de las zonas mencionadas por Whiley y Schaffer (1994), trayendo como consecuencia la adopción de prácticas procedentes de otras latitudes, que deben ser validadas con el consecuente riesgo de pérdidas de dinero y tiempo. Es por ello que se hace imperioso el adelantar trabajos de investigación básicos en el país, con miras a mejorar las condiciones de cultivo en ambientes de características tan particulares (Bernal y Diaz 2019).

### Principales países productores de aguacate

	Pais	Área Cosechada (Ha.)		Pais	Producción (Ton).
1	México	261.777	1	México	2.172.757
2	Perú	56.807	2	Dominicana Republica	691.551
<b>3</b>	<b>Colombia</b>	<b>54.427</b>	3	Perú	523.703
4	Chile	43.403	<b>4</b>	<b>Colombia</b>	<b>544.933</b>
5	Indonesia	28.748	5	Indonesia	326.284
6	Estados Unidos.	27.889	6	Brasil	209.176
7	China	24.078	7	Kenya	188.368
9	Ethiopia	21.402	8	Estado Unidos	184.714
10	Otros	216.643	9	Chile	146.981
			10	Otros	1.511.533

Tabla 1. Área y producción de países productores de aguacate. Fuente: FAOSTAT 2019

Según la caracterización de la cadena productiva de aguacate publicada por el ministerio de agricultura (2020), Colombia logro posicionarse en el tercer lugar durante el año 2018 según su área cosechada y en el cuarto lugar respecto al total de la producción, logrando una participación del 11% del total de producción.

## Principales destinos para exportaciones de Aguacate

País Destino	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Países Bajos	3.318	7.385	10.184	15.259	23.409	7.223
Reino Unido	1.170	4.520	6.760	6.762	9.581	1.912
España	392	3.845	6.905	6.004	6.724	1.101
Bélgica	0	104	2.047	1.732	3.727	393
Estados Unidos	407	1.481	1.592	379	1.546	155
Otros.	44	485	1.000	2.639	3.636	708
<b>Total general (Ton.)</b>	<b>5.332</b>	<b>17.821</b>	<b>28.487</b>	<b>32.775</b>	<b>48.623</b>	<b>11.492</b>

Tabla 2. Principales países exportadores de aguacate. Fuente: SISDUAN-SICEX

Respecto a las exportaciones el principal destino para el aguacate colombiano es el continente europeo, encabezado por los Países Bajos, España y Reino Unido. Las cifras de exportación, comparativamente, registran un incremento absoluto de más de 15 mil toneladas, que equivalen a un 48%, entre los años 2018 y 2019

## Departamentos exportadores de aguacate en Colombia

2019		2020	
Departamento	Toneladas	Departamento	Toneladas
Antioquia	24.034	Antioquia	6.640
Risaralda	14.461	Risaralda	3.562
Valle	3.616	Caldas	466
Bogotá	2.187	Santander	211
Caldas	1.869	Valle Del Cauca	165
otros	2.455	Otros	449
<b>Total</b>	<b>48.623</b>	<b>Total</b>	<b>11.492</b>

Tabla 3. Departamentos origen de las exportaciones. Fuente: SISDUAN-SICEX

Durante el año 2019, el departamento de Antioquia ha entregado el 49% de la fruta exportada, seguido Risaralda y Valle del Cauca con el 30% y 7%, respectivamente. Las exportaciones de aguacate desde el nivel regional, durante el 2020 están siendo lideradas por el departamento de Antioquia con una participación del 58%, seguido Risaralda con un 31% y Caldas con un 4%.

## Importaciones de aguacate

Históricamente Ecuador ha sido el principal proveedor de aguacate para Colombia, sin embargo, durante el año 2018 no se encuentran registros oficiales de importación de la fruta, no obstante, en el 2019 se registró una importación con país de origen Holanda lo cual esta denominado como “reimportación”.

Pais de Origen	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ecuador (Ton)	3.128	1.130	217	133	0	0	0
Holanda (Ton)	0	0	0	0	0	49	0

Tabla 4. Importaciones de aguacate. Fuente: SISDUAN-SICEX

## Área, Producción y Rendimiento nacional

**Cifras Nacionales (Total Aguacate)**

Variable	2015	2016	2017	2018	2019*	2020*
Área Sembrada (Ha)	57.826	64.100	69.837	76.897	84.587	93.045
Área Cosechada (Ha)	38.359	40.981	52.013	55.777	59.681	63.859
Producción (Ton)	310.708	336.044	490.483	544.941	596.814	638.591
Rendimiento (Ton/ha)	8	8	9	10	10	10

Tabla 5. Crecimiento de áreas de producción.

Fuente: Evaluaciones Agropecuarias Municipales – ASOHOFRUCOL \* Estimación DCAF.  
Tomado de: Ministerio de Agricultura, cadena productiva de Aguacate 2020

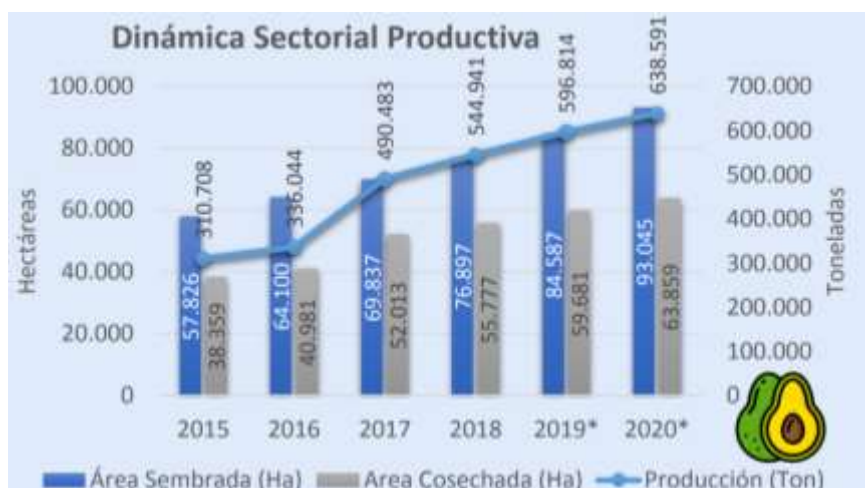


Ilustración 1. Dinámica de crecimiento productivo

Fuente: EVAS – DCAyF \*proyección.

Tomado de: Ministerio de Agricultura, cadena productiva de Aguacate 2020

El ministerio de agricultura en el transcurso de la caracterización de la cadena productiva, estima que cerca del 69% del área sembrada en el país se encuentra en edad productiva y el restante en etapa de desarrollo, por lo tanto, se espera que la producción anual del fruto se incremente paulatinamente. Aproximadamente el 75% del área sembrada en aguacate corresponde a variedades pieles verdes, criollos o antillanos y el 25% restante se encuentra establecida en la variedad Hass. En los últimos 5 años la producción de aguacate creció 89%, como efecto combinado entre el aumento en el área cosechada (62%) y el rendimiento (17%).

### Principales departamentos productores de aguacate en Colombia

Departamento	2016			2017			2018			2019*			2020*		
	Área Sembrada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Área Sembrada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Área Sembrada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Área Sembrada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Área Sembrada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
1 Tolima	12.272	58.483	7	13.348	72.063	7	13.861	76.674	8	15.247	84.341	8	23.881	90.245	8
2 Antioquia	11.321	67.032	8	11.992	133.461	8	13.047	137.292	9	14.352	151.021	9	29.454	161.592	9
3 Caldas	6.710	42.575	9	9.821	81.447	10	10.958	88.734	10	12.054	97.607	10	21.815	104.439	10
4 Santander	6.708	21.771	8	5.572	24.732	7	6.245	27.099	8	6.870	29.809	8	9.851	31.896	8
5 Bolívar	2.652	20.996	10	2.972	26.744	11	2.992	27.444	11	3.291	30.188	11	6.310	32.301	11
6 Quindío	2.886	16.011	8	3.644	20.597	8	4.146	22.715	8	4.561	24.987	8	7.060	26.736	8
7 Cesar	2.875	14.770	6	2.818	13.241	6	3.341	14.119	7	3.675	15.531	7	5.228	16.618	7
8 Valle del Cauca	2.300	26.389	10	3.060	21.535	9	3.319	29.000	10	3.851	31.900	10	6.841	34.133	10
9 Otros	14.376	67.851	8	16.609	96.404	8	18.988	121.857	9	20.887	131.429	9	34.030	140.626	9
Total	64.100	335.877	8	69.837	490.226	9	76.897	544.933	10	84.587	596.814	10	144.269	638.690	10

Tabla 6. Área, Producción y Rendimiento Departamental.  
Fuente: Evaluaciones Agropecuarias Municipales – ASOHOFrucol

Respecto a la coyuntura que se está viviendo en Colombia sus áreas de producción han mostrado un importante crecimiento (Tabla 5, Ilustración 1), según los datos presentados en la tabla 6, los departamentos de Tolima, Antioquia, Caldas, Santander, Bolívar, Cesar, Valle del Cauca, y Quindío, representan el 86% del total del área sembrada de aguacate en el país. Así mismo Tolima es el departamento con mayor producción con una participación del 18% del total nacional.

### III. GENERALIDADES DEL CULTIVO

#### Clasificación Taxonómica:

El aguacate (*Persea americana Mill*) es un miembro de la antigua y numerosa Familia vegetal de las Lauráceas, la cual comprende poco más de 50 Géneros entre los que se encuentra *Persea*. (de la Luz Sánchez-Pérez 1999)

Bob Bergh y Norm Ellstrand (1986) en su texto de la taxonomía del aguacate relatan que este género está constituido por dos subgéneros, uno de ellos, *Persea*, contiene unas pocas especies estrechamente relacionadas entre sí, incluyendo a *P. americana*, el aguacate comercial. El otro subgénero es *Eriodaphne*, bastante numeroso, variable, y claramente diferenciado; contiene además algunas especies que tienen una resistencia total a la mayor calamidad del aguacate, la pudrición de la raíz causada por el hongo *Phytophthora cinnamomi*. (Bergh, 1992). Desafortunadamente ambos subgéneros han mostrado ser

incompatibles, por lo que todo intento de hibridarlos, ó de injertar *P. americana* sobre especies de *Eriodaphne*, invariablemente han fracasado (Bergh, 1992).

Actualmente la clasificación taxonómica se encuentra establecida de la siguiente manera:

- Reino: Plantae
  - Subreino: Tracheobionta
    - División: Magnoliophyta
      - Tipo: Angiospermae
        - Clase: Magnoliopsida
          - Subclase: Dialipetalas
            - Orden: Laurales
              - Familia: Lauráceae
                - Género: *Persea*
                  - Subgénero: *Persea*
                    - Especie: *Persea americana*

Nombre científico: *Persea americana* Mill.1768

Nombre común: Aguacate, Palto

### **Morfología:**

De acuerdo a calabrese, (1992). El aguacate *Persea americana* Mill es una especie polimorfa y por ello muchos de sus caracteres como dimensión de la hoja, tamaño del fruto, coloración del epicarpio, entre otras, son muy variables.

Respecto a su reproducción los autores Romeo y Diaz en su texto de reproducción vegetativa o asexual del aguacate mencionan que hasta ahora el aguacate ha sido propagado exclusivamente por semilla (reproducción sexual) y, actualmente, para establecer un cultivo comercial en los países tropicales y subtropicales, se multiplica por injerto sobre las plantas procedentes de semillas.

### **Semilla**

Posee una única semilla, es de tamaño grande y en la maduración puede separarse de la pulpa. Suele ser mono embrionica. A veces durante germinación de la semilla se observan más de un brote, los cuales generalmente son ramificaciones del embrión formadas en la base de las dos mitades de la semilla (Scora et al., 2007). Su forma es variada, pudiendo ser: piriforme, esférica u ovalada. El color también varía: verde violáceo, amarillo, pardo, crema o rojizo, que aparece recubierta de una delgada capa leñosa.

### **Raíces**

Su sistema radical es bastante superficial, el crecimiento de las raíces del aguacate ocurre en forma de flujos y pueden presentarse varios durante el año (Salazar-García, 2002). Este

sistema según whiley et al. (2002) es poco profundo y se extiende superficialmente en el área de proyección de la gotera, la profundidad alcanzada puede ser de 1-1,5 m, tiene muy pocos pelos radicales y la principal absorción de nutrientes y agua se realiza en las puntas de las raíces a través de los tejidos primarios.

Respecto a esto Rodríguez (1982) establece que el sistema radical tiene una raíz principal corta y débil como la mayoría de las especies arbóreas. La mayor parte del aparato radical está de hecho comprendido en los primeros 50 cm del suelo, por ello el aguacate tiene necesidad de suelos profundos. Estos autores coinciden en que la raíz del aguacate se caracteriza por tener muy pocos pelos radicales, y la absorción de agua y nutrimentos se realiza principalmente en las puntas de las raíces a través de los tejidos primarios; Y esto determina la susceptibilidad del árbol al exceso de humedad que induce a las asfixias y ataques de hongos que pudren los tejidos cuando existen problemas de drenaje y deficiencias de oxígeno en suelos de textura arcillosa o compactados (Scora et al., 2007).

De este modo Salazar y Cortez (1986) en su trabajo de la distribución de raíces de árboles de aguacate maduros que crecen en diferentes texturas establecieron que los principales factores que influyen en el desarrollo y distribución de las raíces en las direcciones vertical y horizontal son la textura del suelo, la compactación, espacio de aire, humedad del suelo y características genéticas de la planta. Por lo tanto, según Mejía Vélez (2011). Las texturas adecuadas para el cultivo de aguacate varían desde las arenosas hasta las franco-arcillo-arenosas (FArA), con contenidos menores del 25% de arcillas o en su defecto que la suma del limo y las arcillas no exceda el 55%, de igual manera, el suelo requiere óptimo drenaje y estructura, para que la vida útil del árbol sea mayor.

### **Tallo**

El aguacate tiene un tronco leñoso y recto que puede alcanzar hasta 12 metros (Godinez et al., 2000) Aunque hay reportes de árboles de 20 metros y troncos con diámetros mayores de 1.5 metros. La corteza es suberosa, de lisa a agrietada con 30 milímetros de espesor. El tejido leñoso es de color crema claro con vasos anchos (Calíbrese, 1992) Los árboles con alturas menores a 5 metros facilitan las prácticas de control fitosanitario, cosecha, poda y fertilización foliar. Las ramas son abundantes, delgadas, sensibles a las quemaduras de sol y a las heladas, frágiles al viento o exceso de producción. Por esta razón es recomendable cultivar variedades enanas, compactas y establecer el cultivo en lugares protegidos del viento.

### **Hojas**

Árbol perennifolio con hojas simples, alternas, enteras, elípticas, alargadas y pedunculadas, con nervaduras pinnadas con inserción peciolada. La epidermis es pubescente y al llegar a la madurez se vuelve lisa coriácea con color verde intenso en el haz. En algunas variedades como el Hass se da una defoliación de corto tiempo antes de la floración que indican su adaptación a lugares no apropiados para su cultivo.

Están provistas de yemas axilares y nervadura pinnada (de pluma). El ápice es más o menos agudo según la raza. La nervadura principal es de color amarillo pálido; dicha nervadura es especialmente prominente en la cara inferior. Cuando la hoja es joven presenta un color rojizo (contenido de pigmentos en las vacuolas) y una epidermis pubescente; al llegar a la madurez estas hojas se tornan lisas, coriáceas y de un verde intenso y oscuro (Calabrese, 1992). La cara superior es glabra mientras que la inferior es ligeramente pubescente. Su superficie presenta numerosos puntos glandulares transparentes. La dimensión de las hojas varía mucho de 5 a 20 cm de longitud y de 3 a 10 cm de anchura (Rodríguez, 1982).

### **Yemas**

Las yemas pueden ser apicales o axilares. Estas últimas en la mayor parte de los casos o permanecen en estado latente o se desprenden, de tal forma que el crecimiento del aguacate tiene lugar, la mayor parte de las veces, a través de las yemas apicales (Rodríguez, 1982).

Cabezas y compañía (2003) concluyeron en su trabajo de Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo del aguacate que la evolución de la yema en latencia hasta el fruto tierno en el aguacate se describe en 10 estados-tipo. El estado de floración resume el proceso dicógamo en 3 sub estados y el primer cierre en la etapa femenina, y 5 sub estados y el cierre definitivo en la etapa masculina.

En cuanto a la posición de la yema, en el trabajo del efecto de la posición de la yema y de la poda en plantas de aguacate destinadas a la clonación, los autores Darrouy y compañía concluyeron que, la posición de la yema en el brote del aguacate 'Hass', influyen en el desarrollo posterior de brotes etiolados, puesto que las yemas obtenidas de la sección basal fueron las que originaron los brotes más vigorosos. A nivel anatómico, tanto la posición de la yema en el brote como el manejo de poda producen un posible aumento en el desarrollo de cámbium interfascicular y fascicular en brotes etiolados de aguacate 'Hass'. El contenido de carbohidratos solubles, mostró influencia directa de la posición de la yema dentro del brote y de la etapa fenológica en la época de recolección del material vegetal, ya que las púas de las secciones apicales cosechadas presentaron un mayor contenido de carbohidratos (azúcares solubles totales), que las secciones medias y basales.

### **Ramas**

Las ramas son abundantes, generalmente son delgadas y frágiles, por lo que se pueden romper al cargar muchos frutos y por la acción del viento. Las ramas jóvenes son pubescentes, las adultas lisas, de color verde pálido. Las ramas más vigorosas pueden alcanzar un diámetro de 5-7 cm en un año. El aguacate es sensible a las quemaduras provocadas por el sol y su susceptibilidad es variable según las variedades Calabrese, (1992).

### **Flores**

En el libro técnico del aguacate escrito por Ibarra (1929) se hace una descripción de la flor donde relatan flores perfectas, cada una capaz de producir polen y desarrollarse en un fruto,



cada flor abre en dos periodos distintos y separados. Órganos femeninos y masculinos son funcionales a diferente tiempo, las flores son bisexuales, con pedicelos cortos y pubescentes. Cuentan con 12 estambres en 4 series, las dos primeras series son externas, forman un ciclo y presentan filamentos simples cuyas anteras se abren por 4 poros ubicados en dirección al centro de la flor.

El tercer ciclo está compuesto por tres estambres con los poros abierto hacia afuera, sus filamentos tienen en la base una glándula o nectario amarillo. El cuarto ciclo, el más interno, está constituido por estaminodios. El pistilo se compone de un ovario ovoide, blanco y pubescente que termina en un estilo corto de estigma globoso. Una misma flor no puede autofecundarse, por esto las variedades se clasifican en base al comportamiento de la inflorescencia en dos tipos: Tipo A y tipo B. En ambos tipos las flores se abren primero como femeninas, cierran por un periodo fijo y luego abren masculinas en su segunda apertura.

Por lo tanto, las flores tipo A tienen su primera apertura como femeninas en la mañana. Y las flores tipo B, realizan su primera apertura como femeninas en la tarde.

Por otra parte, Scora et al., (2007) describen que las flores son hermafroditas (poseen los dos sexos), actinomorfas (simétricas), de color verde amarillento, pequeñas, de tal forma que en el momento de su apertura suelen medir de 1 a 1.5 cm de diámetro con un pedúnculo corto y pubescente. La inflorescencia (agrupación de flores), es una panícula (racimo de racimos) que puede ser axilar o terminal. Se estiman unas 200 flores por panícula, aunque puede tener mucho más. La flor consta de un perigonio con dos verticilos trímeros. El androceo está compuesto por 12 estambres insertos por debajo del ovario o alrededor del mismo. De estos estambres solo nueve son funcionales. El gineceo posee un solo pistilo, un ovario súpero (por encima del pedúnculo), es unilocular y con un solo óvulo. En la parte superior de la panícula se encuentra una yema vegetativa que luego se desarrolla en rama (a veces se utiliza para injertar). El eje de la inflorescencia es grueso, cilíndrico y ligeramente achatado, de color verde-amarillo, densamente pubescente y provisto de numerosas brácteas también pubescentes. El perianto aparentemente carece de corola, pero las piezas que lo constituyen están dispuestas en dos series cada una formada por tres elementos. Las piezas externas son más grandes. Podría tratarse de tres pétalos y tres sépalos muy similares entre sí.

## **Frutos**

El fruto es una baya asimétrica que posee un pericarpio (delgado, grueso quebradizo), un mesocarpio carnoso (con un porcentaje de grasa que varía de 5% a 30%) y la semilla. A pesar de las numerosas flores que hay en una inflorescencia, menos del 1 % tienen fruto. Los frutos de las últimas flores son, generalmente, más pequeños que los de las primeras. Externamente, la epidermis está recubierta de una ligera capa de cera y es más o menos rica en lenticelas amarillentas dependiendo del cultivar (Scora et al., 2007). El peso del fruto es diferente según el tipo ecológico, oscilando desde 50 gramos hasta 2.5 kg. La parte comestible es de color amarillo pálido, con una leve cubierta más verdicina, adherida al

epicarpio. La pulpa es rica en aceite (hasta 25-28%) la cual es menos abundante en los frutos de raza antillana (Rodríguez, 1982)

#### IV. CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA

En el módulo educativo para el desarrollo tecnológico de las comunidades rurales respecto al cultivo de aguacate desarrollado por Amortegui y compañía (2001) describen principalmente una clasificación ecológica de tres razas principales de aguacate según sus características físicas:

**La raza Mexicana (M):** los árboles son altos, de corteza delgada, con numerosas ramas delgadas, que tienen la tendencia a producir ramificaciones o chupones desde la corona o la raíz. Sus frutos maduran a los siete meses después de la floración y su conservación después de separado del árbol es de 10 días. Estos frutos son relativamente pequeños y su peso oscila entre los 150 y 450 gramos. Las variedades más importantes son el Fuerte, Bacon, Zutano y el Duke. En cuanto sus condiciones agroecológicas, Flores (2014) en su caracterización morfológica de colectas de Aguacate del sur del estado de México expresa que esta raza necesita de un clima subtropical o templado-cálido. La precipitación pluvial debe ser de un mínimo 800 mm. Los vientos deben ser desprovistos de corrientes violentas. Tiene un rango del ecuador hasta los 35 a 36° Latitud norte sur, una altitud que comprenda entre los 1000 y 1800 m de altura sobre el nivel del mar. Climas Semicálido o subtropical y Templado-cálido con temperaturas medias anuales de 18 °C a 22 °C y de 15 °C a 18 °C respectivamente. La temperatura media no debe descender menos de -4. °C, pues este frutal empieza a sufrir daños orgánicos cuando está sujeto a temperaturas inferiores a los -4.5 °C y son irreversibles cuando la temperatura desciende más allá de los -6.7 °C. Los vientos violentos ocasionan defoliación, caída de flor y fruto causando también desgajamiento de ramas si éstos son muy fuertes.

**La raza Guatemalteca (G):** Árbol de gran tamaño, con hojas anchas y largas, la planta rara vez produce chupones y los brotes son de color rojo violáceo. Esta raza es poco recomendada como patrón y tiene una marcada tendencia a la alternancia por su gran producción de frutos. Se caracteriza por tener frutos que maduran a los diez meses después de la florescencia y pueden permanecer en el árbol por largo tiempo. El tamaño y peso del fruto son muy variados, oscilando entre los 150 y 2000 gramos. Las variedades más comerciales son el Hass, Nabal, Lula, Orotova, Thomson, Booth, Itzama y Taylor.

Su clima es tropical o cálido de 22 °C en adelante o subtropical o semicálido de 18 a 22 °C, comprendido entre los 32° y 34° de latitud norte o sur desde el ecuador y una altitud entre los 500 y 1100 msnm, sin grandes variaciones de una estación a otra con una precipitación pluvial de 1200 mm como mínimo con zonas con granizo regular no frecuentes, Esta especie exige un clima regular en todas las estaciones, donde no se produzcan variaciones importantes del paso de una estación a otra en cuanto a temperatura y donde la media

invernal sea 15 °C la nocturna no descienda a menos de 1 °C manifestándose daños al descender temperaturas a -2.3 °C. Este grupo ecológico necesita un régimen de lluvia continuo de humedad sin que haya periodos prolongados de sequía (Flores, 2014).

**La raza Antillana (A):** Se cree que es originaria de la sierra nevada de Santa Marta, razón por la cual, es la más común en Colombia; el árbol no es de apariencia vigorosa; sus hojas son largas, de color verde claro amarillento; sus brotes tienen al principio una coloración rojiza. Sus plantas no producen chupones. Tolerante al calcio y la salinidad, sus frutos maduran entre los cinco y los ocho meses después de haber florecido el árbol. Tienen una corteza que se desprende fácilmente una vez maduro; la pulpa es abundante, de color amarillo y sabor dulce. La semilla es grande y se suelta en la madurez. El fruto separado del árbol madura rápidamente en cuatro o cinco días. Las variedades de mayor fama son el Lorena, el Trapica, Santana, Paterson, Trinidad y el Pollock.

Su clima es tropical, sin variación en el paso de las estaciones, su precipitación pluvial va de 1800 a 2000 mm anuales como mínimo. Su latitud está dentro de los 32° de latitud norte o sur desde el ecuador. La altitud está entre los 0 y 500 msnm. Las variedades comprendidas dentro del grupo ecológico antillano exigen temperatura media anual superior a los 22 °C, el invierno es inexistente y la temperatura media en ese año no debe descender de 16 °C.

| Clasificación Ecológica del Aguacate |            |                      |                   |                |
|--------------------------------------|------------|----------------------|-------------------|----------------|
| Características                      |            | Raza Mexicana        | Raza Guatemalteca | Raza Antillana |
| Fruto                                | Corteza    | Delgada y lisa       | Gruesa y dura     | Corácea y lisa |
|                                      | Peso (g)   | 150-450              | 150-2000          | 250-2500       |
|                                      | Aceite (%) | 12 a 15              | 15 a 30           | 8 a 10         |
| Hoja                                 | Olor       | Anís                 | Inodora           | Inodora        |
|                                      | Largo      | 8- 10 cm             | 15- 18 cm         | 18- 20 cm      |
|                                      | Color      | Verde oscuro         | Verde común       | Verde claro    |
| Floración a cosecha                  |            | 180-240 días         | 300- 360 días     | 150- 240 días  |
| Altura                               |            | 1000-1800            | 500-1100          | 0-500          |
| Vida postcosecha                     |            | 10 días              | 150 días          | 4-5 días       |
| Pedúnculo                            |            | Cilíndrico - delgado | Tronco cónico     | Semicónico     |
| Producción de chupones               |            | Marcada tendencia    | Rara vez          | No produce     |

Tabla 7. Resumen de Ecología del Aguacate. Fuente: Amórtégui Ferro et al. Módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural. (2001).

## Variedades comerciales de aguacate importantes en Colombia

Las variedades comerciales más cultivadas en Colombia, además de las llamadas criollas, pertenecen a las razas antillana y guatemalteca y cruces entre ellas, las cuales se describen brevemente en la tabla 8.

| <b>Algunas variedades de aguacate importantes en Colombia</b> |              |              |                 |           |                    |         |       |         |                 |       |
|---|--------------|--------------|-----------------|-----------|--------------------|---------|-------|---------|-----------------|-------|
| Variedad  | Raza o Cruce | Tipo de flor | Origen          | Altura    | Peso del Fruto (g) | Corteza | Pulpa | Semilla | Forma del fruto | Grasa |
|   |              |              | Selección       |           |                    | %       |       |         |                 | %     |
| <b>Booth 7.</b>   | G x A        | B            | Florida 1927    | 0-1200    | 300 - 570          | 10 .6   | 70 .5 | 18.5    | Redonda         | 10.5  |
| <b>Booth 8.</b>   | G x A        | B            | Florida 1927    | 0-1800    | 360 - 800          | 12.0    | 72.5  | 15.5    | Ovoide          | 9.0   |
| <b>Choquette</b>  | G x A        | A            | Florida 1934    | 0-1500    | 680 - 1130         | 3.0     | 80.0  | 17.0    | Ovalada         | 13.0  |
| <b>Coilinred</b>  | G x A        | A            | Florida 1916    | 0-1600    | 500 - 600          | 8       | 79.0  | 13.0    | Periforme       | 5.0   |
| <b>Collinson</b>  | G x A        | A            | Florida 1922    | 0-1200    | 470 - 600          | 5.5     | 83.0  | 11.5    | Ovoide-Elíptica | 13.0  |
| <b>Fuerte</b>   | M x G        | B            | México          | 1200-1800 | 250 - 450          | 11.0    | 74.0  | 15.0    | Periforme       | 24.0  |
| <b>Hass</b>   | G            | A            | California 1932 | 1200-2000 | 170 - 400          | 6.5     | 72.0  | 11.5    | Oval-periforme  | 17.8  |
| <b>Lorena</b>   | A            | A            | Palmira 1957    | 400-1400  | 430 - 750          | 2,9     | 87.2  | 9.9     | Oblonda         | 8.2   |
| <b>Lula</b>   | G x A        | A            | Florida 1909    | 0-1500    | 400 - 680          | 9,5     | 70.0  | 20.5    | Periforme       | 7.0   |
| <b>Monroe</b>   | G x A        | B            | Florida 1935    | 800-1600  | 680 - 1360         | 7.7     | 78.0  | 14.3    | Ovalada         | 12.0  |
| <b>Ruatile</b>  | A            | A            | Florida 1933    | 0-1200    | 260 - 570          | 6.1     | 81.7  | 12.2    | Periforme       | 11.7  |
| <b>Santana</b>  | A            | A            | Palmira 1963    | 0-1400    | 350 - 500          | 8.0     | 2.0   | 20.0    | Periforme       | 8.0   |
| <b>Trapica</b>  | A            | A            | Palmira 1963    | 0-1400    | 340 - 680          | 9.0     | 71_0  | 20.0    | Cónica          | 7.0   |
| <b>Trinidad</b>   | G x A        | A            | Palmira 1961    | 0-1500    | 440 - 560          | 9.5     | 76.1  | 14.4    | Ovoide          | 15.0  |
| <b>Waldin</b>   | A            | A            | Florida 1934    | 0-1200    | 400 - 800          | 8.8     | 72.3  | 18,9    | Ovalada         | 10.0  |

*Tabla 8. Variedades comerciales más cultivadas en Colombia. Fuente: Amórtégui Ferro et al. Módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural. (2001)*

## V. CONDICIONES CLIMÁTICAS Y EDÁFICAS

En Colombia se puede producir cualquier tipo o raza de aguacate, las condiciones ideales dependen de la variedad a sembrar, como se ha mencionado en ítems anteriores, en general se prefieren zonas secas para evitar enfermedades fungosas la humedad óptima no debe superar el 70% (Amortegui et al, 2001.) Sin embargo, es necesario saber seleccionar la variedad que mejor se adapte a la zona de cultivo de acuerdo a los siguientes requerimientos planteados por Bartoli Jose (2008) en el manual técnico del cultivo de aguacate Hass de la fundación hondureña de investigación agrícola y Amortegui y compañía (2001) en el módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural.

**Materia Orgánica.** El cultivo de aguacate requiere suelos con un contenido de materia orgánica de 2.5 a 5 %, que le proporcione buena estructura y una adecuada proporción de aire y agua para facilitar el drenaje dentro del suelo. La razón de esto es la sensibilidad que presenta el aguacate a la asfixia radicular.

**Textura.** Los mejores suelos para el aguacate son los franco- arenosos, bien drenados, sueltos y profundos pues garantizan el buen desarrollo radicular de la planta. En suelos arcillosos inundables o que retengan mucha humedad no se debe sembrar, porque la susceptibilidad a enfermedades radiculares y los suelos arenosos no son convenientes por la exigencia de un intenso programa de riego y fertilización.

**Profundidad.** La profundidad y textura son características determinantes en la cantidad de agua que puedan retener los suelos. Los árboles de aguacate requieren de un suelo moderadamente profundo, ya que poseen raíces superficiales. El aguacate produce abundantes cosechas en suelos de 30 a 40 cm de profundidad.

**pH y acidez del suelo.** El pH óptimo debe tener un nivel de acidez de 5.5 a 6.5, en suelos con pH superiores a 7 las plantas presentan severas clorosis, debido a que disminuye la absorción de hierro. Los suelos alcalinos pueden corregirse incorporando sulfatos o azufres y los muy ácidos se encalan para corregir la saturación de Aluminio.

El aguacate es un cultivo muy sensible a la salinidad, es decir, a la presencia excesiva de los cloruros de sodio y magnesio, produciendo quemaduras en las puntas y bordes de las hojas, y defoliaciones intensas. Ante la presencia de sales, no se deben usar abonos a base de cloruros, como el cloruro de potasio. Es recomendable establecer portainjertos tolerantes a la salinidad como los de raza antillana.

**Temperatura.** En lo que respecta a la temperatura, las variedades se comportan de acuerdo a la raza, la raza antillana es poco resistente al frío, al contrario que la guatemalteca o mexicana. La temperatura óptima está en el rango de los 20 a los 28 grados centígrados, temperaturas inferiores a 15 °C en el periodo de floración no permiten la fructificación. Las

elevadas temperaturas afectan la polinización y causan desprendimiento de frutos. La fructificación es anormal cuando hay alternancia de días calurosos con días fríos. Respecto a las variedades antillanas las condiciones óptimas de temperatura diurna están en torno a los 25 – 30 °C y nocturnas entre 15 y 20 °C.

En el aguacate Hass este factor incide directamente en la duración del periodo de flor a fruto, el cual se alarga a medida que la temperatura disminuye. En zonas frías este periodo dura hasta 10 – 14 meses mientras que en las zonas cálidas únicamente de 5 a 8 meses. Las condiciones ideales para esta variedad son temperaturas medias anuales de 14 a 24 °C con temperaturas diurnas entre 20 a 30 °C y nocturnas entre 10 a 20 °C, lo que permite el almacenaje por más tiempo del fruto en el árbol y extender el periodo de recolección.

**Humedad relativa.** En cuanto a humedad relativa los requerimientos oscilan entre los 75-80% para lograr un mejor prendimiento y cuaje de la flor. El exceso de humedad relativa puede ocasionar el desarrollo de algas o líquenes sobre el tallo, ramas y hojas, o enfermedades fungosas que afectan al follaje, la floración, la polinización y el desarrollo de los frutos. Un ambiente excesivamente seco provoca la muerte del polen con efectos negativos sobre la fecundación y con ello la formación de menor número de frutos.

**Agua.** Las necesidades de agua varían entre los mil y dos mil milímetros anuales. Sin embargo, el aguacate es una planta bastante sensible a los requerimientos de agua. El exceso, asociado con suelos con mal drenaje, restringe el crecimiento de la raíz por deficiencia de oxígeno, situación que la hace vulnerable al ataque de hongos, especialmente de *Phytophthora cinnamoni*.

La cantidad de agua necesaria está determinada por la edad del cultivo (joven o adulto) el estado del desarrollo de la plantación (reposo, crecimiento, floración, fructificación), del clima (evapotranspiración) y del sistema de riego utilizado: Aspersión o goteo.

**Viento.** El cultivo es susceptible a vientos fuertes, tanto desecantes como fríos, que inhiben la polinización y la fructificación causando fuertes daños y caída de ramas, flores y frutos; además produce lesiones por rozamiento entre frutos y ramas. Los vientos secos lastiman el estigma y dificultan el vuelo de los agentes polinizadores, además deshidratan y provocan aborto de los frutos pequeños.

## VI. CICLO DE DESARROLLO

La fenología es la correlación entre el clima en el cual se encuentre el cultivo, y la serie de cadenas sucesivas que se presentan biológicamente (Whiley et al., 1988). Las plantas frutales, como lo afirma Wolstenholme y Whiley (1989), pasan por diversas fases de desarrollo, como lo son iniciación y diferenciación floral, flujos de crecimiento vegetativo, amarre y caída del fruto, crecimiento y desarrollo del fruto, crecimiento de raíces entre otras.

Sin embargo, Cossio y compañía (2008) relatan que existen diagramas fenológicos con diferentes grados de complejidad que han sido elaborados en diversas regiones productoras donde cada región cuenta con condiciones diferentes. Un ejemplo claro de esto se encuentra en el trabajo de Rocha et al. (2011) sobre Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán donde concluyeron que este tipo de aguacate presenta tres flujos vegetativos y que la producción de raíces ocurre durante todo el año.

De este modo Amórtegui y compañía (2001) en su modulo tecnológico desarrollado en el departamento de Ibagué, describen el ciclo biológico del aguacate de la siguiente manera: En cuanto a su ciclo de vida puede llegar hasta 25 años en variedades criollas y de 15 a 18 años en variedades mejoradas, se distinguen de este modo cuatro etapas:

- Desarrollo en vivero 7 a 10 meses
- Desarrollo del árbol joven 1 a 4 años
- Desarrollo en producción 4 a 8 años
- Adulto en plena producción 8 a 25 años

El aguacate se caracteriza por tener un crecimiento activo durante todo su ciclo, una característica especial es el efecto débil de la dominancia apical, desarrollando yemas axilares que evolucionan al mismo tiempo que la terminal, Generalmente, en los demás frutales, como la dominancia apical es muy marcada, cuando se desarrolla la yema terminal de una rama, se detiene el crecimiento de las yemas axilares. En el aguacate, todas las yemas se desarrollan sin este condicionamiento.

El proceso de crecimiento y desarrollo anual del aguacate, tiene las siguientes fases:

- Fase vegetativa
- Fase de floración
- Fase de fructificación
- Fase de maduración del fruto





### **Fase vegetativa**





Corresponde al periodo de formación y desarrollo de yemas vegetativas que generan un nuevo crecimiento en las ramas del árbol. Esta fase puede durar entre 8 a 10 meses, con un



periodo de reposo de 2 a 4 meses. Algunas variedades crecen indefinidamente, es decir, que no tienen un periodo de reposo definido. Estos estados de la fase vegetativa son descritos con mayor detalle en el trabajo de tesis doctoral de González Venegas, BS y Ochoa Carvajal, EG (2016) en su caracterización fenológica y ecofisiológica del cultivo de aguacate en fase vegetativa bajo condiciones de campo del municipio de pasca, Cundinamarca. Los estadios principales de crecimiento son descritos en la tabla 9 donde se puede observar la codificación de los estadios 0 – 1 – 2 – 3 correspondiente a brotación de la yema, desarrollo de las hojas, formación de brotes laterales y elongación del tallo respectivamente.

| Código  | Días después de injerto | Descripción                         | Imagen  |
|---|-------------------------|-------------------------------------|---|
| <b>ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 0: BROTAÇÃO, DESARROLLO DE YEMA</b> |                         |                                     |   |
| 0   | 8                       | Dormancia de la yema                |   |
| 1   | 25                      | Comienza la hinchazón de la yema    |  |
| 3   | 48                      | Fin del hinchamiento de la yema     |  |
| 7   | 67                      | La yema comienza a abrirse o brotar |  |



|  |     |  |   |
|--|-----|--|---|
| 8  | 92  | Crecimiento del brote.<br>La yema muestra brotes verdes                    |    |
| 9  | 105 | La yema muestra brotes verdes. Ápices foliares visibles, las hojas emergen |    |
| <b>ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 1: DESARROLLO DE LAS HOJAS</b> |     |  |   |
| 10   | 110 | Las primeras hojas se separan del brote                                    |  |
| 11   | 121 | Desarrollo del primer par de hojas   |  |

|  |     |                                      |   |
|--|-----|--------------------------------------|---|
| 12   | 133 | Desarrollo del segundo par de hojas  |    |
| 14   | 141 | Desarrollo del cuarto par de hojas   |    |
| 19   | 152 | Desarrollo de 9 o más pares de hojas |   |
| <b>ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 2: FORMACIÓN DE BROTES LATERALES</b> |     |                                      |   |
| 21   | 161 | Primer brote lateral visible         |  |

|    |     |                               |   |
|----|-----|-------------------------------|---|
| 22 | 173 | Segundo brote lateral visible |  |
| 23 | 180 | Tercer brote lateral visible  |  |



| <b>ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 3: ELONGACIÓN DEL TALLO</b> |     |  |   |
|---|-----|--|---|
| 31  | 187 | El tallo ha alcanzado 10% de su longitud final |   |
| 32  | 201 | El tallo ha alcanzado 20% de su longitud final |  |

Tabla 9. Descripción de estadios 0-1-2-3 en la fase vegetativa del cultivo de aguacate. Fuente: Gonzáles et al. (2016) Caracterización fenológica y ecofisiológica del cultivo de aguacate.

## Fase de floración

Ocurre en las ramas de un año de edad, aunque también se presenta en los brotes del mismo año. La floración es típicamente lateral, es decir, que la yema terminal o apical de la rama se desarrolla en forma vegetativa, mientras que de las yemas axilares surgen las inflorescencias, según Amórtegui et al. (2001) en esta fase se distinguen cinco estados fenológicos, sin embargo, Cabezas et al. (2003) realiza una identificación y descripción de los estados fenológicos tipo del aguacate más detallada, en la ilustración 2 se presentan los estados descritos por este autor.

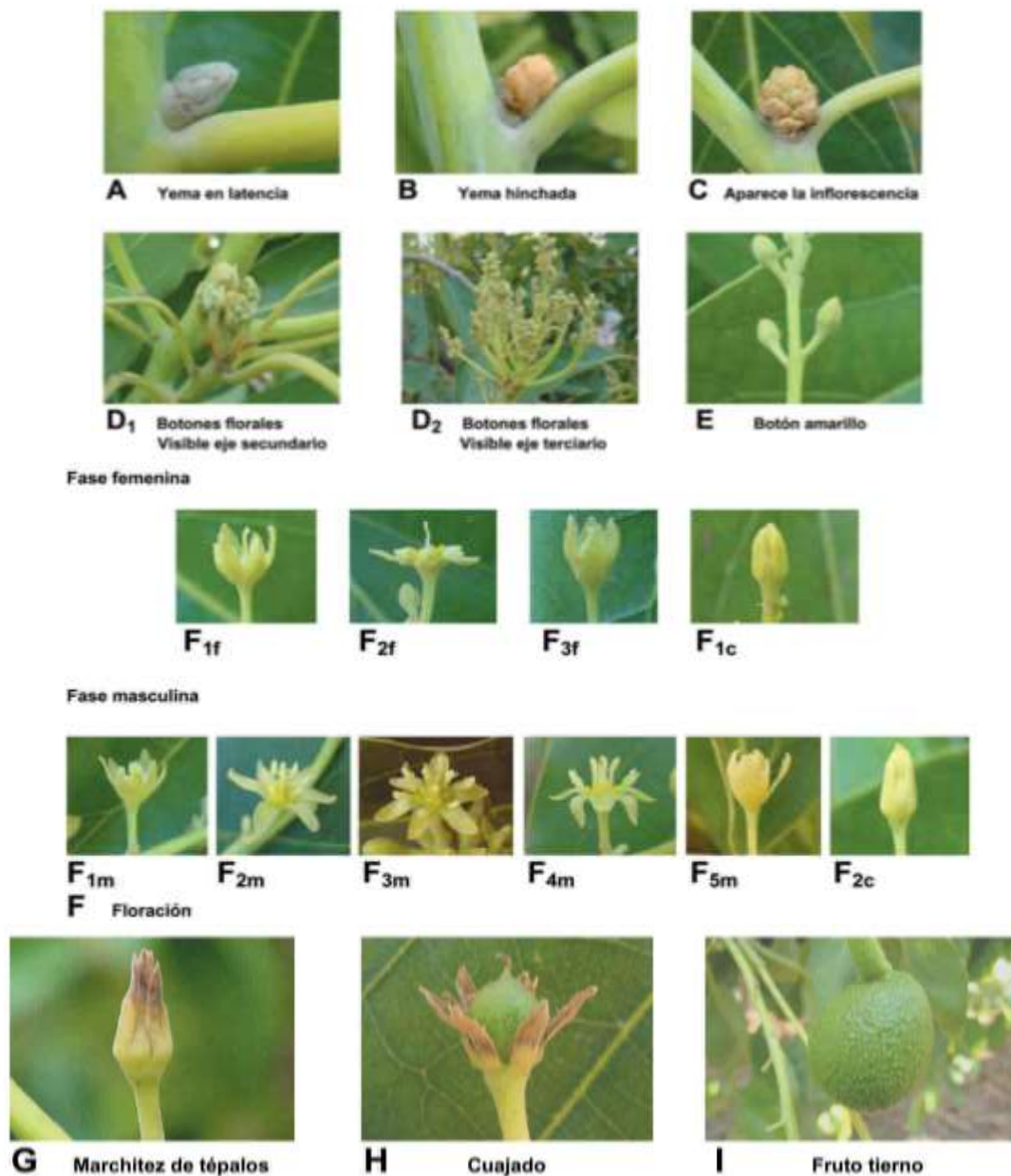


Ilustración 2. Estados fenológicos tipo del aguacate en fase de floración. Fuente: Cabezas et al. (2003)

### Fase de fructificación

Realizada la fecundación, se termina la fase de floración, y se inicia el proceso de multiplicación celular para formar el fruto, desarrollo que termina con la madurez final del mismo. El tiempo de esta fase es muy variable, dependiendo de factores genéticos de la variedad y del medio ambiente donde se desarrolla el cultivo, esta fase presenta tres estados fenológicos, A: la flor pierde su forma natural, los pétalos secos cubren el ovario. B: ocurre caída fisiológica de frutos, entre 75 y 95%. C: pedúnculo floral se alarga y el fruto se ha individualizado.



Ilustración 3. Estados A-B-C de la fructificación. Fuente: Amórtégui et al. (2001)

### Fase de maduración del fruto

El desarrollo normal del fruto está en función de la división celular, del engrosamiento y de la maduración, cuyos factores condicionantes son la disponibilidad de agua, nutrientes, la cantidad de hojas, del clima y del estado fitosanitario.

Alcanzado el volumen natural o típico de la variedad cultivada, la fase final del desarrollo consiste en una serie de cambios físicos y químicos, a partir de los cuales culmina el proceso previo a la cosecha del producto. Si el fruto no es recolectado, en el ciclo natural este se desprende, cae y se descompone.

La actividad bioquímica del fruto comprende los procesos de transpiración, respiración, fotosíntesis y fermentación, y de acuerdo a estos conceptos se exponen los distintos estados fenológicos de la fase de madurez:

- Madurez fisiológica: corresponde al momento en que la semilla es viable para germinación
- Madurez comercial: se marca entre el punto donde el fruto ha llegado al tamaño característico de la variedad y el de mayor intensidad respiratoria, medida en términos de la cantidad de CO<sub>2</sub> que desprende el fruto por unidad de tiempo, en este estado se recolecta el fruto, continuando su maduración fuera del árbol.
- Madurez de consumo: coincide con el punto de mayor intensidad respiratoria del fruto en donde se presentan las mejores características organolépticas.

El tiempo de la floración a la maduración depende de la variedad y del clima, este periodo oscila entre 5 a 8 meses. En el periodo de floración hasta la cosecha, ocurre una gran pérdida de frutos, tanto por caídas fisiológicas como por factores externos. González Venegas, BS y Ochoa Carvajal, EG (2016) mencionan que la relación de hojas sanas por fruto de aguacate es de 50 hojas adultas y el aguacate es muy exigente en este aspecto, factor que incide en el nivel de la poda.

Estos autores también mencionan que según la especie de la planta pueden producirse cambios en el proceso de desarrollo, o también puede suceder que determinados estadios no tengan lugar. Los estadios principales de crecimiento no necesariamente ocurren siempre en la estricta secuencia explicada por el orden ascendente de los números, y pueden, ocasionalmente, también desarrollarse en forma paralela.

## VII. PRACTICAS CULTURALES

### **Propagación**

El aguacate se reproduce por semilla y la mejor forma de propagarlo a nivel comercial es por injerto, con el fin de asegurar una fiel reproducción de la variedad y tener árboles de porte bajo, un desarrollo homogéneo del cultivo, y una producción rápida de frutos uniformes y de buena calidad. En los sistemas productivos no se utilizan las plantas de semilla, por su fecundación regularmente cruzada, generando cambios genéticos que no se pueden controlar fácilmente y, en consecuencia, se pueden obtener segregación de caracteres (Amórtégui Ferro, et al. 2001).

La calidad agronómica, genética y fitosanitaria del material de siembra empleado para el establecimiento de un cultivo de aguacate determina en gran parte su éxito y sostenibilidad. Es importante emplear material sano, debe corresponder fielmente a la variedad a la cual pertenece y la conformación de raíces y fuste debe ser la adecuada (Arango Cifuentes, B., & Díaz Serna, D. A. 2018)

### **Producción de patrones**

Los patrones a emplear deben provenir de plantas madre sanas, con buenas características de conformación, una excelente adaptación a la zona donde se encuentre, con un historial debidamente documentado y que hayan tenido un manejo agronómico adecuado, es decir, cuenten con planes de manejo de plagas, de riego y fertilización. Los patrones a utilizar como porta injerto deben provenir de árboles nativos o locales que tengan alta rusticidad y adaptabilidad al medio ambiente. Es recomendable hacer uso de la propagación clonal de patrones, pues permite obtener clones con las mismas características de la planta madre en cuanto a resistencia, tolerancia y adaptación. La semilla para el patrón se debe seleccionar de árboles adultos, que hayan tenido por lo menos dos cosechas, bien formados, que estén bien adaptados a las condiciones edafoclimáticas en las cuales se establecerá el cultivo, que sean productivos, que posean frutos de buena calidad, que estén sanos y que presenten

resistencia o tolerancia a los principales problemas sanitarios. Los frutos se recogen en el segundo tercio del tiempo después de iniciada la cosecha y del tercio medio de la copa del árbol (Arango Cifuentes, B., & Díaz Serna, D. A. 2018).

### **Injertación**

Antes de comenzar los cortes para realizar el injerto, se deben retirar todas las hojas que tenga el injerto para evitar gastos de energía limiten en desarrollo del injerto en el patrón. Tanto los patrones como las varetas deben estar en su punto óptimo de utilización para alcanzar óptimos resultados. Se recomienda el injerto de púa lateral y terminal, por la facilidad de operación y el alto porcentaje de prendimiento. Las púas a injertar deberán provenir de árboles seleccionados y representativos de la variedad escogida, con buen vigor, sin enfermedades, de buena producción y calidad, las plantas para extracción de yemas deben estar destinadas únicamente con este fin.

Se despunta el patrón a unos 15 o 20cm de altura. La yema que se va a injertar se le debe dar forma de cuña haciéndole dos cortes en punta. El tronco del portainjerto se parte al centro haciendo un corte un poco más largo que la cuña de la yema, luego se inserta está en el corte haciendo que coincidan ambos lados. Posteriormente se debe envolver ejerciendo una presión continua sobre la cirugía, enrollando de abajo hacia arriba. Para esto se puede utilizar cinta plástica de 12cm de largo y 0,5cm de ancho. Debe realizar la aspersión de un fungicida protectante una vez realizada la labor de injertación. Luego de realizado este procedimiento en cualquiera de las dos formas descritas el injerto se debe cubrir con una bolsa plástica transparente de un calibre grueso para que no se adhiera a la yema y así se permita la respiración, además de facilitar la entrada de rayos solares y evitar la deshidratación de la yema. Después de injertados los árboles, estos deben permanecer en un sitio sombreado, con el fin de evitar su exposición directa a los rayos del sol y evitar la deshidratación de las yemas (Arango Cifuentes, B., & Díaz Serna, D. A. 2018).

Sin embargo, Rojas et al, (2012) realizan una descripción más detallada de todos los aspectos relacionados con el proceso de injertación, donde presentan varios tipos de injerto, los cuales se presentan en las ilustraciones 4 y 5.



Injerto de enchapado lateral.



Injerto de yema.

*Ilustración 4. Injerto lateral e injerto de yema.*

*Fuente: Rojas, E. C., Arreola, J. A., Agustín, J. A., & Barquera, M. D. L. C. E. (2012). propagación de aguacate.*



Injerto de escudete o parche.



Injerto de hendidura

*Ilustración 5. Injerto de parche e injerto de hendidura.*

*Fuente: Rojas, E. C., Arreola, J. A., Agustín, J. A., & Barquera, M. D. L. C. E. (2012). propagación de aguacate.*



## **Selección y preparación de suelos**

En cuanto la implementación de sustratos en la etapa de vivero de la plantación Hartmann y compañía (1990), relatan que un importante papel del sustrato es su aprovisionamiento como un buen medio para el crecimiento radicular, debido a que una planta con un buen sistema radicular generalmente es más vigoroso y tolerante a condiciones ambientales adversas, además de esto también proponen la utilización de diversos materiales y mezclas para sustratos.

En el módulo técnico sobre la propagación del aguacate desarrollado por Rojas et al. (2012) se plantean y especifican los tipos y materiales que pueden implementarse en la elaboración de un sustrato, en este nombran a Cid Ballarin, (1993) en los principales materiales utilizados en la elaboración de sustratos, Implementando materiales inorgánicos como las arenas y gravas, productos de origen volcánico (piroclastos, piroclastos de tipo basáltico, pómez, perlita, vermiculita, arcillas expandidas), y fibras de coco. Y también materiales orgánicos de diversos orígenes, tales como turba (turba rubia y turba negra), residuos forestales y agrícolas (cortezas, acícula de pino, cascarilla de arroz, fibra de coco), compost de residuos urbanos seleccionados, subproductos de animales (estiércol, lana y plumas), desechos industriales y materiales plásticos (poliestireno y poliuretanos).

En cuanto al acondicionamiento del terreno se debe tener presente que el requisito más importante para establecer un cultivo de aguacate, es un suelo suelto, bien drenado, y sin pendientes muy pronunciadas, es recomendable realizar las siembras al inicio de las lluvias, para lograr un buen crecimiento inicial de las plantas (Rodríguez Cedillo, 2003).

## **Trazado**

Luego de haberse adecuado el lote donde se hará la plantación, el paso siguiente es el trazado de los surcos y la apertura de los hoyos, que en terrenos de ladera deben ser en curvas a nivel, usando el sistema de triangulo y a una distancia de siete o de ocho metros entre plantas, dependiendo de la variedad, tipo de suelo y las condiciones climáticas de la zona. Se ha encontrado que los árboles crecen más en zonas con altitudes bajas, en este sentido se recomienda para las zonas altas (1000 – 2000 msnm) distancias de 6m x 6m o 7m x 6m, en zonas de mediana altura (500-900 msnm) distancias de 7m x 7m es adecuado y en zonas de baja altura (30 – 500 msnm) se recomienda distancias de 8m x 8m o 8m x 7m (Rodríguez Cedillo, 2003).

## **Ahoyado**

Después de trazar el terreno, se ubican y cavan los hoyos. Se recomienda que las dimensiones sean 70 cm de ancho por 60cm de profundidad, de forma cónica más amplios en la parte superior que en el fondo, como se nota en las dimensiones los hoyos deben ir principalmente más anchos que profundos ya que el aguacate tiene una raíz de anclaje la cual posee la capacidad para abrirse espacio entre la tierra, mientras que los pelos absorbentes en esta

etapa no tienen la fuerza para colonizar suelo compactado. La profundidad del hoyo debe medirse en la mitad del mismo. Es fundamental realizar un análisis de suelo para determinar la disponibilidad de macro y micro nutrientes en el suelo y aplicar los correctivos, enmiendas y fertilizantes requeridas para el óptimo desarrollo de la planta. La forma y el momento en que se aplique e incorporen las enmiendas deben ser acordes al suelo, el clima, el estado de desarrollo de la planta y la fuente a emplear (ICA, 2009).

### **Siembra**

Antes de la siembra es recomendable conocer e identificar las condiciones del lote, conocer el historial del predio, la disponibilidad de agua, el riesgo de contaminar fuentes hídricas, y que factores pueden llegar a ser limitantes (plagas, contaminación, entre otros) con el fin de tomar las decisiones adecuadas. Es importante garantizar que el sistema radical en su totalidad quede en contacto con el suelo. Para esto se sugiere compactar un poco el suelo que se va incorporando en el hoyo, de tal manera que no queden espacios de aire en el suelo que permitan el hundimiento del árbol, es importante considerar que el árbol debe quedar levantado del nivel del suelo en forma de volcán (ICA, 2009).

### **Manejo de arvenses y plateo**

Es importante minimizar la interferencia de las malezas en el cultivo, especialmente durante el establecimiento del mismo. Se pueden considerar diferentes estrategias de acuerdo con las condiciones edáficas y climáticas, tipo y densidad de malezas y el sistema productivo que se desea implementar. Como lo son el desyerbe manual, mecánico, la labranza, establecimiento de cobertura vegetal, aplicación de herbicidas. Es importante controlar las malezas en el plato de los árboles mecánica o manualmente, se pueden utilizar herbicidas siguiendo las recomendaciones de la etiqueta del producto. Es necesario tener presente que el aguacate posee un sistema radicular bastante superficial, por lo tanto, es recomendable manejar un porcentaje de cobertura vegetal con las mismas malezas para evitar problemas de erosión, de acuerdo a la edad de la plantación. Si se ha implementado un sistema de riego localizado en el cultivo, es necesario retirar las malezas de áreas adyacentes y mantener las malezas al ras del suelo entre las calles.

El plateo en aguacate se debe hacer tanto desde antes de la siembra de los árboles, como una vez establecido el cultivo. Esta práctica debe ser llevada a cabo manualmente para evitar cortes y daños en la raíz en caso que se usen implementos como el azadón. Es bueno manejar plateos amplios ya que así estaremos anticipándonos al crecimiento de la raíz, facilitándole su trabajo de exploración del suelo y disminuyendo la competencia por nutrientes y espacio que generan las malezas (ICA, 2009).

### **Podas, deschuponadas y aclareos**

Una vez se siembre el árbol, la primera labor que debe realizarse es retirar los chupones que estén brotando del patrón, lo cual se debe hacer con el dedo sin generar heridas grandes. Luego los tallos se pintan desde su base hasta 3 cm arriba del injerto utilizando pintura blanca a base de agua o vinilo, haciendo una mezcla con un fungicida. Es importante que se hagan recorridos por lo menos una vez a la semana, en los cuales se identificarán aquellos árboles que muestren retraso en su desarrollo, síntomas de debilidad en las raíces, crecimiento torcido de los tallos, remoción por parte del agua de la tierra que conforma el volcán de la zona de siembra, entre otros aspectos que los productores consideren importantes.

En aguacate se deben realizar varios tipos de podas. La primera es la de formación, la cual se realiza a los 5 meses de edad del árbol y que tiene como objetivo cortar la dominancia apical de aquellos árboles cuyo crecimiento es muy erecto para estimular la formación de ramas laterales. También se deben retirar aquellas ramas que se encuentren muy cerca del suelo, esta labor se hace cuando los árboles tienen 1 metro de alto y las ramas que se eliminan son aquellas que están en los primeros 15 cm. Cuando el árbol está más grande se deben hacer podas de aclareo las cuales buscan dar aireación y entrada de luz al interior del árbol, haciendo así que las yemas florales de las ramas interiores se activen y evitando el ambiente propicio para el desarrollo de enfermedades y establecimiento de algunas plagas y enfermedades (Ilustración 6).



*Ilustración 6. Poda de formación en Aguacate. Fuente: APROARE, 2009 Tomado de: ICA, 2009.*

La época indicada para realizar las podas es el inicio de la floración. El ICA plantea de manera general las siguientes recomendaciones:

- El desarrollo de la copa que constituye el árbol, debe ser armónico, sólido, bien equilibrado, aireado, vigoroso y con ramas dispuestas de tal manera que se faciliten todas las labores culturales, se obtengan ramas que resistan la acción de los vientos y que protejan al árbol de la acción directa de los rayos solares.

- Una vez formados los árboles de aguacate, se debe conseguir un perfecto equilibrio entre la producción de frutos y el desarrollo correcto y equilibrado de las demás partes del árbol; de no ser así, se tendrán unos años de gran producción de frutos, seguidos de otros en los que el árbol, al haber disminuido las reservas y tener que recuperarlas, sería de poca producción, es decir, irregular; esta es la llamada poda de producción.

Al efectuar la poda y con el fin de dañar lo menos posible al árbol y conseguir su pronta recuperación, se deben tomar las siguientes precauciones:

- Eliminar la menor cantidad posible de madera verde y hojas.
- Esta práctica se debe hacer en las primeras horas de la mañana, para reducir el estrés sobre la planta.
- Se deben usar herramientas, tijeras o navajas con buen filo; los cortes deben ser limpios y en bisel, teniendo cuidado de no magullar la corteza.
- Se recomienda desinfectar las herramientas al pasar de una planta a otra; se pueden emplear para la desinfección soluciones a base de hipoclorito de sodio o a base de yodo. Por lo anterior, es aconsejable emplear dos herramientas, una que permanece sumergida en el desinfectante y otra con la que se realiza la labor de poda.
- Para prevenir la entrada de enfermedades por las heridas hechas, se debe aplicar un fungicida dirigido a los cortes de las plantas podadas.
- Cuando el grosor de la rama cortada supera 1 cm, se recomienda aplicar sobre la herida una pasta cicatrizante, la cual se puede hacer mezclando un insecticida, un fungicida y un sellante.

### **Nutrición y fertilización**

La fertilización del cultivo depende en gran parte de las características del suelo en el cual este se encuentre establecido; para establecer el plan de fertilización se debe determinar el estado actual del suelo, mediante un análisis de suelo, y establecer las necesidades de la planta en cada etapa de desarrollo y a lo largo del ciclo de producción. Al aplicar fertilizantes como enmienda, correctivo o aporte nutricional, se deben considerar los coadyuvantes y formas químicas de elementos más adecuados a utilizar, y asegurar la disponibilidad de nutrientes, al respecto se debe tener cuidado y evitar y superar antagonismos y desequilibrios nutricionales.

Según el ICA (2009) es importante tener en cuenta en la fertilización los siguientes aspectos:

- La primera fertilización debe hacerse al mes de sembrado, utilizando para ello un fertilizante completo que aporte todos los nutrientes necesarios como nitrógeno, fósforo, potasio y menores.
- El abonamiento durante el primer año debe hacerse de ser posible mensual, en pequeñas dosis.

- A partir del segundo año la aplicación de fertilizante se puede hacer menos frecuentemente, cada 2 meses.
- La localización del fertilizante alrededor del árbol debe hacerse considerando la ubicación de la mayor cantidad de raíces activas, asegurando así el eficiente aprovechamiento de los fertilizantes aplicados. Estas raíces se hallan localizadas en la zona de la gotera.
- Se recomienda no sembrar en épocas de veranos o inviernos muy extremos pues tanto la escasez como el exceso de agua hacen que el establecimiento y arranque de los árboles sea más lento.
- La fertilización foliar se debe realizar cada 2 meses y se puede utilizar para ello un fertilizante foliar completo.
- Los árboles deben ser encalados 2 veces en el año aplicando la cal en toda la zona del plateo. Esto debe hacerse en épocas de lluvia, ya que el agua es la encargada de activar la acción de la cal. Además, debe tenerse en cuenta que la cal nunca debe ir mezclada con el fertilizante químico, por el contrario, debe ir espaciada por lo menos un mes la aplicación del fertilizante de la aplicación de la cal.

### **Riego**

La disponibilidad de agua es factor determinante que influencia el crecimiento del árbol, producción y calidad del fruto. La época comprendida entre el cuajado del fruto y su madurez fisiológica, es el periodo más crítico, en el que el cultivo debe disponer de agua suficiente, más no encharcamiento, pues se genera el ambiente propicio para el establecimiento y desarrollo de hongos patógenos. Así mismo, durante el establecimiento del cultivo se recomienda establecer los requerimientos por árbol. El riego constituye una estrategia en el manejo riesgos climáticos, como lo son las temperaturas extremas. Se recomienda instalar sistemas de riego localizado que son más eficientes. Para determinar la cantidad de agua a aplicar, es necesario establecer el valor de la evapotranspiración del cultivo, estado fenológico del cultivo, clima, características físicas del suelo, topografía del terreno. Es importante ubicar acertadamente los equipos de riego, calibrarlos y realizar el mantenimiento oportunamente y evitar errores en el manejo y frecuencia del riego. Es importante que antes de realizar la siembra se identifiquen aquellos lugares en el lote por donde pasa el agua para así realizar oportuna y eficientemente las zanjas de drenaje evitando que algún árbol quede ubicado en aquellos sitios que van a tener agua permanentemente. Así mismo una vez el cultivo ya esté establecido es bueno identificar aquellos árboles a los que es necesario realizarles una zanja en media luna por la parte de encima con el fin de desviar el agua y evitar encharcamientos en sus plateos. (ICA, 2009).

## Enfermedades que afectan las raíces

Establecer los patógenos más importantes resulta complejo ya que esto puede variar respecto a la región productora, tipo de mercado y hasta del país donde se encuentre. En la tabla 10 se presenta una lista de las enfermedades radicales en el cultivo de aguacate presentada en la tesis doctoral de Arjona Girona, M. I en el 2015.

| Enfermedades en raíces                              | Patógeno   |
|---|--|
| Tristeza o pudrición de raíces                      | <i>Phytophthora cinnamomi</i>                                      |
| Pudrición de corona                                 | <i>Phytophthora cinnamomi</i> , <i>P. citricola</i>                |
| Pudrición de raíces                                 | <i>Pythium</i> sp., <i>Fusarium</i> spp.                           |
| Pudrición por <i>Armillaria</i>                     | <i>Armillaria tabescens</i>  |
| <i>Armillaria</i> (Clitocybe) root rot              | <i>Armillaria mellea</i>   |
| Pudredumbre blanca radicular                        | <i>Rosellinia necatrix</i> (anamorfo <i>Dematophora necatrix</i> ) |
| <i>Dematophora</i> root rot                         | <i>Rosellinia bunodes</i>  |
| Pudrición acuosa                                    | <i>Ganoderma zonatum</i>   |
| Agalla de la corona                                 | <i>Agrobacterium tumefaciens</i>                                   |
| Pudrición del corazón                               | <i>Oxyporus latemarginatus</i>                                     |
| Pudrición de raíz y semillas por <i>Rhizoctonia</i> | <i>Thanatephorus cucumeris</i>                                     |
| Marchitez por <i>Verticilium</i>                    | <i>Verticilium dahliae</i>   |
| Pudrición del cuello                                | <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>                                    |
| Pudrición rosa                                      | <i>Trichothecium roseum</i>  |
| Tizón de plántulas                                  | <i>Phytophthora palmivora</i>                                      |

Tabla 10. Enfermedades registradas en el cultivo del aguacate que afectan las raíces en distintas zonas del mundo.

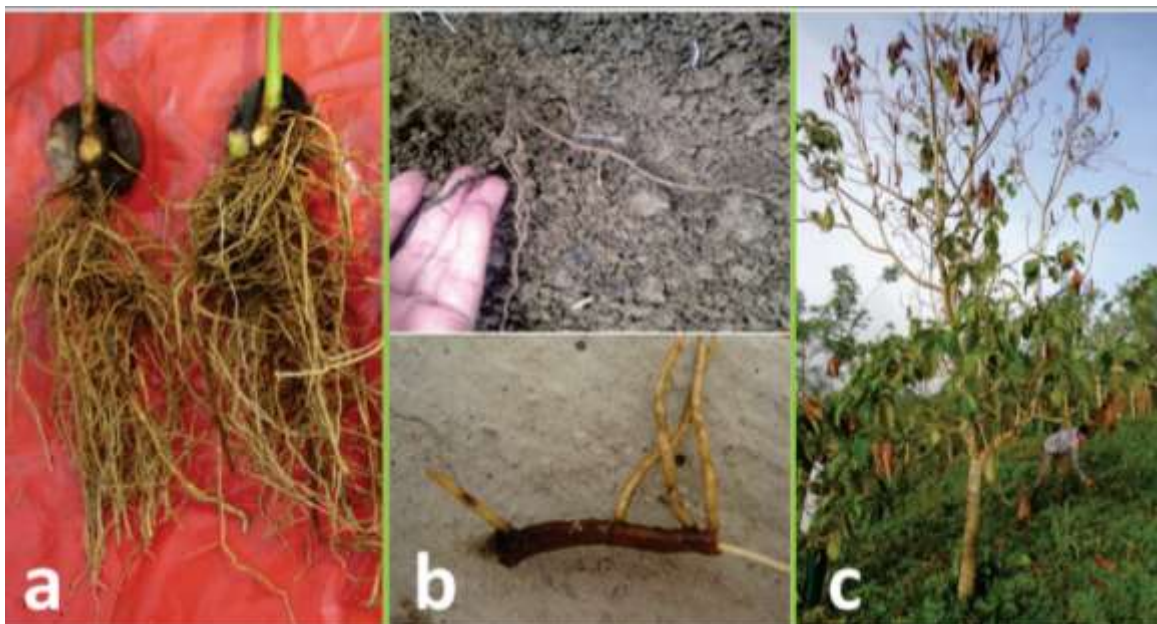
Fuente: Arjona Girona, M. I. (2015).

### Pudrición de las raíces (*Phytophthora cinnamomi* var. *cinnamomi*)

Esta es la enfermedad más importante del aguacate en todas las zonas productoras de este frutal en el mundo y en Colombia. La pudrición de raíces del aguacate se presenta desde la etapa de vivero en los almácigos. Los árboles afectados en la etapa de almácigo, pueden llegar a morir prematuramente antes que se produzca el prendimiento del injerto, debido a la pudrición del cuello del patrón. En otras ocasiones, los árboles tienen poco crecimiento, reducido desarrollo foliar y amarillamiento generalizado de hojas. A medida que la infección progresa, se presenta la pudrición de la parte basal del tallo del patrón. En condiciones de campo, la enfermedad se presenta en focos, en las zonas más húmedas. Los árboles afectados detienen su crecimiento, las hojas son de tamaño reducido, pierden su color verde normal y son de apariencia pálida. Con el transcurrir del tiempo, se presenta un amarillamiento leve pero generalizado del árbol, acompañado o no de rebrotes y floraciones excesivas a destiempo (Ilustración 7).

A veces, los árboles presentan nuevos brotes, pero estos son de menor vigor y tamaño y cuando hay frutos, estos son numerosos y de tamaño pequeño. A medida que el vigor del árbol es menor, se observa marchitez leve pero progresiva, debido a la pudrición de las raíces absorbentes, disminuyendo la toma de agua y nutrientes. Después, las ramas laterales muestran un secamiento descendente y las hojas se secan. Luego se presenta el secamiento

generalizado de las hojas, que permanecen adheridas al árbol por algún tiempo, con posterior caída gradual de las mismas hasta que finalmente, el árbol sufre una defoliación severa. Al observar las raíces secundarias o absorbentes de los árboles enfermos, estas manifiestan una muerte de color oscuro (ICA, 2009).



*Ilustración 7. Síntomas de la pudrición radical en aguacate.*

*a. Síntoma en la raíz*

*b. Síntoma en raíces en campo*

*c. Síntoma aéreo en árboles de aguacate criollo*

*Fuente: (Guerrero & Ramos, 2016)*

### **Pudrición de la raíz por *Rosellinia* (*Rosellinia necatrix*, *Rosellinia bunodes* y *Rosellinia pepo*)**

Los síntomas se manifiestan por una clorosis general de las hojas, que se va ausentando conforme avanza la infección. En el final del proceso se caen las hojas y los brotes presentan muerte descendente, hasta que muere toda la planta. La diferencia principal de esta enfermedad respecto a las otras es que en las raíces principales se observan rizomorfos (cordones de micelio) inicialmente blancos y luego de color negro, sobre la superficie, al igual que entre la corteza de la madera. Los agentes causales de este hongo viven generalmente como saprofitos en troncos, raíces muertas o el humus del suelo. Frecuentes en terrenos recién habilitados para agricultura. (Lavaire, E. 2013).



Ilustración 8. Invasión de micelio en raíz y localización de micelio dentro de la raíz.  
Fuente: Pliego et al. (2016)

### **Fusariosis o marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*)**

Esta enfermedad ataca el sistema radical de los árboles en cualquier estado de desarrollo. Difiere de la pudrición de raíz en que el follaje se seca homogéneamente permaneciendo adherido por algún tiempo a las ramas (Lavaire, E. 2013).

### **Llaga radical (*Armillaria spp.*)**

Es una enfermedad frecuente en zonas de clima medio, en lotes con altos contenidos de materia orgánica y donde se ha sembrado café cacao, ciprés, eucalipto, pino, guanábana, macadamia o manzano, ya que estos cultivos son muy susceptibles al hongo. La enfermedad se ha observado en cultivos de aguacate ubicados en los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda. (Tamayo M. 2007)

Los árboles afectados por *A. mellea*, presentan marchitez y un leve amarillamiento foliar y muerte rápida del árbol, quedando las hojas adheridas al mismo. Al examinar la base del tallo y las raíces grandes, se observa un crecimiento micelial de color blanco, en forma de abanico, que cubre las mismas. (Tamayo M. 2007)

### ***Rosellinia necatrix***

Pliego et al. (2009) detectaron varios puntos de infección de esta enfermedad a lo largo del sistema radicular. Corona, lenticelas (aperturas naturales) y entre células epidérmicas. El micelio de *R. necatrix* tras cubrir superficialmente la raíz de la planta de aguacate penetra por estas aperturas naturales e invade las células epidérmicas, corticales y los haces vasculares (xilema primario y secundario), tanto en crecimiento primario, como en crecimiento secundario, pudiendo ser parcialmente responsable del comienzo de los síntomas aéreos de la enfermedad.

### **Pudrición de raíces, muerte de plántulas (*Cylindrocladium Morge.*)**

Este patógeno es el organismo más frecuente y severo en viveros de aguacate de los departamentos de Risaralda y Valle del Cauca. Los daños por *Cylindrocladium sp.*, se evidencian en almácigos, los árboles presentan clorosis intervenal localizada en las hojas de



la parte media del dosel y aparición progresiva de pequeñas lesiones necróticas, que se expanden dando lugar a grandes zonas de tejido muerto en la lámina foliar. Las plantas se remueven con facilidad, debido a la pudrición avanzada en la raíz. El volumen radical es escaso y las raíces secundarias se aprecian necrosadas, llegando a causar la muerte de los árboles. (Tamayo M. 2007)

### **Cosecha y Postcosecha**

El momento de recolección puede ser importante: La cosecha realizada temprano en la mañana estará expuesta a menores temperaturas en el campo, pero la recolección de frutos mojados debido al rocío, puede causar una incidencia mayor de daño por frío en la cáscara, manchas en la pulpa y daños en las lenticelas.

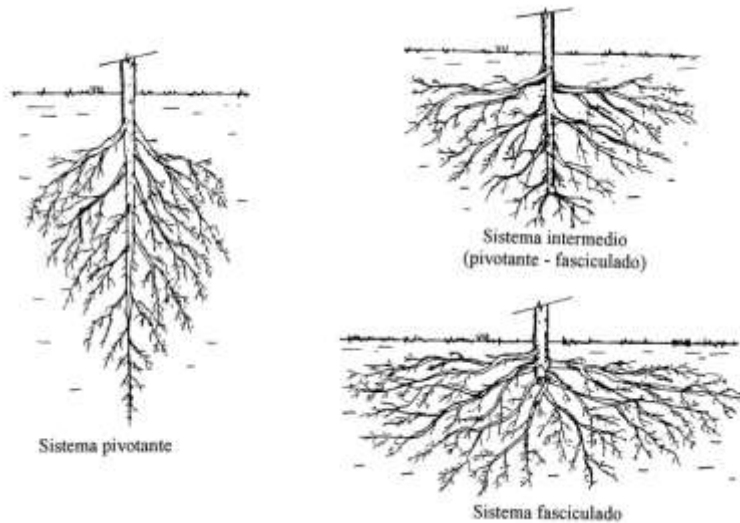
Esta se debe programar para hacerse en las primeras horas de la mañana, debe hacer en forma manual, preferiblemente con tijeras, conservando una pequeña porción del pedúnculo adherido al fruto la cual no debe exceder los 3mm. El corte debe ser plano y limpio. Las tijeras que se utilicen deben permanecer bien afiladas y se deben desinfectar periódicamente. En cuanto a la postcosecha es recomendable empacar la fruta en materiales adecuados como los son las canastillas plásticas con laterales, fondo ranurado y sin relieve, además que se puedan acomodar una sobre otra (ICA, 2009).

## **VIII. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA RAÍZ**

En el trabajo realizado por Urbina, V. (2001) sobre morfología y desarrollo vegetativo de los frutales se describe de manera general como el sistema radical de las plantas leñosas frutales está compuesto por un conjunto de raíces sucesivamente ramificado que adopta una estructura más o menos gradual. Las raíces primarias producen en su crecimiento, mediante ramificación acrópeta que progresa hacia el ápice, raíces secundarias; éstas a su vez terciarias, y así sucesivamente en todos los sentidos, hasta finalizar en una serie de raicillas finas que constituyen lo que se denomina cabellera.

Aunque las raíces de cada planta presentan diferencias en su ramificación, tamaño, etc., en general, la forma del sistema radical puede clasificarse en dos tipos muy diferenciados y una forma intermedia entre ellos. Estos tipos son los siguientes

- 1) Pivotante: Formado por una raíz principal predominante que penetra vertical y profundamente en el terreno.
- 2) Fasciculado: Formado por varias raíces principales predominantes, con una tendencia inicial ligeramente horizontal, que penetran en el terreno en todas las direcciones.
- 3) Forma intermedia entre pivotante y fasciculado: Originada al morir o cesar el crecimiento de la raíz principal en un sistema pivotante y tomar preponderancia las raíces secundarias que nacen en ella.



*Ilustración 9. Formas del sistema radical. Fuente: (Urbina, V. 2001)*

### **Pelos radicales.**

Respecto a los pelos radicales o pelos absorbentes Urbina, V. (2001) las relata como estructuras especiales formadas por el crecimiento tubular de la pared de las células epidérmicas de las raíces más jóvenes. Estas prolongaciones de la pared se introducen entre las partículas del suelo, incrementando la superficie de contacto entre la raíz y el medio de dos a diez veces. Su membrana es muy fina, lo que facilitará la absorción de agua con las sustancias disueltas. Se producen en todas o parte de las células epidérmicas, adoptando diferentes formas según las especies. En las raíces axiales, la zona pilífera se va renovando según va creciendo la extremidad de la raíz, lo que unido a la ramificación y desarrollo de nuevas raíces laterales absorbentes permite explorar nuevas zonas del suelo de manera constante, en el periodo de actividad del sistema radical. La vida de los pelos radicales es corta. Su longitud aumenta con la edad, hasta que terminan desapareciendo al desprenderse la capa epidérmica y ser sustituida por la exodermis. En las raíces, la zona absorbente activa coincide, prácticamente, con su extremo apical y la zona pilífera.

### **Estructura y desarrollo.**

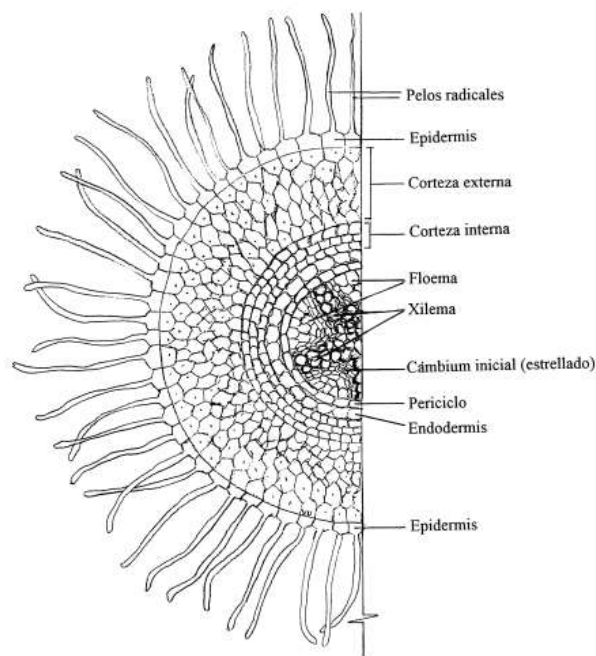
La constitución de la raíz viene determinada por la actividad de los meristemas primarios que originan su crecimiento en longitud y dan lugar a la estructura primaria. Luego, la actividad de los meristemas secundarios origina el crecimiento en grosor, dando lugar a la estructura secundaria.

En el ápice de la raíz se encuentra un meristema primario en constante actividad, y delante de este se encuentra la caliptra o cofia, formada, a la vez, a partir del meristema primario. La principal función de la caliptra es proteger la extremidad de la raíz en su crecimiento por el suelo. Se encuentra constituida por un grupo de células endurecidas que se van renovando

al ir desprendiéndose en la penetración de las capas del suelo o al rodear los obstáculos que se vayan presentando en el crecimiento.

Las células de la zona meristemática primaria al ir diferenciándose forman los primeros tejidos de la estructura primaria. Estos son: el pleroma, formado en el interior y que dará lugar al cilindro central; el periblema que dará lugar al córtex; y, en el exterior, el dermatógeno que dará origen a la epidermis, además de a la caliptra en el ápice. El cilindro central está constituido por el floema y el xilema primarios que se alternan parcialmente, el parénquima medular o médula que se encuentra por todo el interior y forma los radios medulares entre los haces leñosos y liberianos, y en el exterior una capa de células denominada periciclo.

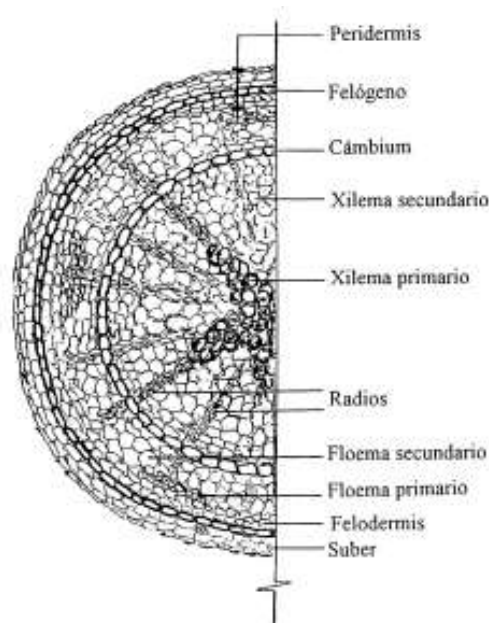
El córtex está constituido por una capa de células concéntricas al periciclo, denominada endodermis, la cual encierra al cilindro central, y varias capas de células con forma regular en la parte interna y más o menos irregular en el exterior. La zona ocupada por el córtex es bastante mayor que la ocupada por el cilindro central, en esta estructura primaria. La capa de células subepidérmicas de parénquima recibe el nombre de hipodermis. La capa exterior (epidermis o rizodermis) está constituida por una capa de células, las cuales, posteriormente, dan lugar a la zona pilífera, al prolongarse su pared hacia el exterior formando los pelos absorbentes o radicales en todas o parte de ellas. Este alargamiento de las células epidérmicas incrementa la capacidad de absorción, al exponer una superficie mayor en contacto con el suelo. A su vez, la pared celular es delgada y de constitución primaria, lo que facilita el paso del agua y de los nutrientes.



*Ilustración 10. Estructura primaria de la raíz. Fuente: (Urbina, V. 2001)*

En cuanto a las estructuras secundarias, estas se originan a partir de los tejidos de la estructura primaria, y una vez que desaparecen los pelos radicales, se forman dos nuevas zonas meristemáticas, generadoras de las células que dan lugar al crecimiento secundario. Estos meristemas secundarios son el cámbium y el felógeno, a partir de los cuales se forma la estructura secundaria de la raíz (Ilustración 11). El cámbium se origina de forma secundaria a partir de las células parenquimáticas del floema primario y de células del periciclo, formando inicialmente una capa continua de cámbium de sección transversal estrellada, la cual se transforma en anillo con los crecimientos posteriores. El cámbium genera hacia el interior el xilema secundario, formado por los tejidos conductores (vasos y traqueidas), parénquima radial y axial y tejidos de sostén (esclerénquima). Hacia el exterior genera floema secundario, formado por los tejidos conductores (tubos cribosos y otras células), parénquima y tejidos de sostén (colénquima y esclerénquima).

La otra zona meristemática secundaria, el felógeno, se origina a partir del periciclo. Con las divisiones periclinales de las células del periciclo se produce un aplastamiento y rotura de la endodermis, a la vez que todo el córtex se rompe y acaba desprendiéndose, siendo sustituido por los nuevos tejidos formados en el felógeno. El felógeno genera hacia el interior una capa de células parenquimáticas denominada felodermis, y hacia el exterior una capa de células suberificadas denominada suber o feloma. Las células del feloma forman la capa protectora de la raíz, con células muertas que se van desprendiendo al crecer en grosor la raíz. Las dos capas formadas por el felógeno constituyen la corteza (peridermis) en las raíces con crecimiento secundario, y su grosor en la sección transversal es bastante menor que la del cilindro central, lo contrario que ocurría en la estructura primaria.



*Ilustración 11. Estructura secundaria de la raíz. Fuente: (Urbina, V. 2001)*

### Desarrollo de raíces laterales.

Las raíces laterales se originan ordinariamente en el periciclo de la raíz principal y salen al exterior a través del córtex (Ilustración 12). Las células del periciclo que inician la división suelen ser las coincidentes con los polos del xilema (protoxilema). Se forma un primordio de raíz lateral (punto vegetativo o iniciador radical). Antes de la salida al exterior de la raíz principal, se diferencian el meristemo apical, el tejido primario del eje de la raíz secundaria y la caliptra.

Al parecer la penetración en el córtex es puramente mecánica ya que no se forman conexiones laterales con los tejidos que va penetrando. En su avance arrastran a la endodermis y terminan penetrándola, lo mismo que a los otros tejidos de la corteza y a la epidermis, aflorando al exterior la caliptra que se pone en contacto con las partículas del suelo. El inicio de raíces laterales está regulado por un complejo de factores, no bien conocido, en el que intervienen sustancias formadas en el ápice en crecimiento y en los cotiledones de la planta en su desarrollo inicial. Los colapsos corticales a modo de anillado, con la degeneración de todos los tejidos, que se producen en diferentes zonas en el extremo de la raíz al adquirir la estructura secundaria, favorecen el crecimiento de las raíces laterales.

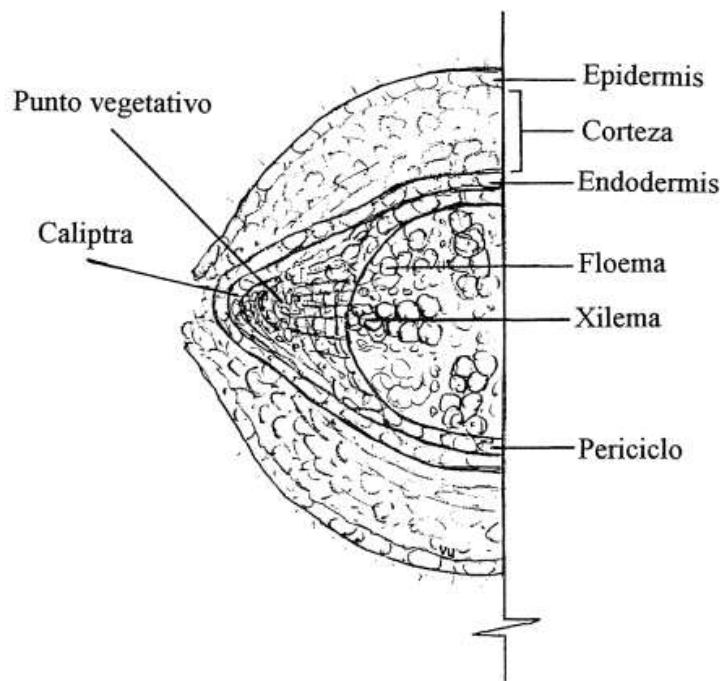


Ilustración 12. Formación de una raíz lateral. Fuente: (Urbina, V. 2001)

### Desarrollo de raíces adventicias

Las raíces adventicias son aquellas que no tienen origen ni a partir del meristemo apical ni como desarrollo de raíces laterales formadas en la estructura primaria, por lo que se dice que aparecen en lugar y tiempo anormales. Pueden desarrollarse sobre una raíz con estructura secundaria, sobre un tallo o sobre otros órganos de la planta, a partir de meristemas secundarios. Este desarrollo es el principio fundamental de la propagación vegetativa.

Su origen es casi siempre en la vecindad de los tejidos vasculares en diferenciación del órgano que las produce. Si el órgano es joven, el primordio adventicio es iniciado por un grupo de células situadas cerca de la periferia del sistema vascular. Si es más viejo, el origen es más profundo y se localiza cerca del cámbium. El origen de las raíces adventicias en la región vascular sitúa a la joven raíz cerca del xilema y del floema, y facilita el establecimiento de la conexión vascular entre ellos y la nueva raíz. Anatómicamente, el proceso consiste en la organización de iniciadores radicales, más frecuentemente, a partir de algunas células de los radios parenquimáticos y de células de parénquima del xilema joven, y, con menos frecuencia, a partir de células del floema o del cámbium. Los iniciadores radicales se transforman en primordios de raíces, estableciendo su conexión con el floema y xilema del órgano que los origina. En condiciones adecuadas crecen, atraviesan la corteza y salen al exterior, tal como se representa, en la ilustración 13.

La escasa capacidad que tienen, en general, los tallos y otros órganos de emitir raíces puede ser debido, además de a su dificultad para diferenciar tejidos, a su alto grado de esclerificación que opone resistencia a la nueva raíz. La emisión de raíces adventicias se ve facilitada por la formación del callo de cicatrización que se produce en las heridas, debido a que se estimula la división celular, aunque el callo no participa directamente en la rizogénesis.

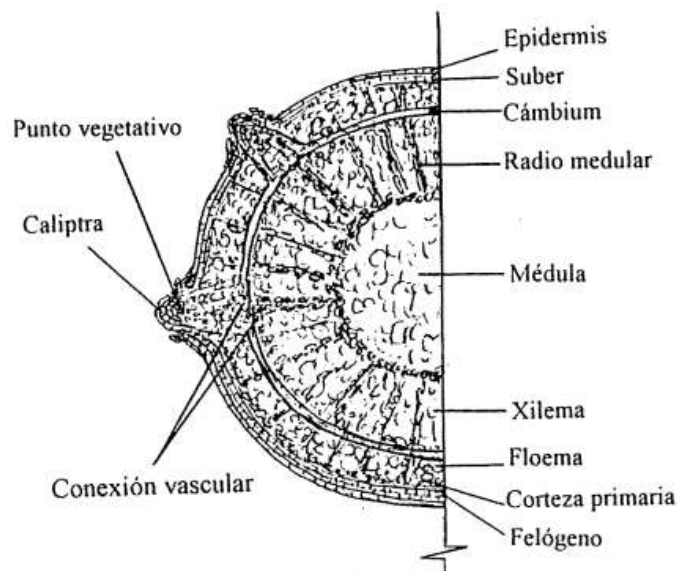


Ilustración 13. Raíces adventicias. Formación de raíces. Fuente: (Urbina, V. 2001)

### **Desarrollo de yemas en las raíces.**

Las yemas pueden desarrollarse en raíces de diversas edades y estructuras. Su principal efecto es la emisión de brotes a partir de las raíces (serpeo). Este desarrollo hace posible la propagación vegetativa por estacas o esquejes de raíces. Frecuentemente, se presentan endógenamente, como si fueran raíces laterales o adventicias.

La yema puede originarse en el periciclo de una raíz joven y ser al principio engañosamente similar a un primordio radical. En una raíz más vieja, el origen puede encontrarse en una proliferación calloide de tejido radial, dando lugar a más de una yema; o bien puede iniciarse exógenamente en una proliferación calloide derivada del felógeno. Muchas veces se originan cerca de las raíces laterales y pueden quedar conectadas con ellas. Si las yemas se originan en el periciclo, la conexión vascular se inicia por diferenciación acrópeta (primero en la raíz). Si se inicia cerca de la superficie, la diferenciación vascular es basípeta (maduran antes los tejidos vasculares de la yema y luego se establece la conexión). Un caso particular es la formación de masas hiperplásticas u óvulos que se forman en la peana de los olivos, los cuales contienen iniciadores caulinares y radicales que pueden dar lugar a brotes y raíces.

### **Renovación de raíces**

Las raíces se autoaclaran y son sustituidas por otras nuevas. Esta renovación se realiza principalmente por:

- I. Aclareo sistemático de pequeñas raíces absorbentes. La vida de las raíces absorbentes es relativamente corta; puede durar desde unas semanas a varios meses. El aclareo se va produciendo al avanzar la ramificación y engrosar las raíces de crecimiento que las portan.
- II. Muerte de raíces fibrosas, en general. Las raíces pueden sufrir la muerte de los ápices, que fuerza la aparición de nuevas raíces laterales preponderantes. A mayor longitud de la raíz más acusado es este fenómeno. Es frecuente que suceda en la raíz pivotante primaria originada por la germinación de las semillas.

Las raíces fibrosas sufren también colapsos en diferentes puntos a lo largo de la raíz, provocando anillados con degeneración de tejidos. Esto origina que sean remplazadas por nuevas raíces. La renovación presenta cierta estacionalidad y está relacionada con los factores ambientales y el estado de la planta. Algunas raíces de esqueleto también son renovadas, sobre todo en plantas viejas, cuando se encuentran muy alejadas del tronco o en horizontes muy profundos. Esta renovación está ligada con la aparición de raíces nuevas en la zona más cercana al tronco. Igualmente, la rotura de raíces originada por el laboreo y los daños originados por plagas, enfermedades y otras causas, dan lugar a una renovación y proliferación de raíces que tratan de sustituir a las afectadas.

### **Desarrollo y distribución en superficie y profundidad del sistema radical**

El sistema radical se desarrolla en campo a partir de las pequeñas raíces que han sufrido algún tipo de mutilación en su arranque ya sea de vivero o en su manipulación. Para conseguir un buen enraizamiento de la planta y tener un correcto desarrollo inicial es muy importante que el patrón disponga de varias raíces gruesas primarias de más de 10 cm de longitud como mínimo, dependiendo del tamaño de la planta, bien distribuidas en posición y provistas de un buen número de raicillas fibrosas menores de 5 mm de grosor. La regeneración de nuevas raíces activas será más fácil a partir de las raíces finas.

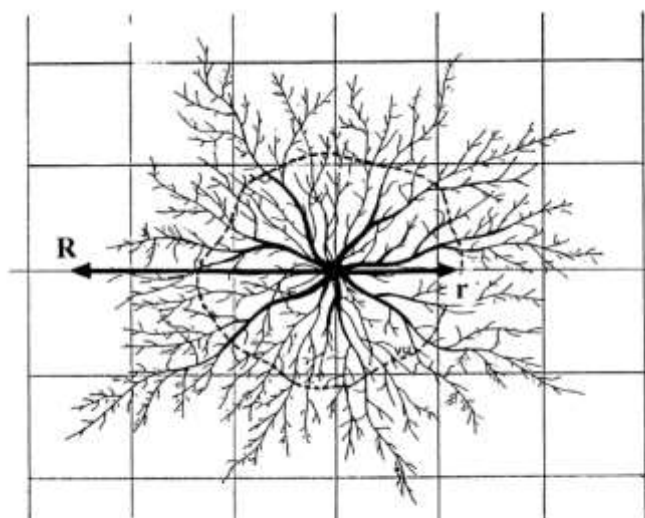
En las plantas debe existir un equilibrio entre la estructura de las raíces y la parte aérea. Las plantas de un año sin ramificación y con el tronco o eje rebajado son las que tienen, en general, más facilidades de enraizamiento. Si el sistema aéreo es muy grande, el enraizamiento será más difícil, lo que se agrava aún más si la plantación se realiza tarde. Debe darse más importancia a la conformación y al estado del sistema radical que al grosor que pueda tener el tronco del plantón. Incluso un exceso de vigor en el desarrollo del injerto puede ser negativo para la brotación y la futura formación de la planta. Con el enraizamiento, el sistema radical de la planta comienza nuevamente a desarrollarse en longitud de una forma ramificada, a la vez que va teniendo un crecimiento en grosor. El crecimiento en longitud es debido a la actividad del meristema apical de las nuevas raicillas formadas. La ramificación es originada al formarse las raíces laterales en estas nuevas raíces axiales de estructura primaria, o bien al formarse raíces adventicias en las raíces ya gruesas de estructura secundaria. El crecimiento en grosor, tanto de las raíces existentes como de las nuevas raíces, es debido a la actividad del cámbium y del felógeno, según se ha comentado anteriormente. Mediante estos crecimientos, el sistema radical va explorando el suelo y en buenas condiciones puede alcanzar durante el primer año de plantación una extensión lateral de 2 m y una penetración en profundidad de 0,5 a 1 m. En la dirección de su crecimiento en longitud influye el geotropismo positivo y el hidrotropismo positivo que tienen las raíces, además de las propiedades físicas y químicas del suelo y las características vegetativas de la planta (patrón y variedad). Basándose en este conjunto de factores las raíces presentarán una distribución característica en el suelo, la cual se verá también muy influenciada por el riego y la fertilización. El sistema radical inicia su actividad con más de tres semanas de antelación a que se manifieste la actividad en las yemas de la planta. La entrada en reposo se produce unas dos o tres semanas después de la entrada en reposo de la parte aérea. El crecimiento de la raíz tiene lugar durante todo el día, aunque es más acusado al final del día y durante la noche. Se llegan a observar crecimientos longitudinales de más de 15 cm a la semana, con velocidades de elongación muy variables según la especie y variedad.



### **Distribución en superficie**

En un árbol frutal adulto las raíces se extienden lateralmente a más de 4 m del tronco si no hay impedimentos. El sistema radical ocupa siempre, en condiciones normales, mayor superficie que la proyectada por el sistema aéreo. La relación entre ambas superficies depende principalmente del tipo de copa de la planta, del vigor de la variedad, del patrón y de las características del suelo.

En condiciones no limitantes las raíces de los frutales se expanden lateralmente el doble o el triple que la proyección de la copa, según se representa en la ilustración 14. El vigor de la variedad y la formación dada al árbol modificarán estas relaciones. En árboles con copa de tipo aparasolado o globoso el radio medio de la superficie ocupada por las raíces es mayor 1,5 ó 2 veces que el radio medio de la superficie ocupada por la copa; valor que asciende a más de 5 veces para árboles de tipo fusiforme, siempre que no haya limitación por la densidad de plantación.



**R:** radio medio de la proyección del sistema radical

**r:** radio medio de la proyección de la copa

En general:  $R = (1,5-3) r$

*Ilustración 14. Relación entre la extensión del sistema radical y la superficie proyectada por la copa.*

*Fuente: (Urbina, V. 2001)*

### **Distribución en profundidad**

Las raíces pueden llegar a profundizar más de 3 ó 4 m, pero su mayor parte se encontrará a menos de 1-1,5 m. En profundidad, el sistema radical viene a ocupar, aproximadamente, una semiesfera, si no hay interferencias en el crecimiento de las raíces. Para una misma variedad y patrón, el desarrollo vertical depende en gran manera de las características del suelo (tipo de horizontes, textura, humedad, etc.), y del tipo de mantenimiento del suelo que se realice.

El sistema activo se encuentra, en general, entre los 10 y 90 centímetros de profundidad, aunque puede llegar a profundidades de varios metros. En contra de lo que suele pensarse, la mayor parte de raíces útiles para la absorción se encuentra en los primeros 50 centímetros, en muchos casos. Sobre todo, en suelos muy pesados las raíces absorbentes tienden a localizarse superficialmente. En suelos ricos en nutrientes las raíces penetran más que en suelos pobres, al tener más crecimiento; no obstante, si los nutrientes son escasos las raíces tenderán a extenderse para conseguir alimento. En suelos pobres, si se realizan aportes de fertilizantes, las raíces tenderán a quedarse más superficiales, ya que en las capas profundas no encuentran nutrientes.

La existencia de roca inalterada y de capas con piedras cementadas o excesiva compactación, provoca que las raíces no puedan penetrarlas. En el caso de gravas o rocas cuarteadas las raíces pueden introducirse por las grietas, salvando los obstáculos y presentando formas sinuosas. Las capas con exceso de cal o sales limitarán el crecimiento, resultando incluso tóxicas para las raíces. La existencia de capas freáticas limita igualmente el crecimiento en profundidad, por falta de oxígeno (Urbina, V. 2001).

En el aguacate las raíces son generalmente superficiales. La raíz principal es corta y débil como la mayoría de las especies arbóreas originarias de ambientes ricos en agua durante el periodo vegetativo (Calíbrese, 1992). Alcanza profundidades de 1.0 – 1.5 metros, pero en terrenos más sueltos puede superar esta altura. El sistema radicular tiene un patrón de crecimiento horizontal que se concentra en los primeros 50 centímetros de profundidad del suelo. Como las raíces poseen pocos pelos absorbentes, la absorción del agua y los nutrientes la realiza a través de los tejidos primarios de las puntas de las raíces. Esta característica del aguacate provoca susceptibilidad al encharcamiento, porque la planta se asfixia con facilidad y es vulnerable al ataque de hongos en el tejido radicular (Godínez et al., 2000), por ello debe cultivarse en suelos profundos y sin problemas de drenaje interno o texturas muy arcillosas.

### **Proceso de enraizamiento**

El enraizamiento es un proceso regenerativo a través del cual se forman raíces adventicias. Se denomina raíz adventicia a cualquier raíz que se constituye a partir de un tejido que no es la radícula del embrión. A pesar de haber sido estudiado e investigado ampliamente, la biología fundamental y el factor que desencadena la formación de raíces adventicias aún son desconocidos (Hartmann et al., 1997). En aguacate, el tiempo que toma el enraizamiento de los tejidos del tallo suele ser variable y depende del método utilizado, las condiciones ambientales y las características del genotipo estudiado (Salazar-García et al., 2004). Reuveni y Raviv (1980) estudiando la capacidad de enraizamiento de esquejes con hojas, con riego nebulizado, de diez clones diferentes de aguacate, encontraron una correlación positiva entre la supervivencia de hojas y el éxito del enraizamiento. En efecto, la presencia de las hojas es fundamental en la formación de raíces adventicias. Las hojas y brotes jóvenes

son fuente de la auxina ácido indol acético (AIA) y del almidón, entre otras sustancias que serían activadoras del enraizamiento a través de procesos que aún no son del todo claros (Salazar-García y Borys, 1983; Veierskov, 1988)

Reuveni y Raviv (1980) determinaron el contenido de once elementos en hojas de esquejes de aguacate y sólo encontraron correlación entre el manganeso (Mn) y la formación de raíces. En hojas de cultivares de difícil enraizamiento se hallaron altos contenidos de Mn, mientras que en aquellos de fácil enraizamiento el contenido del microelemento fue mucho menos. Se sabe que el Mn es un activador de la enzima oxidasa del AIA, que destruye las auxinas naturales en la base del esqueje o estaca, ocasionando condiciones adversas al enraizamiento.

Otro factor que se considera directamente involucrado en el proceso de enraizamiento, es la auxina endógena, que es una hormona que se encuentra en forma natural en las plantas, y su forma más común es el ácido indol-3-acético (AIA). De manera general, las auxinas son reconocidas como sustancias que estimulan la división celular y frecuentemente fomentan el desarrollo de callos y raíces en varias especies vegetales. Taiz y Zeiger (2002), indican que las raíces se forman porque el AIA se tiende a acumular inmediatamente sobre cualquier herida, en brotes o raíces, como resultado del transporte polar de auxinas. En especies como el aguacate que son difíciles de enraizar, la edad de la planta madre de la que se usan o toman los brotes para su propagación clonal, es un factor de mucha importancia (Hartmann et al., 1997). Desde mucho tiempo atrás se ha reportado que la capacidad de enraizamiento en el aguacate disminuye al aumentar la edad de la planta madre, comportamiento que se relacionó con el llamado factor de juvenilidad. Estudios más recientes corroboran esta relación. Kadman (1976), trabajando con el cultivar Mexicola, logró 100% de enraizamiento de esquejes que provenían de plántulas de 6 meses y sólo 30% cuando éstas ya tenían 12 meses. Esta alta capacidad de enraizamiento de estacas de plántulas de aguacate también fue reportada por Krezdorn y Marte (1976) en varios cultivares.

## **IX. RELACIÓN SUELO – RAÍZ**

Normalmente los suelos son descritos según un conjunto de propiedades físicas, tales como estructura, textura, densidad aparente, distribución y tamaño de poros y características morfológicas del perfil. Sin embargo, el efecto de estos factores sobre el crecimiento del sistema radical de las plantas es indirecto. Los factores que directamente afectan el desarrollo de raíces y el nivel productivo son las condiciones hídricas, térmicas, mecánicas y de aireación, que se generan en los suelos como consecuencia de la interacción de los factores indirectos antes mencionados y de las prácticas de manejo utilizadas (Letey, 1985; Wu et al., 2003)

Los frutales en general se desarrollan en suelos arenosos las raíces se extienden más en superficie y penetran menos que en suelos francos, siempre que no haya limitación de agua y se aporten nutrientes. Como los suelos arenosos son menos fértiles las raíces tienden a ser más largas para colonizar mayor superficie en busca de nutrientes. No obstante, en estos comportamientos influyen otros muchos factores y hay que tener también en cuenta que los granos de arena suponen una dificultad mecánica para la penetración. (Urbina, V. 2001)

El crecimiento de las raíces del aguacate ocurre en forma de flujos y pueden presentarse varios durante el año (Salazar-García, 2002). Entre los principales factores del suelo que influyen sobre el crecimiento de las raíces de aguacate se encuentran la textura, compactación, espacio poroso y humedad (Salazar-García & Cortés-Flores, 1986). El conocer cuándo crecen y cómo se distribuyen las raíces en las diferentes condiciones de cultivo puede ayudar a mejorar la eficiencia del riego y los fertilizantes (Salazar-García, 2002). El aguacate se desarrolla muy bien en suelos de texturas medias: franco arenoso, franco arcillo arenoso, profundos y con buen drenaje que evita la aparición de enfermedades fúngicas en la raíz. La profundidad debe andar 0.8 a 2 metros en terrenos planos y de 1 metro en inclinados (FHIA, 2008).

**Textura:** El comportamiento de la raíz en el suelo debe verse a través de la integración de todo el conjunto de factores, por lo que es difícil generalizar el crecimiento que tendrá la raíz respecto a la textura del suelo. En suelos arenosos, que no tienen tanta capacidad de retención de agua y nutrientes, el sistema radical tiene tendencia a extenderse más, si el agua se aplica a toda la superficie. Los suelos francos son los que, en su conjunto, presentan mejores características para el crecimiento de las raíces. No obstante, los frutales pueden desarrollarse con un buen manejo del suelo, aunque con mayor o menor adaptación, tanto en suelos arenosos como arcillosos. La estructuración del suelo junto con el contenido de materia orgánica jugará, en estos casos limitantes, un papel importante en el desarrollo de las raíces.

**Temperatura del suelo:** La temperatura del suelo también ejerce un efecto importante sobre el crecimiento de las raíces. En un experimento en condiciones controladas, los portainjertos ‘Velvick’ (raza antillana) y ‘Duke 7’ (raza mexicana) presentaron menor crecimiento de raíces con temperaturas del suelo de 13°C, comparado con 18, 23 y 28 °C. En ‘Velvick’ el crecimiento de raíces se incrementó entre 13 y 23° C y se redujo con temperaturas mayores, mientras que en ‘Duke 7’, dicho crecimiento aumentó al pasar de 13 a 18° C y se mantuvo estable entre 18 y 28° C (Whiley et al., 1990).

**Aireación:** Gavande (1972) señala que los factores que determinan la aireación de un sustrato son fundamentalmente: densidad aparente, distribución del tamaño de poros, estabilidad de los agregados y la distribución relativa del tamaño de partículas que componen el sustrato. las raíces necesitan aire para respirar es necesario que una cierta proporción de

los poros se encuentre ocupada por aire, ya que de lo contrario se corre el riesgo de asfixia radicular (Ansorena, 1994).

La cantidad de oxígeno requerida es proporcional a la cantidad de actividad metabólica que se esté desarrollando ya sea a nivel radicular o de germinación (Hartmann, Kester y Daves, 1990). Los mismos autores indican que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un producto de la respiración y en condiciones de mala aireación puede acumularse en el suelo. A profundidades escasas, el incremento de CO<sub>2</sub> puede inhibir la germinación en cierto grado y disminuir la tasa de crecimiento radical. Gavande (1972) señala que más que la cantidad de aire en el suelo es el abastecimiento de oxígeno y extracción de dióxido de carbono lo que limita el crecimiento de las raíces. Letey et al. (1966) afirman que el abastecimiento de oxígeno, es uno de los factores más concentraciones produce un cese del crecimiento de las raíces. Letey et al. (1966) observaron que, en general, las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio aumentan al tener un alza desde 4% a 20%. Además, se determinó que la absorción de fósforo fue 7 a 20 veces menores en condiciones de baja aireación. Gavande (1972) indica que los requerimientos de oxígeno por parte de los suelos para un óptimo crecimiento de la raíz, son dependientes del grado de porosidad y de humedad que éstos presenten. Los requerimientos mayores se encuentran en los suelos compactados, debido al gasto superior de energía para el desarrollo de raíces

**Compactación y crecimiento radicular:** La compactación de suelo incrementa la firmeza y densidad de éste disminuyendo la porosidad, crecimiento de raíz, la eficiencia del uso del agua y nutrientes y la producción del producto (Smittle y Williamson, 1977). Se considera que al no aplicar presión alguna sobre los sustratos, se desarrolla en mayor cantidad la penetración de raíces en el medio, en comparación a los sustratos que sufren alguna presión. la reducción del crecimiento radicular y por ende el de la planta se debe a la falta de aireación. Calderón (1985) afirma que la muerte de raíces provocada por la falta de aireación, se debe a la dificultad de éstas para respirar. El adecuado desarrollo de las plantas depende de la expansión del sistema radical en busca de nutrientes y agua. Cualquier barrera o restricción al máximo crecimiento radical puede afectar en forma negativa el rango de crecimiento de la planta (Nicolosi y Fertz, 1980).

## X. RELACIÓN AGUA OXIGENO – RAÍZ

La falta de oxígeno en el suelo induce trastornos fisiológicos múltiples en las plantas. Se produce cierre de estomas, y un menor crecimiento de las raíces (Lafitte, 2001), y como consecuencia, se inhibe la fotosíntesis y el transporte de carbohidratos (Kozlowski, 1997). También, se disminuye la absorción de nutrimentos debido a la muerte de raíces, a la pérdida de micorrizas, y a la alteración del metabolismo de la raíz (Kozlowski, 1997). En condiciones de baja concentración de oxígeno en el suelo se ha encontrado una alteración del equilibrio hormonal de las plantas, aumentando el etileno (Kozlowski, 1997). Se han observado daños

a las raíces debido a la acumulación de éste y otros productos tóxicos originados por la respiración anaeróbica. Se presenta también acumulación de ácido abscísico y auxinas y reducción de los niveles de citoquininas y giberelinas (Lafitte, 2001). El exceso de humedad en el suelo desplaza el aire del espacio poroso, reduciendo la tasa de difusión de oxígeno (O<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): disminuye la concentración de O<sub>2</sub> y aumenta la concentración de CO<sub>2</sub>, se induce la descomposición anaeróbica de materia orgánica, y el hierro y manganeso pasan a formas reducidas (Kozlowski 1997), lo que afecta el desarrollo de las raíces.

El aguacate se desarrolla adecuadamente en suelos con un contenido de 15% de oxígeno y 0.03% de dióxido de carbono (Menge, y Marais, 2000). Estudios realizados por Stolzy et al. (1967) mencionan que plantas de aguacate ‘Mexicola’, que crecen en suelos con una tasa de difusión de oxígeno menor a 0.17 µg cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup> presentan entre 44% y 100% de sus raíces dañadas. Por otra parte, otras variedades de aguacate, como ‘Scott’, ‘Duke’ y ‘Topa Topa’, no crecen cuando la tasa de difusión de oxígeno es menor a 0.20 µg cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup> (Valoras et al., 1964). Según Ferreyra y Selles (2007) en suelos de textura franca, manejados con riegos frecuentes (riegos diarios) y altos contenidos de agua en el perfil del suelo, pueden presentarse tasas de difusión de oxígeno bajo el límite señalado. La tasa de difusión de oxígeno está estrechamente ligada al espacio poroso del suelo ocupado por aire. Ferreyra y Selles (2007), observaron que suelos con 29,87% de macroporos (suelo arenoso) la tasa de difusión de oxígeno (ODR) fue más de 80% superior a la presentada por un suelo franco, con macroporosidad inferior a 17%, donde la ODR es inferior a 0,2 µg cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>.

En la mayoría de las especies vegetales, el contenido de aire en la zona de raíces debe ser superior al 10% del volumen total de suelo, sin embargo, en aguacate se estima que el límite es cercano a 30%, por lo cual, las plantaciones en suelos de textura fina, mal estructurados, o con mal manejo del riego, se puede restringir el desarrollo de raíces, el crecimiento vegetativo de la planta y afectar el estado hídrico de las mismas

| Tratamiento |                   | gs (cm s <sup>-1</sup> ) |        |
|-------------|-------------------|--------------------------|--------|
| CA          | IAF               | Crecimiento vegetativo   |        |
| (%)         | (m <sup>2</sup> ) | Bajo                     | Alto   |
| T0 (7.5)    | 1.58 a            | 0.12 a                   | 0.26 a |
| T1 (29.1)   | 4.40 a            | 0.29 b                   | 0.56 b |
| T2 (20.4)   | 2.44 a            | 0.19 a                   | 0.30 a |
| T3 (14.4)   | 2.55 a            | 0.15 a                   | 0.34 a |

P < 0.05

Tabla 11. Efecto de diferentes contenidos de aire en el suelo (CA) en el índice de área foliar (IAF) y la conductancia estomática (gs) medida a las 14 horas en aguacate Hass sobre portainjerto Mexicola. Fuente: Ferreyra et al (2017)

## XI. RELACIÓN ENTRE FOLLAJE Y RAÍCES

### **Influencia del sistema radical sobre la parte aérea**

Según lo descrito por Urbina, V. (2001) en el trabajo de morfología y desarrollo vegetativo de los frutales el sistema radical ejerce una notable influencia sobre la parte aérea. Ésta se manifiesta de formas muy diferentes sobre el comportamiento vegetativo y productivo de la planta. La influencia del sistema radical, o en definitiva del patrón, está determinada principalmente por sus características de desarrollo, por la capacidad de absorción de agua y nutrientes, y por su adaptación a las condiciones del medio ecológico. No obstante, la influencia puede variar también según la edad y desarrollo del patrón en el momento de realizar el injerto, según la altura en que se realice, según la afinidad y la unión que se haya producido entre ambas partes, según la sanidad de los materiales vegetales utilizados (virosis), etc.

Los efectos de un patrón no se manifiestan siempre de una forma clara y precisa, y el comportamiento de las plantas puede ser muy distinto para la combinación de diferentes variedades. Antes de realizar una plantación se debe disponer de experiencia sobre la adaptación del patrón a las condiciones de la zona y sobre la afinidad y comportamiento de la variedad injertada. En general, la principal influencia del sistema radical se da sobre los siguientes aspectos de la planta:

**Vigor:** Se conoce relativamente bien la influencia sobre el vigor y comportamiento vegetativo de las variedades respecto a bastantes patrones. Por ejemplo: enanizantes, medianamente vigorosos, vigorosos y muy vigorosos. Cabe mencionar que un patrón débil o enanizante no desarrolla su sistema radical exclusivamente de forma superficial, sino que puede profundizar en el suelo, aunque en muchos casos con raíces poco gruesas y frágiles.

**Adaptación al medio:** El patrón ejerce acciones directas e indirectas que permiten el desarrollo de la variedad en condiciones de medio adversas o desfavorables, como lo serían en el caso de crecer sobre sus propias raíces. Principalmente se manifiesta por la mejor o peor adaptación al suelo (sequía, exceso de humedad, caliza, salinidad.) y por la resistencia a factores climáticos (heladas) y a plagas y enfermedades.

**Fructificación:** El patrón puede influir en aspectos como: la precocidad de la planta o anticipación de la fructificación, la inducción floral o formación de yemas de flor, el cuajado y desarrollo posterior del fruto, la producción en su conjunto y la maduración del fruto. El adelanto de la maduración se produce, en algunos casos, por mala afinidad o mala unión del injerto.

**Características del fruto:** El patrón puede influir directamente en las características del fruto como: tamaño, color y otros aspectos de la calidad; pero en muchos casos es difícil apreciar esta incidencia a no ser que sea debida a efectos indirectos de su adaptación. También se ha comprobado que no existe en especies de hoja caduca transmisión de las características del fruto del patrón sobre el de la variedad injertada. Por ejemplo, los membrilleros utilizados como patrones de peral no transmiten las características de su fruto a las peras de la variedad injertada. En especies de hoja perenne sí se ha encontrado esta transmisión en algún caso. Por ejemplo, en naranjos injertados sobre limonero y en pomelos injertados sobre naranjo amargo.

**Ciclo vegetativo y longevidad:** El patrón, según sea su ciclo vegetativo, puede originar ligeros adelantos o retrasos en el ciclo vegetativo natural de la variedad injertada al incidir sobre su entrada y salida del reposo. Las plantas injertadas tienen, en general, una vida más corta, aunque en explotaciones frutales lo que interesa realmente es la vida productiva.

### **Influencia de la parte aérea sobre el desarrollo radical**

Urbina, V. (2001) también relata que la influencia de la parte aérea sobre el sistema radical se deriva principalmente del suministro de nutrientes y del suministro hormonal. Una mayor capacidad de síntesis en hojas influirá en el suministro de savia elaborada a la raíz y, por lo tanto, sobre su desarrollo. Cuando las necesidades de nutrientes de la parte aérea son mayores hay menor crecimiento de las raíces. Lo mismo ocurre cuando se defolia el árbol y se origina a continuación un crecimiento intenso de brotes para restaurar el equilibrio, entonces es menor el crecimiento de las raíces. Las hormonas sintetizadas en la parte aérea también inciden en el crecimiento de las raíces.

La parte aérea tiene también otras influencias, como son: - Inducción de resistencia al frío. Influye sobre el grado de maduración de la madera por prolongar o acortar el periodo vegetativo. - Incidencia sobre la resistencia a la clorosis. La mayor resistencia de la variedad se manifiesta también en el patrón, sobre todo en relación con los aspectos nutricionales, al tener mayor capacidad fotosintética permite un mayor crecimiento del sistema radical. - Otras acciones como son: la incidencia sobre la absorción de agua al regular la transpiración, la incidencia sobre los requerimientos de absorción de nutrientes según las necesidades específicas del sistema aéreo, la mayor incidencia sobre la resistencia a la asfixia radical al acusar más o menos los brotes este efecto



## XII FERTILIDAD Y OTRAS PROPIEDADES QUÍMICAS

Las raíces proliferan en zonas del suelo ricas en materia orgánica y elementos nutritivos, siempre que sus niveles no resulten tóxicos o vayan acompañados de elementos tóxicos. No parece que las raíces sean atraídas por los elementos nutritivos (tropismo), lo que sí ocurre es que si encuentran una zona rica se ramifican activamente. En terrenos pobres las raíces se alargan más que en los fértiles, ya que para proporcionar un crecimiento dado necesitan explorar mayor volumen de suelo, siendo normal que el mayor desarrollo se haga en extensión superficial más que en profundidad.

El pH del suelo ejerce una acción múltiple y compleja sobre las raíces, que varía según la especie considerada. Así se tiene que unas especies toleran mejor los suelos calizos básicos que otras, como por ejemplo el peral respecto al membrillero, o el ciruelo respecto al melocotonero. El pH del suelo tiene una acción directa sobre la planta, como es alterar la emisión de pelos radicales y actúa sobre la flora microbiana, que tiene gran importancia para el desarrollo de la raíz (con pH inferior a 5,5 llega a anularse la nitrificación). Por otro lado, el pH modifica la solubilidad de los elementos fertilizantes existentes en el terreno, pudiendo originar carencias en ambos sentidos; como por ejemplo la carencia de hierro con pH muy básico o de calcio con pH muy ácido. (Urbina, V. 2001)

La acidificación de los suelos reduce el crecimiento de las plantas, por la disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como Ca (calcio), Mg (magnesio), K (potasio) y P(fosforo) lo que favorece la solubilidad de elementos tóxicos en el suelo, perjudicando las plantas, estos elementos pueden ser como el Al (aluminio) y Mn (manganeso). Normalmente la toxicidad por aluminio es el principal factor, con efectos directos en el metabolismo de las plantas, incluyendo una interferencia con la transferencia de iones y agua a través de las membranas celulares de la raíz, así obstruyendo la alimentación de nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. Además, las raíces se acortan y engrosan, afectando posteriormente la habilidad de la planta en la absorción de agua y de nutrientes, particularmente fosfato. (Rivera, et al. 2018).

La salinidad, debida principalmente a sales muy solubles como cloruros y sulfatos sódicos y magnésicos, provoca un incremento de la presión osmótica impidiendo la absorción de agua, lo que origina graves consecuencias para el crecimiento de la raíz y para la planta que puede llegar a morir.

### **XIII. RELACIÓN HORMONAS – RAÍZ**

Una hormona vegetal o fitohormona es un compuesto producido internamente por una planta, que ejerce su función en muy bajas concentraciones y cuyo principal efecto se produce a nivel celular, cambiando los patrones de crecimiento de los vegetales y permitiendo su control (Alcantara, et al. 2019). El uso de estos reguladores de crecimiento en la propagación vegetativa es una de las prácticas más comunes para inducir a la formación de raíces, siendo las auxinas los más empleados, tal como los ácidos indol-3-acético (AIA), ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolbutírico (AIB) (Castrillon et al. 2008.).

#### **Auxinas.**

Las auxinas son fitohormonas, que son en efecto, compuestos orgánicos producidos por cualquier tejido vegetal en crecimiento activo y que en muy bajas concentraciones regulan procesos vegetales e inducen procesos fisiológicos concretos. La auxina más abundante en las plantas es el ácido indol acético, cuya concentración es muy variable de acuerdo a la etapa de desarrollo que se encuentre la planta. El movimiento de esta fitohormona dentro de la planta es sumamente lento, de preferencia basípeto (descendente hacia la base), no obstante, en las raíces el movimiento se realiza hacia los ápices (Langé P. 2014). El ácido indol acético (AIA), es un compuesto muy activo pero presenta dos inconvenientes en su uso, ya que debido a la naturaleza de sus moléculas, estas se destruyen fácilmente por oxidación volviéndose poco estable, además es relativamente soluble, su molécula se mueve ágilmente a los tejidos de la planta que la necesitan; mientras que el ácido indol butírico (AIB), es más estable y menos soluble, esto debido a que su molécula emigra más lentamente a los diversos tejidos de la planta por lo que se mantiene por mayor tiempo estable, por lo que su acción se vuelve más focalizada; por otro lado, el ácido naftalén acético (ANA), presenta similares características al AIB, sin embargo su uso es más delicado debido al estrecho margen entre sus niveles de actividad y fitotoxicidad (Lucero D. 2013). El fenómeno de enraizamiento depende de forma conjunta de la concentración de hormonas, así como de la presencia de un cierto número de factores combinados para permitir el enraizamiento. Estos factores suelen ser compuestos fenólicos y nitrogenados, además de azúcares producidos en las hojas, por lo que se demuestra la gran importancia de la presencia de éstas en el proceso de enraizamiento. Se necesita de un balance entre las sustancias promotoras e inhibidoras del proceso de rizogénesis para que éste se produzca, por lo que, una forma de promover este balance es gracias a la aplicación externa de reguladores de crecimiento (Langé P. 2014).

El uso exógeno de auxinas naturales como ácido indol-3-acético (AIA) o sintéticas como ácido naftalenacético (ANA) y ácido 3-indolbutírico (AIB), logra manejar de manera efectiva la fase problemática en el enraizamiento de estacas, estimulando las células indiferenciadas provocando la iniciación del encallado y posteriormente la emergencia de

raíces adventicias. Varias investigaciones demuestran que es posible lograr porcentajes aceptables de enraizamiento de hasta un 88% con estacas provenientes de material vegetal adulto y mediante el uso de AIB sembradas en camas y con diferentes sustratos. No obstante, estos resultados también dependen de factores externos como edad y genotipo del árbol madre, así como también del tipo de sustrato y los niveles de concentraciones de auxinas (Uribe M, et al. 2012).

Cutting y Van Vuuren (1988) empleando esquejes no etiolados de aguacate, encontraron que el AIB aplicado en polvo a 2,000 mg.L<sup>-1</sup> fue favorable para el enraizamiento de los esquejes; sin embargo, concentraciones de 3,000 mg.L<sup>-1</sup> estimularon una excesiva producción de callos. Alves-de Oliveira et al. (1999) en un trabajo con acodos de brotes etiolados de aguacate en contenedores, determinó que la aplicación de AIB fue más eficiente cuando adicionalmente el acodo fue anillado. El efecto de los tratamientos con auxina se manifiesta también en condiciones poco favorables para el enraizamiento, tal como lo establecen los resultados reportados por Young (1961), quien trabajando con acodo aéreo sobre plantas adultas de aguacate ‘Duke’, ‘Zutano’, ‘Fuerte’ y ‘Hass’, y usando los reguladores de crecimiento AIA y AIB aplicados en pasta de lanolina en concentraciones de 2,000 mg·L<sup>-1</sup> y 1,500 mg·L<sup>-1</sup> respectivamente, encontró que todos los acodos formaron callos al cabo de tres semanas, y que el enraizamiento fue escaso tanto en número como en tamaño.

### **Poliaminas.**

Las poliaminas son un tipo de fitohormonas de carácter policatiónico involucradas en la elongación y desarrollo de la raíz. Generalmente son sustancias de bajo peso molecular y son sintetizadas principalmente en el sistema radicular vegetal (Arkhipova TN et al. 2015). Algunas plantas pueden producir los 3 diferentes tipos de poliaminas que existen (Poliaminas libres, solubles conjugadas e insolubles unidas) aunque esto puede variar según la especie vegetal.

Cada una de estas poliaminas generalmente deriva del aminoácido arginina y es sintetizadas por medio de dos rutas metabólicas: arginina dextricarboxilasa y ornitina dextricarboxilasa (Finkelstein R. 2013)). Como fitohormonas son importantes en el desarrollo del sistema radicular primario, lateral y adventicio por lo que se les atribuye una actividad específica en la formación estructural de la raíz. Además, tienen la capacidad de controlar y regular los factores dependientes del desarrollo radicular (crecimiento de ejes radiculares, aparición de raíces laterales y dirección y elongación del sistema radicular) (Fujii H. 2014). Generalmente están involucradas en procesos de señalización de la transducción por lo que pueden tener un efecto estimulador del crecimiento en raíces y también se asocian a procesos de proliferación y crecimiento de células vegetales. Existen dos tipos de interacción de estas hormonas, uno de tipo endógeno (limita desarrollo vegetal) y otro de tipo exógeno (estimula el desarrollo vegetal); en consecuencia, su efecto puede variar según las interacciones ambientales (Nambara E. et al. 2010). Se asocia la síntesis de poliaminas exclusivamente al

sistema radicular vegetal, debido a que el cese del crecimiento de la raíz también involucra la inhibición de la síntesis de poliaminas, lo cual sugiere una dependencia en el desarrollo de la raíz vegetal, por lo que la reducción de poliaminas en el medio vegetal podría llegar a inducir la reducción de la elongación radicular (Cowan AK. 2001). Estudios realizados anteriormente sugieren que la disminución de los niveles de poliaminas se relaciona con el envejecimiento y la senescencia vegetal mientras que la acumulación de diferentes poliaminas libres como lo pueden ser la espermidina y espermina se asocia con el crecimiento del tejido y la organogénesis (El- yazied AA. 2011).

### **Estrigolactonas.**

Las estrigolactonas son un tipo de biomoléculas con estructura de lactonas terpenoides derivadas de carotenoides que tiene la capacidad de incrementar el desarrollo de raíces primarias y adventicias, pero que puede tener cierto tipo de funciones inhibitorias como la de reprimir la formación de raíces laterales (Hernández E et al. 2016). Estas sustancias son primordiales en las respuestas adaptativas cuando se presenta deficiencia de fósforo y nitrógeno en el medio en el cual se desarrolla el organismo vegetal, por lo que suelen mejorar en gran medida el desarrollo de raíces (Saini S et al. 2015). Pueden promover la simbiosis con micorrizas arbusculares gracias a la inducción de la ramificación hifal mediante del ajuste a las estructuras de las yemaciones para mejorar el desarrollo del sistema radical (Kanwar MK et al. 2017). Estas sustancias también pueden tener el rol de controlar el transporte de otras fitohormonas que cumplen con el papel de inducir la formación de raíces, como ocurre con el caso de las auxinas. Del mismo modo, tienen la capacidad de inhibir la acción de las citoquininas, debido a que su acción en el medio de transporte fitohormonal permite el control del metabolismo en el desarrollo radicular. Esto genera un tipo de antagonismo con las citoquininas al tener un efecto inhibitorio en la extensión de brotes axilares en las yemaciones como consecuencia del control que ejercen sobre las auxinas (fitohormona que regula el crecimiento del sistema radicular). Igualmente, mejoran la resistencia cuando las plantas son sometidas a factores de estrés abióticos aumentando generalmente su concentración para mitigar este tipo de estrés (Dubois M et al. 2018). Estas fitohormonas se caracterizan por su gran potencial enraizante cuando están con las auxinas aumentando el desarrollo de los cabellos radiculares, ramificaciones y número de raíces adventicias generadas. También pueden ser empleadas de manera exógena para mejorar la resistencia a la sequía y salinidad del medio (Iqbal N et al. 2017). Su rol en el control del flujo de fitohormonas ha permitido desarrollar desde el interés biotecnológico, una gran herramienta de control del desarrollo del sistema radicular y una mayor resistencia frente a los procesos de estrés y de regulación homeostática (Kanwar MK et al. 2017, Iqbal N et al. 2017).

#### **XIV. MICROORGANISMOS BENÉFICOS RELACIONADOS CON RAÍCES**

La mayor cantidad de microorganismos benéficos del suelo se encuentran en la rizósfera (zona cercana a las raíces), la actividad bioquímica produce unos exudados radiculares los cuales contienen, dependiendo de las especies vegetales entre el 10 y 50% de la energía fijada por fotosíntesis. Todos los organismos presentes en el suelo respiran y la gran mayoría, los organismos aerobios, liberan CO<sub>2</sub> en el proceso. El total de CO<sub>2</sub> liberado incluye la respiración por toda la flora y fauna del suelo y las raíces. Por tanto, la cantidad de CO<sub>2</sub> liberada es un indicador de la actividad biológica (aerobia) en el suelo. (Ararat 2013).

Muchos de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal son reconocidos como productores de giberelinas. Tal es el caso de bacterias de los géneros *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azotobacter*, entre otros; también han reportado algas como productoras de giberelinas (Ergun et al, 2002; Janzen et al, 1992)

Bacterias promotoras de crecimiento vegetal, han demostrado efectos benéficos por la producción de reguladores del crecimiento vegetal, como las giberelinas y auxinas, tal es el caso de *Azospirillum* sp., *Pseudomonas* sp. y *Azotobacter* sp., entre otros géneros reconocidas como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Cassan et al., 2001)

**Azotobacter:** *Azotobacter* es una bacteria que tiene como principal característica la fijación de N presente en la atmosfera; son relativamente grandes (1-2 µm de diámetro), Son generalmente ovales, pero pueden tomar varias formas de barras a esferas. Esta bacteria la podemos encontrar en abundancia en suelos con un alto contenido de materia orgánica, fosfatos y valores de pH cercanos a la neutralidad. El género *Azotobacter* son fijadoras de nitrógeno de vida libre el cual queda accesible para la planta, lo que significa un aporte natural de nitrógeno, solubilizadoras de fosforo desarrollándose una mayor asimilación de este macronutriente y actúan estimulando el crecimiento de las plantas por la producción de sustancias promotoras. Las bacterias del género *Azotobacter* son diazòtrofos conocidos por su elevada tasa respiratoria. Aun así, pueden llegar a fijar de 10 a 20 kg N ha<sup>-1</sup> asimbióticamente (Kader et al., 2002) empleando un mecanismo de protección respiratoria. Además, tienen un gran incremento en el número de cromosomas cuando alcanzan la fase estacionaria, llegando a tener hasta 40 veces más ADN que *E. coli* (Punita et al. 1989)

**Azospirillum:** *Azospirillum* sp son unas bacterias promotoras de crecimiento de vida libre o simbiótica que habitan en la rizósfera de las plantas; estimulando el crecimiento a través de mecanismos directos o indirectos como la fijación biológica de nitrógeno, síntesis de fitohormonas, producción de medios de transporte de nutrientes, solubilización de nutrientes, control de fitopatógenos del suelo, etcétera. Después de establecerse en la rizosfera, usualmente promueven el crecimiento de la planta hospedante a través de cambios morfológicos de las raíces colonizadas *Azospirillum* incrementando la superficie radicular, que a su vez mejora la absorción de minerales y agua. La razón de estos cambios

morfológicos se debe a la producción de la auxina ácido indol-3-acético (AIA) por *Azospirillum* en la fase logarítmica de crecimiento, lo que incrementa la producción de pelos radicales y raíces laterales (Bashan et al. 2011)

**Micorrizas:** Se le llama micorriza a la simbiosis que se establece entre las raíces de las plantas y ciertos hongos del suelo ocupando una posición ecológica única al encontrarse parcialmente fuera y dentro de la planta a la vez (González - Chávez, 1995). Al haber esta interacción hongo-planta se llega a un mutualismo muy beneficioso para ambos seres vivos, al relacionarse; la planta le provee al hongo proteínas, carbohidratos y lípidos, fundamentales para que se desarrolle como organismo multicelular dando inicio a su ciclo de vida, al mismo tiempo el hongo le ayuda a la planta a mejorar la captación de nutrientes, minerales y agua que se encuentran en el suelo. Las micorrizas originan cambios en los exudados radicales, los cuales alteran la descomposición por microorganismos en la rizósfera del suelo. La microbiota del suelo puede afectar la formación y función de las micorrizas, así mismo las 22 combinaciones de los agentes de biocontrol y los hongos micorrízicos pueden incrementar el control biológico contra patógenos del suelo (Novo B. 1993)

Existen microorganismos que favorecen la nutrición y productividad de los cultivos sin afectar el ecosistema. Los hongos micorrízogenos arbusculares (HMA) son biótrosos obligados de plantas que favorecen el crecimiento radical, con un consecuente aumento en la absorción de agua y nutrientes (Gañán *et al.*, 2011). Favorecen el contenido de clorofila y de elementos en el tejido foliar (Díaz *et al.*, 2016). Los HMA confieren tolerancia a salinidad (Medina, 2016) y sequía mediante la alteración de los perfiles hormonales de las plantas. La diversidad de los HMA influye en la productividad de las comunidades vegetales de los ecosistemas naturales y agrícolas (Lovera y Cuenca, 2007). En la producción de frutales, la fertilización mineral puede reducirse hasta 25% al utilizar microorganismos benéficos (Ramos *et al.*, 2013; Simó *et al.*, 2015). Aparentemente, no existe especificidad taxonómica en la simbiosis (Lovera y Cuenca, 2007); sin embargo, mediante estudios de biología molecular se ha demostrado que algunas plantas son colonizadas preferencialmente por ciertas especies de HMA (Vandenkoornhuyse *et al.*, 2002).

En plantas de aguacate (*Persea americana* var. *drymifolia*) en vivero, se han demostrado los efectos particulares de *Acaulospora delicata*, *Acaulospora laevis*, *Glomus badiomy* *Rhizophagus fasciculatus* + *Azospirillum* al duplicar la biomasa de la raíz y del tallo, mientras que *R. irregularis* y *S. pellucida* la triplicaron (Carreón-Abud *et al.*, 2014). Asimismo, *D. heterogama*, *C. etunicatum*, *C. claroideum* y *A. scrobiculata* favorecieron el desarrollo vegetativo de plantas de aguacate (Silveira *et al.*, 2003), mientras que *C. claroideum* incrementó en el suelo los contenidos de K, Ca, Cu, Zn y Mn y *A. scrobiculata* aumentó los contenidos de P, Cu y Zn (Silveira *et al.*, 2003).

En Colombia, el uso de las micorrizas en Aguacate ha sido investigado últimamente por algunos autores (Montoya, 2007; Montañez, 2009; Melo, 2011) que indican que la inoculación micorrizal promovió significativamente el crecimiento de plántulas (cultivares Hass; Villagorgona; Santana, Lorena, y Común, respectivamente). El estudio de la micorrización en Aguacate y su aplicación como un componente biotecnológico en la producción de esta especie frutal, representa un tema de interés poco estudiado en Colombia, ya que a pesar de que este producto es considerado como rubro importante de grandes oportunidades comerciales, según los acuerdos de integración, los nuevos tratados comerciales y el comercio mundial globalizado (Velásquez, 2009) aún hace falta conocimiento acerca de su manejo agronómico. En algunos frutales como el Aguacate, la inoculación con HMA ha sido utilizada con éxito en plántulas ya sea obtenida por semilla o vía cultivo de tejidos donde se pone de manifiesto su mayor efecto. Las principales especies en las cuales se ha evaluado esta tecnología son; papaya, guanábana, chirimoya, café, mango, limón y otros (Gómez-Cruz, 1995). Sánchez et al., 2003 mencionan que los hongos formadores de micorriza arbuscular constituyen el componente principal de las comunidades microbianas rizosféricas. Dichos microorganismos establecen una relación simbiótica con la planta siendo de gran importancia para su desarrollo, nutrición y control biológico de Fitopatógenos porque la raíz es la conexión directa entre la planta y el suelo y el principal medio que tiene la planta para absorber los nutrientes necesarios para su correcto desarrollo. La micorriza como órgano de absorción y translocación de agua y nutrientes es una de las más sobresalientes adaptaciones de la raíz para desenvolverse adecuadamente en el ambiente edáfico (Guerrero, 1996).

**Efectos benéficos de las micorrizas:** las micorrizas mejoran la tolerancia y capacidad de establecimiento, de supervivencia dando herramientas para superar las condiciones estresantes; prolonga el sistema radical de las plantas y ello facilita una mayor retención física de partículas del suelo, limitando los efectos dañinos de la erosión causados por diferentes factores, mejora la segregación, adecua la estabilidad estructural, al tener menos deterioro del suelo se podrá garantizar menor pérdida de sedimentos por escorrentía. Más allá de sólo reconocer en las micorrizas su papel en la toma de nutrientes para la planta, las aplicaciones de estos microorganismos se están enfocando en solucionar problemas ambientales (Wang, 2015).

## **CONCLUSIONES**

A pesar del crecimiento que sea tenido en este cultivo hace falta el desarrollo de investigaciones específicas y aplicadas para las diferentes condiciones climáticas, topográficas, ambientales y socioeconómicas del país ya que se han venido implementando procesos y sistemas implementados en otras latitudes.

Sin duda alguna la raíz es afectada por múltiples factores, desde la dinámica de los suelos hasta la variabilidad climática, algunos autores definen a la raíz como el cerebro de las plantas y esto ha cobrado importancia debido a la capacidad de recibir señales y coordinar movimientos, gracias a la detección de señales químicas y eléctricas, apoyando la idea de una comunicación entre las células vegetales. Esto podría implicar la implementación de los conceptos de inteligencia, memoria, comportamiento y cognición.

## **RECOMENDACIONES**

A pesar de que las áreas cultivadas han venido en aumento se deben plantear alternativas, manejos y paquetes tecnológicos que favorezcan la producción por unidad de área, así mismo debe fortalecer las investigaciones a favor de este indicador, es decir que los volúmenes de producción obedezcan al rendimiento por hectáreas y no por nuevas áreas entradas a producción.

El buen desarrollo radical en aguacate asegura un mejor balance hormonal, una mejor arquitectura, mayor adaptabilidad ante condiciones adversas y una mayor producción, por ende, se deben evaluar los flujos de raíces en diferentes épocas, edades y condiciones. Con esto establecer prácticas, enmiendas o labores que brinden las mejores condiciones para el desarrollo radical.

Este documento abarca algunos temas influyentes en el desarrollo radical, se espera que se convierta en una herramienta para la estructuración o planteamiento de futuras investigaciones.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alcantara-Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., & Sánchez Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129.
- ALVES DE OLIVEIRA, A., KOLLER, O.C., VILLEGAS MONTER, A. 1999. Propagación vegetativa de aguacate selección 153 (*Persea* sp.) por acodo en contenedor. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 221-225.
- Amórtégui Ferro, I., Capera Ducuara, E., & Godoy Acosta, J. V. (2001). El cultivo de aguacate. Módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural. Tomado de:  
<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4911/1/El%20cultivo%20del%20Oaguacate.pdf>
- ANSORENA, J. 1994. Propiedades y caracterización de los sustratos. Madrid, MundiPrensa. 172p.
- Arango Cifuentes, B., & Díaz Serna, D. A. (2018). Manual técnico del cultivo del aguacate. ICA.
- Ararat M. (2013). Influencia de la nutrición mineral y la actividad biológica rizosférica en la disminución del daño ocasionado por *Phytophthora cinnamomi* Rands en plántulas de Aguacate (*Persea americana* Mill).
- Arias, F. (2018). ¿Para dónde va el aguacate? Recuperado de:  
<https://www.agronegocios.co/analisis/francisco-arias-2779534/para-donde-va-el-aguacate-2779539>
- Arjona Girona, M. I. (2015). Proceso de infección de *Rosellinia Necatrix* en aguacate y determinación del antagonismo (antibiosis y micoparasitismo) de *Trichoderma* SPP., en el control biológico de la podredumbre blanca radicular.
- Arkhipova TN, Vysotskaya LB, Martinenko EV, Ivanov II, Kudoyarova GR. Participation of cytokinins in plant response to competitors. *Russ J Plant Physiol*. 2015;62(4).
- Baíza Avelar, V. H. (2004). *Guía técnica del cultivo del aguacate* (No. IICA-F01 44). Ministerio de Agricultura y Ganadería, San Salvador (El Salvador) Programa Nacional de Frutas de El Salvador, San Salvador (El Salvador) IICA, San Salvador (El Salvador).
- Barrientos-Priego, A. F., & López-López, L. (2002). Historia y genética del aguacate. En *Memoria de la Fundación Salvador Sánchez Colín* (pp. 100-121). Coatepec de Harinas, México: Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México.

- Bashan Y, Trejo A, de-Bashan LE (2011) Development of two culture media for mass cultivation of *Azospirillum* spp. and for production of inoculants to enhance plant growth. *Biol Fertil Soils* 47:963–96
- BERGH, B. O. 1992. The origin, nature, and genetic improvement of the avocado. *Calif. Avocado Soc. Yearbook*. 76 : 61-75.
- BERGH, B.; N. ELLSTRAND. 1986. Taxonomy of the avocado. *Calif. Avocado Soc. Yearbook* 70 : 135-145
- Bernal Estrada, J., Diez, D., Toro, O., Vélez, T., Vega, O., Gaona, C., ... & Londoño Bonilla, M. Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate. Tomado de:  
<http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/162/145/1120-1?inline=1>
- Cabezas, C., Hueso, J. J., & Cuevas, J. (2003). Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo del aguacate (*Persea americana* Mill.). In *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate)*
- Calabrase, F. 1992. El Aguacate. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 13-15
- Calabrese, F. (1992). El aguacate. 2ª Edición. Traducción: Javier Calatrava. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid, España. 249 P.
- CALDERÓN, E. 1985. Fruticultura general. 3a ed. México, Limusa. 530 p
- Carreón-Abud, Y.; Aguirre, P. S.; Gavito, M. E.; Mendoza, S. D. J.; Juárez, C. R.; Martínez, T. M. y Trejo, A. D. 2014. Inoculación micorrízico arbuscular en portainjertos de plantas de aguacate cv ‘Hass’ en viveros de Michoacán, México. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 5(5):847-857.
- Cassan F., Bottini R, Schneider G., & Piccoli P. (2001). *Azospirillum brasilense* and *Azospirillum Lipoferum* Hydrolyze Conjugates of GA20 and Metabolize The Resultant Aglycones To GA1 in Seedlings of Rice Dwarf Mutants. *Plant Physiology*. (125) 2053-2058
- Castrillon JC, Carvajal E, Ligarreto G, Magnitskiy S. El efecto de auxinas sobre el enraizamiento de las estacas de agraz (*Vaccinium meridionale* Swart) en diferentes sustratos. *Agronomía Colombiana*. 2008; 26(1): p. 16-22.
- Chimal-Sánchez, E.; Montaña, N. M.; Camargo-Ricalde, S. L.; García-Sánchez, R. y Hernández-Cuevas, L. V. 2016. Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Rev. Mex. Biodiv.* 87:242-247.
- CID BALLARÍN, M. 1993. Materiales utilizados en la elaboración de sustratos. *Agrícola Vergel* 141 (12): 492 - 501.
- Cossio-Vargas, L. E., Salazar-García, S., González-Durán, I. J. L., & Medina-Torres, R. (2008). Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(3), 319-324.
- Cowan AK. Abscisic acid biosynthesis in vascular plants is a constitutive process. *South African J* 2001; 67(4):497–505

- CUTTING, J.G.M. AND VAN VUUREN, S.P. 1988. Rooting leafy non-etiolated avocado cuttings from gibberellin-injected trees. *Scientia Horticulturae* 37: 171- 176.
- Darrouy Palacios, N., Castro Valdebenito, M., Cautín Morales, R., Kort Silva, L., & Bozzolo Artaza, R. (2010). Efecto de la posición de la yema y de la poda en plantas de aguacate destinadas a la clonación. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(3), 249-256.
- de la Luz Sánchez-Pérez, J. (1999). Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *Revista Chapingo serie horticultura*, 5, 7-18.
- Díaz, F. A.; Alvarado, C. M.; Allende, F. A. y Ortiz, C. F. E. 2016. Crecimiento, nutrición y rendimiento de la calabacita con fertilización biológica y mineral. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 32(4):445-456.
- Dubois M, Broeck L Van Den, Inzé D. The Pivotal Role of Ethylene in Plant Growth. *Trends Plant Sci* 2018; 23(4):311–23. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2018.01.003>
- El-yazied AA. Effect of Foliar Application of Salicylic Acid and Chelated Zinc on Growth and Productivity of Sweet Pepper (*Capsicum annum* L.) under Autumn Planting. *Res J Agric Biol Sci.* 2011;7(March):423–33.
- Ergun N., Topcuoglu F., Yildiz A., (2002). Auxin (Indol 3- acetic acid). Gibberellic acid (GA3) Absciscic acid (ABA) and citokynin (Zeatin) Production by some species of Moses and Lichens. *Turk Journal Botany* (26) 13 – 18
- Faostat. (s. f.). Cultivos. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Ferreyra, E., R.; Sellés, van Sch. (ed.) 2007. Manejo del Riego y Suelo en Palto. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 160. 120 p.
- Ferreyra, E.R., P. Maldonado, J Celedon, P. M. Gil, A. Torres, and G Selles. 2008. Soil air content effects on the water status of avocado trees. *Acta Horticulturae* 72 291- 296
- Ferreyra-Espada, R. (2017). Manejo de agua y suelo en aguacate y su influencia sobre la pudrición de raíces. In *Memorias Del V Congreso Latinoamericano Del Aguacate* (pp. 266-274).
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2008 . Manual Técnico del cultivo de aguacate Hass *Persea americana* L.
- Finkelstein R. Absciscic Acid Synthesis and Response. *Arab B.* 2013;1(November 2013):1–36
- Flores Ayala, F. (2014). Caracterización Morfológica de Colectas de Aguacate del sur del Estado de México.
- Fonseca, P., Alves, M., Dellinghausen, C. & Barboza, C. (April, 2016). Avocado: characteristics, health benefits and uses. *Ciência Rural*, 46(4), 747–754. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141516>
- Fujii H. Absciscic Acid Implication in Plant Growth and Stress Response. 2014;37–54.
- Galindo, M. E., & Arzate-Fernández, A. M. (2010). Consideraciones sobre el origen y primera dispersión del aguacate (*Persea americana*, Lauracea). *Cuadernos de Biodiversidad*, 33(sept), 11-15. doi:10.14198/cdbio.2010.33.02.

- Gañán, L.; Bolaños-Benavides, M. M. y Asakawa, N. 2011. Efecto de la micorrización sobre el crecimiento de plántulas de plátano con y sin presencia de nematodos fitoparásitos. *Acta Agron.* 60(4):297-305.
- GAVANDE, S. 1972. Física de suelo; principio y aplicación. México, Limusa- Wiley. 351p
- GAVANDE, S. 1972. Física de suelo; principio y aplicación. México, Limusa- Wiley. 351p.
- GODINEZ M.; MARTINEZ, M.; MELGAR, N.; MENDEZ, W. 2000. El cultivo del aguacate en Guatemala. 1ª Edición. PROFRUTA, MAGA, Guatemala, Guat. 35 P. (Guía técnica PROFRUTA).
- Godinez, M., Martinez, M., Melgar, N., Mendez, W., (2000). *El cultivo de aguacate. Guia técnica PROFRUTA-MAGA, Guatemala.*
- Gómez-Cruz, G. (1995). La micorriza vesículo arbuscular en frutales. In: R. Ferrera Cerrato, R. y J. Pérez-Moreno (eds.). *Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable.* Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México. pp. 184 -199
- González - Chávez, C. (1995). Interacción de la simbiosis endomicorrízica y la fijación biológica de nitrógeno. In: R. Ferrera-Cerrato, R. y J. Pérez-Moreno (eds.). *Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable.* Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México. pp. 166-183.
- González Venegas, BS y Ochoa Carvajal, EG (2016). *Caracterización fenológica y ecofisiológica del cultivo de aguacate (persea americana mill.) En fase vegetativa (estado de plántula) bajo condiciones de campo del municipio de pasca, cundinamarca* (Tesis doctoral).
- Guerrero, E. "Micorrizas Recurso Biológico del Suelo" Fondo Fen. Bogotá, Colombia, pp.6-50.1996
- Guerrero, M., & Ramos, A. (2016). *Prevenga y maneje la pudrición radical del aguacate causada por el Oomycete Phytophthora cinnamomi Rands.* ica.gov.co. Recuperado 1 de diciembre de 2021, de [https://www.ica.gov.co/getattachment/41201ed4-e8b1-4503-b25c-92de40f5d2f4/Prevenga-y-maneje-la-pudricion-del-aguacate-causad.aspx#:~:text=Phytophthora%20cinnamomi%20var%20cinnamomi%20causa,et%20al.%2C%202002\).](https://www.ica.gov.co/getattachment/41201ed4-e8b1-4503-b25c-92de40f5d2f4/Prevenga-y-maneje-la-pudricion-del-aguacate-causad.aspx#:~:text=Phytophthora%20cinnamomi%20var%20cinnamomi%20causa,et%20al.%2C%202002).)
- HARTMANN, H.T., KESTER, D.E., DAVIS, JR. F. T. AND GENEVE, R.L. 1997. Plant propagation: Principles and Practices. 6th Ed. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A. 770 p.
- HARTMANN, H; KESTER, D and DAVDES, F. 1990. Plant propagation, principles and practices. New Jersey, Prentice Hall. 647p.
- HARTMANN, H; KESTER, D and DAVDES, F. 1990. Plant propagation, principles and practices. New Jersey, Prentice Hall. 647p.

- Hernández E, Martínez I. Brasinoesteroides en la agricultura . I. Rev Mex Ciencias Agric. 2016;7(2):441–50  
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Normatividad/Paquete%20Tecnologico%20Aguacate.pdf>
- Ibar, L. (1979). El Aguacate. En Aguacate, chirimoyo, mango, papaya (pp. 9-120). Barcelona: Aedos.
- Ibarra, D. S. (1929). *El aguacate*. Bib. Orton IICA/CATIE.
- Instituto Colombiano Agropecuario, I. C. A., & Asociación De Productores De Aguacate De El Retiro, A. P. R. O. A. R. E. S. A. T. (2009). *Manual técnico Cultivo de aguacate*. minagricultura.gov.co. Recuperado 30 de noviembre de 2021, de: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Normatividad/Paquete%20Tecnologico%20Aguacate.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [Inifap]. (2011). Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. Tecnología produce aguacate en Michoacán. Recuperado de <http://www.aproam.com/CULTIVO/produccion.htm>.
- Iqbal N, Khan NA, Ferrante A, Trivellini A. Ethylene Role in Plant Growth , Development and Senescence : Interaction with Other Phytohormones. Front Plant Sci. 2017;8(475):1–19.
- Janzen R. A., Rood S. B., Dormaar J.F., McGill W. B. (1992). *Azospirillum brasilense* Produces Gibberellin in pure culture on Chemically Definid Medium and in CoCulture on Straw. Soil Biology and Biochemistry (24) 1061 - 1064
- Jose, A. A. B. 2008. Manual Técnico del cultivo de Aguacate Hass. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola FHIA. Honduras. 51 p
- Kader, M.A., Mian, M.H., Hoque, M.S. (2002). “effects of Azotobacter inoculan ton the yield nitrogen uptake by wheat”. J. Biol. Sci. 2 (4): 259-261.
- KADMAN, A. 1976. Effects of the age of juvenile stage avocado seedling on the rooting capacity of their cutting. California Avocado Society Yearbook 58-60
- Kanwar MK, Bajguz A, Zhou J, Bhardwaj R. Analysis of Brassinosteroids in Plants. J Plant Growth Regul. 2017;36(4):1002–30.
- Knight, R. J. (2007). Historia, distribución y usos. En A. W. Whinley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.). *El Palto. Botánica, Producción y Usos* (pp. 13-24). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Kozlowski, T.T.1997. Response of woody plants to flooding and salinity. Tree Physiology Monograph 1:1-29
- KREZDORN, A.H. Y MARTE, D. 1976. Advances in rooting avocados. Proc. Fl. Sta. Hort. Soc. 89: 261-263.
- Lafitte, H. R. (2001). *Fisiología del maíz tropical* (No. 0275-4). FAO.
- Langé P. Efecto de auxinas en el enraizamiento de estaquillas de *Buxus sempervirens* L., en distintas épocas del año Esperanza, Argentina: Universidad Nacional del Litoral; 2014.

- Lavaire, E. (2013). *Manual Técnico del Cultivo de Aguacate en Honduras*. SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería).
- Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science* 1:276-294.
- LETEY, J.; MORGAN, W. ; RICHARD, J. and VALORAS, N. 1966. Physical soil amendments, soil compaction, irrigation and wetting agents in turfgrass management III. Effects on oxygen diffusion rate and root growth. *Agronomy Journal*. 58 (4) :531-535.
- Lovera, M. y Cuenca, G. 2007. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada en la gran sabana Venezuela. *Interciencia*. 32(2):108-114.
- Lucero D. Enraizamiento de esquejes para la producción de plantas de café variedad Robusta *Coffea canephora* Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato; 2013.
- Medina, G. L. R. 2016. La agricultura, la sanidad y los hongos micorrízicos arbusculares: una necesidad, un problema y una alternativa. *Cultivos Tropicales*. 37(3):42-49.
- Mejía Vélez, E. (2011). *Aguacate*. Bogotá, Colombia: Bayer CropScience.
- Melo, Y.P. (2011) Respuesta de la inoculación de micorrizas en plántulas de aguacate *Persea americana* Mill. variedad Hass en diferentes sustratos. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Palmira.
- Menge, J. and L. Marais. 2000. Soil Environmental Factors and Their Relationship to Avocado Root Rot. University of California. California, EEUU.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2019). Anuario estadístico del sector agropecuario 2019. Resultados Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural. 2021. [online] [Sioc.minagricultura.gov.co](https://sioc.minagricultura.gov.co). Available at: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf> [Accessed 4 October 2021].
- Montañez, B.I. (2009) Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (*Persea americana* L.) durante la fase de vivero en suelos provenientes de los Llanos Orientales. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Montoya, B. (2007) Determinación de la dependencia micorrizal del aguacate. Tesis Magister en Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Nambara E, Okamoto M, Tatematsu K, Yano R, Seo M. Abscisic acid and the control of seed dormancy and germination. *Seed Sci Res*. 2010;20(May 2014):55–67.
- NICOLOSI, R. and FERTZ, T. 1980. Evaluation of root growth in varying medium densities and through dissimilar soil surface. *HortScience* 15 (5): 642-644.
- Novo B. (1993) Microbiología del suelo y biofertilización. En: *Fundases. Memorias de la Fundación de Asesorías para el Sector Rural*. Santa fe de Bogotá: Fundases; p. 101.
- OECD/FAO (2021), *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2029*, FAO, Rome/OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>.

- Pliego C., Kanematsu S., Ruano-Rosa D., de Vicente A., López-Herrera C., Cazorla F. M. and Ramos C., 2009. GFP sheds light on the infection process of avocado roots by *Rosellinia necatrix*. *Fungal Genetics and Biology* 46, 137–145.
- Pliego, M. C., Zumaquero, A., Martínez, E., & Lopez, C. (2016). *Principales Podredumbres Radiculares del Aguacate en el Litoral Andaluz*. SERVIFAPA. Recuperado 11 de diciembre de 2021, de: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/93d30215-c1f3-4b76-b992-0830c8d650b6>
- Punita, S. J., Reddy, M.A. y Das, H.K. (1989). “multiple chromosomes of *Azotobacter vinelandii*”, *J. Bacteriol.* 171: 3133-3138.
- Ramos, H. L.; Arozarena, D. N. J.; Reyna, G.Y.; Telo, C. L.; Ramírez, P. M.; Lescaille, A. J. and Martín, A. G. M. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatherium* and FitoMas-E: an effective alternative for the reduction of the consumption of mineral fertilizers in *Psidium guajava*, L. var. Enana Roja cubana. *Cultivos Tropicales*. 34(1):5-10.
- Redecker, D.; Schüßler, A.; Stockinger, H.; Stürmer, S. L.; Morton, J. B. and Walker, C. 2013. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*. 23(7):515-531.
- REUVENI, O. AND RAVIV, M. 1980. Importance of leaf retention to rooting of avocado cuttings. *J. Americ. Soc. Hort. Sci.* 106(2): 127-130.
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de iniciación científica*, 4, 101-105.
- Rivera, P. F. A.; González, S. V.; González, A. J. G. y Ossa, L. P. A. 2016. Caracterización molecular, análisis morfológico y colonización micorrízica en la rizósfera del aguacate (*Persea americana* Mill) en Caldas, Colombia. *Acta agron.* 65(4):398-405. Doi: 10.15446/acag.v65n4.51714.
- Rocha-Arroyo, J. L., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A. E., González-Durán, I. J., & Cossio-Vargas, L. E. (2011). Fenología del aguacate'Hass' en Michoacán. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(3), 303-316.
- Rodríguez Cedillo, M. (2003). *Guía técnica cultivo del aguacate*. centa.gov.sv. Recuperado 30 de noviembre de 2021, de <http://centa.gov.sv/docs/guias/frutales/Guia%20aguacate%202003.pdf>
- Rodríguez S, F. 1982. El aguacate. Ed. A. G. F. Editores. México pp.13-16.
- ROJAS, E. C., ARREOLA, J. A., AGUSTÍN, J. A., & BARQUERA, M. D. L. C. E. (2012). Propagación de aguacate.
- Romero, L., & de Losada, D. (1974). Reproducción vegetativa o asexual del aguacate. *Calif. Avoc. Soc. Yrbk*, 57, 171-174.
- Saini S, Sharma I, Pati PK. Versatile roles of brassinosteroid in plants in the context of its homeostasis, signaling and crosstalks. *Front Plant Sci*. 2015

- Salazar-García, S & Cortés-Flores, J I. 1986. Root distribution of mature avocado trees growing in soils of different texture, California Avocado Society Yearbook, Vol 70, pp. 165-174.
- Salazar-García, S. (2002). *Nutrición del aguacate: principios y aplicaciones*.
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto de la Potasa y el Fósforo. Querétaro, México. 165 p
- SALAZAR-GARCIA, S. AND BORYS, M.W. 1983. Clonal propagation of the avocado through “Franqueamiento”. California Avocado Society Yearbook 67: 69-72.
- SALAZAR-GARCÍA, S., VELASCO C. J.J., MEDINA T. R. Y J. R. GÓMEZ A. 2004. Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos. II. Respuesta al enraizamiento mediante acodos. Revista Fitotecnia Mexicana 27(2): 183-190
- Sánchez De Prager Marina. (2003). Actividad biológica en la rizósfera del maracuyá (pasiflora edulis var. Flavicarpa) en diferentes sistemas de manejo, estados de desarrollo y condiciones fitosanitarias. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. Tesis Doctoral. 261 P.
- Schüßler, A. and Walker, C. 2010. The Glomeromycota: a species list with new families and new genera. Tomado de: <http://www.amf-phylogeny.com>. 66 p
- Scora R.W., B.N. Wolstenholme and U. Lavi. 2007. Taxonomy and Botany, pp. 37-15. In. El palto. Botánica, Producción y Usos. A. W. WHILEY, B. SCHAFFER y B. N. WOLSTENHOLME (eds.). Ediciones Universales de Valparaíso. Chile
- Silveira, S. V.; Souza, P. V.; Koller, O. C. y Schwarz, S. F. 2003. Elementos minerales y carbohidratos en plantones de aguacate ‘carmen’ inoculados con micorrizas arbusculares. Proceedings V World Avocado Congress. 415-420 p.
- Simó, G. J. E.; Ruiz, M. L. A. y Rivera, E. R. 2015. Manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular y el suministro de nutrientes en plantaciones de banano cv. ‘FHIA-18’ (Musa AAAB) en suelo Pardo mullido carbonatado. Cultivos Tropicales. 36(4):43-54.
- Smith, C.E. Jr. 1966. Archeological evidence for selection in avocado. Economic Botany 20: 169-175.
- SMITTLE, D. and WILLIAMSON, R. 1977. Effect of soil compaction on nitrogen and water use efficiency root growth, yield and fruit shape of pickling cucumbers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102 (6) :822-825.
- Stolzy, L, G. Zentmyer., A. Klotz. and C. Labanauskas. 1967. Oxygen diffusion, water, and Phytophthora cinnamomi in root decay and nutrition of avocados. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 90:67-76
- TAIZ, L. AND ZEIGER, E. 2002. Plant physiology. 3rd edition. Sinauer Associates., Inc. 690 p.
- Tamayo Molano, P. J. (2007). Enfermedades del Aguacate. *Revista Politécnica*, 3(4), 51 - 70. Recuperado a partir de: <https://www.cienciared.com.ar/ra/usr/37/444/tamayom.pdf>
- Téliz, D. (2000). El aguacate y su manejo integrado. México: Ediciones Mundi-Prensa.



- Tradecorp®. 2020. Importancia del sistema radicular en tus cultivos. Blog Tradecorp. Visitado el 18/10/2021 en: <https://tradecorp.mx/importancia-del-sistema-radicular-en-tus-cultivos/>
- Urbina, V. (2001). Morfología y desarrollo vegetativo de los frutales. *Monografías de fruticultura*, (5).
- Valoras, N., J. Leteo., I. Stolzy, and F. Frolich. 1964. The oxygen requirements for root growth of three avocado varieties. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 85:172- 178.
- Van Rijswick, C. (2016). Avocados Are in the Winning Mood. Recuperado de <https://bit.ly/2vUpMvN>
- Vandenkoornhuyse, P.; Husband, R.; Daniell, T. J.; Watson, I. J.; Duck, J. M.; Fitter, A. H. and Young, P. W. 2002. Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem. *Molecular Ecology*, USA. 11(18):1555-1564.
- VEIERSKOV, B. 1988. Relations between carbohydrates and adventitious root formation, pp. 70-78, In: Davies, T.D.; Haissig, B.E.; Sankla, N. (eds.) *Adventitious Root Formation in cuttings*. V.2 Discorides Press, Portland USA.
- Velásquez, J.A. (2009). Identificación del aguacate como un rubro importante de grandes oportunidades comerciales, según los acuerdos de integración, los nuevos tratados comerciales y el comercio mundial globalizado. Secretaría de Productividad y Competitividad. Gobernación de Antioquia.
- Wang T., Jiang X., Chen G., Xu J. (2015). Interaction of amyotrophic lateral sclerosis/frontotemporal lobar degeneration-associated fused-in-sarcoma with proteins involved in metabolic and protein degradation pathways. *Neurobiol. Aging* 36, 527–535.
- Whiley , A. W.; Saranah, J. B.; Cull, B. W.; Pegg, K. G. manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Qld. Agric. J.* 114 (1): 29 – 36. 1988
- WHILEY AW, SCHAFFER B, WOLSTENHOLME BN. 2002. *The Avocado: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Oxon UK. 416 pp.
- Whiley, A W, Wolstenholme, B N, Saranah, J B & Anderson, P A. 1990. Effect of root temperature on growth of two avocado rootstocks cultivars, *Acta Horticulturae*, Vol 275, pp.153-160.
- Whiley, A. W., & Schaffer, B. (1994). Avocado. En B. Schaffer, & P. C. Andersn (Eds.), *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops. Subtropical and Tropical Crops* (pp. 165-197). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Williams, L.O. 1977. The avocados, a synopsis of the genus *Persea*, subg. *Persea*. *Economic Botany* 31: 315-320.
- Wolstenholme, B.N. and A.W. Whiley. 1989. Carbohydrate and phenological cycling as management tools for avocado orchards. *SA Avocado Growers' Assoc. Yrb.* 12, 33-37.

- Wu L, Feng G, Letey J, Ferguson L, Mitchell J, McCullough-Sanden B, Markegard G. 2003. Soil management effects on the nonlimiting water range. *Geoderma* 114 (3-4):401-414.
- Xiong, B. & Song, Y. (2018). Big Data and Dietary Trend: The Case of Avocado Imports in China. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/08974438.2018.1426073>
- YOUNG, L.B. 1961. Vegetative propagation in avocados by means of marcottage and the rooting of cuttings. *California Avocado Society Yearbook* 45: 63-66