Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia

Jorge Alonso Bernal Estrada

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Medellín, Colombia
2016

Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia

Jorge Alonso Bernal Estrada

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de
Doctor en Ciencias Agrarias

Director
José Régulo Cartagena Valenzuela

Comité Asesor
Guillermo Antonio Correa Londoño
Mario Lobo Arias

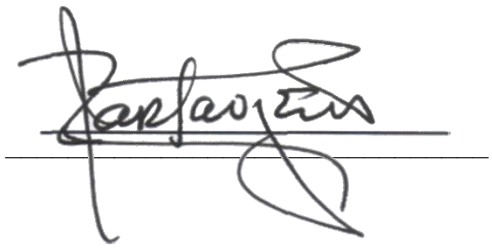
Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Medellín, Colombia
2016

Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia

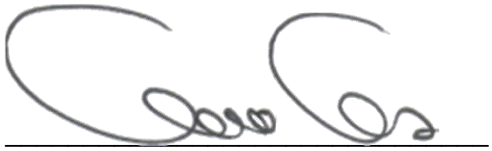
Por

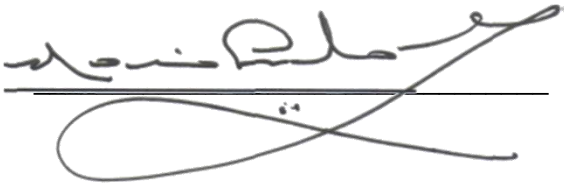
Jorge Alonso Bernal Estrada

Director

José Régulo Cartagena Valenzuela 

Comité Asesor

Guillermo Antonio Correa Londoño 

Mario Lobo Arias 

A mi querida madre Myriam, a mi esposa "Mona"
y a mis preciosas hijas Susana, Julieta y Emma
por su amor incondicional
y por haber creído en este sueño cumplido.

Agradecimientos

Al Doctor José Régulo Cartagena Valenzuela por la dirección del proyecto, su dedicación y sus valiosos aportes al trabajo realizado.

A Guillermo Correa Londoño y Mario Lobo Arias, profesores Asociados de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por su asesoría.

A Corpoica por el respaldo institucional y la oportunidad para llevar acabo esta investigación.

A la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia por el apoyo financiero.

Especial reconocimiento a mi compañera y amiga, la Investigadora Master de Corpoica, C.I. La Selva, Luz Adriana Vásquez Gallo por sus observaciones, aportes y permanente apoyo técnico en la planeación y ejecución de las actividades de campo, laboratorio y oficina, que permitieron consolidar información de importancia para lograr culminar con éxito el trabajo de tesis.

A Clara Ines Medina Cano, investigadora PhD de Corpoica, C.I. La Selva, por su asesoría y aportes técnicos.

A los Asistentes de Investigación de Corpoica C.I. La Selva, Julio Cesar Tabares Suaza, Manuel Hincapié Zapata, Gilberto Antonio Higinio Alzate y Maria Vargas Arcila, por su dedicación, empeño y responsabilidad en la toma de información de campo y laboratorio y en las actividades relacionadas con el manejo de las parcelas donde se adelantó el estudio.

Mi gratitud también a los propietarios y administradores de las fincas donde se realizaron las actividades de campo.

A los colegas mexicanos, Salvador Ochoa Ascencio (Docente de la Facultad de Agrobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo) y Marcelino Cortés Rojas (Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP – Campo Experimental Uruapan, Michoacán), por el acompañamiento técnico y asesoría en el cultivo de aguacate durante mi pasantía en ese país.

A Cipriano Arturo Díaz Díez., Alvaro de Jesús Tamayo Vélez y Germán Franco, investigadores, compañeros y amigos de Corpoica C.I. La Selva, por su apoyo y sus desinteresados aportes técnicos y experiencias.

A Nilsen Sánchez, Profesional de Comunicaciones de Corpoica C.I. la Selva, por toda su colaboración en la diagramación y edición de este documento.

A todos ellos y a los que no he podido nombrar por espacio y tiempo, mi más sincero agradecimiento.

Resumen

Para obtener un mayor conocimiento sobre la fenología, productividad y calidad del fruto en aguacate cv. Hass, se estudió el comportamiento de árboles plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (Támesis, 1.340 msnm, Venecia PB, 1.510 msnm, Venecia SC, 1.770 msnm, Jericó 1.900 msnm, Marinilla, 2.087 msnm, Rionegro, 2.140 msnm y Entrerríos, 2.420 msnm). La intensidad y la duración de los flujos vegetativos fueron variables en todos los lugares y no tuvieron un comportamiento cíclico. Los árboles ubicados en Rionegro, Jericó y Támesis, mostraron dos flujos florales, mientras que los establecidos en Entrerríos presentaron tres floraciones. El período entre la floración y la cosecha fue mas prolongado a mayor altura. Los valores de Fn obtenidos en la época de lluvias fueron mayores que los de la época de verano, en particular cuando los árboles mostraban crecimiento activo, floración y/o fructificación, en comparación con árboles en "reposo". No se observó diferencia significativa en la densidad estomática (DE) por estrato de árbol. Los más altos rendimientos en el período 2011-2012, se obtuvieron en árboles localizados por encima de los 1.770 msnm (13,94 t ha^{-1}); en tanto que el peso promedio del fruto, fue superior a los 190 g (categoría Extra), arriba de los 2.000 msnm. En las cotas mas altas se cosecharon los frutos con mayor contenido de pulpa (64 a 70 %), caracterizándose por tener una menor proporción de semilla y cáscara y una mejor calificación sensorial. La composición mineral de la pulpa, en particular para el P, K, Mg, Na, S, Zn y B aumentó cuando la altura donde se encontraban los huertos era mayor; en contraste, el Ca, Cu y Mn, disminuyeron y el N se mantuvo estable. El clima influyó en la cantidad total de lípidos y en la composición relativa de los ácidos grasos, destacándose que el contenido de ácido oléico (insaturado), se incrementó a medida que los huertos se encontraban a mayor altura, lo contrario ocurrió con el ácido linolénico (saturado). En los demás ácidos grasos, no se evidenciaron cambios en su contenido atribuibles a la temperatura del sitio. Los resultados son útiles para una correcta elección de las áreas destinadas para la plantación con aguacate cv. Hass, en las diferentes zonas potenciales del país.

Palabras clave: *Persea americana* Mill, frutales perennes, crecimiento y desarrollo, fotosintésis, rendimiento, nutrición mineral, contenido de lípidos, calidad del fruto.

Abstract

For a better understanding of the phenology, productivity and fruit quality of avocado cv. Hass, was studied the behavior of trees planted in seven localities of the department of Antioquia (Támesis, 1,340 m asl, Venecia PB, 1,510 m asl, Venecia SC, 1,770 m asl, Jericó 1,900 m asl, Marinilla, 2,087 m asl, Rionegro, 2,140 m asl and Entrerríos 2,420 m asl). The intensity and duration of the vegetative flows were variable in all regions and did not have a cyclical pattern. Trees located in Rionegro, Jericó and Támesis showed two floral flows, while established in Entrerríos they presented three blooms. The period between flowering and harvest was longer at higher altitudes. Net CO_2 assimilation values obtained in the rainy season were higher than in the summer, especially when the trees showed active growth, flowering and/or fruiting, compared with trees in "rest". No significant difference was observed in stomatal density (SD) by stratum in the tree. Higher yields in the period 2011-2012, were obtained in trees located above 1,770 m asl (13.94 t ha^{-1}); while the average fruit weight, was greater than 190 g (Extra grade), in trees planted above 2,000 m asl. At the highest levels were harvested fruits with more pulp content (64-70%), characterized by having a lower proportion of seed and peel and improved sensory rating. The mineral composition of the pulp, particularly the P, K, Mg, Na, S, Zn and B increased when the height where orchards were located was greater; in contrast, Ca, Cu and Mn, decreased and N remained stable. The climate influenced the total amount of lipids and the relative composition of fatty acids, standing that the content of oleic acid (unsaturated), increased as orchards were higher, the opposite occurred with linolenic acid (saturated). In other fatty acids, no changes were evident in content, attributable to temperature of the place. The results are useful for a correct choice of areas intended for planting avocado cv. Hass, in the different potential zones of the country.

Key words: *Persea americana* Mill, perennial fruit trees, growth and development, photsynthesis, fruit yield, mineral nutrition, content of lipids, fruit quality.

Contenido

Resumen..... **IX**

Abstract..... **X**

Lista de Figuras..... **XVI**

Lista de Tablas..... **XXIII**

Introducción..... **1**

Literatura citada..... **7**

Capítulo 1..... **15**
Condiciones climáticas del estudio..... **15**
1.1 Subregión Norte..... **16**
1.1.1 Entrerríos..... **16**
1.2 Subregión Oriente..... **17**
1.2.1 Rionegro..... **17**
1.2.2 Marinilla..... **18**
1.3 Subregión Suroeste..... **19**
1.3.1 Jericó..... **19**
1.3.2 Venecia..... **20**
1.3.3 Támesis..... **20**
1.4 Literatura citada..... **21**

Capítulo 2..... **23**
Fenología del aguacate cv. Hass plantado en diversos ambientes del departamento de Antioquia..... **23**
2.1 Resumen..... **23**
2.2 Introducción..... **23**
2.3 Materiales y Métodos..... **26**
2.3.1 Ubicación..... **26**
2.3.2 Material biológico..... **26**
2.3.3 Procedimiento experimental..... **26**
2.3.3.1 Identificación de flujos florales, vegetativos y de fructificación..... **26**
2.3.3.2 Producción de raíces..... **31**
2.3.3.3 Determinación de la caída de frutos..... **31**
2.3.3.4 Precipitación..... **31**
2.3.3.5 Temperaturas del aire y del suelo..... **31**

2.3.3.6 Crecimiento del fruto..... 32
2.3.3.7 Intensidad relativa..... 32
2.3.4 Requerimientos hídricos de los cultivos de aguacate (ETc)..... 32
2.3.5 Análisis Estadístico..... 32
2.4 Resultados y Discusión..... 32
2.4.1 Entrerríos (2.420 msnm)..... 34
2.4.1.1 Flujos de crecimiento vegetativo..... 34
2.4.1.2 Desarrollo floral..... 35
2.4.1.3 Requerimientos hídricos..... 35
2.4.1.4 Crecimiento de raíces..... 37
2.4.1.5 Caída de fruto..... 38
2.4.1.6 Cosecha..... 40
2.4.1.7 Temperatura del aire y suelo..... 40
2.4.2 Rionegro (2.147 msnm)..... 43
2.4.2.1 Flujos de crecimiento vegetativo..... 43
2.4.2.2 Desarrollo floral..... 44
2.4.2.3 Requerimientos hídricos..... 46
2.4.2.4 Crecimiento de raíces..... 47
2.4.2.5 Humedad del suelo..... 48
2.4.2.6 Caída de fruto..... 49
2.4.2.7 Cosecha..... 51
2.4.2.8 Temperatura del aire y suelo..... 51
2.4.3 Jericó (1.900 msnm)..... 54
2.4.3.1 Flujos de crecimiento vegetativo..... 54
2.4.3.2 Desarrollo floral..... 55
2.4.3.3 Requerimientos hídricos..... 56
2.4.3.4 Crecimiento de raíces..... 58
2.4.3.5 Humedad del suelo..... 59
2.4.3.6 Caída de fruto..... 60
2.4.3.7 Cosecha..... 62
2.4.3.8 Temperatura del aire y suelo..... 62
2.4.4 Támesis (1.340 msnm)..... 65
2.4.4.1 Flujos de crecimiento vegetativo..... 65
2.4.4.2 Desarrollo floral..... 66
2.4.4.3 Requerimientos hídricos..... 68
2.4.4.3 Crecimiento de raíces..... 69
2.4.4.4 Caída de fruto..... 70
2.4.4.5 Cosecha..... 72
2.4.4.6 Temperatura del aire y suelo..... 72
2.4.5 Todas las localidades..... 75
2.5 Conclusiones..... 85
2.6 Literatura citada..... 87

Capítulo 3…….. **95**
Comportamiento de la fotosíntesis en aguacate cv. Hass plantado en diversos ambientes del departamento de Antioquia…….. **95**
3.1 Resumen…… **95**
3.2 Introducción…… **96**
3.3 Materiales y Métodos…… **99**
3.3.1 Ubicación…… **99**
3.3.2 Material biológico…… **100**
3.3.3 Procedimiento experimental…… **100**
3.3.3.1 Determinación de la curva diaria fotosintética…… **100**
3.3.3.2 Determinación de la actividad fotosintética…… **100**
3.3.3.3 Densidad estomática…… **100**
3.3.4 Análisis Estadístico…… **101**
3.4 Resultados y Discusión…… **101**
3.4.1 Entrerríos (2.420 msnm)…… **101**
3.4.1.1 Determinación de la curva diaria fotosintética…… **101**
3.4.1.2 Determinación de la actividad fotosintética…… **106**
3.4.2 Rionegro…… **108**
3.4.2.1 Determinación de la curva diaria fotosintética…… **109**
3.4.2.2 Determinación de la actividad fotosintética…… **112**
3.4.3 Jericó…… **115**
3.4.3.1 Determinación de la curva diaria fotosintética…… **115**
3.4.3.2 Determinación de la actividad fotosintética…… **120**
3.4.4 Támesis…… **122**
3.4.4.1 Determinación de la curva diaria fotosintética…… **122**
3.4.4.2 Determinación de la actividad fotosintética…… **126**
3.4.5 Todas las localidades…… **129**
3.4.5.1 Densidad estomática…… **132**
3.5 Conclusiones…… **135**
3.6 Literatura citada…… **136**

Capítulo 4…….. **143**
Evaluación del desarrollo y productividad de árboles de aguacate cv. Hass plantados en diversos ambientes del departamento de Antioquia…….. **143**
4.1 Resumen…… **143**
4.2 Introducción…… **144**
4.3 Materiales y Métodos…… **147**
4.3.1 Ubicación…… **147**
4.3.2 Material biológico…… **148**
4.3.3 Condiciones ambientales…… **148**
4.3.4 Evaluación del desarrollo de los árboles…… **148**
4.3.5 Evaluación de la productividad de frutos…… **148**
4.3.6 Análisis Estadístico…… **149**
4.4 Resultados y Discusión…… **149**
4.4.1 Condiciones ambientales…… **149**
4.4.1.1 Temperartura…… **149**
4.4.1.2 Humedad Relativa…… **151**
4.4.1.3 Precipitación…… **151**
4.4.1.4 Brillo Solar…… **152**

4.4.2 Evaluación del desarrollo de los árboles…… 153
4.4.3 Altura de los árboles…… 157
4.4.4 Diámetro de la copa …… 157
4.4.5 Rendimiento de fruto…… 158
4.4.6 Eficiencia productiva del árbol…… 161
4.4.7 Épocas de cosecha…… 162
4.5 Conclusiones…… 163
4.6 Literatura citada…… 164

Capítulo 5…… 169
Evaluación de la calidad del fruto de aguacate cv. Hass plantado en diversos ambientes del departamento de Antioquia…… 169
5.1 Resumen…… 169
5.2 Introducción…… 170
5.3 Materiales y Métodos…… 174
5.3.1 Ubicación…… 174
5.3.2 Material biológico…… 174
5.3.3 Peso promedio frutos y categorías…… 174
5.3.4 Evaluación de la calidad del fruto…… 175
5.3.5 Análisis de la calidad comercial…… 176
5.3.6 Análisis Estadístico…… 176
5.4 Resultados y Discusión…… 176
5.4.1 Peso promedio del fruto…… 176
5.4.2 Calidad del fruto en pulpa, cáscara y semilla…… 179
5.4.3 Calidad del fruto por categorías…… 183
5.4.4 Analisis de la calidad inicial…… 186
5.4.5 Calidad comercial del fruto…… 187
5.4.6 Pérdida de peso (PP)…… 188
5.4.7 Tiempo de maduración…… 189
5.4.8 Análisis sensorial…… 191
5.5 Conclusiones…… 192
5.6 Literatura citada…… 193

Capítulo 6…… 205
Contenido de macro y microelementos en frutos de aguacate cv. Hass cosechados en el trópico andino del departamento de Antioquia…… 205
6.1 Resumen…… 205
6.2 Introducción…… 205
6.3 Materiales y Métodos…… 209
6.3.1 Ubicación…… 209
6.3.2 Material biológico…… 210
6.3.3 Procedimiento experimental…… 210
6.3.4 Análisis Estadístico…… 211
6.4 Resultados y Discusión…… 211
6.4.1 Análisis de suelo y foliar…… 211
6.4.2 Nutrientes analizados en la pulpa del fruto…… 214
5.4.3 Nitrógeno…… 216
6.4.4 Fósforo…… 218
6.4.5 Potasio…… 220

6.4.6 Calcio..... 222
6.4.7 Magnesio..... 224
6.4.8 Sodio..... 225
6.4.9 Azufre..... 226
6.4.10 Oligoelementos..... 227
6.4.11 Hierro..... 228
6.4.12 Cobre..... 228
6.4.13 Manganeso..... 230
6.4.14 Zinc..... 230
6.4.15 Boro..... 232
6.5 Conclusiones..... 233
6.6 Literatura citada..... 234

Capítulo 7..... 243
Contenido de lípidos y composición relativa de los ácidos grasos de la pulpa en frutos de aguacate cv. Hass cosechados en el trópico andino del departamento de Antioquia..... 243
7.1 Resumen..... 243
7.2 Introducción..... 245
7.3 Materiales y métodos..... 245
7.3.1 Ubicación..... 245
7.3.2 Material biológico..... 245
7.3.3 Procedimiento experimental..... 245
7.3.4 Análisis Estadístico..... 246
7.4 Resultados y discusión..... 246
7.5 Conclusiones..... 254
7.6 Literatura citada..... 255

Capítulo 8..... 261
Conclusiones generales..... 261
8.1 Modelo conceptual..... 265

Lista de figuras

Figura 2-1. Yema en estado A. Yema en latencia……..…… 27
Figura 2-2. Yema en estado B. Yema hinchada……..……..... 27
Figura 2-3. Yema en estado C, próxima a brotar (vegetativa o floral). ……… 28
Figura 2-4. Yema en estado D1……..…..……..…. 28
Figura 2-5. Estado D2……...…… 29
Figura 2-6. Estado E. Botón amarillo. ……..…... 29
Figura 2-7. Estado F. Los pedúnculos florales se separan y se abren los sépalos (apertura de la flor o antesis). ……...……...… 30
Figura 2-8. Estado G. Marchitez de pétalos……...……..…. 30
Figura 2-9. Estado H. Cuajado……. 30
Figura 2-10. Estado I. Fruto tierno. ……..……..……. 30
Figura 2-11. Yema D. Brote incipiente……. 31
Figura 2-12. Brote vegetativo nuevo (B.V.N.) ……..……...…. 31
Figura 2-13. Brote en crecimiento (BC) ……..……..…. 31
Figura 2-14. Flujos de crecimiento vegetativo en árboles de aguacate cv. Hass vs. Precipitación, en Entrerríos, Antioquia (2011-2013)……..…… 34
Figura 2-15. Flujos de crecimiento vegetativo y desarrollo floral en árboles de aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Entrerríos, Antioquia (2011-2013)…… 35
Figura 2-16. Balance hídrico entre la precipitación promedia anual y la evapotranspiración del cultivo de aguacate cv. Hass, Santa Rosa, Antioquia…. 36
Figura 2.17. Requerimientos hídricos mensuales, precipitación y su relación con el comportamiento de la floración. Entrerríos, Antioquia (sept. 2011 – jun. 2013)……..... 37
Figura 2-18. Comportamiento fenológico de árboles de aguacate cv. Hass, bajo condiciones de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011 - 2013)…… 38
Figura 2-19. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011 – 2013)..……..……..…. 39
Figura 2-20. Temperatura ambiente (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011 - 2013)…...……..…. 41
Figura 2-21. Temperatura del suelo a 30 cm (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011 - 2013). ……... 42
Figura 2-22. Temperaturas ambiente y de suelo a 30 cm (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011 - 2013).. 42
Figura 2-23. Temperatura anual máxima, promedio y mínima ambiental y del suelo en Entrerríos, Antioquia (2.400 msnm) (2011-2013)……..……..……... 43
Figura 2-24. Flujos de crecimiento vegetativo en aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Rionegro, Antioquia (2011-2013)……..……..……. 44
Figura 2-25. Flujos de crecimiento vegetativo y desarrollo floral del aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Rionegro, Antioquia (2011-2013)…..…….. 45

Figura 2-26. Balance hídrico entre la precipitación promedia anual y la evapotranspiración del cultivo de aguacate cv. Hass, Rionegro, Antioquia…….. 47
Figura 2-27. Requerimientos hídricos mensuales, precipitación y su relación con el comportamiento de la floración. Rionegro, Antioquia (sept. 2011 – jun. 2013)…….. 47
Figura 2-28. Comportamiento fenológico del aguacate cv. Hass, bajo las condiciones ambientales de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011 - 2013)…. 48
Figura 2-29. Valores mensuales de precipitación y de humedad promedio en el suelo, en Rionegro, Antioquia (2011-2013)…….. 49
Figura 2-30. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones del municipio de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011 – 2013)…… 50
Figura 2-31. Temperatura ambiente (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011 - 2013). ……... 51
Figura 2-32. Temperatura del suelo a 30 cm (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011 - 2013)……..……... 52
Figura 2-33. Temperaturas ambiente y de suelo a 30 cm (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011-2013)…. 53
Figura 2-34. Temperaturas ambiental y del suelo (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011-2013)…….. 53
Figura 2-35. Flujos de crecimiento vegetativo en aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011-2013)……..……..... 55
Figura 2-36. Flujos de crecimiento vegetativo y desarrollo floral en aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011-2013)……... 56
Figura 2-37. Balance hídrico entre la precipitación promedia anual y la evapotranspiración del cultivo de aguacate cv. Hass, Jardín, Antioquia……... 57
Figura 2-38. Requerimientos hídricos mensuales, precipitación y su relación con el comportamiento de la floración. Jericó, Antioquia (sept. 2011 – jun. 2013)……. 58
Figura 2-39. Comportamiento fenológico del cv. Hass, bajo las condiciones ambientales de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011-2013)……..... 59
Figura 2-40. Valores mensuales de precipitación y de humedad promedio en el suelo, en Jericó, Antioquia (2011-2013)…… 60
Figura 2-41. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011–2013)……..……..……... 61
Figura 2-42. Temperaturas ambiente (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011-2013)….……..……... 63
Figura 2-43. Temperaturas ambiente (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011- 2013)……..……..... 64
Figura 2-44. Temperatura ambiente y de suelo a 30 cm (máxima, promedio y mínima), bajo condiciones de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011-2013)…….. 64
Figura 2-45. Temperaturas ambiental y del suelo (máxima, promedio y mínima), bajo condiciones de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011-2013)..... 65
Figura 2-46. Flujos de crecimiento vegetativo en aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011-2013)……..... 66
Figura 2-47. Flujos de crecimiento vegetativo y desarrollo floral del aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011-2013)….. 67
Figura 2-48. Balance hídrico entre la precipitación promedia anual y la evapotranspiración del cultivo de aguacate cv. Hass, Támesis, Antioquia……. 69

Figura 2-49 Requerimientos hídricos mensuales, precipitación y su relación con el comportamiento de la floración. Támesis, Antioquia (sept. 2011 – jun. 2013)…….. 69
Figura 2-50. Comportamiento fenológico del cv. Hass, bajo condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011-2013)…….…… 70
Figura 2-51. Fenología de árboles de aguacate cv. Hass bajo condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011–2013)…….…….. 72
Figura 2-52. Temperaturas ambiente (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011-2013)……. 73
Figura 2-53. Temperatura del suelo (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011-2013)……. 74
Figura 2-54. Temperatura ambiente y del suelo (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011-2013)…….…. 74
Figura 2-55. Temperaturas ambiental y del suelo (máxima, promedio y mínima) en las condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011-2013)……. 75
Figura 2-56. Yemas evaluadas en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013)……..……. 77
Figura 2-57. Flujos de crecimiento vegetativo en aguacate en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2012-2013)…… 77
Figura 2-58. Modelo ajustado para el flujo vegetativo, en función de la temperatura máxima, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia…….. 78
Figura 2-59. Modelo ajustado para el flujo vegetativo, en función de la temperatura promedio, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia…….. 79
Figura 2-60. Desarrollo floral en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2012-2013)…….. 80
Figura 2-61. Modelo ajustado para la floración, en función de la precipitación, 120 días antes del registro del evento, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia……. 80
Figura 2-62. Crecimiento del fruto en árboles aguacate cv. Hass vs. en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2012-2013)……..……. 81
Figura 2-63. Crecimiento de raíces en árboles de aguacate cv. Hass en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013)……..……..… 82
Figura 2-64. Modelo ajustado para el crecimiento de la raíz, en función de la temperatura máxima ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia…….. 82
Figura 2-65. Modelo ajustado para el crecimiento de la raíz, en función de la temperatura máxima del suelo, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia…….. 83
Figura 2-66. Precipitación mensual en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013), donde se evaluó el comportamiento fenológico del aguacate cv. Hass.……..……..……..…….. 83
Figura 2-67. Precipitación acumulada en tres años de registro (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia. ……..…….. 84
Figura 2-68. Modelo ajustado para Log caída de frutos, en función de la precipitación, 60 días antes del registro del evento, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia……. 85

Figura 3-1. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones ambientales de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011–2013)…..…….…… 101
Figura 3-2. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (marzo de 2012). Entrerríos, Antioquia. Las barras sobre los promedios indican ± Error Estándar……. 103
Figura 3-3. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass, durante el transcurso del día (junio de 2013). Entrerríos, Antioquia……..……... 104
Figura 3-4. Actividad fotosintética, radiación fotosintéticamente activa y temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass en diferentes estados fenológicos (marzo, agosto y noviembre de 2012). Entrerríos, Antioquia……. 108
Figura 3-5. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones ambientales del municipio de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011–2013)…..……... 109
Figura 3-6. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (marzo de 2012). Rionegro, Antioquia. ……..……..… 110
Figura 3-7. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (junio de 2012). Rionegro, Antioquia……..……..…… 112
Figura 3-8. Actividad fotosintética, radiación fotosintéticamente activa y temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass en diferentes estados fenológicos (mayo y octubre de 2012 y marzo de 2013). Rionegro, Antioquia..... 114
Figura 3-9. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones ambientales de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011–2013)……..... 115
Figura 3-10. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (marzo de 2012). Jericó, Antioquia. ……..……... 117
Figura 3-11. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (Febrero de 2013). Jericó, Antioquia…… 119
Figura 3-12. Actividad fotosintética, radiación fotosintéticamente activa y temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass en diferentes estados fenológicos (mayo y diciembre de 2012 y Marzo de 2013). Jericó, Antioquia….. 121
Figura 3-13. Fenología de árboles de aguacate cv. Hass bajo las condiciones ambientales de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011 – 2013)……..…….. 122
Figura 3-14. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (febrero de 2012). Támesis, Antioquia. ……..……..... 124
Figura 3-15. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass, durante el transcurso del día (mayo de 2013). Támesis, Antioquia. ……. 125

Figura 3-16. Actividad fotosintética, radiación fotosintéticamente activa y temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass en diferentes estados fenológicos (diciembre de 2012 y mayo de 2013). Támesis, Antioquia…….. 128
Figura 3-17. Superficie del modelo cuadrático para la fotosíntesis, en función de la radiación fotosintéticamente activa y la temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia……..... 131
Figura 3-18. Diagrama de contornos del modelo cuadrático de la fotosíntesis, en función de la radiación fotosintéticamente activa y la temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia…….. 132
Figura 4-1. A. Temperatura promedio. B. Temperturas máxima, promedio y mínima en tres años continuos de lectura, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013)……..... 150
Figura 4-2. A. Humedad Relativa promedio (2011-2013). B. Humedad Relativa promedio en tres años de evaluación continua, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013)..……..... 151
Figura 4-3. A. Precipitación anual máxima, promedia y mínima. B. Precipitación promedio en tres años continuos de evaluación, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013)……. 152
Figura 4-4. A. Brillo solar máximo, promedio y mínimo. B. Brillo solar promedio en tres años de evaluación, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013)..……..... 153
Figura 4-5. Perímetro del portainjerto y la copa (10 cm arriba y abajo del injerto), en árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012)…….. 155
Figura 4-6. Altura de los árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012)……. 157
Figura 4-7. Diámetro promedio de la copas en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012)……. 158
Figura 4-8. Rendimiento de fruto por árbol de aguacate cv. Hass, cosechado en siete localidades del departamento de Antioquia en 2011-2012…….. 159
Figura 4-9. Rendimiento de fruto en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia en 2011 y 2012……... 160
Figura 4-10. Rendimiento de fruto en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en dos años continuos de evaluación (2011-2012)…….. 161
Figura 5-1. Peso del fruto en árboles de aguacate cv. Hass establecidos en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012)……... 177
Figura 5-2. Modelo ajustado para el peso promedio del fruto, en función de la temperatura promedio, en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2012)……... 177
Figura 5-3. Peso del fruto, en dos años de evaluación, en árboles de aguacate cv. Hass establecidos en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012)……. 179
Figura 5-4. Proporción de cáscara, pulpa y semilla en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia. Promedio de dos cosechas (2011-2012)……..... 179

Figura 5-5. Modelo ajustado para el porcentaje de pulpa del fruto, en función de la temperatura promedio ambiental, en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012)……. 180
Figura 5-6. Textura de la cáscara en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012)……. 182
Figura 5-7. Porcentaje de frutos obtenidos por calibre (según normas de exportación), en aguacate cv. Hass, procedentes de siete ambientes del departamento de Antioquia (2011)……. 183
Figura 5-8. Porcentaje de frutos obtenidos por calibre (según normas de exportación), en aguacate cv. Hass, procedentes de siete ambientes del departamento de Antioquia (2012)……..……. 184
Figura 5-9. Modelo ajustado para frutos de calidad Extra en función de la temperatura promedio ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia…… 185
Figura 5-10. Modelo ajustado para frutos de otras calidades (Primera, Industrial y Descarte) en función de la temperatura promedio ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia……. 185
Figura 5-11. Porcentaje de frutos obtenidos por calibre (según normas de exportación), en aguacate cv. Hass, procedentes de siete ambientes del departamento de Antioquia (2011-2012)..... 186
Figura 5-12. Pérdida de peso del fruto en poscosecha de aguacate cv. Hass, procedente de seis localidades del departamento de Antioquia (2011)…….…... 189
Figura 5-13. Análisis sensorial para los tres descriptores de aceptación general de los frutos en aguacate cv. Hass, cosechados en seis ambientes del departamento de Antioquia (2011). Para cada descriptor se usó una escala de 1 a 4 (1. Desagradable 2. Indiferente 3. Agradable 4. Muy agradable)……..…... 191
Figura 5-14. Aceptación general de frutos de aguacate cv. Hass, cosechados en seis ambientes del departamento de Antioquia (2011)……..... 192
Figura 6-1. Contenido de N en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)……..……. 217
Figura 6-2. Contenido de P en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)……..……..……... 219
Figura 6-3. Modelo ajustado para el contenido de P en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en función de la temperatura promedio ambiental……... 219
Figura 6-4. Contenido de K en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)……..…. 221
Figura 6-5. Modelo ajustado para el contenido de K en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en función de la precipitación……... 221
Figura 6-6. Modelo ajustado para el contenido de K en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en siete localidades del departamento de Antioquia en función de la temperatura promedio ambiental……... 222

Figura 6-7. Contenido de Ca en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)……..... 223
Figura 6-8. Contenido de Mg en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)..... 224
Figura 6-9. Contenido de Na en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)..…..……..……. 225
Figura 6-10. Modelo ajustado para el contenido de Na en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en función de la temperatura promedio ambiental……..... 226
Figura 6-11. Contenido de S en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)…..…….…. 227
Figura 6-12. Contenido de Fe en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)……..……..…….…… 228
Figura 6-13. Contenido de Cu en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)…...…….…… 229
Figura 6-14. Contenido de Mn en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).....……..….. 230
Figura 6-15. Contenido de Zn en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)…..……... 231
Figura 6-16. Modelo ajustado para el contenido de Zn en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en función de la temperatura promedio ambiental……..... 232
Figura 6-17. Contenido de B en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014)…..…….. 233
Figura 7-1. Contenido de materia seca y de aceite base húmeda en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en seis localidades del departamento de Antioquia……..…..…..... 248
Figura 7-2. Contenido relativo de ácidos grasos insaturados y saturados en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en diferentes ambientes del departamento de Antioquia…….. 252
Figura 7-3. Modelo ajustado para el contenido de ácidos grasos saturados en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en seis localidades del departamento de Antioquia y la temperatura promedio ambiental……..……. 253
Figura 7-4. Modelo ajustado para el contenido de ácidos grasos insaturados en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en seis localidades del departamento de Antioquia y la temperatura promedio ambiental……..……..... 253

Lista de tablas

Tabla 2-1. Características del suelo (0-30 cm) de los huertos plantados con aguacate cv. Hass, en cuatro municipios del departamento de Antioquia (febrero, 2011)…… 33
Tabla 2-2. Requerimientos hídricos mensuales de árboles adultos de aguacate cv. Hass en Santa Rosa, Antioquia…… 36
Tabla 2-3. Requerimientos hídricos mensuales de árboles adultos de aguacate cv. Hass en Rionegro, Antioquia…… 46
Tabla 2-4. Requerimientos hídricos mensuales de árboles adultos de aguacate cv. Hass en Jardín, Antioquia…….. 57
Tabla 2-5. Requerimientos hídricos mensuales de árboles adultos de aguacate cv. Hass en Támesis, Antioquia…….. 68
Tabla 2-6. Tipo de crecimiento producido por brotes de árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia (Entrerríos, Rionegro, Jericó y Támesis) (2011-2013)…….…….... 76
Tabla 3-1. Tasas de fotosíntesis registradas en las curvas diarias, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en Entrerríos, Rionegro, Jericó y Támesis, Antioquia (2012-2013)……..……..….. 129
Tabla 3-2. Radiación fotosintéticamente activa registrada durante dos curvas diarias en dos periodos climáticos, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades de departamento de Antioquia……..… 129
Tabla 3-3. Actividad fotosintética registrada en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en Entrerríos, Rionegro, Jericó y Támesis, Antioquia (2012-2013)….. 130
Tabla 3-4. Radiación fotosintéticamente activa, registrada durante tres curvas de máxima actividad fotosintética, en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades de departamento de Antioquia……..…….... 130
Tabla 3-5. Densidad estomática en tres estratos de hojas de aguacate cv. Hass, en huertos plantados en cuatro localidades de departamento de Antioquia..……..….. 133
Tabla 4-1. Condiciones ambientales de los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass utilizados para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa…… 147
Tabla 4-2. Dimensiones del portainjerto y la copa de aguacate cv. Hass, en árboles plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012)……. 156
Tabla 4-3. Producción anual por árbol, área lateral y eficiencia productiva en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012)…….. 162
Tabla 4-4. Épocas de cosecha en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011)……..... 163
Tabla 4-5. Épocas de cosecha en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2012)……. 163
Tabla 5-1. Condiciones ambientales de los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass, utilizados para determinar la calidad de la pulpa……..... 174
Tabla 5-2. Categorías evaluadas en los huertos de aguacate cv. Hass……..…... 174
Tabla 5-3. Características del fruto de aguacate cv. Hass, en siete localidades del departamento de Antioquia…….……..…….. 181

Tabla 5-4. Características de peso, humedad y materia seca de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2011)..... 187
Tabla 5-5. Caracterización inicial de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis ambientes del departamento de Antioquia (2011)…..……... 187
Tabla 5-6. Contenido de humedad y materia seca final en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis ambientes del departamento de Antioquia (2011)……...…..... 188
Tabla 5-7. Tiempo promedio de maduración de los frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis ambientes del departamento de Antioquia (2011)….. 190
Tabla 6-1. Condiciones ambientales de los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass, utilizados para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa……..... 210
Tabla 6-2. Método de extracción/cuantificación y unidades usadas para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa de aguacate cv. Hass…… 211
Tabla 6-3. Características químicas del suelo en los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass utilizados para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa..... 211
Tabla 6-4. Análisis foliar de los árboles plantados en los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass utilizados para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa……. 214
Tabla 6-5. Niveles estándar para el diagnóstico de contenidos nutricionales, en hojas de aguacate de árboles adultos……..…….. 214
Tabla 6-6. Contenido de macro y micro elementos encontrados en pulpa comestible, de aguacate cv. Hass, proveniente de distintas localidades del departamento de Antioquia…….. 215
Tabla 6-7. Contenido de macro y microelementos encontrados en 100 g de pulpa comestible, de aguacate cv. Hass, provenientes de distintas localidades del departamento de Antioquia (24 a 32,78 % de ms)…….. 216
Tabla 7-1. Condiciones ambientales de los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass utilizados para determinar la composición de los ácidos grasos en la pulpa. 245
Tabla 7-2. Composición relativa (%) de los ácidos grasos presentes en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis localidades del departamento de Antioquia…….. 248
Tabla 7-3. Composición relativa (%) de los ácidos grasos saturados presentes en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis localidades del departamento de Antioquia…….……..……..…….. 250
Tabla 7-4. Ácidos grasos mono y polinsaturados presentes en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis localidades del departamento de Antioquia……..…….. 250
Tabla 7-5. Ácidos grasos saturados e insaturados presentes en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis localidades del departamento de Antioquia…….……..…… 251

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) tiene como su centro de origen a América (Avilán *et al*., 1992). Su distribución natural va desde México hasta Perú, pasando por Centro América, Colombia, Venezuela y Ecuador (Téliz, 2000). El origen del aguacate como especie frutal de acuerdo con Williams (1977), tuvo lugar en las partes altas del Centro y Oriente de México y partes altas de Guatemala. Esta misma región está incluida en lo que se conoce como Mesoamérica y también es considerada como el área donde ocurrió la domesticación del taxón. *P. americana* Mill. se divide en tres razas ecológicas, cada una de las cuales tiene un estatus varietal dentro de las especies: *P. americana* var. *drymifolia* (raza mexicana), *P. americana* var. *guatemalensis* (raza guatemalteca) y *P. americana* var. *americana* (raza antillana) (Bergh *et al*., 1973; Scora y Bergh, 1990). Como resultado de la extensa distribución del germoplasma del aguacate hacia zonas alejadas de su sitio de origen, se ha producido un considerable cruzamiento interracial, a tal grado que los actuales cultivares de mayor importancia económica, tanto en áreas subtropicales como tropicales, son el resultado de la hibridación entre distintas razas (Knight, 2007).

Actualmente el aguacate se produce en los países subtropicales y tropicales de los cinco continentes, aunque los mayores cultivos se encuentran en América, destacándose México como el primer productor mundial, seguido de Chile, Republica Dominicana, Estados Unidos de América (California y Florida), Colombia, Perú, Brasil y Guatemala, entre otros (FAO, 2012). En Colombia, de acuerdo con la raza de origen, el aguacate puede crecer desde los 0 hasta los 2.500 msnm, en zonas de cordillera. El aguacate Hass es el principal cultivar (cv.) del mundo, predominantemente guatemalteco (85 a 90 %), pero con algunos genes mexicanos (10 a 15 %); es una mutación espontánea de parentales desconocidos, que fue seleccionada por Rudolph G. Hass, en La Habra Heights (California), debido a la alta calidad de su pulpa, mayor productividad y una madurez más tardía que el cv. Fuerte y fue patentado en 1935 (Newett *et al*., 2007). Este aguacate de color negro en su madurez de consumo, ha ganado gran popularidad a nivel mundial por su rico sabor y más larga vida en los anaqueles. Hoy en día el cv. Hass representa cerca del 80 % de todos los aguacates que se consumen en el mundo y genera más de US$ 1 Billón en ganancias anuales, solo en los Estados Unidos (California Avocado Comission, 2013). En los últimos 50 años el cv. Hass se ha convertido en el más importante en los climas subtropicales.

Los frutos de este cultivar son de tamaño mediano, con un peso que va de 150 a 400 g y de 8 a10 cm de largo (Ríos-Castaño y Tafur, 2003; Newett *et al*., 2007); de forma ovoide a piriforme; la cáscara es mediana a gruesa, coriácea, rugosa, de textura rugosa y corchosa, de superficie áspera y granulosa; los granos desaparecen cuando es plantado a

gran altitud; la cáscara es de color verde que se oscurece al madurar, tornándose morada a negra. Esta condición es normal en el proceso de maduración y a diferencia del concepto equivocado de ser una característica negativa, el hecho de que el fruto se torne oscuro cuando está maduro, es un indicador natural de la madurez de consumo. El fruto maduro se conserva bien en el árbol. El contenido de grasa de la pulpa varía del 17 % al 21 %. El tamaño de la semilla es mediano, de forma redonda; con una pulpa cremosa, amarilla, con un 66 a 70 % de aprovechamiento, de excelente calidad, con un rico sabor a nuez (nogado). La tendencia a producir frutos de poco tamaño (< 200 g) y el porcentaje de frutos pequeños, aumenta a medida que el árbol envejece o se enferma; los árboles cultivados en climas templados y en zonas más frías en el trópico, producen frutos de mayor tamaño (Newett *et al*., 2007).

El aguacate cv. Hass en Colombia parece presentar buenas características organolépticas y en el país se han registrado rendimientos muy elevados, lo que representa una ventaja competitiva para el mercado internacional. El aguacate cv. Hass ha mostrado en condiciones agroecológicas de Colombia, rendimientos por hectárea, superiores a los registrados los principales países productores, que van de 12,4 a 18,8 t ha^{-1} en árboles de 8 y 9 años. Entre los países productores el mayor rendimiento se reporta para Israel, con 11,2 t ha^{-1}; México, principal exportador, alcanza 10,1 t ha^{-1}, seguido de Perú y Chile con 9,02 t ha^{-1} y 6,5 t ha^{-1}, respectivamente. Colombia tiene un promedio general de 9,2 t ha^{-1} que lo posiciona en el tercer lugar a nivel mundial en este aspecto (MADR, 2012). Por lo tanto, se hace atractiva la explotación comercial de este cultivar en Colombia, tanto para el mercado nacional, como para el internacional.

Se han realizado diversos estudios encaminados a evaluar el crecimiento y desarrollo del aguacate bajo las condiciones productoras de las zonas subtropicales. La información obtenida describe la fisiología de la especie e identifica los factores ecofisiológicos que determinan el comportamiento de las variedades o cultivares, en búsqueda de una mejor adaptabilidad en las regiones productoras (Lesley y Bringhust, 1951; Sedgley y Annells, 1981; Whiley, 1990b; Salazar-García y Lovatt, 2002; Cabezas *et al*., 2003; Rosales *et al*., 2003; Avilán *et al*., 2007; Cossio-Vargas *et al*., 2007a, b). La mayoría de los estudios han sido dirigidos al entendimiento del complejo comportamiento floral del árbol desde el momento de inducción floral hasta antesis, la fenología de la etapa reproductiva, el proceso de apertura floral, la polinización y fertilización (Davenport, 1986; Dixon y Sher, 2002; Can-Alonzo *et al*., 2005), la caracterización de los tipos de brotes de crecimiento reproductivo (Bertling y Lovatt, 1996; Blanke y Lovatt, 1998; Dixon, 2007; Dixon *et al*. 2007a), la descripción fisiológica y factores que intervienen en el crecimiento y desarrollo del fruto (Hoad, 1984; Bower y Cutting, 1988; Cowan *et al*., 2001; Taylor y Cowan, 2001; Kalala *et al*., 2005) y la identificación de los flujos de crecimiento vegetativo (Salazar-García *et al*., 2006; Rocha-Arroyo *et al*., 2011a, b).

Aubert y Lossois (1972) describieron 13 estados dentro de la fenología de las especies arbustivas, repartidos en tres periodos: 5 estados para la fase vegetativa, 5 estados para la floración y 3 estados para la fructificación. Sin embargo, dicha escala gráfica no clarifica la evolución de dichos estados y excluye el proceso dicógamo de la floración del aguacate. Salazar-García *et al.* (1998) plantearon en el aguacate una escala macroscópica y microscópica de 11 estados desde la yema cerrada hasta la antesis de la flor. Esta escala relaciona el aspecto externo de las yemas con el grado de desarrollo del meristemo floral, pero tampoco refleja la evolución, en este caso, de los estados femenino y masculino de la flor, ni los estados de fruto cuajado. Cabezas *et al.* (2003) realizaron una identificación de estados-tipo dentro del ciclo de la floración y fructificación del

aguacate, considerando aspectos morfológicos de las yemas y el comportamiento de la floración, respecto a la dicogamia que presenta. Los autores desarrollan un modelo fenológico con 10 estados, desde la yema en latencia hasta el estado de fruto tierno, basado en la propuesta de Aubert y Lossois (1972).

Las flores del aguacate están dispuestas en panículas que se forman en la parte terminal de las ramas (Galán, 1990; Calabrese, 1992). Sin embargo, solo 1 a 2 frutos de cada inflorescencia alcanzan la madurez. Un buen número final de frutos cosechados por árbol podría estar entre 200 y 300 (Bergh, 1986; Whiley *et al.*, 1988), aunque esto puede cambiar entre cultivares, pudiendo llegar hasta 1.000 frutos por árbol. Así, la producción de frutos en el aguacate podría representar tan solo del 0,002 al 0,02 % de la cantidad de flores producidas inicialmente (Téliz y Mora, 2007). En huertos comerciales de aguacate, los bajos rendimientos por hectárea han sido una causa de preocupación mundial por muchos años. En California, un buen rendimiento para el aguacate cv. Fuerte, está entre 5,6 y 11,2 t ha^{-1} y para el cv. Hass de 7,8 a 13,4 t ha^{-1} (Gustafson y Rock, 1976). En México, para el mismo cultivar, una producción común para un huerto adulto (100 árboles ha^{-1}), con un manejo intermedio, oscila entre 11 y 15 t ha^{-1} (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1996).

Las ramas son morfogenéticamente idénticas al tronco, las hojas se encuentran dispuestas en espiral y brotan en racimos (Avilán *et al*., 1992), son pecioladas, alternas y de diversas formas (IPGRI, 1995), las flores se originan lateralmente sin tener un efecto sobre el crecimiento de los brotes, aunque en algunos existen flores en posición terminal, siendo el crecimiento subsecuentemente simpodial (Thorp y Sedgley, 1992). El fruto del aguacate es una baya, que varía en forma, tamaño, color, brillo y textura y contiene una sola semilla; el hábito de fructificación puede ser de frutos solitarios o en racimo (IPGRI, 1995).

El vigor del crecimiento del árbol y la producción de fruto dependen del tiempo y extensión de los eventos fenológicos, lo cual está bajo el control de la disponibilidad de carbono y energía y de su distribución (Wolstenholme y Whiley, 1989), en respuesta a las condiciones medioambientales (Scholefield *et al*., 1985). Las hojas requieren alrededor de 40 días desde su brotación hasta la transición de sumidero a fuente (Whiley, 1990a). Durante este período pueden competir por fotoasimilados con el fruto en desarrollo (Biran, 1979; Buchholz, 1986; Cutting y Bower, 1990). Así como en la mayoría de los frutales de hoja persistente el crecimiento de los brotes vegetativos, en aguacate está sincronizado en flujos que varían en vigor, duración y magnitud (Scora *et al*., 2002; Rocha-Arroyo *et al*., 2011a), los cuales ocurren generalmente dos o tres veces al año y pueden o no incluir la totalidad del árbol (Davenport, 1986).

Invariablemente, el sistema radical del aguacate es descrito como relativamente superficial y no se extiende mucho más allá de la gotera del árbol (Bergh, 1992). En el aguacate, la raíz es pivotante, muy ramificada y de distribución radial, la mayoría de las raicillas alimentadoras blancas (secundarias y terciarias), insuberizadas, se distribuyen superficialmente, encontrándose entre el 80 y 90 % de éstas, en los primeros 60 cm de profundidad del suelo; aunque la raíz principal puede superar 1,0 m de longitud (Whiley *et al*., 1988). Tapia *et al.* (2009), en estudios fenológicos realizados en el cultivo del aguacate en Michoacán (México), ubicado en el semitrópico, entre los 17° 55' y los 20° 24' de latitud norte, en el tipo de clima templado subhúmedo, de 1,900 a 2,300 msnm, determinaron los requerimientos de unidades de calor (UC), tomando como temperaturas base 10 y 30 °C en las distintas fases fenológicas del cultivo. Establecieron que en la

floración normal (diciembre-enero), se requieren 270 UC y en la formación del fruto (enero-octubre), 1.800 UC. El crecimiento de un vegetal, es la consecuencia de la interacción de todos los procesos fisiológicos como: fotosíntesis, respiración, relaciones hídricas y nutrición mineral, entre otros de su genética y del ambiente en el cual se desarrolla. De otro lado, el crecimiento vegetal es considerado como el cambio irreversible en el tiempo en tamaño (masa seca, volumen o área) a menudo en forma y ocasionalmente en número. Este cambio requiere principalmente división, expansión y diferenciación celular (Lambers *et al.*, 1998).

Además, el árbol posee características que sugieren que es un colonizador sucesorio tardío de pequeños claros en la selva, capaz de lograr altas tasas de fotoasimilación, con su crecimiento rápido en ambientes muy iluminados, lo que produce un rápido y sucesivo sombreado de las hojas, acortando su longevidad (Whiley y Schaffer, 1994; Wolstenholme y Whiley, 1999). Si a esto se le suma un fruto rico en energía (Wolstenholme, 1986, 1987) y el gran tamaño del árbol, bajo una situación de cultivo en huerto, la irradiación de luz solar rápidamente se convierte en un factor clave y limitante para la obtención de producciones aceptables. Las mejoras en la interceptación de la luz, la disminución de la sombra dentro de los árboles y entre árboles y el aumento en la eficiencia de la fotoasimilación al tener un mayor número de árboles pequeños, son la base de los conceptos modernos de los huertos en alta densidad, de la conducción de los árboles, de la poda y de la manipulación, que actualmente están siendo desarrollados. El manejo de la luz en los huertos es la clave para lograr una productividad sustentable, pero sigue siendo un tema controversial (Woltesholme, 2007). En las plantas superiores, la función primaria de los estomas es permitir la entrada de dióxido de carbono y controlar la inevitable pérdida de vapor de agua, bajo la cambiante condición ambiental, lo cual es esencial para el funcionamiento de la planta. El conocimiento acerca de los estomas ha sido obtenido con el empleo de una gran variedad de técnicas. En las hojas de aguacate el número de estomas por unidad de área ha sido objeto de estudio, como los adelantados sobre relaciones filogenéticas (García y Ichicawa, 1979), respuesta a sequía (Macías-González, 1981), relación con el hábito de crecimiento (Barrientos-Pérez y Sánchez-Colín, 1983; Barrientos-Priego y Sánchez-Colín, 1987), poliploidía inducida (Morales-Escobar *et al.,* 1992) y estudios fisiológicos (Blanke, 1992). Macías y Borys (1980), al estudiar el número de estomas por mm^2 en árboles de aguacate, encontraron entre 423 y 688, indicando la posible influencia de las condiciones ambientales en el número de estomas, lo cual fue confirmado por Macías-González, (1981), al someter plantas de aguacate a -2 y -12 bares de tensión de humedad en el suelo, donde se encontró que el número de estomas bajo esas condiciones fueron de 426,7 y 610 por mm^2, respectivamente.

Amthor (1984) y Cannell (1985) mencionan como un factor clave determinante de la producción de fruto, al costo respiratorio del crecimiento y a la eficiencia estacional de la fotosíntesis del cultivo. Wolstenholme (1986, 1987) afirma que el fruto de aguacate, la cual acumula aceites, tiene un elevado requerimiento energético para el crecimiento (807,2 kJ 100 g^{-1} para el cv. Fuerte con un 17 % de contenido de aceite, comparado con 262,8 y 292,5 kJ 100 g^{-1} para manzanas y cítricos, respectivamente). La consecuencia es una producción más baja por hectárea (Wolstenholme, 1986; 1987). En estas condiciones, la planta ajusta su capacidad de nutrir a los frutos modificando su número, esto es, provocando la caída masiva de frutos recién cuajados durante las primeras tres a cuatro semanas y nuevamente en el verano, cuando el fruto ya ha alcanzado entre un 10 % y un 40 % de su tamaño final (Whiley *et al.*, 1988; Wolstenholme *et al.*, 1990). Existe una creciente preocupación acerca de las interacciones entre todos los elementos del sistema de producción y poscosecha, en relación

con la calidad del fruto. Cualquier actividad que se realice en el huerto antes y durante el desarrollo del fruto, influirá sobre el periodo poscosecha; sin embargo, la etapa con mayor repercusión comienza desde el momento que se corta el fruto de aguacate, ya que desde ahí hasta su presentación al consumidor final transcurre un periodo de tiempo considerable, durante el cual, el fruto puede sufrir diferentes tipos de daños mecánicos y fisiológicos que lo hacen susceptible al ataque de fitopatógenos (Nieto *et al*., 2007). Se debe considerar que en el tiempo comprendido entre la cosecha de un producto vegetal, hasta llegar a su consumo, ocurren perdidas del mismo tanto en calidad como en cantidad. Esas pérdidas pueden ser del 5 al 25 % en países desarrollados y del 20 al 50 % en los países en desarrollo (Sánchez *et al.*, 2001).

El aguacate es un alimento que puede ser consumido en fresco, garantizando la ingesta total de sus nutrientes; evitando la pérdida de vitaminas y la desnaturalización de las proteínas, que habitualmente sufren la mayoría de los alimentos durante su procesamiento y cocción. El fruto aporta prácticamente todas las vitaminas requeridas por el organismo; a excepción de la vitamina B_{12}, presente solo en el reino animal. Destacándose dentro de las hidrosolubles el importante porcentaje de ácido ascórbico, que potencial el poder antioxidante de los tocoferoles presentes en la vitamina E (Ortega, 2003). Es rico además, en ácido ascórbico, vitamina B6, β-caroteno, potasio y magnesio (Ozdemir y Topuz, 2004). En el mesocarpio de aguacate se encuentran células especializadas llamadas idioblastos, que en muchas plantas dicotiledóneas almacenan aceites, grasas, lípidos, terpenos, agliconas, flavonoides, sesquiterpenlactonas y acetogeninas (Platt y Thomson, 1992).

Diversas investigaciones han mostrado la importancia de los índices nutrimentales foliares para la óptima producción de fruto (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 1999). Por otra parte, existe una marcada influencia del tipo de suelo y del clima, del estado nutrimental del árbol (Aguilera-Montañez *et al*., 2005), la condición de humedad del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes y la situación nutrimental del árbol (Tapia-Vargas *et al*., 2003), así como el balance nutrimental en el sistema suelo-planta-fruto (Tapia-Vargas *et al*., 2007).

En la cáscara, el N puede aumentar o disminuir la susceptibilidad al ataque de plagas (Téliz y Marroquín, 2007) y enfermedades (Hofman *et al*., 2002), mientras que el exceso de N en la pulpa causa la denominada “pulpa gris” (Kruger *et al*., 2004); además, el N y el P son fundamentales para los aminoácidos esenciales y su integración en proteínas, ácidos nucleicos y fosfolípidos (Reyes-Novelo y Meléndez-Ramírez, 2007). El K es un catalizador del metabolismo del fruto en crecimiento (Sánchez y Ramírez, 1999) y con niveles adecuados, se reduce la presencia de la “mancha gris” de la pulpa (Du Plessis *et al*., 1995). El Ca disminuye el daño por frío y su deficiencia favorece la presencia de la “mancha café” de la pulpa (Kremer-Köhne *et al*., 1993; Hofman *et al*., 2002; Saucedo-Hernández *et al*., 2005; Boyd *et al*., 2007). La importancia del B y Zn en la semilla (testa y embrión), es reconocida desde el cuajado del fruto (Coetzer *et al*., 1993) hasta que ésta adquiere su tamaño y forma final (Smith *et al*., 1997; Salazar-García *et al*., 2008); además, la deficiencia de Zn causa mancha de la pulpa (Vorster y Bezuidenhout, 1988). La “mancha negra” de la pulpa debida al frío también ha sido asociada a deficiencia de Fe (Kruger *et al*., 2004; Magwaza *et al*., 2008). A diferencia de otras frutas frescas, el aguacate contiene un alto porcentaje de aceite y no requiere de un procesamiento previo para ser consumido, ya que es digerido por el organismo con mucha facilidad; además, proporciona más calorías que la carne (Gardiazábal y Rosenberg, 1991). Olaeta (1990) afirma que el aceite crudo de aguacate contiene alrededor de un 80 a 85 % de ácidos

grasos insaturados, así como un importante nivel de materia insaponificable. Es importante señalar que el ácido graso dominante en la aguacate es el oleico (70 a 80 %), el cual se acumula en las células preferiblemente bajo forma de triglicéridos (Ramos-Jerz, 2007), que reducen la tasa de colesterol total en la sangre. Los triglicéridos presentes en el aguacate, no son grasas sino aceites, ya que estos permanecen líquidos a la temperatura ambiente, que en su estructura predominan los ácidos grasos mono y polinsaturados, que determinan una mejor calidad organoléptica (Requejo-Tapia *et al*., 1999); además, contienen vitaminas liposolubles en cantidad suficiente y no contienen colesterol, caso contrario al de las grasas, en las que predominan en su estructura los ácidos grasos saturados, estas son generalmente de origen animal e invariablemente contienen colesterol. La fruta fresca es un excelente alimento, rica en nutrientes, ya que los contiene tanto en cantidad, calidad y en un armónico balance que permite su óptimo aprovechamiento (Ortega, 2003).

El contenido de grasa es un criterio de madurez confiable en aguacate, pero es difícil de determinar; sin embargo, existe un alto grado de correlación entre el contenido de grasa y materia seca (MS); esta última se determina por un método simple, económico y rápido con un horno, para deshidratar la muestra. El porcentaje del contenido de aceite aceptado a nivel mundial oscila entre el 8 y el 10 %, mientras que el porcentaje de materia seca debe mantenerse entre el 17 y el 25 %. Los requerimientos para valorar estos índices cambian con el cultivar, las condiciones ambientales de producción y son reglamentados de forma individual por cada país. La determinación del estado de madurez y por ende, el momento adecuado para realizar la cosecha de los frutos de aguacate, en realidad no es sencilla (Cerdas, 2006).

El contenido de aceite en aguacate, varía según la raza; en este aspecto, las tres razas difieren marcadamente. Con base en el peso fresco, la antillana contiene el nivel más bajo, entre el 4 a 7 %; la raza guatemalteca alcanza un contenido entre 14 a 18 % y la raza mexicana expresa entre 10 a 19 % en México y 15 a 25 % en California (Biale y Young 1971). El porcentaje de MS está fuertemente relacionado con el contenido de aceite y la calidad (Lee *et al*., 1983; Brown, 1984; Ranney, 1991). El contenido total de aceite y la humedad son recíprocos y generalmente se suman a una constante para cualquier cultivar (Swarts, 1978). Por lo tanto, el porcentaje de MS es utilizado actualmente como un índice de madurez en Australia, Israel, Nueva Zelanda y Estados Unidos, entre otros (Lee *et al*., 1983; Brown, 1984; Ranney, 1991).

El aguacate es un fruto de gran valor para la obtención de productos alimenticios, farmacéuticos, grasas, colorantes, fibra, proteínas, minerales, por su alto contenido de vitaminas A y B y ciertas vitaminas liposolubles poco frecuentes en otros frutos. La composición, la formación de metabolitos secundarios y las cualidades nutricionales de los frutos son muy variables y se ven influenciadas por factores como el clima, el suelo, la temperatura, la humedad, la cantidad de lluvia durante el desarrollo del fruto y diferencias genotípicas entre cultivares (Howard *et al*., 2003; Thomas *et al*., 2005). Un interés de la política nacional es que la agricultura colombiana se posicione en los mercados externos y se consolide en los internos. El aguacate es uno de los frutales en los que Colombia puede tener espacios en dichos escenarios, si se desarrolla un producto competitivo que garantice ofertas sostenibles. En suma, Colombia se enfrenta actualmente a diferentes Tratados de Libre Comercio y el aguacate es uno de los cultivos con el cual el país puede entrar a participar activamente; sin embargo, se considera que sólo el cv. Hass es el que tiene opción para el mercado internacional, por los volúmenes demandados en las naciones consumidoras. Desafortunadamente, el país aún no tiene la suficiente

información, que le permita contar con conocimientos consolidados para acompañar técnicamente el incremento de nuevas áreas y salvaguardar las actuales, para así poder satisfacer las solicitudes que hacen los comercializadores del fruto. Los cultivos de aguacate cv. Hass en Colombia, están dispersos en los tres pisos térmicos, con mayor presencia en el clima frío, sin que se tenga información sobre el comportamiento de este cultivar y de sus limitantes en cada uno de ellos.

Un acercamiento a este conocimiento, dará elementos para calificar las áreas existentes y direccionar las áreas de plantación futuras, a aquellas zonas que ofrezcan ventajas por su productividad y calidad. La conciliación con diferentes actores involucrados en el cultivo del aguacate cv. Hass, ha definido como prioritaria, la atención a los temas que se acaban de mencionar. Frente a los antecedentes expuestos, este trabajo tiene como objetivo general comprender el comportamiento ecofisiológico y productivo del aguacate cv. Hass en Antioquia, para apoyar su desarrollo como alternativa productiva en Colombia.

Literatura citada

Aguilera-Montañez, J.L.; Tapia-Vargas, L.M.; Vidales-Fernández, I. y Salazar-García, S. 2005. Contenido nutrimental en suelo y hojas de aguacate en huertos establecidos en Michoacán y comparación de métodos para interpretación de resultados. INIFAP, Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. Folleto Técnico 2. 28 p.

Aguilera-Montañez, J.L. y Salazar-García, S. 1996. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento y tamaño del fruto de aguacate. Folleto Técnico No.12. INIFAP. Campo Experimental Uruapan. Uruapan, México. 24 p.

Amthor, J.S. 1984. The role of maintenance respiration in plant growth. Plant, Cell & Environ. 7: 561-569.

Aubert, B. et Lossois, S. 1972. Considérations sur la phénologie des espèces arbustives. Fruits 27(4): 269-286.

Avilán, L.; Leal, F. y Bautista, D. 1992. Lauraceae. En: Manual de Fruticultura, Principios y Manejo de la Producción. 2ª Ed. Chacaito (Venezuela), Ed. América. pp. 666-776.

Avilán, L.; Soto, E.; Pérez, M.; Rodríguez, M. y Ruiz, J. 2007. Fenología de cultivares e híbridos de aguacate de la raza mexicana en la región centro-norte costera de Venezuela. Agronomía Trop. 57(2): 89-98.

Barrientos-Pérez, A.F. and Sánchez-Colín, S. 1983. Height variability obtained from a new dwarf avocado tree population. Acta Horticulturae 140: 163-168.

Barrientos-Priego, A.F. and Sánchez-Colín, S. 1987. Stomatal density and its relationship to growth habit in avocado. South African Avocado Growers' Association Yearbook 10: 66-67.

Bergh, B.O. 1986. *Persea americana*. In: Halevy, A.B. (ed.) CRC Handbook of Flowering Vol. 5. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 253–268.

Bergh, B.O. 1992. The origin, nature, and genetic improvement of the avocado. California Avocado Society Yearbook 76: 61-75.

Bergh, B.O.; Scora, R.W. and Storey, W.B. 1973. A comparison of leaf terpenes in *Persea* subgenus *Persea*. Bot. Gazette 134: 130-134.

Bertling, I. and Lovatt, C. 1996. Uptake of PGRs into determinate versus indeterminate inflorescences of the 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). En: Proceedings 1996 Avocado Research Symposium of the California Avocado Society. Riverside, California, USA. pp. 63-66.

Biale, J.B. and Young, R.E. 1971. The avocado pear: In: The Biochemistry of Fruits and their Products Vol. 2. A. C. Hulme (ed.). Academic Press. New York. pp. 1-63.

Biran, D. 1979. Fruitlet abscission and spring growth retardation – their influence on avocado productivity. MSc. Thesis. The Hebrew University of Jerusalem. Rehovot, Israel. (In Hebrew, English abstract).

Blanke, M.M. 1992. Photosynthesis of avocado fruit. Proc. II World Avocado Congress. Orange, California, USA. pp. 179-189.

Blanke, M.M. and Lovatt, C.J. 1998. Determinate versus indeterminate inflorescences of the 'Hass' avocado. Proc. III World Avocado Congress. Tel Aviv, Israel. pp. 33–36.

Bower, J.P. and Cutting, J.G. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. Horticultural Reviews 113: 229-71.

Boyd, L.M.; Hancock, A.; Woolf, A.B.; De Silva, N.; Thorp, T.G. and Ferguson, I.B. 2007. Comparison of sampling strategies for determining fruit mineral concentrations in 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). J. Hort. Sci. Biotech. 82: 611-621.

Brown, B.I. 1984. Market maturity indices and sensory properties of avocados grown in Queensland. Food Technology in Australia 37: 474–476.

Buchholz, A. 1986. Young vegetative growth as a possible factor involved with fruitlet abscisión in avocado. MSc. Thesis. Hebrew University of Jerusalem, Rehovot, Israel. (In: Hebrew with English summary).

Cabezas S., C.; Hueso M., J.J. y Cuevas G., J. 2003. Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo del aguacate (*Persea amercicana* Mill.) Proc. V World Avocado Congress. Málaga-Granada, España. pp. 237-242.

California Avocado Comission. 2013. Historia de los Aguacates. El árbol madre Hass. 1926-2002. Disponible en: http://www.californiaavocado.com/el-arbol-madre-hass/; consultado: marzo 2013.

Can-Alonzo, C.; Quezada-Euán, J.; Xiu-Ancona, P.; Moo-Valle, H.; Valdovinos-Nuñez, G. and Medina-Peralta, S. 2005. Pollination of 'criollo' avocados (*Persea americana*) and the behaviour of associated bees in subtropical Mexico. Journal of Apicultural Research. 44(1): 3-8.

Cannell, M.R.G. 1985. Dry matter partitioning in tree crops. In: Attributes of Trees as Crop Plants. Eds. M.R.G. Cannel and J.E. Jackson. Inst. Terr. Ecol. pp. 160-193.

Cerdas A., M. 2006. Manual de Manejo Pre y Poscosecha de Aguacate (*Persea americana*). Ministerio de Agricultura y Ganadería. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Consejo Nacional de Producción Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica. San José. 100 p.

Clavijo, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. Revista Comalfi 16: 12-16.

Coetzer, L.A.; Robbertse, P.J. and Janse Van Vuuren, B.P.H. 1993. The role of boron in avocados: theory, practice and reality. South African Avocado Growers' Association Yearbook 16: 2-4.

Cossio-Vargas, L.; Salazar-García, S.; González-Duran, I. y Medina-Torres, R. 2007a. Algunos aspectos reproductivos del aguacate 'Hass' en clima semicálido. Proc. VI World Avocado Congress. Viña del Mar, Chile. 11 p.

Cossio-Vargas, L.; Salazar-García, S.; González-Duran, I. y Medina-Torres, R. 2007b. Modelos de predicción de la determinación irreversible a la floración en los aguacates 'Choquette' y 'Booth-8'. Proc. VI World Avocado Congress. Viña del Mar, Chile. 11 p.

Cowan, A.; Cripps, R.; Richings, E. and Taylor, N. 2001. Fruit size: Towards an understanding of the metabolic control of fruit growth using avocado as a model system. Physiol. Plant. 111: 127-136.

Cutting, J.G. and Bower, J.P. 1990. Spring vegetative flush removal: the effect on yield size, fruit mineral composition and quality. South African Avocado Growers´ Association Yearbook 13: 33-34.

Davenport, T.L. 1986. Avocado flowering. Horticultural Reviews 8: 257-289.

Du Plessis, S. F.; Koen, T.J. and Abercrombie, R.A. 1995. Nutritional requirements of the Fuerte avocado: a summary of 21 years of research in South Africa. Proc. III World Avocado Congress. Tel Aviv, Israel. pp. 160-171.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2012. http://faostat.fao.org/c FAO; consultado: noviembre 2012.

García V., A. and Ichicawa, S. 1979. Cytogenetical studies in the genus *Persea* (Lauraceae). II. A comparative morphological study on 61 strains. Japan J. Breed. 29 (1): 66-76.

Gardiazábal, F. y Rosenberg, G. 1991. Cultivo del palto. Universidad Católica de Valparaiso. Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. 201 p.

Gustafson, C.D. and Rock, R.C.1976. Costs to produce avocados in San Diego county. Calif. Avocado Soc. Yrbk. 60:22-24.

Hernández, F. 1991. Aproximación al ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill.) cultivar Hass, para la zona de Quillota, V región. Taller de Licenciatura. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. 99 p.

Hoad, G. 1984. Hormonal regulation of fruit-bud formation in fruit trees. Acta Horticultare. 149: 13-23.

Hofman, P.J.; Vuthapanich, S.; Whiley, A.W.; Klieber, A. and Simons, D. H. 2002. Tree yield and fruit minerals concentrations influence 'Hass' avocado fruit quality. Scientia Hort. 92: 113-123.

Howard, L.R., Clark, J.R. and Brownmiller, C. 2003. Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. Journal of the Science of Food and Agriculture 83: 1238-1247.

IPGRI-Institute for Plant Genetic Resources. 1995. Descriptores para aguacate (*Persea* spp.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia. 54 p.

Jackson, J.E. 1980. Light interception and utilization by orchard systems. Hort. Rev. 2: 208–267.

Kalala, M.; Modi, A. and Cowan, A. 2005. Contribution of the seed to fruit development: A tool to understand avocado tree management and fruit maturity parameters. Yearbook of South African Avocado Growers' Association 28: 33-39.

Knight, R.J. 2007. Historia, distribución y usos. En Whiley, A.W., Schaffer, B., Wolstenholme, B.N. (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaiso, Chile. pp. 13-24.

Kremer-Köhne, S.; Köhne, J.S. and Schutte, J.M. 1993. Effect of potassium, magnesium and nit'rogen soil applications on Fuerte avocado fruit quality. South African Avocado Growers' Association Yearbook 16: 33-36.

Kruger, F.J.; Snijders, B.; Mathumbu, J.M.; Lemmer, D. and Malumane, R. 2004. Establishing appropriate maturity and fruit mineral content norms for the main avocado. South African Avocado Growers' Association Yearbook 27: 5-10.

Lambers, H., F.S. Chapin, III and Pons, T.L. 1998. Plant physiological ecology. Springer-Verlag. Berlin, 540 p.

Lee, S.K.; Young, R.E.; Schiffman, P.M. and Coggins, C.W. 1983. Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. Journal of the American Society of Horticultural Science 108: 390–394.

Lesley, J. and R. Bringhust. 1951. Environmental conditions affecting pollination of avocados. California Avocado Society Yearbook 36: 169-173.

Macías-González, J.L. 1981. Respuesta de dos razas de aguacate (*Persea americana* Mill.) a tres regímenes de riego. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 124 p.

Macías G., J.L y Borys, M.W. 1980. Distribución de estomas en una población de *Persea americana* var. *Drymifolia* Mill. Programa de Actividades y Resúmenes de Ponencias del Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI). Uruapan, México. p. 82.

Magwaza, L.S.; Lemmer, D.; Ntandane, J. and Kruger, F.J. 2008. Effect of N and Fe fertilizer treatments on the incidence of chilling injury in 'Fuerte' and 'Hass' avocados. South African Avocado Growers' Association Yearbook 31: 9-11.

MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2012. Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero 2011. Dirección de Política Sectorial - Grupo Sistemas de Información. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/anuario/anuario.pdf; consultado: abril 2013.

Morales-Escobar, L.; Barrientos-Priego, A.F.; Barrientos-Pérez, F. y Martínez-Damián, Ma. T. 1992. Obtención de poliploides en aguacate (*Persea americana* Mill.) mediante el uso de colchicina. Memoria de la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, México. pp. 89-96.

Newett, S.; Crane, J.H. y Balerdi, C.F. 2007. Cultivares y portainjertos. En Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 155-175.

Nieto, A.D.; Acosta R., M. y Téliz O., D. 2007. El manejo pos cosecha en aguacate. En El aguacate y su manejo integrado. Téliz, D. y Mora, A. (eds.) 2a ed. Ediciones Mundi-Prensa, México D.F. México. pp. 209-219.

Olaeta, J. 1990. Industrialización de paltas. En: Producción, postcosecha y comercialización de aguacates. Red de cooperación técnica en procesamiento de frutas tropicales. Viña del Mar, Chile. pp. 1-6.

Ortega, M.A. 2003. Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. Proceedings V World Avocado Congress. Málaga-Granada, España. pp. 741-748.

Ozdemir, F. and Topuz, A. 2004. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. Food Chemistry 86: 79-83.

Platt, K.A and Thomson, W. W. 1992. Idioblast oil cells of avocado: Distribution, isolation, ultrastructure, histochemistry and biochemistry. Int. J. Plant Sci. 153(3): 301-310.
Ramos-Jerz, M.R. 2007. Phytochemical analysis of avocado seeds (*Persea americana* Mill. cv. Hass). Cuvilier Gottingen. Berlin, Germany. 318 p.

Ranney, C. 1991. Relationship between physiological maturity and percent dry matter of avocados. California Avocado Society Yearbook 75: 71–85.

Requejo-Tapia, L.E.; Woolf, B.A.; Roughan, G.R.; Schroeder, Y.H. and White, A. 1999. Avocado postharvest research: seasonal changes in lipid content and fatty acid composition of 'Hass' Avocados. The Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Ltd. pp. 1-29.

Reyes-Novelo, E. y Meléndez-Ramírez, V. 2007. Propiedades del aguacate como protector cardíaco. Boletín El Aguacatero 53: 3-8.

Ríos-Castaño, D. y Tafur-Reyes, R. 2003. Variedades de aguacate para el trópico: Caso Colombia. Actas del V Congreso Mundial de Aguacate. Málaga, España. pp. 143-147.
Rocha-Arroyo, J.; Salazar-García, S.; Bárcenas-Ortega, A.; González-Durán J. y Cossio-Vargas, L. 2011a. Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2 (3): 303-316.

Rocha-Arroyo, J.; Salazar-García, S.; Bárcenas-Ortega, A.; González-Durán J. y Medina-Torres, R. 2011b. Crecimientos vegetativo y reproductivo del aguacate 'Hass' en diversos climas de Michoacán, México. Proc. VII World Avocado Congress. Cairns, Australia. 10 p.

Rosales, J.; Parodi, G. y Carlini, B. 2003. Evaluación del ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass para la zona de la irrigación Santa Rosa, Perú. Proc. V World Avocado Congress. Málaga-Granada, España. pp. 311-316.

Salazar-García, S.; Lord, E.M. and Lovatt, C.J. 1998. Inflorescence and flower development of the 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) during "on" and "off"¨ crop years. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123: 537-544

Salazar–García, S. y Lazcano–Ferrat, I. 1999. Diagnóstico nutrimental del aguacate bajo condiciones de temporal. Rev. Chapingo Serie Horticultura Número Especial 5: 173–184.

Salazar-García, S. y Lovatt, C. 2002. Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.). I. Inflorescence and flower development. Revista Chapingo Serie Horticultura 8(1): 71-75.

Salazar-García, S.; Cossio-Vargas, L.; Lovatt, C.; González-Duran, I. and Pérez-Barraza, M. 2006. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of Hass avocado. Hort Science 41(7): 1541-1546.

Salazar-García, S.; Cossio-Vargas, L.E. y González-Durán, I.J.L. 2008. Corrección de la deficiencia crónica de zinc en aguacate 'Hass'. Revista Chapingo Serie Horticultura 14(2): 153-159.

Sánchez G., P. y Ramírez M., P. 1999. Fertilización y nutrición del aguacatero. En: El Aguacate y su Manejo Integrado. Téliz D. (ed.). México, D. F. Mundi-Prensa. pp. 103-113.

Sánchez, P.J. de la L.; Alcantar, R.J.J.; Coria, A.V.M.; Vidales, F.I., Aguilera, M.J.J., Vidales, F.J.A., Tapia, V.L.M., y Hernández, R.G. 2001. Tecnología para producir aguacate en México. SAGARPA. INIFAP. Campo Experimental Uruapan. Libro técnico No.1. Uruapan, México. 206 p.

Saucedo-Hernández, L.; Martínez-Damián, M.T.; Colinas-León, M.T.; Barrientos-Priego, A.F. y Aguilar- Melchor, J.J. 2005. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en la maduración y daños por frío en aguacate 'Fuerte'. Revista Chapingo Serie Horticultura 11: 149-157.

Scholefield, P.B.; Sedgley, M. and Alexander, D.McE. 1985. Carbohydrate cycling in relation to shoot growth, floral initiation and development and yield in the avocado. Scientia Horticulturae 25: 99-110.

Scora, R.W. and Bergh, B. 1990. The origins and taxonomy of avocado (*Persea americana* Mill.) Lauraceae. Acta Horticulturae 275: 387-394.

Scora, R.W.; Wolstenholme, B.N. and Lavi, U. 2002. Taxonomy and botany. In: AW Whiley, B Schaffer and BN Wolstenholme (eds): The Avocado: Botany, Production and Uses. CABI Publishing, Wallingford, U.K. pp. 15-38.

Sedgley, M. and Annells, C. 1981. Flowering and fruit set response to temperature in the avocado cultivar 'Hass'. Scientia Horticulturae 14: 27-33.

Smith, T.E.; Asher, C.J.; Stephenson, R.A. and Hetherinton, S.E. 1997. Boron deficiency of avocado. Effects on fruit size and ripening. In: Boron in soils and plants. Bell, R. W.; Rerkasem, B. (eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. pp. 135-137.

Swarts, D.H. 1978. The no-nonsense determination of oil content for avocados. Citrus and Subtropical Fruit Research Institute. Information Bulletin 42: 4.

Tapia, V.L.M.; Larios, A. y Anguiano, J. 2009. Ambiente y Fenología del Aguacate. En Tecnología para la Producción de Aguacate en México. 2a ed. INIFAP. Uruapan, México. pp. 36-53.

Tapia-Vargas, L.M.; Rocha-Arroyo, J.L. y Aguilera-Montañez, J.L. 2003. Mantenga altos niveles nutrimentales en su huerto con fertirriego sin afectar el ambiente. Boletín El Aguacatero 34: 7-15.

Tapia-Vargas, L.M.; Vidales-Fernández, I. y Larios-Guzmán, A. 2007. Manejo del riego y el fertirriego en aguacate. En: El Aguacate y su Manejo Integrado. Téliz, D. (ed.). Ediciones Mundi-Prensa. México D. F., México. pp. 107-122.

Taylor, N. and K. Cowan. 2001. Plant hormone homeostasis and the control of avocado fruit size. Plant Growth Regulation 35: 247-255.

Téliz, D. 2000. El aguacate y su manejo integrado. Ed. Mundi-Prensa. México, D.F., México. 219 p.

Téliz, D. y Marroquín P., F.J. 2007. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. En: El Aguacate y su Manejo Integrado. TÉLIZ, D.; MORA, A. (coord.). Mundi-Prensa. México D.F., México. pp 1-28.

Téliz, D. y Mora, A. 2007. El aguacate y su manejo integrado. 2a. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. México D.F., México. 308 p.

Thomas, R.H.; Woods, F.M.; Dozier, W.A.; Ebel, R.C.; Nesbitt, M.; Wilkins, B. and Himelrick, D.G. 2005. Cultivar variation in physicochemical and antioxidant activity of Alabama-grown blackberries. Small Fruits Rev. 4: 57-71.

Thorp, T.G. and Sedgley, M. 1992. Shoot growth and tree architecture in range of avocado cultivars. In: Proc. of II World Avocado Congress. Orange, California, USA. pp. 237-240.

Vorster, L.L. and Bezuidenhout, J.J. 1988. Does zinc play a role in reducing pulp spot? South African Avocado Growers' Association. Yearbook 11: 60.

Whiley, A. 1990a. CO_2 assimilation of developing fruiting shoots of cv. Hass avocado (*Persea americana* Mill). South African Avocado Growers' Association Yearbook 13: 28-33.

Whiley, A. 1990b. Interpretación de la fenología y fisiología del palto para obtener mayores producciones. En: Avocado Source. http://www.avocadosource.com/journals/civdmchile_1990/civdmchile_1990_pg_06.pdf. 24 p.; consultado: abril 2013.

Whiley, A.W.; Saranah, J.B.; Cull, B.W. and Pegg, K.G. 1988. Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. Queensland Agricultural Journal 114: 29-36

Whiley, A.W. and Schaffer, B. 1994. Avocado. In: Schaffer, B., Anderson, P. (eds.). Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol 2. Subtropical and Tropical Crops. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 3-35.

Williams, L.O. 1977. The avocados, a synopsis of the genus *Persea*, subg. *Persea*. Economic Botany 31: 315-320.

Wolstenholme, B.N. 1986. Energy costs of fruiting as a yield-limiting factor with special reference to avocado. Acta Horticulturae 175: 121-126.

Wolstenholme, B.N. 1987. Theoretical and applied aspects of avocado yield as affected by energy budgets and carbon partitioning. South African Avocado Growers' Association Yearbook 10: 58-61.

Wolstenholme B.N. 1990. Resource allocation and vegetative reproductive competition: opportunities for manipulation in evergreen fruit trees. Acta Horticulturae 275: 451-459.

Wolstenholme, B.N. and Whiley, A.W. 1989. Carbohydrate and phenological cycling as management tools for avocado orchards. South African Avocado Growers' Association Yearbook 12:33-37.

Wolstenholme, B.N., Whiley, A.W. and Saranah, J.B. 1990. Manipulating vegetative: reproductive growth in avocado (*Persea americana* Mill.) with paclobutrazol foliar sprays. Scientia Horticulturae 41: 317-327.

Wolstenholme, B.N. and Whiley, A.W. 1999. Ecophysiology of the avocado (*Persea americana* Mill.) tree as a basis for the preharvest management. Revista Chapingo Serie Horticultura Núm. Especial 5: 77-88.

Capítulo 1

Condiciones climáticas del estudio

El clima es considerado, en primera aproximación, como las condiciones atmosféricas predominantes en un lugar durante un período determinado. Por esta razón, para la descripción del clima se han venido utilizando las estadísticas de las variables meteorológicas. La distribución espacial y temporal de estas estadísticas permite identificar patrones de comportamiento del clima en una región. El conocimiento sobre estos patrones tiene diferentes aplicaciones. Las variables climatológicas temperatura del aire y precipitación, además de ser las mas usadas, sintetizan el comportamiento del clima de una región. El régimen de temperatura del aire está determinado por la situación geográfica de Colombia en el mundo y las particularidades fisiográficas de su territorio. (Pabón *et al*., 2001).

Los factores que condicionan el clima en Colombia, por su ubicación en la zona ecuatorial y el sistema montañoso, son la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), caracterizada por el frente intertropical, el efecto de la interacción océano pacífico–atmósfera (corriente del Niño y corriente fría de Humboldt), los vientos alisios, la orografía y la posición geográfica en la zona ecuatorial ligada estrechamente a la radiación solar, por ello las variaciones climáticas no obedecen a estaciones, sino a cambios altitudinales, donde la temperatura varía aproximadamente 6 °C por cada 1.000 metros de altura sobre el nivel del mar (Gobernación de Antioquia, 2009a).

Cada región o subregión presenta valores de temperatura media anual a nivel del mar y un régimen altitudinal distinto, por lo que no parece conveniente establecer un único modelo para toda Colombia (Pabón *et al*., 2001). En la región Andina, el régimen de temperatura del aire se particulariza por la presencia de los llamados piso térmicos, consistentes en la disminución de la temperatura media del aire, a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar (Eslava, 1992).

En general las regiones tropicales presentan condiciones únicas enmarcadas en una gran variación de suelos y climas. Para la región tropical andina de Colombia estos cambios sobresalen y se deben a la fisiografía y en especial la altitud; características que dan origen a una gran biodiversidad. Algo que se debe destacar en los sistemas tropicales es su complejidad y su fragilidad, lo que conduce a la necesidad de generar un conocimiento propio, esto es, conceptualizar y buscar la interrelación de sus componentes para un adecuado manejo del medio ambiente hacia un desarrollo sostenible (Jaramillo, 2005).

Esta investigación se adelantó en siete localidades, ubicadas dentro de tres subregiones del departamento de Antioquia, las cuales presentan las condiciones agroclimáticas que se describen a continuación.

1.1 Subregión Norte

Limita por el norte con el departamento de Córdoba y la subregión del Bajo Cauca; por el Occidente con las subregiones de Urabá y Occidente; por el oriente con la subregión del Nordeste y por el Sur con la subregión del Valle de Aburrá. Se le atribuye al Norte Antioqueño ser una de las subregiones más desarrolladas del departamento tanto económica como socialmente. El Norte de Antioquia esta ubicado en una de las ramificaciones de la Cordillera Central, entre el área metropolitana del Valle de Aburrá al sur y el Nudo de El Paramillo al noroccidente, lugar donde se originan las serranías de Abibe, San Jerónimo y Ayapel y los ríos San Jorge y Sinú. Por los demás costados limita con los ríos Porce y Nechí y las subregiones de Nordeste y Bajo Cauca por el oriente y, con la subregión del Occidente de Antioquia, por el occidente (Gobernación de Antioquia, 2009b).

En el altiplano se identifican los municipios de Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros, San José de la Montaña, Don Matías, Entrerríos, Belmira, Carolina del Príncipe, Gómez Plata, Guadalupe, Yarumal y Angostura, los cuales en sus cabeceras municipales presentan alturas hasta de 2.700 msnm y sus temperaturas están comprendidas entre los 13 y los 19 ºC. Por sus climas es una región afortunada, sobresale la producción de leche, carne y cultivos como la papa, la caña y el café, comercio con el 65%, servicios con el 33% y la agroindustria con el 1,5%, el uso del suelo está distribuido en 50% a los pastos con tendencia a la ganadería 50%. El 38% de las tierras de la subregión se dedican a la agricultura y el 29,3% son bosques con un índice de degradación del 0,6%. Si bien en sus inicios históricos se relacionaba con la actividad minera, en la actualidad este renglón no reviste importancia regional (Gobernación de Antioquia, 2009b).

1.1.1 Entrerríos

El municipio de Entrerríos tiene una extensión total de 219 km^2, todos ubicados en el clima frio; limita al Norte con los municipios de Santa Rosa de Osos; al Occidente con el municipio de Belmira; al Oriente con el Municipio de Don Matías; y al Sur con el municipio de San Pedro de los Milagros; la cabecera municipal se encuentra a una altitud de 2.300 m y una temperatura promedio de 16 °C. El 61,86 % del área del municipio presenta una cobertura de mosaico de pastos y cultivos, distribuidos en todo el municipio. Le sigue en importancia la categoría de bosques con cerca del 23%, predominando el bosque natural denso ubicado al oeste del municipio a manera de franja angosta que ocupa las partes altas y las plantaciones forestales al sur del municipio. Los pastos limpios con el 13,38%, se ubican alrededor de la cabecera municipal y al noreste (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013).

De acuerdo con IGAC (2008), el municipio de Entrerríos, por sus características topográficas y de suelos, es un municipio con una vocación de uso forestal, dominada por la categoría de forestal de protección-producción (57 %). Le sigue en importancia las áreas dedicadas a la producción agrícola con el 31 % del municipio, asociada principalmente a una vocación de uso para el establecimiento de cultivos permanentes semi-intensivos y cultivos transitorios semi-intensivos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013).

Las siguientes son las condiciones agroclimáticas donde se adelantaron actividades de investigación en el municipio de Entrerríos: Vereda La Tabla, finca Guacamayas, latitud Norte 5° 33´ 50,3´ y longitud Oeste 75° 32´ 26,6´´, a 2.420 msnm, con temperatura promedio anual de 14,7 °C, precipitación promedia anual de 1.917 mm, humedad relativa (HR) promedia anual de 82,7 %, brillo solar de 1.684 horas año^{-1}; variables que corresponden a la zona de vida ecológica bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) (Espinel y Montenegro, 1977). La jurisdicción de este municipio se encuentra en el altiplano norte de Antioquia de la cordillera Central.

1.2 Subregión Oriente

La región del Oriente Antioqueño está ubicada en el extremo Noroccidental de Colombia, al norte de Suramérica, entre las coordenadas geográficas 5º 24´ 39.77´´ de latitud Norte, 75º 34´58.92´´ de longitud Oeste y 6º 35´11.78´´ de latitud Norte, 75º 13.58´´ longitud Oeste; posee altos niveles de pluviosidad, con una media anual de 2.500 mm, gran variedad climática por el amplio rango altitudinal de la zona, con alturas mínimas de 200 msnm, en la planicie del Magdalena Medio y máximas de 3.340 msnm en el cerro de Las Palomas en el páramo de Sonsón, Argelia, Nariño y Abejorral, lo que permite que se tengan zonas entre frías y cálidas (CORNARE, 2014).

El sector agrícola es reconocido como el más importante de Antioquia. Posee el monopolio en la producción de muchos de los bienes; produce hortalizas como habichuela, tomate, cebolla; frutales como tomate de árbol, mora, naranja, aguacate y curuba, así como leguminosas, tubérculos y café. Además, la actividad agrícola es la que más empleo genera (ya sea de manera directa en la producción o de manera indirecta en el transporte, la industria, el mercadeo mayorista y minorista que se hace de él) (CORNARE, 2014).

1.2.1 Rionegro

El municipio de Rionegro, el cual está situado al suroriente del departamento de Antioquia, en la subregión Valles de San Nicolás, con coordenadas geográficas de 6º 9' 18'' latitud Norte y 75º 22' 48'' longitud Oeste, se encuentra a una altitud que varía entre 2.000 y 2.700 m.s.n.m. y la cabecera municipal se encuentra a 2.215 m.s.n.m. Con una temperatura media de 17 °C. Su área urbana dista 48 kilómetros de la ciudad de Medellín. Rionegro cuenta con un área total de 195,41 km^2 (CORNARE, 2012).

El régimen de lluvias de Rionegro es bimodal, con dos estaciones secas en el año: un período prolongado de sequía de diciembre a marzo y otro más corto de junio a julio. La precipitación promedio anual es de 2.138,7 mm. Las precipitaciones abundantes hacen que estas tierras desempeñen un papel muy importante en el régimen hidrológico de los nacimientos, ríos y quebradas. La humedad relativa anual es del 75 % y alcanza un máximo de 90 % en invierno y un mínimo de 59 % en verano. En promedio se evaporan 1.219 mm año^{-1}, es decir el 67% de la precipitación anual y el 23% restante se convierte en agua de infiltración y escorrentía (CORNARE, 2012).

De acuerdo a los rangos de alturas, precipitación y evapotranspiración mencionados anteriormente, Rionegro se enmarca dentro de la zonificación del piso térmico frío y húmedo. Toda el área de la cuenca se encuentra en la zona de vida que se denomina bosque húmedo montano bajo (bh-MB) en el sistema de clasificación de Holdridge (1966), cuyas condiciones están dadas por una biotemperatura promedia de 12 °C a 18 °C, una precipitación promedia anual entre 1.000 a 2.000 mm y una altura de 2.000 a 3.0000 msnm; esta área es propicia para la agricultura por ser zonas de bajas pendientes. Rionegro comparte límites con los siguientes municipios: por el Norte con Guarne y San Vicente, por el Sur con La Ceja, por el Oriente con Marinilla y El Carmen de Viboral, por el Occidente con El Retiro, Envigado y Medellín, por el Noreste con San Vicente y por el Noroeste con Envigado y Medellín. Tiene una extensión de 196 km^2 (CORNARE, 2012).

Las siguientes son las condiciones agroclimáticas donde se adelantaron actividades de investigación en el municipio de de Rionegro: Vereda Varahonda, finca La Escondida, latitud Norte 6° 6´ 7,2´´ y longitud Oeste 75° 26´ 33,4´´, a 2.147 msnm, con temperatura promedio anual de 17 ºC, precipitación promedia anual de 1.900 mm, humedad relativa (HR) promedia anual de 78 %, brillo solar de 1.861 horas $año^{-1}$; variables que corresponden a la zona de vida ecológica bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) (Espinel y Montenegro, 1977). La jurisdicción de este municipio se encuentra en el altiplano del Valle de San Nicolás de la cordillera Central.

1.2.2 Marinilla

El municipio de Marinilla, está situado al Suroriente del departamento de Antioquia, en la subregión Valle de San Nicolás, con coordenadas geográficas de 6° 10´ 32´´ de latitud Norte y a 75° 25´ 17´´ de longitud Oeste. Marinilla tiene una extensión de 118 km^2, de los cuales 5 corresponden al piso térmico medio y 110 al piso térmico frío. Su cabecera municipal dista de 47 km de Medellín. Las alturas oscilan entre los 1.900 y 2.400 msnm, La altitud de la cabecera municipal es de 2.120 msnm y su temperatura promedio es de 17 °C. Marinilla comparte límites con los siguientes municipios: San Vicente Ferrer, El Santuario, El Peñol, El Carmen de Viboral y Rionegro (CORNARE, 2006).

Las precipitaciones en el municipio se encuentran entre los 2.000 mm en las partes más bajas y los 2.500 mm en las más altas. La temperatura es de 16,3 °C y el brillo solar multianual de 2.000 horas $año^{-1}$. Así mismo, se presenta una alta nubosidad, sobrepasando el 80 % en los valores de humedad relativa. La dirección de los vientos varía de acuerdo con el relieve, pero su tendencia predominante es de oriente a occidente, con una velocidad promedia relativamente baja, de 2 m s^{-1}. Teniendo en cuenta la distribución de las precipitaciones, se observa un comportamiento multimodal con dos períodos lluviosos: uno que va de abril a junio y otro de agosto a noviembre, siendo los meses de mayo y octubre los más húmedos y enero el más seco, mientras que junio y julio son de transición para todas las microcuencas del municipio. En la cuenca se presentan dos zonas de vida: bosque húmedo montano bajo (bh-Mb), con cerca de 550 hectáreas y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-Mb) con 1.160 hectáreas (CORNARE, 2006).

Las siguientes son las condiciones agroclimáticas donde se adelantaron actividades de investigación en el municipio de Marinilla: Vereda La Esperanza, Finca La Persea, latitud Norte 6° 11´ 44,2´´ y longitud Oeste 75° 19´ 49,7´´, a 2.087 msnm, con temperatura promedio anual de 17 ºC, precipitación promedia anual de 1.800 mm, humedad relativa

(HR) promedia anual de 81,5 %, brillo solar de 1.876 horas año^{-1}; variables que corresponden a la zona de vida ecológica bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) (Espinel y Montenegro, 1977). La jurisdicción de este municipio se encuentra en el altiplano del Valle de San Nicolás de la cordillera Central (CORNARE, 2006).

1.3 Subregión del Suroeste

Se encuentra localizada geográficamente entre las coordenadas, 75° de latitud al Sur en el municipio de Caramanta, y 5° de longitud Norte al Oeste del municipio de Urrao; limita por el Norte con el Valle del Aburrá, al Oriente con los municipios de El Retiro, La Ceja y Abejorral; al Sur con los departamentos de Risaralda y Caldas y al Occidente con el municipio de Vigía del Fuerte y el departamento del Chocó. La subregión con una extensión de 6.733 km^2 que equivalen al 10,44 % del total departamental y en cuyo territorio están 23 municipios: Amagá, Andes, Angelópolis, Betania, Betulia, Caramanta, Ciudad Bolívar, Concordia, Fredonia, Hispania, Jardín, Jericó, La Pintada, Montebello, Pueblorrico, Támesis, Tarso, Salgar, Santa Bárbara, Titiribí, Urrao, Valparaíso y Venecia (Gobernación de Antioquia, 2009a).

1.3.1 Jericó

Está ubicado en la región del Suroeste del departamento de Antioquía y a una distancia de la ciudad de Medellín por la carretera de Fredonia de 104 km y por la carretera de Bolombolo de 122 km. Su cabecera municipal se encuentra a 1.967 msnm; tiene una temperatura promedio de 19,5 °C. Sus coordenadas geográficas son: Latitud Norte 5º 47' 41'', Longitud Oeste 75º 47' 06". Posee una topografía quebrada y muy montañosa por estar ubicado en las estribaciones de la cordillera occidental y en él se encuentran alturas que alcanzan más de 2.500 msnm. Esto le permite a Jericó disponer de tierras con climas diferentes: cálido en la zona del Cauca, templado en la zona ocupada por la cabecera municipal y frío en la zona más elevada del municipio. Tiene una superficie total de 193 km^2. El municipio presunta diferentes zonas de vida; piso térmico frío pertenece al bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh - MB), que se caracteriza por una temperatura promedio de 16 ºC, un promedio anual de lluvias entre 2.838 y 3.211 mm y una faja altimétrica entre 2.000 y 2.400 msnm. Es el sector más lluvioso del municipio, con lluvias distribuidas en todo el año presentándose precipitaciones máximas en los meses de febrero, marzo, abril y mayo, y las menores en julio y agosto. El piso térmico templado, corresponde al bosque húmedo Premontano (bh - PM), que se caracteriza por una temperatura promedio de 18 °C, un promedio anual de lluvias entre 1.323 y 2.000 mm y una faja altimetríca entre los 1.920 y 2.000 msnm. Esta zona de vida de excelentes condiciones climáticas, es el punto de mínimas precipitaciones, en promedio con 1.323 mm anuales. Se ubica en el piso térmico cálido y pertenece al bosque húmedo Tropical (bh - T), que se caracteriza por una temperatura media superior a 24 °C, un promedio anual de lluvias entre 2.000 y 2.500 mm y una faja altimetría entre los 600 y 1.000 msnm (Secretaría de Planeación y Desarrollo Territorial, 2010).

Las siguientes son las condiciones agroclimáticas donde se adelantaron actividades de investigación en el municipio de Jericó: vereda Palenquito, finca El Encanto, latitud Norte 5° 47' 49'' y longitud Oeste 75° 45´ 45,3´´, a 1.900 msnm, con temperatura promedio anual de 19 ºC, precipitación promedia anual de 1.917 mm, humedad relativa (HR)

promedia anual de 82 %, brillo solar de 2.430 horas año^{-1}; variables que corresponden a la zona de vida ecológica bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) (Espinel y Montenegro, 1977). La jurisdicción de este municipio se encuentra en la vertiente oriental de la cordillera Occidental.

1.3.2 Venecia

El municipio de Venecia pertenece a la subregión del Suroeste Antioqueño. Su cabecera se encuentra en los 5° 52' 07'' de latitud Norte y en los 75° 49' 08'' de longitud Oeste. El territorio municipal de Venecia tiene una extensión de 141 km^2, con 54 km^2 en clima cálido, 84 km^2 en el templado y 3 Km^2 en el clima frío. Venecia limita por el Oriente y por el Sur con el municipio de Fredonia, por el Norte con Amaga y Titiribí, por el Sur con Tarso y por el Occidente con los municipios de Concordia y Salgar. La cabecera municipal se encuentra a 1.350 msnm, con una temperatura media de 21 ºC, a 61 km de Medellín (Sanear ltda., 2003).

A escala mensual las lluvias presentan como períodos de máximos valores abril - junio y septiembre-noviembre; los períodos más secos son diciembre-febrero y julio-agosto, condición debida al paso de la Zona de Convergencia Intertropical. Debido a la posición latitudinal, existe la tendencia general de presentar el primer período seco, diciembre-febrero más acentuado, si se compara con los meses de junio-agosto. Por otro lado debido a la baja latitud del territorio en mención, o más exactamente, debido a su proximidad al ecuador térmico, así como a ciertos efectos orográficos, dicho territorio se encuentra fuera de la influencia de los vientos alisios, tanto del noreste como del sudeste o del alcance de los alisios desviados, por lo tanto, la presencia de vientos predominantes es limitada o de origen local y esporádico (Alcaldía de Venecia, 2007).

Las siguientes son las condiciones agroclimáticas donde se adelantaron actividades de investigación en el municipio de Venecia: vereda El Rincón, finca Santa Cruz, latitud Norte 5° 57’ 14,8’’ y longitud Oeste 75° 42’ 25,1’’, a 1.770 msnm, con temperatura promedio anual de 19,5 °C, precipitación promedia anual de 2.300 mm, humedad relativa (HR) promedia anual de 75,0 %, brillo solar promedio anual de 2.164 horas año^{-1}; variables que corresponden a la zona de vida ecológica bosque húmedo Premontano (bh-PM) (Espinel y Montenegro, 1977). La jurisdicción de este municipio se encuentra en la vertiente oriental de la cordillera occidental.

Vereda La Arabia, finca Piedras Blancas, latitud Norte 5° 55' 0,01'' y longitud Oeste 75° 46' 59.87'', a 1.510 msnm, con temperatura promedio anual de 20,1 °C, precipitación promedia anual de 2.504 mm, humedad relativa (HR) promedia anual de 74,0 %, brillo solar promedio anual de 2.090 horas año^{-1}; variables que corresponden a la zona de vida ecológica bosque húmedo Premontano (bh-PM) (Espinel y Montenegro, 1977). La jurisdicción de este municipio se encuentra en la vertiente oriental de la cordillera occidental.

1.3.3 Támesis

Localizado en la subregión Suroeste del departamento de Antioquia. Limita por el Norte con los municipios de Jericó y Fredonia, por el Este con el municipio de Valparaíso, por el Sur con los municipios de Caramanta y Jardín y además con el departamento de Caldas y

limita por el Oeste con los municipios de Jardín y Jericó. Esta conformado por dos corregimientos, 37 veredas y un resguardo indígena. Posee 2 corregimientos, San Pablo y Palermo y cuenta también con 37 veredas. Extensión total: 243 km². Altitud de la cabecera municipal 1.600 msnm Temperatura media: 21°C. Distancia de Medellín: 108 km. Latitud: 5° 40' 00". Longitud 75° 42' 58" (Municipio de Támesis, 2012).

Las siguientes son las condiciones agroclimáticas donde se adelantaron actividades de investigación en el municipio de Támesis: vereda San Isidro, finca La María, latitud Norte 05°41'21,6'' y longitud Oeste 75°42'15,7'', a 1.340 msnm, con temperatura promedio anual de 22,5 °C, precipitación promedia anual de 1.917 mm, humedad relativa (HR) promedia anual de 81 %, brillo solar promedio anual de 1.726 horas año^{-1}; variables que corresponden a la zona de vida ecológica bosque húmedo Premontano (bh-PM) (Espinel y Montenegro, 1977). La jurisdicción de este municipio se encuentra en la vertiente oriental de la cordillera occidental.

1.4 Literatura citada

Alcaldía de Venecia. 2007. Plan de Gestión Ambiental Venecia. Venecia, Antioquia, Colombia, 67 p. http://venecia-antioquia.gov.co/apc-aa-files/34376161313231643034623135626464/plan-ambiental-venecia.pdf; consultado: enero 2016.

CORNARE-Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare. 2006. Plan de ordenación y manejo de la cuenca Barbacoas, municipio de Marinilla. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA-UN) Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. El santuario, Antioquia, Colombia. 190 p. http://www.cornare.gov.co/POMCAS/Documentos/Barbacoas.pdf; consultado: enero 2016.

CORNARE-Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare. 2012. Zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales. Atención de Áreas Afectadas por Eventos Desastrosos. Grupo Gestión del Riesgo Oficina de Control Estratégico. Rionegro, Antioquia, Colombia. 137 p. http://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/RIONEGRO/Informe-Rionegro.pdf; consultado: enero 2016.

CORNARE-Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare. 2014. Plan de gestión ambiental Regional 2014-2032. Servicios ecosistémicos y adaptación al cambio climático, un pacto por la sostenibilidad del Oriente Antioqueño. El Santuario, Antioquia, Colombia. 289 p. http://www.cornare.gov.co/PGAR/Final-PGAR-2014-2032.pdf; consultado: enero 2016.

Eslava, J. 1992. Perfil altitudinal de la temperatura del aire en Colombia. Geofís. Colomb. 1:37-52.

Espinel, L.S. y Montenegro, E. 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa de ecológico. IGAC, Bogotá. pp. 238.

Gobernación de Antioquia. 2009a. Perfil de la Subregión del Suroeste. Departamento Administrativo de Planeación. Medellín, Antioquia. 152 p. http://antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/planeacion/descargas/perfiles/Perfil_subregional_Suroeste.pdf; consultado: enero 2016.

Gobernación de Antioquia. 2009b. Perfil Subregional del Norte Antioqueño. Departamento Administrativo de Planeación. Medellín, Antioquia. 180 p. http://antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/planeacion/descargas/perfiles/Perfil%20 SubregionalNorte.pdf; consultado: enero 2016.

Holdridge, L.R.1966. The Life Zone System. Adansonia 6 (2): 199-203.

IGAC. 2008. Metodología para la clasificación de las tierras por su vocación de uso. Conflictos de uso del territorio colombiano. Subdirección de Agrología. 64 p.

Jaramillo, A. 2005. Clima andino y café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2005. 196 p.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2013. Entrerríos, Antioquia. Proyecto Sistema de Información Geográfica Municipal-2013. 18 p. http://bibliotecadigital.agronet. gov.co/jspui/bitstream/11438/7520/1/SIG-MUNICIPALES%20ENTERERR%C3%8DOS_ ANTIOQUIA.pdf; consultado: enero 2016.

Municipio de Támesis. 2012. Plan de Desarrollo 2012–2015. Támesis, Antioquia, Colombia. 101 p. http://www.tamesis-antioquia.gov.co/apc-aa-files/316537326634393166 35666132303964/plan-desarrollo-tmesis-2012-2015-versionsep.27.pdf; consultado: enero 2016.

Pabón, J.; Eslava, V. y Gómez, R. 2001. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. Meteorol. Colomb. 4:47-59.

Sanear ltda. 2003. Resumen ejecutivo del plan maestro de acueducto y alcantarillado urbano del municipio de Venecia. Venecia, Antioquia, Colombia. 37 p.

Secretaría de Planeación y Desarrollo Territorial. 2010. Municipio de Jericó, Antioquia. Documento Técnico. Formulación del Esquema de Ordenamiento Territorial. Jericó, Antioquia, Colombia. 145 p. http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf /jerico_antioquia_ eot.pdf; consultado: enero 2016.

Capítulo 2

Fenología del aguacate cv. Hass plantado en diversos ambientes del departamento de Antioquia

2.1 Resumen

Este estudio se desarrolló entre octubre de 2011 y junio de 2013, en cuatro huertos comerciales de aguacate cv. Hass, plantados en los municipios del departamento de Antioquia-Colombia, Entrerríos (2.420 msnm), Rionegro (2.187 msnm), Jericó (1.900 msnm) y Támesis (1.340 msnm). El objetivo fue determinar los ciclos de crecimiento (radical, vegetativo, floral y de fructificación) en árboles de aguacate cv. Hass. En total se evaluaron 46.037 brotes en las cuatro localidades, de las cuales el 4,58 % correspondió a yemas inactivas (A), el 56,59 % a yemas en prebrotación (B+C), el 20,30 % a brotes nuevos, el 10,38 % a brotes en floración y el 8,16 % brotes con fruto. La intensidad y la duración de los flujos vegetativos fueron variables en todas las localidades y no tuvieron un comportamiento cíclico, tal como se presentó con la floración. En tres de las localidades (Rionegro, Jericó y Támesis), los áboles mostraron dos flujos florales, mientras que en Entrerríos éstos presentaron tres floraciones. El período entre la floración y la cosecha varió entre las localidades, así: en Entrerríos transcurrieron entre 12 y 13 meses, en Rionegro duró de 11 a 12 meses, en Jericó duraron 10 a 11 meses y en Támesis este tiempo fue de 8 a 9 meses. El crecimiento de raíces tuvo un comportamiento variable y en todas las localidades se presentaron distintos flujos cambiantes en intensidad y duración, los cuales ocurrieron sin que el clima tuviera una injerencia evidente.

Palabras clave: *Persea americana* Mill, fisiología vegetal, frutales, cultivos.

2.2 Introducción

El aguacate es una especie que se encuentra medianamente domesticada. Esto se demuestra por características como árboles de gran tamaño, presencia de crecimiento vegetativo al mismo tiempo que se exhibe la floración, altos niveles de ésta, la cual es irregular y prolongada, bajo potencial productivo y tamaño grande de la semilla, entre otras (Whiley *et al*., 2002). El rendimiento promedio del aguacate para 2012 a nivel mundial fue de 8,83 t ha^{-1} (FAO, 2012), en comparación con el registrado para Colombia, en el mismo año, que alcanzó 9,26 t ha^{-1} (MADR, 2013). Esta diferencia que existe, aún bajo condiciones de desarrollo naturales, sugiere las ventajas comparativas que presenta el país en relación con la oferta medioambiental requerida para alcanzar el potencial productivo de la especie. A pesar de lo anterior, existe una brecha en los rendimientos que debe ser superada bajo las condiciones agroecológicas colombianas, si se comparan con los de otros países productores.

En Colombia, para el cultivo de aguacate, al igual que para muchos otros frutales, no se tienen en cuenta los componentes de la función productiva (genotipo, ambiente y la interacción genotipo x ambiente); el conocimiento de estos factores permitiría entender con más precisión la respuesta de la especie a las condiciones tropicales en las que actualmente se aprovecha este frutal en el país. Además, las recomendaciones para su manejo, muchas veces se basan en procesos empíricos, no tecnológicos, que impiden el desarrollo potencial del cultivo. La investigación de orden nacional se ha dedicado a estudios generales de productividad y a aspectos fitosanitarios, siendo necesario realizar pesquisas, con una visión integral de la función productiva, para conocer el comportamiento de la especie, en respuesta a las condiciones de la oferta ambiental tropical. Colombia se enfrenta actualmente al reto que implican los Tratados de Libre Comercio con varios países del mundo y el aguacate es uno de los cultivos con el cual el país puede entrar a participar activamente; sin embargo, se considera que sólo el cv. Hass es el que tiene opción para el mercado internacional, por los volúmenes que demandan los consumidores norteamericanos y europeos, principalmente.

Los factores medioambientales influyen sobre todos los aspectos del crecimiento del aguacate y determinan la magnitud con la que se expresa su potencial genotípico (Gandolfo, 2008). En las plantas leñosas que crecen de forma natural, la radiación y el estrés hídrico son comúnmente, los factores ambientales que tienen un mayor impacto (Van Schaik *et al.*, 1993; Whiley, 1994). En los árboles frutales domesticados, sin embargo, la temperatura es también un factor decisivo (Sedgley y Grant, 1983; Whiley y Winston, 1987; Issarakraisila y Considine, 1994; Whiley, 1994), ya que su cultivo se extiende, a menudo, a medios más hostiles que los apropiados para su desarrollo natural. De hecho, la temperatura suele definir el rango dentro del cual se cultiva comercialmente una determinada especie (Schaffer *et al.*, 1994).

El aguacate se caracteriza por tener un crecimiento rítmico monopodial, es decir, con un crecimiento de una yema vegetativa terminal del eje central de cada brote que permanece y continúa su desarrollo año tras año, y es un ejemplo del modelo arquitectónico de Rauh, uno de los más frecuentes de las zonas templadas y tropicales (Halle *et al.,* 1978). El tronco forma ramas que son morfogenéticamente idénticas al tronco y las flores se originan lateralmente sin tener un efecto sobre el crecimiento de los brotes, aunque en algunos brotes existen flores en posición terminal, siendo el crecimiento subsecuentemente simpodial. El vigor del crecimiento completo del árbol y la producción de fruto dependen del tiempo y extensión de los eventos fenológicos, lo cual está bajo el control de la disponibilidad de carbono y energía y de su distribución (Wolstenholme y Whiley, 1989), en respuesta a las condiciones medioambientales (Scholefield *et al.*, 1985). Las hojas requieren alrededor de 40 días desde su brotación hasta la transición de vertedero a fuente (Whiley, 1990a). Durante este período pueden competir por fotoasimilados con el fruto en desarrollo (Biran, 1979; Buchholz, 1986; Cutting y Bower, 1990).

El aguacate a lo largo del año puede tener uno o más ciclos vegetativos seguidos de un período de crecimiento radical. Las raíces comienzan su crecimiento cuando el primer crecimiento vegetativo comienza a declinar. Posteriormente, inicia un segundo período de crecimiento vegetativo, restableciéndose de esta manera, el equilibrio entre una fase de crecimiento radical y otra vegetativa (Hernández, 1991; Calabrese, 1992). Así como en la mayoría de los frutales de hoja persistente, el crecimiento de los brotes vegetativos del aguacate está sincronizado en flujos que varían en vigor, duración y magnitud (Scora *et*

al., 2002; Rocha-Arroyo *et al*., 2011a), los cuales ocurren generalmente dos o tres veces al año y pueden o no incluir la totalidad del árbol (Davenport, 1986). El número de flujos vegetativos depende de las condiciones ambientales, la magnitud de cada flujo es variable y usualmente uno de ellos es el principal responsable de la producción del flujo de crecimiento reproductivo (Salazar-García *et al*., 2006; Salazar-García *et al*., 2007; Rocha-Arroyo *et al*., 2011b). La ocurrencia de los flujos vegetativos está asociada a los meses de mayor precipitación (Avilán *et al*., 2007). En el subtrópico húmedo de veranos lluviosos, los árboles se caracterizan por presentar un flujo primaveral de crecimiento de brotes que comienza con la floración y tiene su nivel más alto a principios del verano, luego la proporción de brotes terminales y subterminales en crecimiento activo se reduce al mínimo, para después continuar con un segundo flujo de crecimiento de brotes (Scora *et al*., 2002; Rocha-Arroyo *et al*., 2011b).

El crecimiento vegetativo presenta un patrón definido de crecimiento sigmoidal, donde la etapa inicial muestra un crecimiento lento, después la longitud de las ramas se incrementa significativamente y a continuación en una etapa final, el crecimiento se estabiliza. La etapa de crecimiento acelerado coincide con la etapa de floración, donde se puede alcanzar una velocidad de crecimiento de brotes vegetativos de 3 mm día^{-1}. Estos flujos pueden durar de 3 a 4 meses. En el subtrópico la magnitud de este crecimiento está determinada fuertemente por la estacionalidad, encontrándose una mayor magnitud en primavera (Dixon *et al.*, 2007; Rocha-Arroyo *et al*., 2011a).

En un estudio realizado por Rosales *et al.* (2003), se encontró que el crecimiento vegetativo apical del aguacate cv. Hass comienza a los 7 días, luego de iniciada la brotación de yemas reproductivas, incrementándose progresivamente a partir de los 29 días, para presentar su máxima tasa de crecimiento a los 67 días, luego desciende paulatinamente hasta los 144 días, momento a partir del cual, la tasa de crecimiento vegetativo prácticamente es nula. En el caso de los brotes laterales, el crecimiento se da en un solo período que abarca desde los 29 hasta los 122 días, siendo su intensidad menor que el crecimiento vegetativo apical. Durante la antesis se presenta la mayor tasa de crecimiento vegetativo y disminuye cuando la apertura floral termina.

El número de frutos cuajados aumenta a medida que el crecimiento vegetativo se hace más lento hasta detenerse. La disminución en la caída de frutos tiende a coincidir con la suspensión del flujo vegetativo (Dixon, 2007). Un fuerte estímulo ambiental sincroniza el crecimiento vegetativo y la floración, existiendo un período fisiológico de inactividad; aunque la planta produce un elevado número de flores, tiende a direccionar más los recursos al crecimiento vegetativo que a la producción de flores y frutos. El manejo de la fenología del árbol para maximizar el rendimiento de fruto se realiza en dos puntos clave: la identificación de períodos críticos de demanda de nutrientes y la manipulación del crecimiento vegetativo para mejorar la asignación de recursos para el crecimiento del fruto (Whiley, 1990b).

Existen muchos factores que podrían ser los responsables de que la mayoría de los huertos de aguacate no alcancen el potencial productivo. La continua interacción entre la constitución genética propia del árbol y su medioambiente en constante cambio, determina el destino de muchos de los procesos que ocurren durante la floración y el cuajamiento. Se podrían esperar diferencias significativas en la reacción de los cultivares de las tres razas al régimen de temperatura que predomina durante la iniciación de la yema floral, el desarrollo de la flor, el proceso de fertilización y el desarrollo del fruto. Sin embargo, la mayoría de los estudios realizados sobre varios aspectos de la biología reproductiva del aguacate han sido hechos en California, Israel, Sudáfrica y Australia, en árboles que crecen en climas subtropicales. Por lo tanto, las conclusiones respecto a los regímenes de temperatura óptima y la respuesta a las

temperaturas extremas pueden no ser aplicables a los aguacates que crecen en el trópico (Gazit y Degani, 2007).
Las flores del aguacate están dispuestas en panículas que se forman en la parte terminal de las ramas (Calabrese, 1992; Galán-Saúco, 1990). Las inflorescencias del aguacate pueden ser de dos tipos: determinadas, en las que el meristemo del eje primario forma una flor terminal, e indeterminadas, en las que se forma una yema en el ápice del eje primario de la panícula que continúa con el crecimiento de un brote (Salazar-García, 2000). Los cultivares de aguacate pueden llegar a producir miles de inflorescencias, cada una de las cuales, a su vez, pueden estar constituidas por más de 100 flores, de forma que el número total de flores por árbol puede ser de más de un millón (Sedgley y Alexander, 1983).

Los frutos de aguacate que no cuajan se dividen en dos grupos, las provenientes de flores polinizadas, pero en las que no se alcanzó la fertilización y las provenientes de flores polinizadas y fertilizadas que dan lugar a un embrión normal y semillado (Lovatt, 1990). Bajo condiciones favorables, los aguacates cuajan más frutos que los que el árbol es capaz de llevar hasta la madurez. En estas condiciones, la planta ajusta su capacidad de nutrir a los frutos modificando su número, esto es, provocando la caída masiva de frutos recién cuajados durante las primeras tres a cuatro semanas y nuevamente en el verano, cuando el fruto ya ha alcanzado entre un 10 % y un 40 % de su tamaño final (Whiley *et al.*, 1988; Wolstenholme, 1990). El objetivo de este estudio fue caracterizar la fenología del aguacate cv. Hass, en las condiciones meteorológicas y ambientales de cuatro localidades del departamento de Antioquia.

2.3 Materiales y Métodos

2.3.1 Ubicación

Los cultivos experimentales estaban localizados en: Municipio de Entrerríos, vereda La Tabla, finca Guacamayas. Municipio de Rionegro, vereda Varahonda, finca La Escondida. Municipio de Jericó, vereda Palenquito, finca El Encanto. Municipio de Támesis, vereda San Isidro, finca La María.

2.3.2 Material biológico

El trabajo de campo se realizó en huertos comerciales de aguacate cv. Hass, de cinco años de edad, injertados sobre portainjertos criollos originados de semilla.

2.3.3 Procedimiento experimental

2.3.3.1 Identificación de flujos florales, vegetativos y de fructificación

Desde el inicio del trabajo, en cada una de las localidades se cuantificaron mensualmente, los flujos de crecimiento vegetativo, florales y de fructificación, para lo cual, en cuatro árboles por finca se etiquetaron cuatro ramas de 1 m de longitud, ubicadas en la parte media, direccionadas hacia cada uno de los cuatro puntos cardinales y con al menos 10 brotes cada una (Cossio-Vargas *et al.,* 2008).

Tanto ramas como brotes se marcaron para permitir que las lecturas sucesivas a lo largo del tiempo se hicieran sobre las mismas estructuras y así cuantificar la ocurrencia e intensidad de los flujos obtenidos. En este procedimiento también se registraron y midieron los frutos cuajados, así como la caída de los mismos.

2.3.3.1.1 Fenología de la floración

A continuación se describen los estados fenológicos correspondientes a la fase de floración y que fueron considerados y documentados para este estudio, que se basan en lo propuesto por Cabezas *et al*. (2003). Los autores plantean un modelo fenológico con 10 estados, desde yema en latencia hasta el fruto tierno, basado en la propuesta de Aubert y Lossois (1972). A pesar de existir distintos modelos para la evaluación, se consideró trabajar con esta escala, dado que describía muy bien a simple vista, los diferentes estados fenológicos de las fases de floración y fructificación.
En adición a las fases de floración, en este estudio se consideraron seis fases de crecimiento vegetativo, donde los estados A, B y C, son comunes para las fases vegetativa y floral, en consideración a que no se distingue a simple vista cual va a ser su evolución. Los otros tres estados son propios del crecimiento vegetativo. A continuación se describen las características empleadas como guía para evaluar cada estado fenológico considerado en este estudio.

ESTADOS FENOLÓGICOS-TIPO DEL AGUACATE (Cabezas *et al*., 2003)
Estado A – Yema en reposo. Las yemas se muestran cerradas, son de forma aguda, de color amarillo-grisáceo y están cubiertas por escamas pubescentes visibles y no lignificadas. Estas yemas aparecen en los brotes del ciclo vegetativo anterior y pueden ser terminales o axilares en la parte superior del brote, siempre cercanas a la yema apical (Figura 2-1).

Estado B – Yema hinchada. Las escamas oscurecidas de las yemas se separan y se extienden hacia el exterior. La yema se hincha y redondea como consecuencia de la morfogénesis de la inflorescencia. Las brácteas anaranjadas que protegen la inflorescencia se hacen visibles (Figura 2-2).

Figura 2-1. Yema en estado A. Yema en reposo

Figura 2-2 Yema en estado B. Yema hinchada

Estado C – Las brácteas de la yema se han abierto. En este estudio se consideró este estado próximo a brotar, ya sea en forma vegetativa como floral (Figura 2-3).

Figura 2-3. Yema en estado C. Próxima a brotar (vegetativa o floral)

Estado D1 – Botones florales. Eje secundario visible: El eje primario y los ejes secundarios de la inflorescencia se elongan y se hacen visibles. Los botones florales se diferencian individualmente pero se muestran agrupados en la panícula. Las bractéolas aún protegen los botones florales en los racimos de la panícula. En la base de la inflorescencia, permanecen las brácteas y escamas iniciales, algo más oscurecidas (Figura 2-4).

Figura 2-4. Yema en estado D1

Estado D2 – Botones florales. Eje terciario visible: Se produce la elongación de los ejes terciarios de la inflorescencia. El eje primario y los ejes secundarios continúan su alargamiento. Los botones florales se separan y se reconocen los racimos en la panícula. Las bractéolas, presentes aún en la base de los ejes terciarios, se muestran extendidas hacia el exterior y desecadas (Figura 2-5).

Estado E – Botón amarillo. Los ejes de la inflorescencia están completamente elongados y las flores diferenciadas en los racimos de la panícula. La mayoría de las bractéolas se han desprendido y, si las hay, se encuentran marchitas. Los tépalos de los botones florales son evidentes y presentan sólo en su extremo distal, un leve viraje de verde a amarillo; dejan de estar fuertemente unidos (Figura 2-6).

Figura 2-5. Estado D2.

Figura 2-6. Estado E. Botón amarillo.

Estado F – Floración. La antesis de las flores de la panícula se produce de forma escalonada y sincronizada. El estado F se divide a su vez en 10 subestados fenológicos donde cada flor realiza dos aperturas, una como estado femenino, expresado con el subíndice f, y desarrollado en 3 subestados, y otra en estado masculino, expresado con el subíndice m, y representado por 5 subestados. Entre ambas fases, se produce un cierre intermedio y por último, el cierre definitivo de la flor (subíndice c). Para este estudio se consideró el estado F, como el resumen de todos los subestados, desde la primera hasta la última apertura floral (Figura 2-7).

Figura 2-7. Estado F. Los pedúnculos florales se separan y se abren los sépalos (apertura de la flor o antesis).

Estado G - Marchitez de tépalos. Los tépalos se marchitan desde el ápice hacia la base. Las flores toman forma cónica. Las piezas verticiladas del interior permanecen agrupadas (Figura 2-8).

Estado H - Cuajado. El ovario de color verde engrosa en el centro de las flores que han sido polinizadas y fecundadas. El estigma y el estilo secos aparecen unidos al extremo superior del ovario. Las restantes piezas florales, también marchitas, se abren forzadas por el crecimiento del ovario. Los restos del androceo aún persisten (Figura 2-9).

Estado I. -Fruto tierno. Los restos de tépalos y androceo se han desprendido y el pedúnculo del fruto ha engrosado. La expansión de la pequeña baya da lugar a un fruto de forma piriforme, globoso u ovalado, con un número variable de lenticelas en su epidermis (Figura 2-10).

Figura 2-8. Estado G. Marchitez de pétalos

Fotos: J. Bernal

Figura 2-9. Estado H. Cuajado

Foto: J. Bernal

Figura 2-10. Estado I. Fruto tierno.

2.3.3.1.2 Fenología de la fase vegetativa

Las yemas vegetativas en los estados A, B y C, se consideraron similares a las del estado de floración

Yema D. Brote incipiente donde se observan 4 o 5 foliolos, próximos a emerger (Figura 2-11).

Brote vegetativo nuevo (B.V.N.). Se trata de un brote juvenil más avanzado, cuyas hojas presentan una coloración rojo oscuro (Figura 2-12).

Brote en crecimiento (BC). Corresponde a la etapa que sigue a la aparición de un B.V.N. En algunos casos puede seguir un brote con yema terminal en A, B o C (Figura 2-13).

Foto: J. Bernal

Figura 2-11. Yema D. Brote incipiente

Foto: J. Bernal

Figura 2-12. Brote vegetativo nuevo (B.V.N.)

Foto: J. Bernal

Figura 2-13. Brote en crecimiento (BC)

2.3.3.2 Producción de raíces

La presencia de raíces nuevas se cuantificó mensualmente en los mismos árboles. La extracción de las raíces se hizo en la gotera de los árboles. Las raíces nuevas, distinguidas por su color café claro y grosor ≤5 mm, fueron extraídas excavando un volumen de suelo de 40 x 40 x 40 cm. Después de lavadas, se secaron en un horno con aire forzado a 70 °C por 72 h hasta obtener su peso seco constante (Cossio-Vargas *et al.*, 2008).

2.3.3.3 Determinación de la caída de frutos

La intensidad de la caída de fruto se cuantificó en cuatro ramas de 1 m de longitud marcadas en la parte media de la copa, en cada punto cardinal de los cuatro árboles seleccionados. El número de frutos presentes en cada rama marcada se contó mensualmente después de antesis (Cossio-Vargas *et al*., 2008).

2.3.3.4 Precipitación

La precipitación fue registrada a diario en cada huerto con estaciones meteorológicas automatizadas SpecWare 9 Pro®, Spectrum Technologies Inc. (Versión 9.03 Build 0240).

2.3.3.5 Temperaturas del aire y del suelo

Tanto la temperatura ambiente como la del suelo a 30 cm de profundidad fueron registradas cada 15 min en cada huerto, con estaciones meteorológicas automatizadas SpecWare 9 Pro®, Spectrum Technologies Inc. (Versión 9.03 Build 0240).

2.3.3.6 Crecimiento del fruto

Todos los frutos encontrados en los brotes marcados, se midieron mensualmente, en su diámetro polar (DP) y ecuatorial (DE), desde cuajamiento hasta cosecha, con un calibrador digital (resolución 0,01 mm; modelo 7222, Starrett®. Athol, MA).

2.3.3.7 Intensidad relativa

Todos los estados fenológicos fueron transformados a intensidades relativas, que consistió en asignar el 100 %, al valor máximo de todas las estructuras registradas durante el período de evaluación; por lo tanto, la intensidad relativa resulta de dividir el valor registrado en cada lectura, por el valor máximo y multiplicado por 100.

$$\text{Intensidad relativa} = \frac{\text{No. de estructuras registradas por lectura}}{\text{Valor máximo de estructuras registradas}} \text{ X } 100$$

2.3.4 Requerimientos hídricos de los cultivos de agucate (ETc)

Se empleó la metodología propuesta por FAO (2006), que recomienda la utilización de coeficientes específicos para cada cultivo (Kc), usando para ello la siguiente formula: ETc = ET0 x Kc., tomando el Kc sugerido por FAO para aguacate de 0,73. El promedio de los datos de precpitación y evaporación histórica mensual, se tomaron de la estación climatológica del IDEAM más cercana al sistio de evaluación y de similares condiciones climáticas,

2.3.5 Análisis estadístico

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

2.4 Resultados y Discusión

Los suelos de los huertos en estudio presentaron condiciones similares en cuanto a sus características físicas (Franco arenosos y Franco arcillo arenosos) y se consideraron de baja a mediana fertilidad. Por lo anterior, las restricciones nutricionales fueron ajustadas, para corregir deficiencias y excesos. Con esto se buscó mantener en los huertos las proporciones adecuadas de los elementos, sin que se afectara la producción de los mismos. En general los suelos mostraron niveles por debajo de lo normal de macro y micro nutrientes en los primeros 30 cm de profundidad (Tabla 2-1), zona que es explorada

por las raíces finas del aguacate (Salazar-García y Cortes-Flórez, 1986). Todos los suelos presentaban condiciones de pH entre ácido y fuertemente ácido, porcentajes de materia orgánica altos, a excepción de los suelos del huerto establecido en el municipio de Jericó con porcentajes medios; entre un 15 y 50 % de saturación de aluminio, niveles que aún no son tóxicos para la planta, de medios a bajos en contenidos de Ca, muy bajos en Mg y de los suelos del huerto plantado en el municipio de Entrerríos que mostró contenidos medios a altos de S, Fe, Cu, Mn, Zn y B (Tabla 2-1).

En este estudio se determinó que existían diferencias en las condiciones ambientales en las que se ubicaban los cuatro huertos considerados, lo cual modificó la fecha de aparición e intensidad de los flujos de crecimiento vegetativo y desarrollo floral; por lo tanto, los resultados obtenidos, se expondrán por cada localidad en forma individual, a menos que se indique lo contrario.

Tabla 2-1. Características del suelo (0-30 cm) de los huertos plantados con aguacate cv. Hass en cuatro municipios del departamento de Antioquia (febrero 2011).

Variable	Támesis	Jericó	Rionegro	Entrerríos
Fertilidad	Baja	Baja	Mediana	Mediana
Topografía	Ondulada	Ondulada	Ondulada	Quebrada
Textura (arena/limo/arcilla)	64/24/12	60/20/20	72/18/10	68/22/10
Clase	FA	FArA-FA	FA	FA
pH	4,8 (f. ácido)	5,0 (f. ácido)	4,9 (f. ácido)	5,4 (ácido)
MO (%)	28,4 (alto)	13,2 (med. alto)	28,5 (alto)	25,8 (alto)
Al (cmol kg^{-1})	2,4 (50 % saturación)	1,7 (30 % saturación)	1,6 (35 % saturación)	1,6 (15 % saturación)
Ca (cmol kg^{-1})	1,2 (bajo)	2,4 (medio bajo)	1,8 (bajo)	3,4 (medio)
Mg (cmol kg^{-1})	0,6 (muy bajo)	0,9 (muy bajo)	0,6 (muy bajo)	4,8 (alto)
K (cmol kg^{-1})	0,25 (bajo)	0,37 (medio)	0,50 (medio)	0,76 (m. alto)
Na (cmol kg^{-1})	0,05 (bajo)	0,01 (bajo)	0,03 (bajo)	0,16 (bajo)
CICE (cmol kg^{-1})	4,5	5,4	4,5	10,7
P (mg kg^{-1})	8 (bajo)	13 (bajo)	9 (bajo)	20 (m. bajo)
S (mg kg^{-1})	7 (medio)	43 (alto)	9 (medio)	43 (alto)
Fe (mg kg^{-1})	58 (alto)	115 (alto)	288 (alto)	177 (alto)
Cu (mg kg^{-1})	2 (medio)	2 (medio)	4 (medio)	16 (alto)
Mn (mg kg^{-1})	5 (medio)	6 (medio)	8 (medio)	49 (alto)
Zn (mg kg^{-1})	20 (alto)	4 (medio)	7 (medio)	7 (medio)
B (mg kg^{-1})	0,22 (bajo)	0,14 (bajo)	0,29 (bajo)	2,10 (alto)

2.4.1 Entrerríos (2.420 msnm)

2.4.1.1 Flujos de crecimiento vegetativo

Durante el período de evaluación se observaron cuatro flujos vegetativos, cada uno con diferente intensidad y duración. El primer flujo vegetativo ocurrió en abril de 2012 y fue de mediana intensidad (58 %), en la época de mayor precipitación de ese año (marzo-mayo). El segundo flujo vegetativo fue de mayor intensidad que el anterior (87,5 % de los brotes) y ocurrió en agosto, cuando el segundo período de lluvias estaba establecido (Figura 2-14). El tercer flujo vegetativo, el de menor intensidad (29 %), se presentó en diciembre de 2012, el cual coincidió con la disminución en la precipitación. De allí en adelante y justo después de que la precipitación aumentó, ocurrió el cuarto flujo vegetativo, el cual se presentó en el mes de julio de 2012. Aunque como ya se mencionó, ocurrieron cuatro flujos vegetativos dos de gran intensidad y dos de menor intensidad, se encontró que prácticamente los árboles estuvieron en el primer año en un periodo constante de crecimiento vegetativo desde enero hasta agosto de 2012 y desde noviembre de 2012 hasta junio de 2013 (Figura 2-14). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Rocha-Arroyo *et al*. (2008), quienes encontraron en la zona de Michoacán, México tres flujos vegetativos (invierno, primavera y verano para ellos) en el mismo año y de diferente intensidad. Como lo mencionan Cossio-Vargas *et al.* (2008), la ocurrencia de flujos vegetativos en distintas épocas podría interpretarse como una característica de adaptación del aguacate cv. Hass, lo que incrementa las posibilidades de obtener una cosecha minimizando la alternancia productiva causada por la falta de sitios de fructificación. El inicio de cada flujo vegetativo coincidió con el comienzo de las lluvias; cuando se presentaron descensos marcados de precipitación, como en los meses de mayo y junio de 2012, que pasó de 343,4 a 171,4 mm, de octubre a noviembre de 269 a 128,3 mm y de diciembre a enero de 106 a 33,7 mm, también hubo descensos en los niveles de flujo vegetativo (55, 11,8 y 28,8 %, respectivamente).

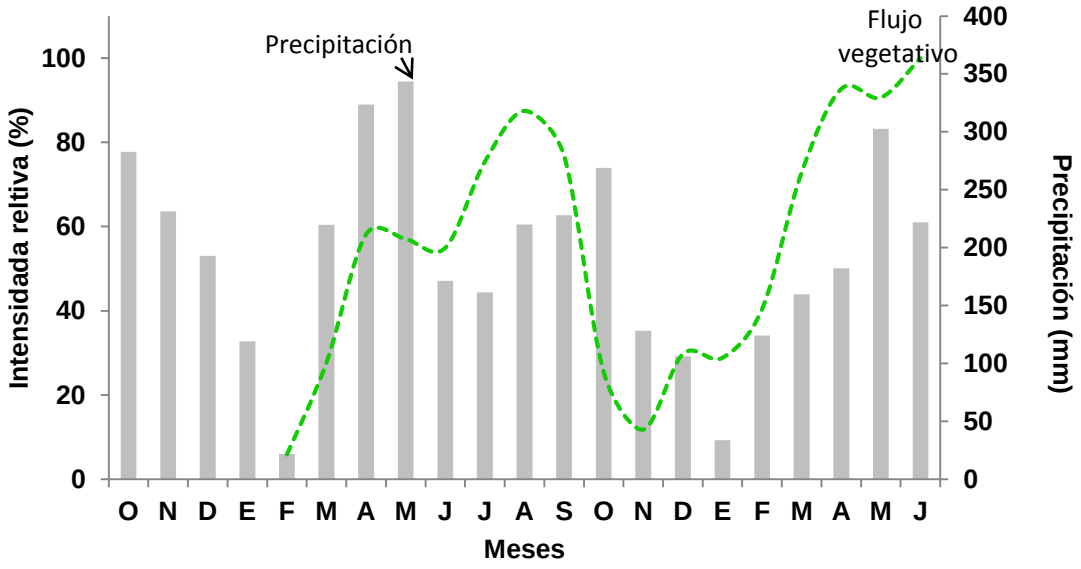


Figura 2-14. Flujos de crecimiento vegetativo en árboles de aguacate cv. Hass vs. Precipitación, en Entrerríos, Antioquia (2011-2013).

2.4.1.2 Desarrollo floral

Durante los 18 meses de evaluación se presentaron tres flujos marcados de floración, los cuales fueron inducidos por la reducción en la precipitación (Figura 2-15). En 2012 el primer flujo floral, con un 67 % de las yemas, se observó en el mes de febrero, en temporada seca (Figura 2-15). El segundo flujo floral, el de mayor intensidad con el 100 % de las yemas, se presentó hacia el mes de agosto en la mitad del segundo periodo de lluvias de año (Figura 2-15). El tercer flujo floral con un 60 %, se presentó en el mes de marzo de 2013 en pleno periodo de lluvias. Cabe anotar que simultáneamente con la máxima floración se registró un flujo de crecimiento vegetativo (el segundo de mayor intensidad, con 87 % de los brotes), correspondiente a la brotación de la yema vegetativa ubicada en las inflorescencias indeterminadas. En las inflorescencias indeterminadas la yema vegetativa en reposo, puede brotar antes, durante o inmediatamente después de la antesis. El primer flujo de floración en enero de 2012 (67 %), ocurrió justo en la época más seca del año y no estuvo acompañado de crecimientos vegetativos, indicando que esta floración correspondió a inflorescencias determinadas, lo que implica una inhibición en el crecimiento vegetativo. Los otros dos flujos de floración (100 y 60,6 %) estuvieron acompañados en forma simultánea con flujos vegetativos (87 y 100 %), lo que indica el origen indeterminado de las inflorescencias (Figura 2-15).

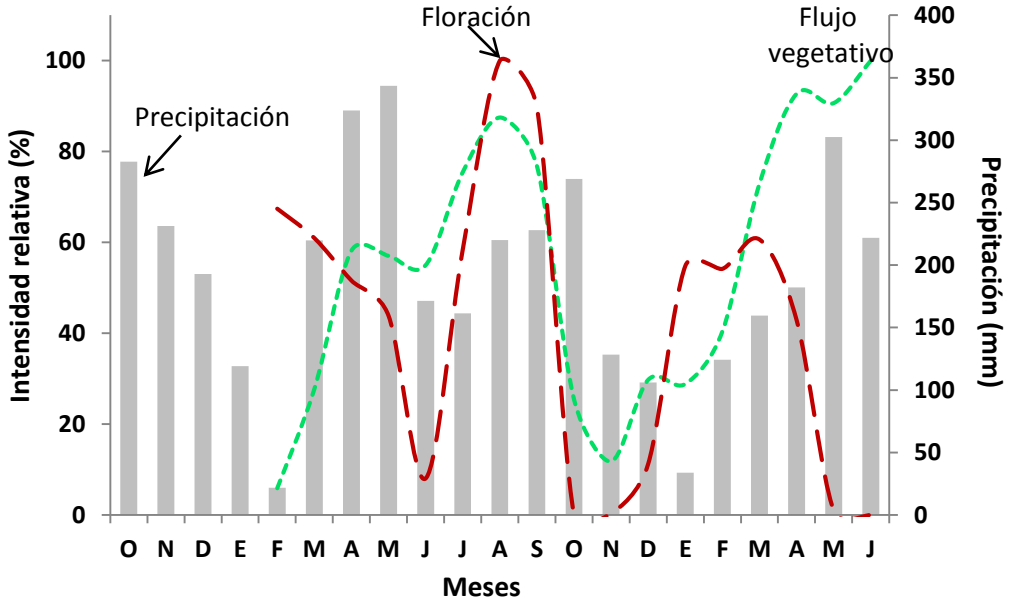


Figura 2-15. Flujos de crecimiento vegetativo y desarrollo floral en árboles de aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Entrerríos, Antioquia (2011-2013).

2.4.1.3 Requerimientos hídricos

Tomando los datos promedios mensuales históricos (40 años) del tanque de evaporación de la estación climatológica mas cercana al sitio de evaluación, localizada en el municipio de Santa Rosa (Estación Aragón) a 2.600 msnm y utilizando la fómula propuesta por FAO (2006), ETc = Eo x Kc, se obtuvieron los requerimientos hídricos mensuales para árboles adultos de aguacate cv. Hass en esa zona (Tabla 2-2).

Los requerimientos hídricos anuales del aguacate cv. Hass en esta región, están alrededor de 1.403,6 mm al año: esta cantidad está dentro del rango reportado por Galán-Sauco, (1990), quien menciona que este cultivar crece bien en zonas con precipitaciones que varían entre 665 mm y mas de 2.000 mm año^{-1} y puede ser un requerimiento típico para una región tropical alta. Los 1.403,6 mm corresponden al 73% de la evaporación anual que es de 1.922,7 mm, lo que comprueba la eficiencia de los árboles de aguacate en el uso del agua (Tabla 2-2). Los mayores valores de ETc se presentaron en los meses mas lluviosos de abril y mayo (145,9 y 172,9 mm), siendo 3,67 y 4,32 veces mayor respectivamente, que el mes con menor valor, enero que tiene 39,7 mm. Contrario a lo reportado por Orduz (2007) en cítricos, donde los menores valores de ETc se presentaron en los meses mas lluviosos del año, con las menores niveles de radiación, número de horas de brillo solar y los niveles más bajos de temperatura media; en este estudio, las menores tasas de Etc se dieron en los meses mas secos y caluosos; lo anterior dependiendo de la disponibilidad de agua en el suelo (Tabla 2-2).

Tabla 2-2. Requerimientos hídricos mensuales de árboles adultos de aguacate cv. Hass en Santa Rosa, Antioquia.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	∑
Eo1	54,4	82,1	128,6	199,8	236,8	168,6	159,5	165,2	189,5	240,7	190,5	107	1.922,7
Kc	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
ETc	39,7	59,9	93,9	145,9	172,9	123,1	116,4	120,6	138,3	175,7	139,1	78,1	1.403,6

[1]Eo expresados en mm/mes.

En la Figura 2-16 se observa que de acuerdo con las condiciones climáticas historicas de la misma estación, la precipitación supera a la evapotranspiración del cultivo durante once meses del año. Solo en el mes de enero la precipitacion es igual a los requerimientos hídricos de la planta sin que se presente un déficit en ese mes. En los meses de abril (236 mm) y octubre (240,7 mm) la precipitación llega a superar en 4,5 y 5,4 veces respectivameante, los requerimientos hidricos del cultivo. De ahí la importancia de seleccionar suelos con buen drenaje interno para contrarrestar el efecto desfavorable del exceso de precipitación; además, también es recomendable el uso de coberturas vivas para disminuir las pérdidas de suelo por la erosión ocasionada por las altas precipitaciones (Orduz *et al*., 2003).

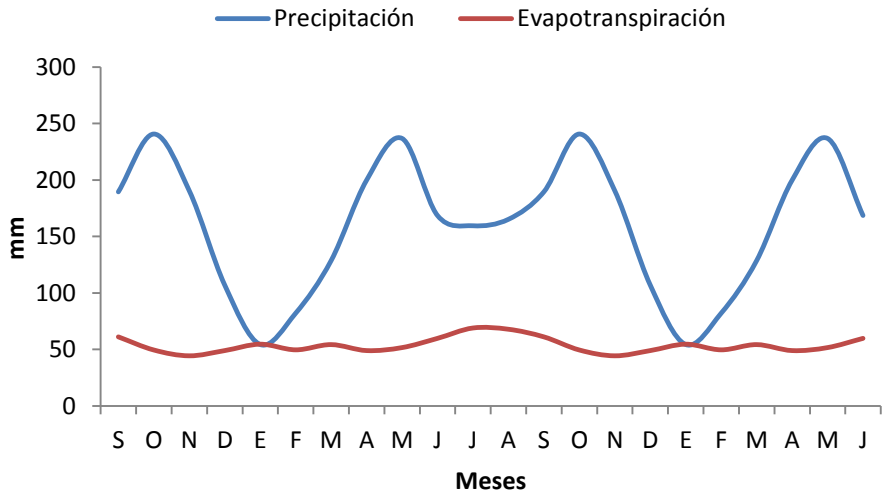


Figura 2-16. Balance hídrico entre la precipitación promedia anual y la evapotranspiración del cultivo de aguacate cv. Hass, Santa Rosa, Antioquia.

Cuando se comparan los registros de precipitación durante el período de evaluación (septiembre de 2011 a junio de 2103) en esta localidad, con los requerimientos del cultivo y la fenología de la floración, se observa que en los períodos de menor precipitación febrero de 2012 y enero de 2013, se presenta un déficit hídrico de 27,84 y 20,9 mm; sin embargo, cabe destacar que las floraciones se presentaron precisamente en estas épocas, por lo que el factor inductor no se le atribuye al déficit hídrico, por el contrario, los flujos de floración, fueron promovidos por la precipitación 4 a 5 meses antes y se desarrollaron en épocas secas (Figura 2-17). De hecho la mayor floración en 2012 coincidió con la segunda época seca de ese año. Lo anterior muestra como en años de alta precipitación se puede inducir la floración, sin que sea necesario que para ello se presente un deficit hidrico, como lo menciona Whiley (1990b) quien afirma que en regiones donde una disminución en la temperatura no es suficiente para lograr una detención completa del crecimiento vegetativo, un déficit hídrico de corta duración (2 meses) es favorable para la inducción floral.

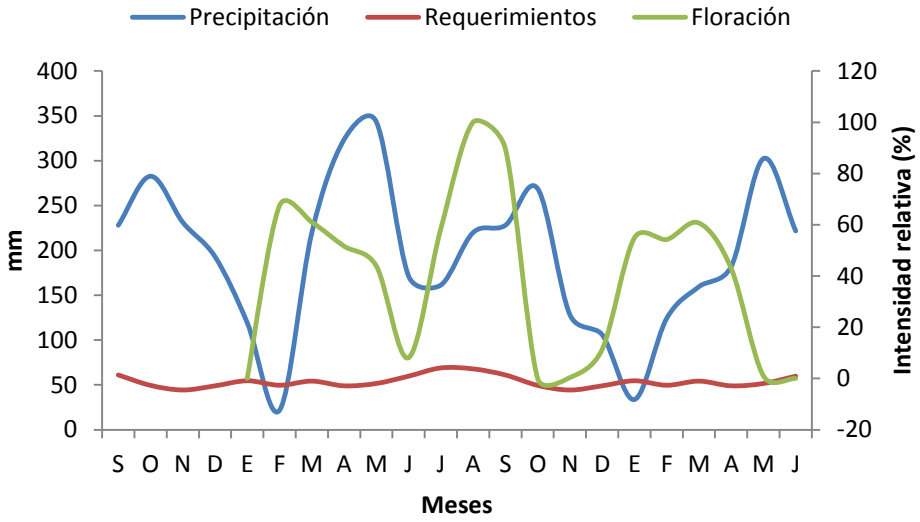


Figura 2.17. Requerimientos hídricos mensuales, precipitación y su relación con el comportamiento de la floración. Entrerríos, Antioquia (sept. 2011 – jun. 2013).

2.4.1.4 Crecimiento de raíces

Durante los 18 meses de evaluación se presentaron cuatro flujos de crecimiento de raíces (Figura 2-18). En el año 2012 se registraron tres flujos, dos de los cuales fueron del 100 %, el primero en el mes de abril, el segundo con una intensidad del 60 % en el mes de julio y el último en el mes de septiembre (100 %). En 2013 se presentó un flujo de raíces en marzo de un 56,34 %, el cual coincidió con el inicio del período de lluvias (Figura 2-16). Los flujos más intensos de crecimiento de raíces ocurrieron en épocas de lluvia, lo cual se asemeja con lo encontrado por Cossio-Vargas *et al*. (2008) en Nayarit, México cuando el principal flujo de producción de raíces, se dio al inicio del período de lluvias alcanzando su máximo en plena época lluviosa. Estos resultados, donde se pueden diferenciar dos flujos fuertes y dos flujos suaves, concuerdan con lo mencionado por Arpaia (1998); Whiley *et al.* (1998) y Sánchez-Pérez *et al*. (2001), los cuales afirman que en aguacate se observan al menos dos flujos de crecimiento al año, uno en primavera y el otro durante el verano u otoño. En aguacate el crecimiento de las raíces generalmente se alterna con el crecimiento de la parte aérea (Ploetz *et al*., 1992; Arpaia, 1998); sin embargo, dado que en la zona de estudio y en general en la región andina de Antioquia, existen condiciones

favorables para el crecimiento vegetativo (precipitaciones prácticamente todo el año), se presentaron inhibiciones de un crecimiento sobre el otro y viceversa. De hecho, en el primer flujo de crecimiento de raíces (100 %), en abril de 2012, el flujo vegetativo fue del 57 % y cuando se presentó un flujo vegetativo en abril del mismo año, con un 60 %, el crecimiento de raíces fue de 32,76 %; igual situación ocurrió en marzo del 2013, cuando el flujo de raíces fue de 56,34 % (Figura 2-18), lo anterior, de acuerdo con Cossio-Vargas *et al.* (2008), servirá para conocer la utilización de los carbohidratos por el árbol y facilitará la optimización de prácticas culturales como podas, fertilización y riego, de manera que se puedan controlar los crecimientos vegetativos y reproductivos, entre otros.

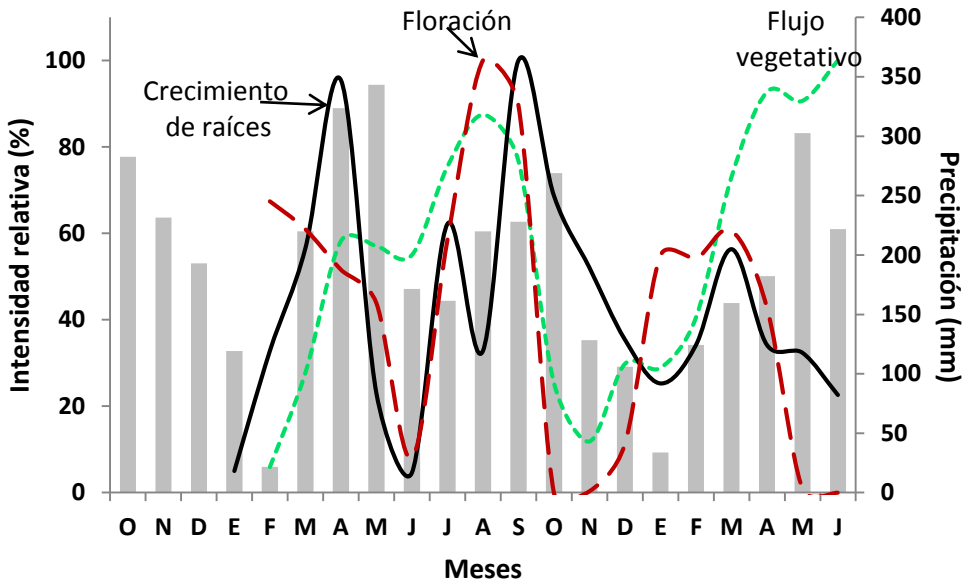


Figura 2-18. Comportamiento fenológico de árboles de aguacate cv. Hass, bajo condiciones de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011 - 2013).

2.4.1.5 Caída de fruto

Durante el periodo de evaluación hubo cuatro épocas de caída de fruto, tres de las cuales ocurrieron luego de la reducción en la precipitación. La primera caída de fruto (31,34 %), presentada en junio de 2012, sucedió en el primer período seco de ese año y aproximadamente cuatro meses después de la formación del fruto (Figura 2-19), cuando había alcanzado un 31,34 % de su tamaño final, que correspondió a la fase final de la división celular, lo cual es acorde con lo expuesto por Whiley *et al*. (1988) y Wolstenholme *et al*. (1990), quienes aseguran que en aguacate, la planta ajusta su capacidad de nutrir a los frutos modificando su número, esto es, provocando la caída fisiológica de frutos recién cuajados durante las primeras tres a cuatro semanas y nuevamente, cuando el fruto ya ha alcanzado entre un 10 % y un 40 % de su tamaño. A diferencia de la primera caída de fruto, la segunda caída en octubre de 2012 (100 %) (máxima ocurrencia) coincidió con la segunda época de lluvia del año, mostrando que éste no fue el factor determinante de este evento. Esta caída se presentó dos meses después del mayor flujo de floración en agosto (100 %), lo cual ocasionó una mayor cantidad de fruto cuajado en el árbol y por simple competencia, un abundante aborto de fruto. Este comportamiento coincide con lo mencionado por Salazar-García (2007), quien afirma que la producción de fruto en aguacate puede representar tan solo del 0,002 al 0,02 % de la cantidad de flores producidas por un árbol; además, Chandler (1958) y Bergh (1967) señalan que el cuajamiento varía entre el 0,02 al 0,1 % (Figura 2-19).

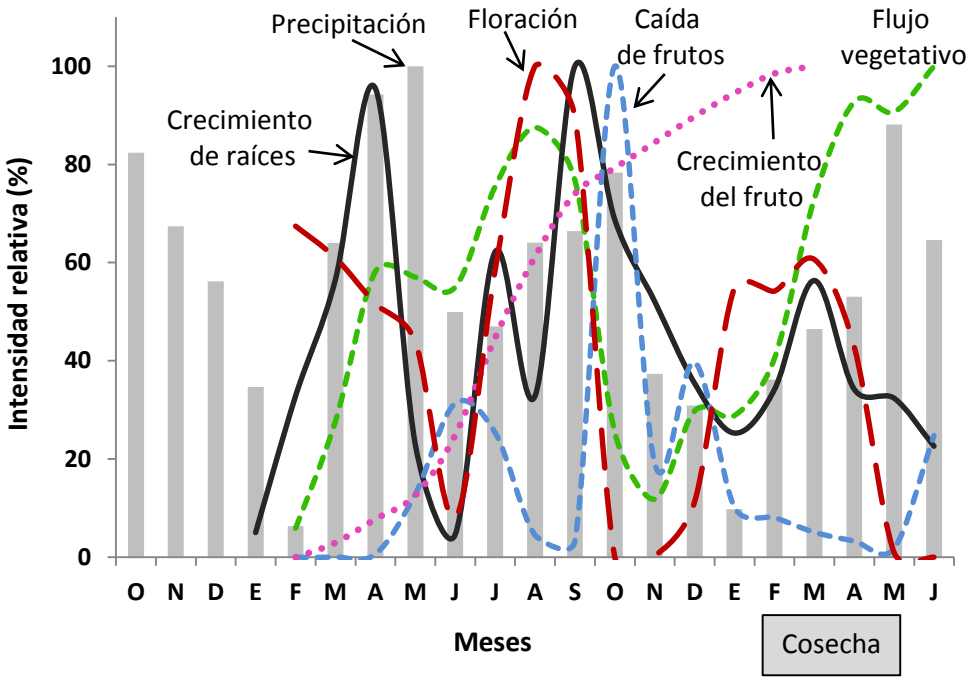


Figura 2-19. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011 – 2013).

El amarre inicial de fruto en aguacate es relativamente alto, pero la caída de fruto pequeño al inicio de su desarrollo es considerable (Teliz, 2000). Como se indicó anteriormente, esta floración perteneció en su mayoría a inflorescencias indeterminadas ya que correspondieron en forma simultánea a una floración y flujo vegetativo, con lo cual se demuestra la competencia por fotoasimilados que se presenta entre el brote vegetativo de la inflorescencia y el fruto cuajado, lo cual armoniza con las observaciones de Teliz (2000), quien asegura que el reducido amarre de fruto en las inflorescencias indeterminadas se debe a una competencia con el crecimiento vegetativo, el cual se desarrolla en el momento en que las inflorescencias están amarrando frutos, lo que supone que si al momento de la floración se estimula el crecimiento vegetativo durante el periodo crítico para la retención del fruto, da como resultado un incremento en la caída de fruto y pérdida de producción. Esto se debe a que existe una competencia por carbohidratos, agua y/o reguladores de crecimiento, entre otros (Teliz, 2000). En este caso, el estímulo para el crecimiento del brote vegetativo estuvo dado por una buena disponibilidad de agua en el suelo, que ocurrió justo cuando se presentó el segundo periodo de lluvia de año. Lo anterior también concuerda con lo expuesto por Ho (1988), cuando asegura que las hojas jóvenes, mientras se hallan en expansión, son fuertes sumideros que compiten con otros órganos demandantes de la planta hasta que alcanzan su tamaño definitivo, momento en que se convierten en exportadoras netas.

Además de la competencia por el crecimiento vegetativo, esta caída de fruto ocurrió justo un mes después de que se presentara el mayor flujo de crecimiento de raíces (100 %), en septiembre de 2012, lo cual ocasionó otra gran competencia por fotoasimilados y consecuentemente causando el desprendimiento del fruto. Aunque el orden de prioridad de la demanda por fotoasimilados en aguacate generalmente, es: semilla>pulpa de los frutos=ápices de brotes y hojas>cambium>raíces>tejidos de almacenamiento (Wolstenholme, 1990), el gran flujo de crecimiento de la raíz un mes antes, causó un

agotamiento de reservas en la planta que contribuyó con la caída del fruto. Van der Walt *et al*. (1993) aseguran que bajas reservas de almidón están correlacionadas con bajas intensidades de cuajado y producción. Una tercera caída de fruto se presentó en diciembre de 2012 (30,9 %) y fue ocasionada por la ocurrencia de un período seco de noviembre de 2012 a febrero de 2013 y sucedió cuatro meses después de la antesis. El cuarto período de caída de fruto se dio tres meses después de un flujo de floración (60,6 %) y ocurrió justo con el mayor flujo de crecimiento vegetativo (100 %), trayendo como consecuencia una competencia por fotoasimilados y como tal este derrame de fruto. Se destaca que a diferencia de la caída de fruto de octubre de 2012 que fue la mayor, en ésta fue inferior debido a que si bien coincidió con un flujo vegetativo fuerte, no se presentó competencia por crecimiento de raíces (Figura 2-19).

2.4.1.6 Cosecha

La cosecha obtenida en este estudio correspondió al fruto colectado entre marzo y mayo de 2013, la cual ocurrió doce a trece meses después de la floración presentada en febrero de 2011 (Figura 2-19); frecuentemente la cosecha principal de este cultivar en Antioquia (oriente antioqueño), es entre diciembre y mayo (Mejía, 2011).

2.4.1.7 Temperatura del aire y suelo

La temperatura promedio durante todo el estudio fue de 14,71 °C, siendo el mes más cálido marzo de 2013 con una temperatura de 15,75 °C y el más frío octubre de 2011 con 14,04 °C, la diferencia entre el mes más frío y el más cálido fue de 1,71 °C. Lo anterior coincide con Jaramillo–Robledo (2005), quien argumenta que los climas tropicales se caracterizan por la ausencia de una estación fría, las diferencias entre las estaciones son generalmente pequeñas. Esto puede demostrarse por medio del rango medio anual y por las diferencias entre un mes y otro que no son superiores a 4 °C. En este caso la información se refiere a un huerto ubicado en el trópico andino en una latitud Norte 05° 33´ 50,3´´, diferente a lo sucedido con los cambios de temperatura que ocurren en Michoacán, México (región de mayor área plantada a nivel mundial con 100.000 ha, aproximadamente) (17° 55' a 20° 24' N), que a pesar de estar ubicado en la región semitropical, la temperatura promedio en enero es de 15,4 °C y en abril y mayo es de 20,6 °C, existiendo una diferencia de 5,2 °C; sin embargo, en esas mismas fechas la temperatura puede bajar a los 6,6 °C como la mínima y de 29,3 °C como máxima, con una diferencia de 22,7 °C (Anguiano *et al*., 2006). En regiones subtropicales y templadas la temperatura es el principal factor responsable de la transición de las yemas en latencia a fase reproductiva, un período de bajas temperaturas es determinante en el inicio, duración e intensidad del proceso de floración en árboles de aguacate (Davenport, 1986; Wolstenholme *et al*., 1990; Salazar-García y Lovatt, 2002; Gazit y Degani, 2007; Pérez *et al*., 2007). Diferentes trabajos en aguacate cvs. Hass, Choquette y Booth-8 han establecido que temperaturas inferiores a 20 °C son suficientes para inducir floración (Salazar-García *et al*. 2006; Avilán *et al*., 2007; Cossio-Vargas *et al*., 2007b; Pérez *et al*., 2007). El tiempo de exposición a condiciones inductoras de baja temperatura es un factor clave para determinar la intensidad del proceso (Salazar-García *et al*., 1999; Dixon *et al*., 2007b). Sin embargo, bajo condiciones tropicales donde las bajas temperaturas pueden ser breves, irregulares o no existir en algunas temporadas, no es claro cuál exactamente es el factor inductor (Pérez *et al*., 2007; Wilkie *et al*., 2008).

Los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas del aire en este estudio, variaron muy poco a través del año, lo cual indica que la temperatura no influye en la aparición de ninguno de las expresiones fenológicas presentadas en la planta (Figura 2-20).

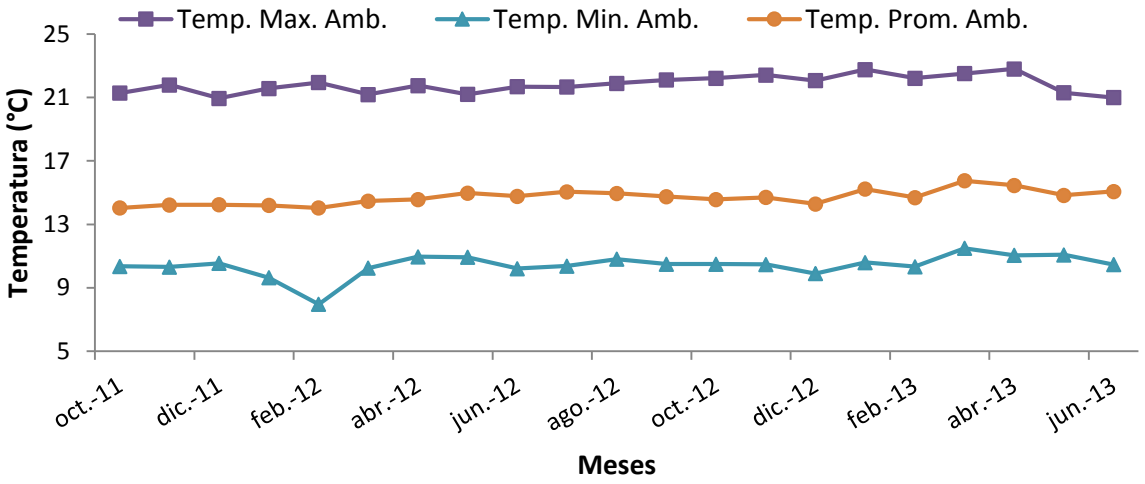


Figura 2-20. Temperatura ambiente (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011 - 2013).

La diferencia entre la temperatura ambiental máxima y mínima durante todo el estudio fluctuó entre los 10,22 °C (mayo de 2013), época lluviosa y 13,98 °C (febrero de 2012) época de verano, siendo en promedio de 11,41 °C. Las temperaturas máximas del aire, se mantuvieron entre 20,95 °C (diciembre 2011) y 22,81 °C (abril 2013), es decir 1,86 °C de diferencia, lo que contrasta con lo reportado por Cossio-Vargas *et al.* (2008), en Nayarit, México, donde la fluctuación entre las temperaturas máximas estuvo entre los 26,8 a 33,4 °C, siendo esta diferencia de 6,6 °C.

Las temperaturas mínimas presentaron una mayor variación en este estudio que las máximas, fluctuando entre los 7,97 °C (febrero de 2012) época de verano y los 10,50 °C (marzo de 2013) al inicio periodo de lluvias, existiendo un diferencia de 2,53 °C, lo que difiere con lo señalado por Cossio-Vargas *et al.* (2008), en condiciones semitropicales en la que se registraron variaciones en las temperaturas mínimas de 11,1 °C., sin que se presentaran efectos negativos sobre la floración o cuajamiento de fruto.

La diferencia entre la temperatura de suelo máxima y mínima durante todo el estudio fluctuó entre los 16,5 °C (julio de 2012), periodo seco y 20,24 °C (septiembre de 2012) época de lluvia, siendo en promedio de 1,49 °C, lo que muestra que la variación en la temperatura del suelo fue mucho menor que la observada en el ambiente (Figura 2-19). Sin embargo, los promedios mensuales de las temperaturas máximas del suelo tuvieron mayor variación que las del aire. En este estudio las temperaturas máximas del suelo variaron entre los 17,06 y los 20,24 °C, existiendo una diferencia de 3,18 °C. Las temperaturas mínimas del suelo, variaron entre 16,50 °C (julio de 2012) y 17,65 °C (abril de 2013), siendo la diferencia de 1,15 °C (Figura 2-21). Los resultados aquí encontrados muestran que las temperaturas mínimas del suelo no limitaron el crecimiento de las raíces, ya que éstas siempre estuvieron por encima de los 13,5 °C, indicados como críticos para el crecimiento de las raíces del aguacate (Whiley *et al*., 1990).

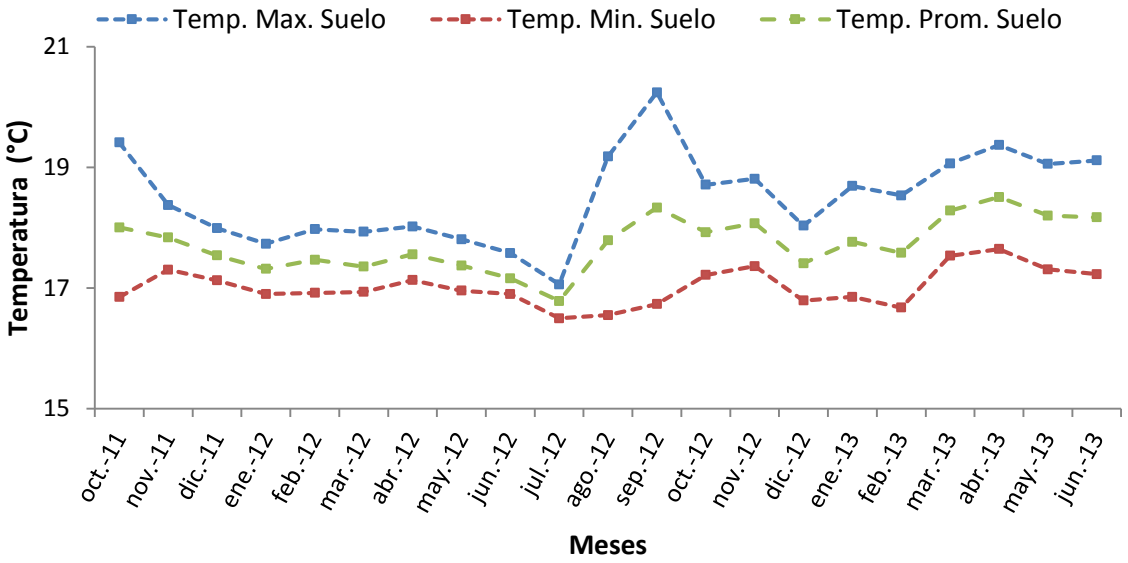


Figura 2-21. Temperatura del suelo a 30 cm (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011 - 2013).

En general, las temperaturas máximas, promedio y mínimas del suelo en Entrerríos, siempre estuvieron por encima de las temperaturas promedio y mínimas del ambiente, lo cual indica el efecto "buffer" que tiene el suelo (Figura 2-22).

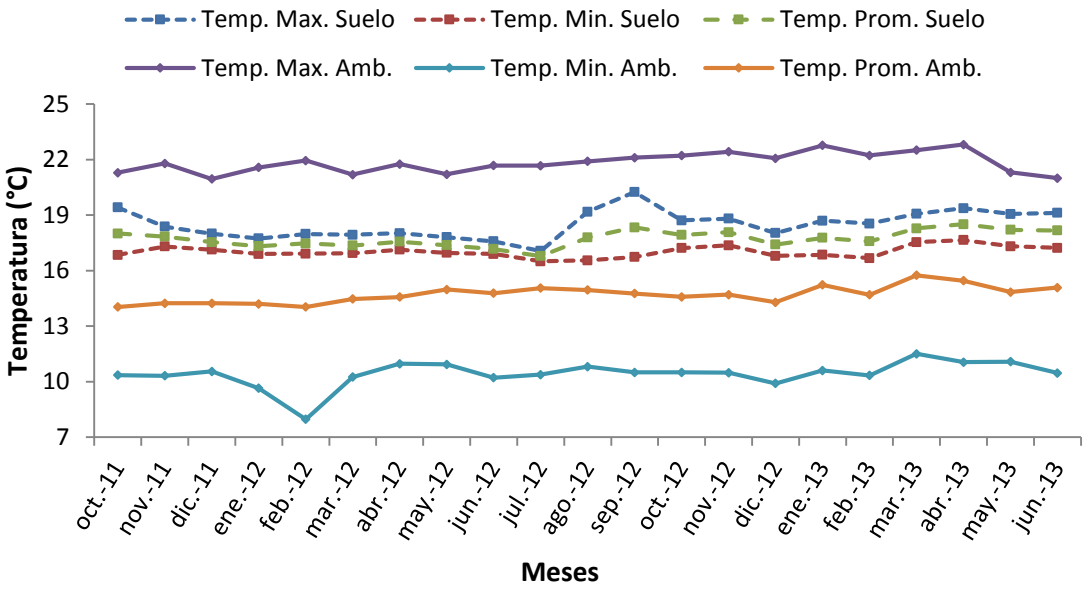


Figura 2-22. Temperaturas ambiente y de suelo a 30 cm (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011 - 2013).

En los años evaluados, las temperaturas máximas, promedio y mínimas, tanto del suelo como del ambiente tuvieron muy poca variación (Figura 2-21). Sin embargo, las temperaturas ambientales presentaron mayor rango de diferencia entre los valores máximos y mínimos, superando los 10 °C, siendo de 10,92 °C en 2011, 10,4 °C en 2012 y 11,03 °C en 2013, para las temperaturas ambientales, mientras que las del suelo fueron de 2,22 °C para 2011, 1,33 °C para 2012 y 1,94 °C para 2013 (Figura 2-23). Con lo anterior se reafirma el efecto “buffer” del suelo, que permite mantenerlo más cálido cuando las temperaturas ambientales son bajas y más frío cuando las temperaturas ambientales son altas.

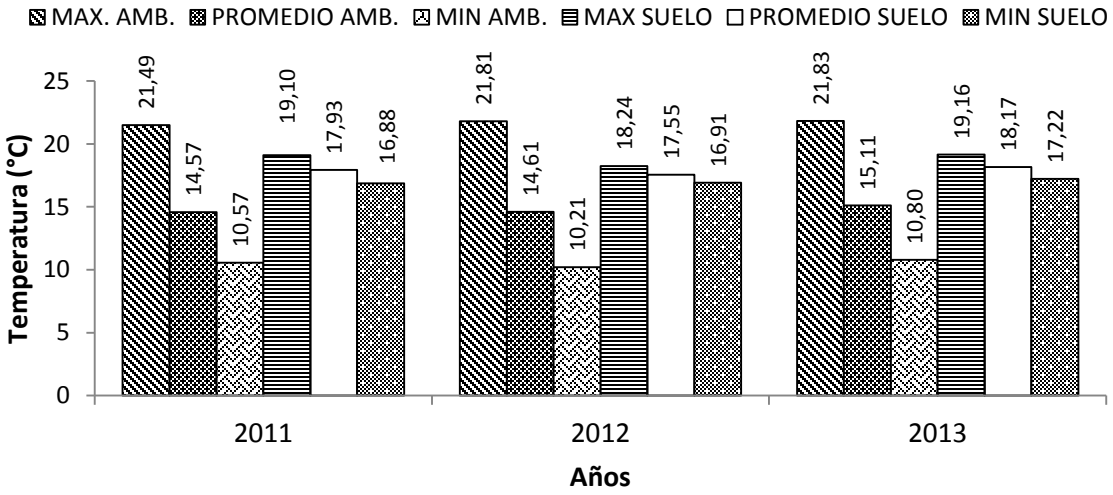


Figura 2-23. Temperatura anual máxima, promedio y mínima ambiental y del suelo en Entrerríos, Antioquia (2.400 msnm) (2011-2013).

2.4.2 Rionegro (2.147 msnm)

2.4.2.1 Flujos de crecimiento vegetativo

Durante el período de evaluación se observaron dos flujos vegetativos, cada uno con diferente intensidad y duración. El primer flujo vegetativo registrado en julio de 2012, fue de alta intensidad (75,95 %), en la segunda época de baja precipitación de ese año (junio-septiembre). El segundo flujo vegetativo fue el de mayor intensidad (100 % de los brotes) y ocurrió en abril del año siguiente, coincidiendo también con una época de baja precipitación (Figura 2-24). Ambos flujos vegetativos tuvieron la misma duración, de cuatro meses. A diferencia de lo ocurrido en Entrerríos, aquí solo se presentaron dos flujos de crecimiento vegetativo y además, su máxima intensidad se observó en épocas de baja precipitación, pero precedidos de un periodo de lluvias.

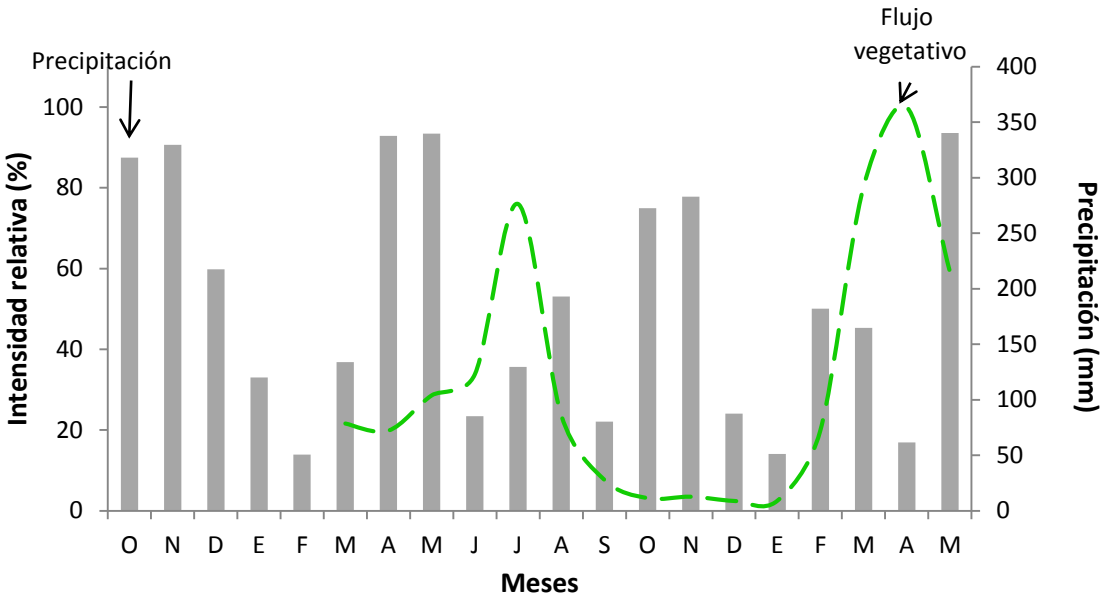


Figura 2-24. Flujos de crecimiento vegetativo en aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Rionegro, Antioquia (2011-2013).

2.4.2.2 Desarrollo floral

Durante los 18 meses de evaluación se presentaron dos flujos marcados de floración, los cuales fueron promovidos por la precipitación y se desarrollaron en épocas secas (Figura 2-25). En 2012 el primer flujo de floración, de mayor intensidad relativa con un 100 % de las yemas, se observó en el mes de marzo, en temporada seca (Figura 2-23). El segundo flujo floral, el de menor intensidad con el 67 % de las yemas, se exteriorizó hacia el mes de agosto en la mitad del segundo periodo de lluvias de año (Figura 2-23). En esta localidad con la máxima floración (100 %) en el primer flujo, solamente el 21 % representó un flujo simultáneo de crecimiento vegetativo, lo cual significa un bajo porcentaje de inflorescencias indeterminadas, siendo el 80 % de ellas inflorescencias determinadas, cantidad muy alta si se considera que solo entre un 5 y 20 % de todas las inflorescencias producidas por un árbol de aguacate, son determinadas (Schroeder, 1944; Salazar-García y Lovatt, 1998); con pocas excepciones, las inflorescencias de tipo indeterminado son más abundantes (Cossio-Vargas *et al*., 2007a), mientras que las inflorescencias de tipo determinado tienden a ser más productivas.

En Nueva Zelanda la relación determinadas-indeterminadas es 50:50, mientras en California puede ser de 10:90 (Dixon y Sher, 2002). El segundo flujo con más del 50 % de las yemas en floración, ocurrió desde el mes de diciembre de 2012 hasta marzo de 2013, alcanzando una intensidad relativa del 70 % en el mes de febrero de 2013 (Figura 2-25).

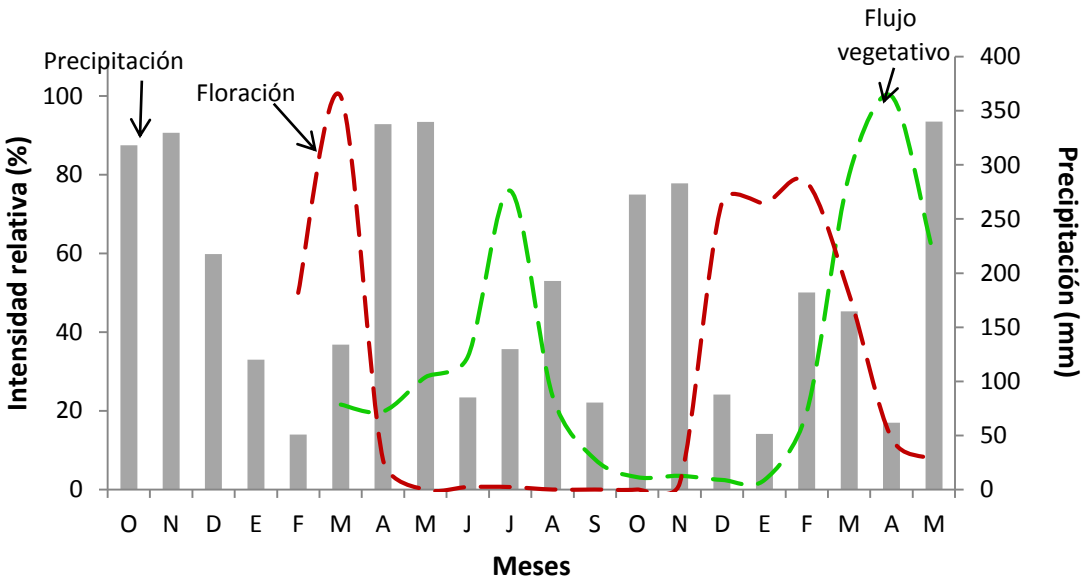


Figura 2-25. Flujos de crecimiento vegetativo y desarrollo floral del aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Rionegro, Antioquia (2011-2013).

El segundo periodo de floración tuvo una duración mayor, se inició en febrero y se desarrolló en marzo de 2013, época en la que aproximadamente un 55,55 % de inflorescencias fueron indeterminadas. El hecho de presentarse un mayor porcentaje de inflorescencias determinadas en esta localidad, podría indicar un mayor cuajamiento de fruto y probablemente que un mayor número de frutos llegan a madurez, lo que implica obviamente mayor rendimiento. El potencial de amarre de cada tipo de inflorescencia es diferente. Basados en datos de amarre inicial, Bertling y Kohne (1986) predijeron un amarre de frutos más alto para las inflorescencias determinadas del aguacate cv. Fuerte.

Se cree que el reducido amarre de fruto en las inflorescencias indeterminadas se debe a una competencia con el crecimiento vegetativo, el cual se desarrolla en el lapso en que las inflorescencias están reteniendo frutos, lo que supone que si al momento de la floración se establece un programa incorrecto de fertilización, riego o poda, prácticas que estimulan el crecimiento vegetativo durante el periodo crítico para la retención del fruto, se tiene como resultado un incremento en la caída de éste y pérdida de producción.

Esto se debe a que existe una competencia por carbohidratos, agua y/o reguladores de crecimiento, entre otros (Teliz, 2000). Al mismo tiempo que la floración y el cuajado avanzan, se incrementa la competencia entre el fruto y el crecimiento vegetativo. Este antagonismo se hace más agudo en inflorescencias indeterminadas, en las cuales el ápice vegetativo inicia su crecimiento durante o después de la elongación de la inflorescencia. El brote vegetativo continúa su expansión durante la antesis y retención del fruto (Zilkah *et al.,* 1987; Cutting y Bower, 1990; Whiley, 1990b; Bower y Cutting, 1992). En forma individual o en combinación, estos factores pueden reducir el cuajado de fruto. La manipulación de la floración para cambiar estas relaciones en forma temporal podría ayudar a incrementar el amarre de fruto y el rendimiento (Teliz, 2000). Se advierte que los flujos florales en esta localidad, se presentaron prácticamente en la misma época, lo que significa un comportamiento cíclico del cv. Hass bajo estas condiciones.

2.4.2.3 Requerimientos hídricos

En esta localidad, teniendo en cuenta los datos mensuales históricos (promedio de 40 años) del tanque de evaporación de la estación climatológica mas cercana al sitio de evaluación, localizada en el municipio de Rionegro (Estación C.I. La Selva), a 1.180 msnm y utilizando la fómula propuesta por FAO (2006), ETc = Eo x Kc, se obtuvieron los requerimientos hídricos mensuales para árboles adultos de aguacate cv Hass en esa zona (Tabla 2-3).

En este caso, los requerimientos hídricos anuales del aguacate cv. Hass en Rionegro, están alrededor de 1.194,9 mm al año y al igual con lo encontrado en la región del altiplano norte, esta cantidad está dentro del rango reportado por Galán-Sauco (1990) para este cultivar, donde los requerimientos hidricos para el aguacate fluctúan entre 665 mm y mas de 2.000 mm año^{-1} y puede ser un requerimiento típico para una región tropical alta. Los 1.194,9 mm corresponden al 60% de la evaporación anual que es de 1.998,9 mm, mostrando una menor eficiencia de los árboles de aguacate en el uso del agua en esta zona comparada con la anterior (Tabla 2-3).

Tabla 2-3. Requerimientos hídricos mensuales de árboles adultos de aguacate cv. Hass en Rionegro, Antioquia.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	∑
Eo[1]	62,8	84,4	132,7	210,2	242,0	186,4	165,6	181,7	205,4	229,6	194,5	103,4	1998,9
Kc	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
ETc	93,5	91,1	106,2	94,3	98,6	106,0	113,2	117,5	109,4	93,7	86,1	85,3	1194,9

[1]E_o expresados en mm/mes.

De acuerdo con las condiciones climáticas históricas registradas por la misma estación, la precipitación supera a la evapotranspiración del cultivo durante once meses del año. Solo en el mes de enero la precipitación fue mayor a los requerimientos hídricos de la planta, preséntandose un déficit de apenas 5,4 mm. Los meses más lluviosos (abril y octubre) superan en 3,5 veces los requerimientos hídricos del cultivo, lo que demuestra el exceso de agua y por tanto la necesidad de establecer el cultivo en suelos con excelente drenaje y adecuada escorrrentía superficial, de tal manera que no se generen encharcamientos, perjudiciales para el buen desarrollo de los árboles (Figura 2-26).

De septiembre de 2011 a junio de 2103, los períodos de menor precipitación se presentaron en febrero, junio y septiembre de 2012 y enero y abril de 2013, observándose un déficit hídrico en febrero de 2012 de 15,8 mm, en enero de 2013 de 16,92 y en abril del mismo año de 7,25 mm; cabe destacar que las floraciones se presentaron 30 dias despúes de este déficit lo que supondría que éste fue un factor inductor de la floración; sin embargo, este lapso es corto y como en el caso anterior, 4 meses antes de este evento, se presentó un período de alta precipitación, lo cual promovió la floración, que se desarrolló en épocas secas (Figura 2-27).

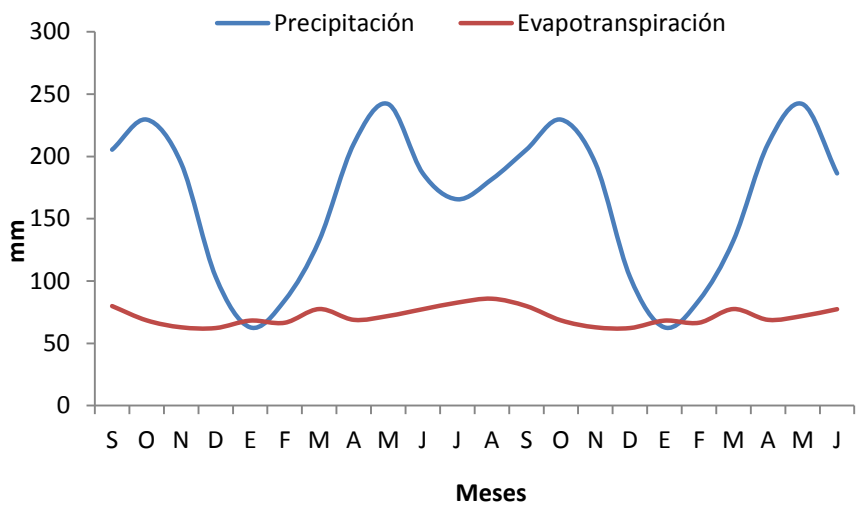


Figura 2-26. Balance hídrico entre la precipitación promedia anual y la evapotranspiración del cultivo de aguacate cv. Hass, Rionegro, Antioquia.

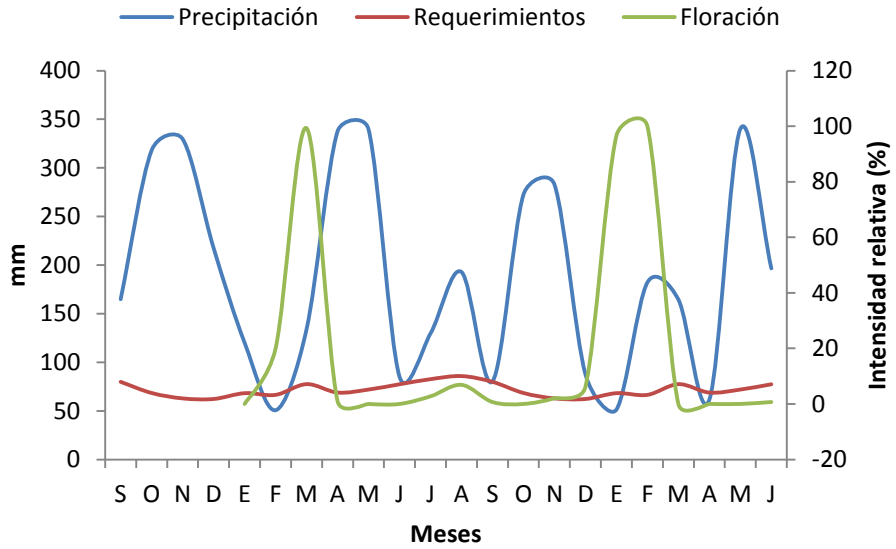


Figura 2-27. Requerimientos hídricos mensuales, precipitación y su relación con el comportamiento de la floración. Rionegro, Antioquia (sept. 2011 – jun. 2013).

2.4.2.4 Crecimiento de raíces

Durante los 18 meses de evaluación se presentaron cuatro flujos de crecimiento de raíces, dos de ellos de alta presencia y los otros dos en menor cantidad (Figura 2-28). En el año 2012 se registraron dos flujos, de los cuales el primero fue del 100 %, en el mes de junio el cual se había iniciado en mayo, época de lluvias del primer semestre del año; aunque este primer flujo se produjo en época de verano, la cantidad de precipitación presentada al inicio del flujo, fue suficiente para que éste se desplegara sin inhibición.

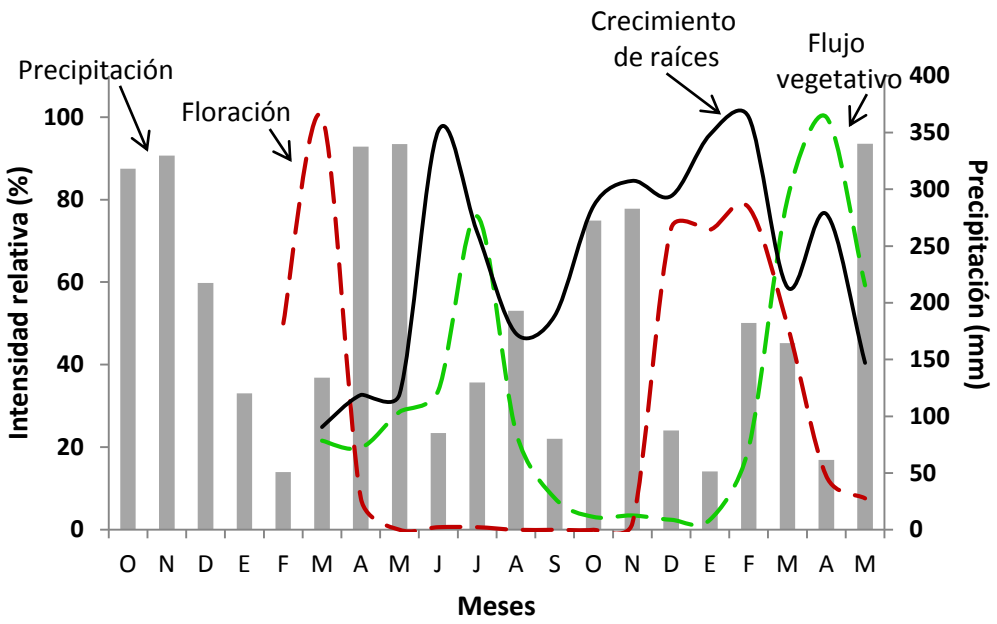


Figura 2-28. Comportamiento fenológico del cv. Hass, bajo las condiciones ambientales de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011 - 2013).

El tercer flujo de crecimiento de raíces sucedió en noviembre con una intensidad relativa del 84,54 % y coincidió con una época de precipitación media, que no se puede considerar seca o de alta precipitación. El cuarto flujo de crecimiento de raíces surgió en el mes de febrero de 2013 justo después de un repunte en la precipitación, que pasó de 52,3 mm en enero a 182,1 mm en febrero, etapa en la que se dio la máxima aparición. Se enfatiza que las condiciones climáticas en la zona de estudio, muestran un suministro casi permanente de lluvias, incluso en épocas de verano, es así como los meses de más baja precipitación en 2012 registraron 50,7 mm en febrero, 85,2 mm en junio y 80,3 mm en septiembre de 2012, 51,3 mm en enero y 61,6 mm en abril de 2013. Lo anterior sugiere un suministro constante de humedad en el suelo, de tal forma que aun en épocas consideradas de baja precipitación, se presentan como favorables para el crecimiento radical (Figura 2-28).

En esta localidad se observó un crecimiento casi continuo de la raíz, desde marzo de 2012 hasta mayo de 2013, fluctuando entre dos flujos de alta y menor intensidad, estos últimos por competencia del desarrollo de flujos vegetativos, tal como lo sugieren Scora *et al*. (2002), quienes argumentan que las raíces del aguacate inician su etapa de crecimiento rápido cuando el crecimiento vegetativo comienza a declinar. Posteriormente, comienza un segundo flujo de crecimiento vegetativo, restableciéndose de esta manera el equilibrio entre una fase de crecimiento radical y otra vegetativa.

2.4.2.5 Humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo fue poco variable, ya que los niveles de humedad fluctuaron entre 51,23 %, el más alto en diciembre de 2012 y 31,6 % el más bajo, en enero de 2013. En general, los niveles más altos de humedad oscilaron entre el 48,9 y 51,23 % y se registraron entre junio de 2012 y diciembre de 2012, es decir entre los dos

periodos de lluvia. En marzo de 2012 y enero de 2013, la humedad del suelo descendió hasta alcanzar el 31,67 y 31,57 %, respectivamente (Figura 2-25). Resultó interesante que cuando se presentaron las condiciones menos favorables de humedad en el suelo (31,57 %), se observó producción de raíces (95,73 %). A partir de esa fecha, se inició un nuevo flujo vegetativo; es decir que al aumentar el contenido de agua en el suelo se favoreció el desarrollo del nuevo flujo de crecimiento (Figura 2-29). Es necesario aclarar que por tratarse de un suelo de textura franco arenosa, los contenidos de humedad permanecieron más o menos estables, lo que supone que el contenido de humedad en promedio, nunca estuvo en saturación ni tampoco por debajo de niveles que fueran letales para el crecimiento de la planta.

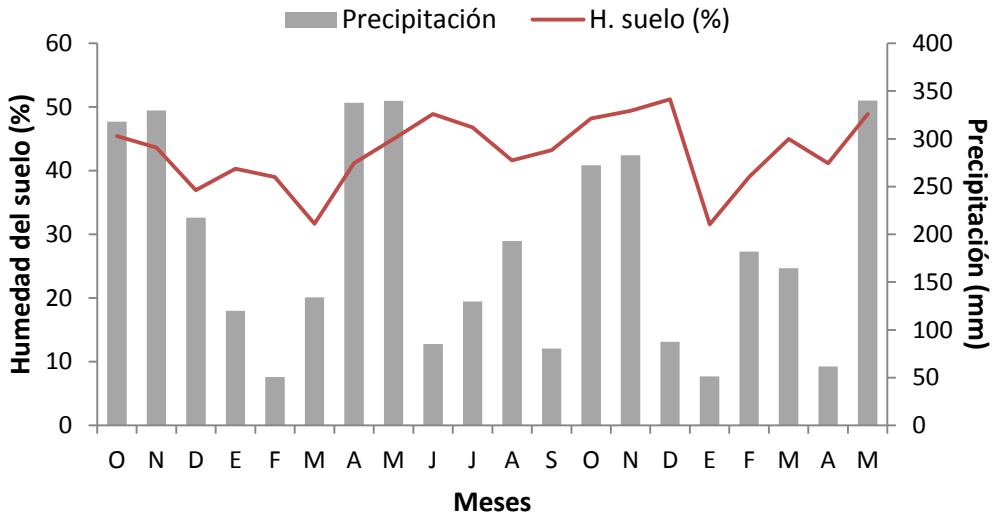


Figura 2-29. Valores mensuales de precipitación y de humedad promedio en el suelo, en Rionegro, Antioquia (2011-2013).

2.4.2.6 Caída de fruto

Durante el periodo de evaluación se presentaron dos épocas de caída de frutos, la primera de ellas, de mayor intensidad (100 %) tuvo su máxima aparición, un mes después del máximo flujo de floración (100 %) del año 2012, en época de lluvias; la segunda de menor intensidad (93 %), también se inició un mes después del flujo de floración, siendo su máxima expresión dos meses después de éste y la cual ocurrió en época de baja precipitación (Figura 2-26). Al igual que en el municipio de Entrerríos, la primera caída de fruto en abril de 2012, no estuvo influenciada por la cantidad de agua disponible, puesto que ocurrió justo en la época lluviosa de ese año, indicando que este factor no fue el determinante en este caso. Se trató entonces de una caída fisiológica de las estructuras reproductivas por simple competencia, corroborando lo expuesto por diferentes autores (Chandler, 1958; y Bergh 1967; Whiley *et al*., 1988; Wolstenholme *et al*., 1990; Teliz, 2000; Salazar-García, 2007), lo que ya fue discutido anteriormente en este capítulo. La primera caída de fruto (100 %), observada en abril de 2012, sucedió durante el primer período de lluvias de ese año y aproximadamente cuatro semanas después de la formación del fruto (Figura 2-30). Esta caída se dio cuando el fruto había alcanzado apenas un 7,8 % de su tamaño final, lo que coincide con los argumentos de Whiley *et al*.

(1988) y Wolstenholme *et al*. (1990), al afirmar que en aguacate, la planta ajusta su capacidad de nutrir a los frutos modificando su número, mediante la caída masiva de frutos recién cuajados durante las primeras tres a cuatro semanas y nuevamente, cuando el fruto ya ha alcanzado entre un 10 % y un 40 % de su tamaño.

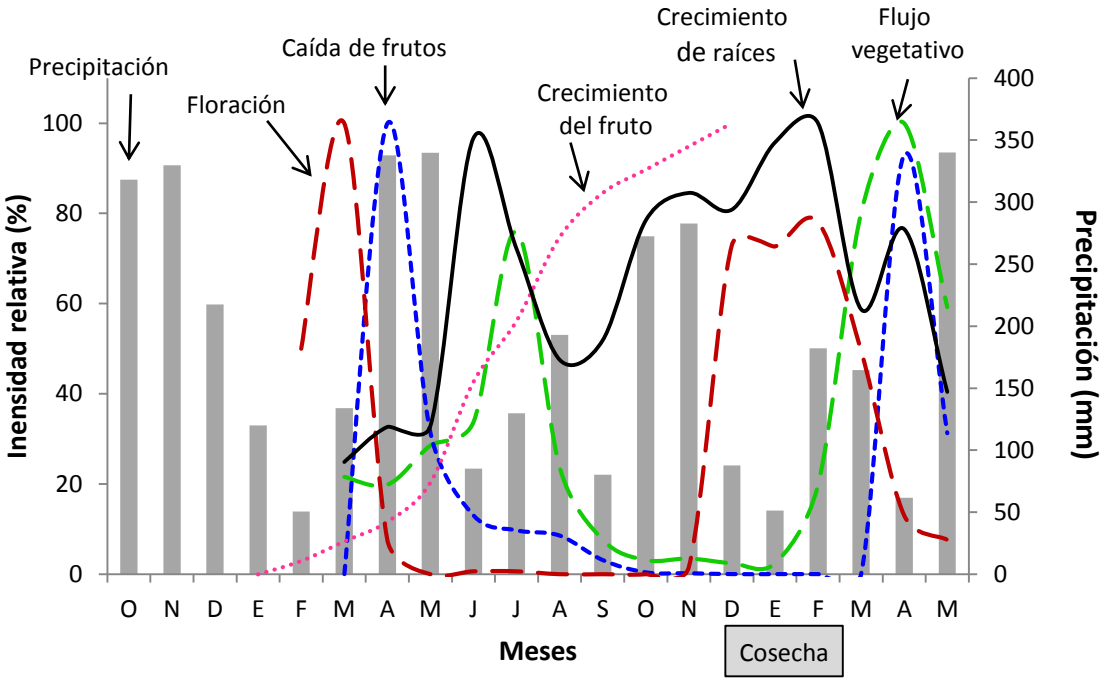


Figura 2-30. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones del municipio de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011 – 2013).

La segunda caída de fruto de menor intensidad, pero en general muy alta (93 %), ocurrió en abril de 2013, en época de menor precipitación y fue simultánea con el segundo flujo de crecimiento vegetativo de mayor intensidad (100 %) (Figura 2-30), lo cual fue la principal causa de la caída de fruto, ya que esta competencia también se puede presentar entre el crecimiento de frutos jóvenes y el crecimiento vegetativo (Bower y Cutting, 1988; Gazit y Degani, 2007). El desarrollo del fruto compite fuertemente con la aparición de raíces y brotes nuevos, reduciendo las reservas al mínimo al momento de la caída de frutos (Wolstenholme y Whiley, 1995; Rosales *et al*., 2003). Cossio-Vargas *et al*. (2007a) reportan una caída importante de frutos que marcan los periodos de competencia entre el crecimiento vegetativo y el desarrollo del fruto, afectando directamente la productividad.

Además de la competencia por el crecimiento vegetativo, esta caída ocurrió simultáneamente con un flujo de crecimiento de raíces (76,51 %), lo cual ocasionó otra gran competencia por fotoasimilados y consecuentemente causando el desprendimiento del fruto, como lo advierten Van der Walt *et al*. (1993), al asegurar que bajas reservas de almidón están correlacionadas con bajas intensidades de cuajado y producción, situación que ya fue discutida previamente.

2.4.2.7 Cosecha

La cosecha correspondió al fruto colectado entre diciembre de 2012 y febrero de 2013 (Figura 2-30), la cual ocurrió entre once y doce meses después del final de la antesis (caída de pétalos), entre febrero-marzo de 2012; frecuentemente la cosecha principal del cv. Hass en el oriente antioqueño, donde se adelantó este estudio se da entre diciembre y mayo (Mejía, 2011). Se aclara que durante el transcurso del estudio se realizaron varias cosechas que no están registrados en este capítulo y que serán objeto de análisis más adelante.

2.4.2.8 Temperatura del aire y suelo

La temperatura promedio durante todo el estudio (20 meses) fue de 17,46 °C; el mes más caluroso fue abril de 2013 con un promedio de 18,10 °C; el más frío fue octubre 2011 con 16,6 °C; las temperaturas medias variaron durante este periodo en 1,5 °C. Lo anterior evidencia lo argumentado por Jaramillo–Robledo (2005), en cuanto a que en el trópico no existe una marcada estación fría, como ocurre en zonas subtropicales, lo que ocasiona que la diferencia entre la temperatura promedio anual sea muy poca (no mayor a 4 °C) y lo que corrobora lo discutido anteriormente en este capítulo, en lo concerniente a que bajo las condiciones donde se desarrolló este estudio, la inducción floral no se produjo por cambios en la temperatura, sino que se debió a cambios en la cantidad de agua disponible en el suelo. Los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas del aire variaron muy poco a través del año, lo cual puede ser un indicio de que la temperatura no es un factor determinante en la aparición de ninguna de las manifestaciones fenológicas observadas en la planta (Figura 2-31).

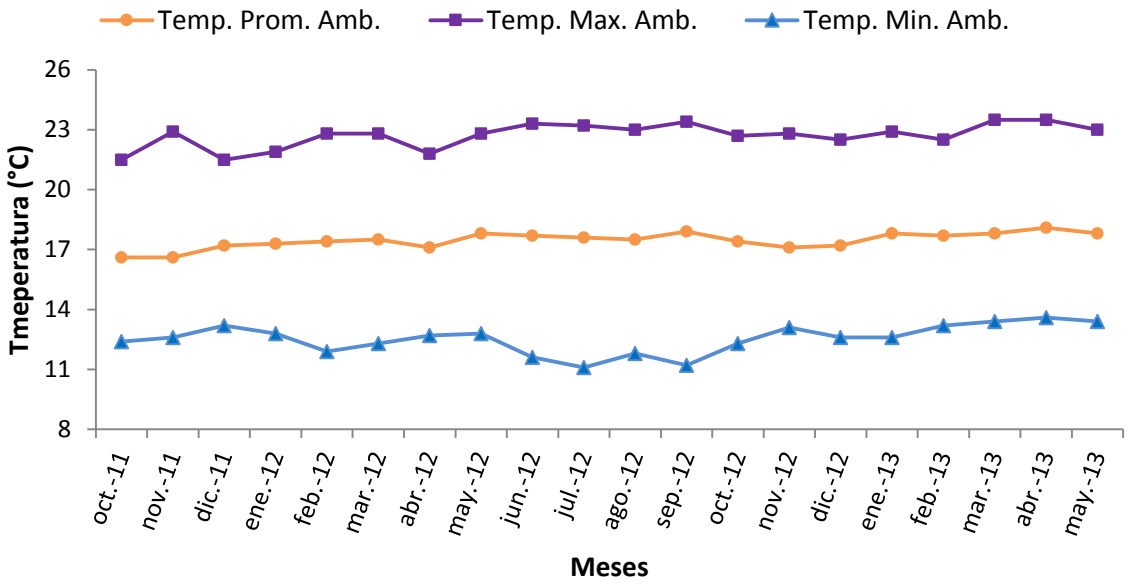


Figura 2-31. Temperatura ambiente (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011 - 2013).

La diferencia entre la temperatura ambiental máxima (23,5 °C) y la mínima (11,1 °C) durante todo el estudio fluctuó entre los 8,3 (diciembre de 2011), al final de la época lluviosa y 12,2 °C (septiembre de 2012) en la época de verano, siendo en promedio de 10,19 °C. Las temperaturas máximas durante el desarrollo del estudio se mantuvieron

entre 21,5 °C (octubre y diciembre de 2011) y 23,5 °C (marzo y abril de 2013), es decir 2,0 °C de diferencia, distinto a lo referenciado por Cossio-Vargas *et al.* (2008), en Nayarit, México, donde la fluctuación entre las temperaturas máximas estuvo entre los 26,8 a 33,4 °C, siendo esta diferencia de 6,6 °C. Las temperaturas mínimas ambientales presentaron una mayor variación que las máximas, fluctuando entre los 11,1 °C (julio de 2012) época de verano y los 13,6 °C (abril de 2013) al inicio periodo de lluvias, existiendo un diferencia de 2,5 °C, opuesto a lo registrado por Cossio-Vargas *et al.* (2008), cuya variación en la temperaturas mínimas fue de 11,1 °C, sin que se presentaran efectos negativos de estas temperaturas sobre la floración o amarre de fruto, lo que permite asegurar que si con esa diferencia de temperatura registradas en México, no hubo efectos negativos en floración y cuajamiento, mucho menos habrá con las diferencias encontradas en este estudio.
La diferencia entre la temperatura de suelo máxima y mínima durante todo el estudio fluctuó entre los 22,20 °C (enero de 2013), periodo seco y 16,70 °C (noviembre de 2011) época de lluvia, siendo en promedio de 5,5 °C, lo que muestra que la variación en la temperatura del suelo fue mucho menor que la observada en el ambiente (Figura 2-28). Los promedios mensuales de las temperaturas máximas del suelo tuvieron similar cambio que las del aire.

En este estudio las temperaturas máximas del suelo variaron entre los 20,1 (abril de 2012) y los 22,2 °C (noviembre de 2011), existiendo una diferencia de 2,10 °C. Las temperaturas mínimas del suelo, estuvieron entre 16,70 °C (enero de 2013) y los 19,00 °C (junio de 2012), siendo la diferencia de 2,30 °C (Figura 2-32). Los resultados aquí encontrados muestran que las temperaturas mínimas del suelo no limitaron el crecimiento de las raíces, ya que éstas siempre estuvieron por encima de los 13,5 °C, indicados como críticos para el crecimiento de las raíces del aguacate (Whiley *et al*., 1990).

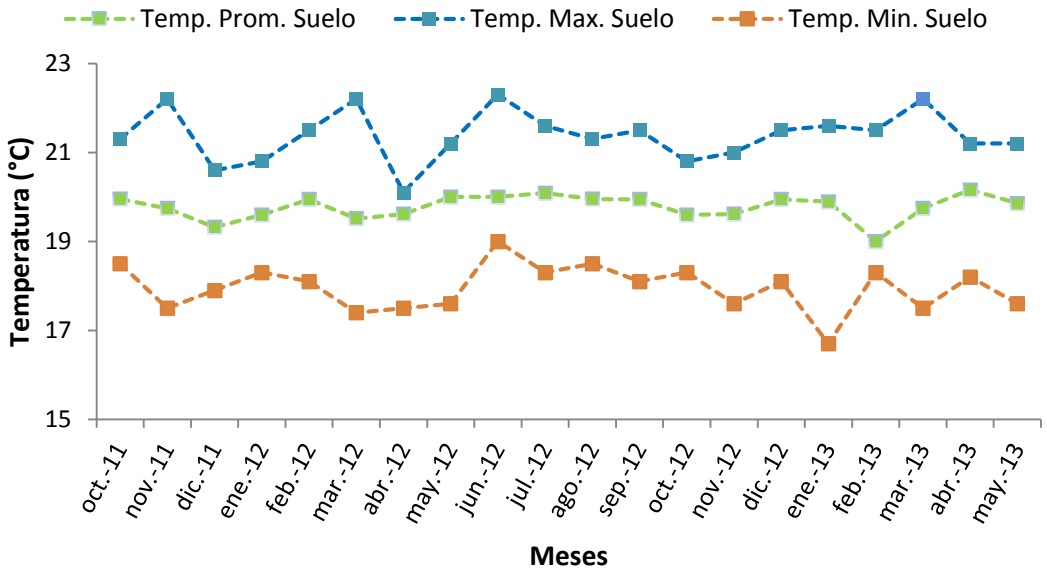


Figura 2-32. Temperatura del suelo a 30 cm (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011 - 2013).

En general, las temperaturas máximas, promedio y mínimas del suelo en Rionegro, siempre estuvieron por encima de las temperaturas promedio y mínimas del ambiente, lo cual indica el efecto amortiguador que tiene el suelo (Figura 2-33).

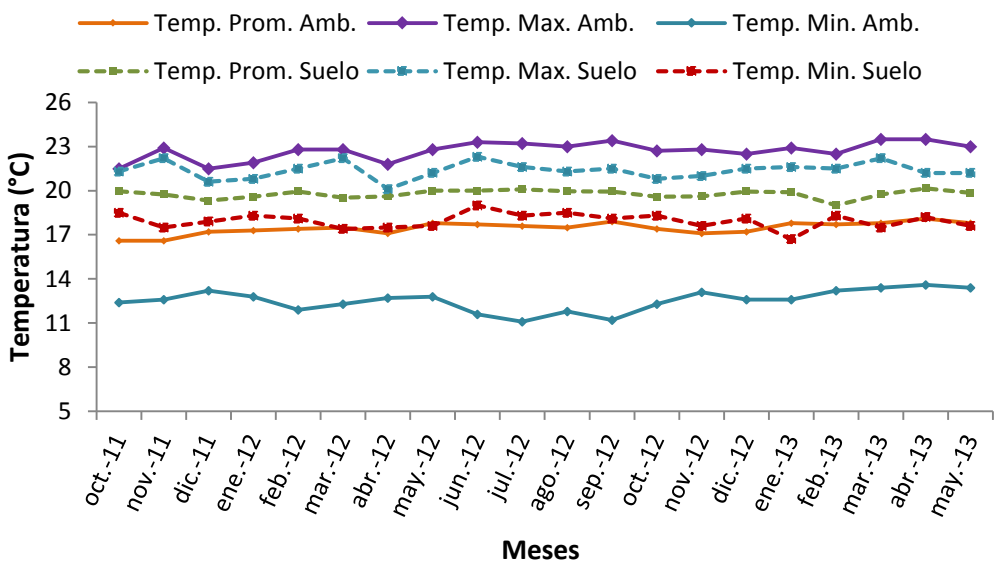


Figura 2-33. Temperaturas ambiente y de suelo a 30 cm (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Rionegro, Antioquia. (2.147 msnm) (2011 - 2013).

En los años evaluados, las temperaturas máximas, promedio y mínimas, tanto del suelo como del ambiente tuvieron muy poca variación (Figura 2-34). Sin embargo, las temperaturas ambientales presentaron mayor rango de diferencia entre los valores máximos y mínimos, superando los 10 °C, siendo de 10,4 en 2011, 10,47 en 2012 y 10,5 °C en 2013, para las temperaturas ambientales, mientras que las del suelo fueron de 3,7 °C para 2011, 3,25 °C para 2012 y 3,46 °C para 2013 (Figura 2-30). Con lo anterior se reafirma el efecto “buffer” del suelo, que permite mantenerlo más cálido cuando las temperaturas ambientales son bajas y más frío cuando las temperaturas ambientales son altas.

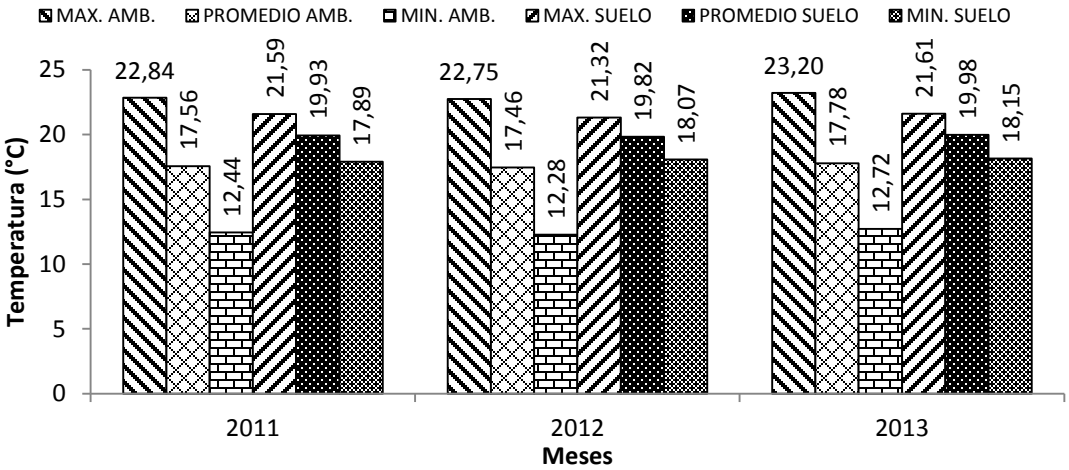


Figura 2-34. Temperaturas ambiental y del suelo (Máxima, Promedio y Mínima) bajo condiciones de Rionegro, Antioquia. (2.147 msnm) (2011 - 2013).

2.4.3 Jericó (1.900 msnm)

2.4.3.1 Flujos de crecimiento vegetativo

Durante el período de evaluación se observaron cuatro flujos vegetativos, cada uno con diferente intensidad y duración (Figura 2-35). El primer flujo vegetativo ocurrió entre marzo y junio de 2012, presentando su máxima manifestación entre los meses de marzo y abril con una alta intensidad (74 %), en la época de mayor precipitación de ese año (marzo-junio). El segundo flujo vegetativo fue de similar intensidad que el anterior, aunque un poco mayor (75,7 % de los brotes) y ocurrió en agosto, durante un periodo de lluvias de término medio (Figura 2-35).

El tercer flujo vegetativo, también de similar intensidad y ligeramente superior al anterior (81,3 %), se registró en enero de 2013, justo en la época de menor precipitación de ese año. De allí en adelante y después de que la precipitación aumentó, ocurrió el cuarto flujo vegetativo, el cual fue el de mayor intensidad (100 %), con una máxima intensidad relativa en el mes de marzo de 2013.

De acuerdo con lo encontrado en 2012, se dieron dos flujos vegetativos diferentes, que ocurrieron en ambos semestres del año y de igual intensidad relativa, mientras que en 2013, se puede asegurar que a pesar de presentarse dos flujos, estos estuvieron prácticamente “encadenados” y los árboles mostraron un crecimiento vegetativo durante todo el primer semestre (desde enero hasta junio de 2013 (Figura 2-35).

En todos los casos, los flujos vegetativos encontrados se apreciaron aproximadamente 60 días después de una alta precipitación y como ya se mencionó en este mismo capítulo, esta respuesta coincide con Rocha-Arroyo *et al*. (2008), quienes encontraron en la zona de Michoacán (México), tres flujos vegetativos (invierno, primavera y verano para ellos) en el mismo año y de diferente intensidad. Como lo mencionan Cossio-Vargas *et al.* (2008), la ocurrencia de flujos vegetativos en distintas épocas podría interpretarse como una característica de adaptación del aguacate cv. Hass, lo que incrementa las posibilidades de obtener una cosecha minimizando la alternancia productiva causada por la falta de sitios de fructificación.

En esta localidad el inicio de cada flujo vegetativo, a diferencia con lo ocurrido en Entrerríos, coincidió con el descenso de las lluvias y su aparición, no estuvo relacionada con la precipitación en ese momento, sino que se dio como resultado de un aumento en los niveles de lluvia dos o tres meses previos al evento, tal como se observó en Rionegro (Figura 2-35).

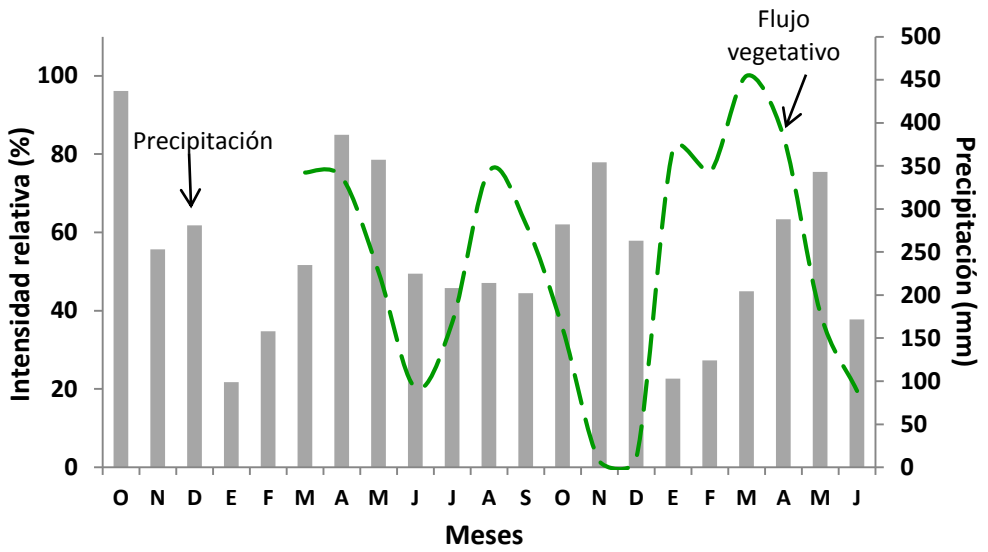


Figura 2-35. Flujos de crecimiento vegetativo en aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011-2013).

2.4.3.2 Desarrollo floral

Durante los 18 meses de evaluación se presentaron dos flujos marcados de floración de alta intensidad (99 y 100 %), los cuales fueron inducidos por la reducción en la precipitación (Figura 2-36). En 2012 el primer flujo de floración (99 % de las yemas), se observó en el mes de marzo, en temporada seca (Figura 2-32). El segundo flujo floral, el de mayor intensidad con el 100 % de las yemas, se registró hacia el mes de febrero de 2013, coincidiendo con la temporada más seca de todo el período evaluado (Figura 2-36). En general, los flujos de floración, fueron promovidos por la precipitación y se desarrollaron en épocas secas. Trabajos realizados por Davenport (1986); Wolstenholme *et al*. (1990); Salazar-García y Lovatt (2002); Gazit y Degani (2007) y Pérez *et al*. (2007), demostraron que en regiones subtropicales y templadas la temperatura es el principal factor responsable de la transición de las yemas en latencia a fase reproductiva y es determinante en el inicio, duración e intensidad del proceso de floración en árboles de aguacate, mientras que Whiley (1990b) manifiesta que en regiones donde una disminución en la temperatura no es suficiente para lograr una detención completa del crecimiento vegetativo, en tanto que un déficit hídrico de corta duración (2 meses) es favorable para la inducción floral.

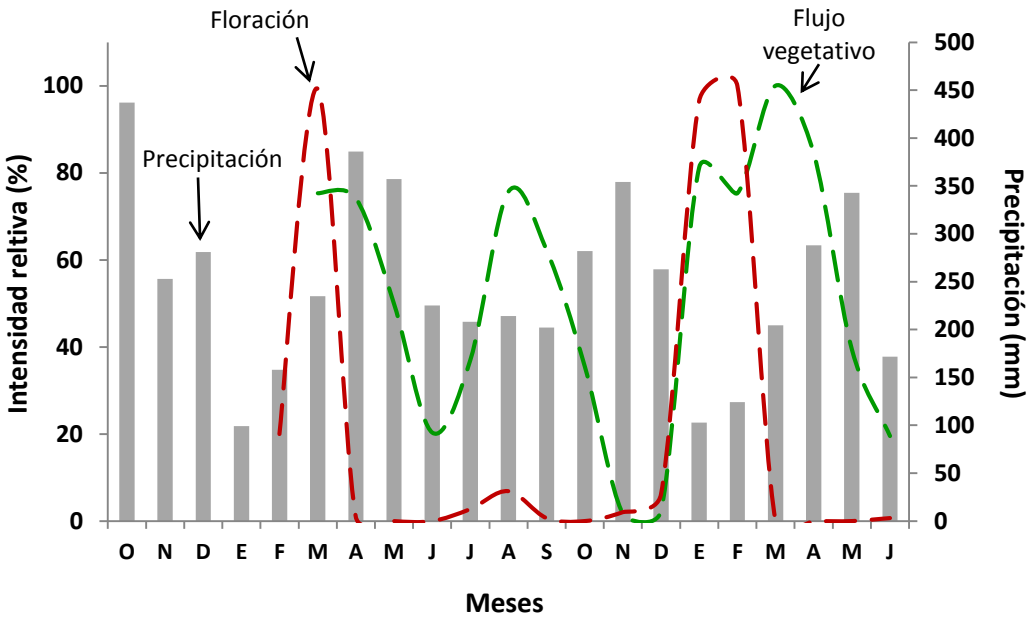


Figura 2-36. Flujos de crecimiento vegetativo y desarrollo floral del aguacate cv. Hass vs. Precipitación, en Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011-2013).

Se recalca que en esta localidad ambos flujos de floración presentaron un flujo simultáneo de crecimiento vegetativo del 75 %, lo cual significa un alto porcentaje de inflorescencias indeterminadas, siendo el 25 % de ellas, inflorescencias determinadas (Figura 2-36), cantidad similar a la señalada por algunos investigadores quienes aseguran que sólo del 5 al 20 % de todas las inflorescencias producidas por un árbol de aguacate, son determinadas (Schroeder, 1944; Salazar-García y Lovatt, 1998); con pocas excepciones, las inflorescencias de tipo indeterminado son más abundantes (Cossio-Vargas *et al*., 2007a), mientras que las inflorescencias de tipo determinado tienden a ser más productivas. Como ya se discutió anteriormente, la mayor presencia de inflorescencias indeterminadas en esta localidad significa una mayor competencia por fotoasimilados y por ende un menor cuajamiento en comparación con lo presentado en Rionegro. De otra parte se observó en este predio, que los flujos florales ocurrieron en la misma época del año (primer trimestre del año), lo que demuestra que hay expresión constante de la floración del cultivar bajo estas condiciones.

2.4.3.3 Requerimientos hídricos

Como en los casos anteriores, considerando los datos promedios mensuales históricos (promedio de 25 años) del tanque de evaporación de la estación climatológica más cercana al sitio de evaluación, localizada en el municipio de Jardín (Estación Jardín) a 2.005 msnm y utilizando la fómula propuesta por FAO (2006), ETc = Eo x Kc, se obtuvieron los requerimientos hídricos mensuales para árboles adultos de aguacate cv. Hass, en esa zona (Tabla 2-4).

En estas condiciones, los requerimientos hídricos anuales del aguacate cv. Hass, son de aproximadamente 1.062 mm al año y al igual con lo encontrado en las regiones del altiplano norte y oriente, esta cantidad está dentro del rango reportado por Galán-Sauco,

(1990) para este cultivar, con precipitaciones que varian entre 665 mm y mas de 2.000 mm año^{-1}. Estos 1.062 mm representan apenas un 40,6 % de la evaporación anual que es de 1.998,9 mm, mostrando una menor eficiencia de los árboles de aguacate en el uso del agua en esta zona comparada con las dos anteriores. En esta localidad la precipitación siempre fue muy superior a los requerimientos del cultivo todo el año (Tabla 2-4).

Tabla 2-4. Requerimientos hídricos mensuales de árboles adultos de aguacate cv. Hass en Jardín, Antioquia.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	∑
Eo[1]	109,4	143,9	227,3	264,5	308,2	242,3	188,3	207	258,6	273,3	230,7	162,2	2615,7
Kc	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
ETc	91,8	86,3	95,2	85,2	84	84,5	97,1	100,4	91,8	86,6	77,9	81,2	1062,0

[1]Eo expresados en mm/mes.

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas históricas de la misma estación, se observa que la precipitación superó a la evapotranspiración del cultivo durante todos los meses del año. En los meses más lluviosos (mayo y octubre) la preciptacion superó en 5 y 4,3 veces respectivamente, los requerimientos hídricos del cultivo; incluso en la época seca (enero), la precipitación superó en 1,63 veces el agua requerida por el cultivo (Figura 2-37). En este caso se observa un exceso de agua, pues solo el 40 % de ésta es requerida por las plantas, mientras el restante 60% podría acumularse en el suelo causando problemas de encharcamiento; por lo anterior, y en especial en esta localidad donde el exceso de agua es notable, se hace necesario contar con suelos muy bien drenados, con profundidad efectiva y nivel freático superiores a 1,0 m, con texturas livianas que favorezcan la formación de un sistema radical denso y muy ramificado (Avilan *et al*., 1989). El aguacate se adapta a una gran gama de suelos, desde los arenosos hasta los arcillosos, siempre y cuando posean un buen drenaje interno, factor que es de vital importancia (Galan-Sauco, 1990).

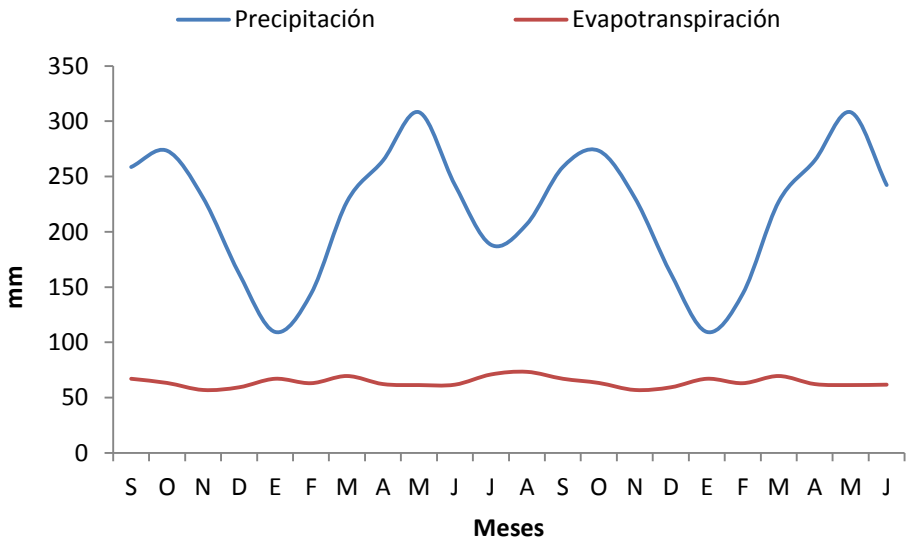


Figura 2-37. Balance hídrico entre la precipitación promedia anual y la evapotranspiración del cultivo de aguacate cv. Hass, Jardín, Antioquia.

En el período comprendido entre septiembre de 2011 a junio de 2103, la floración en 2012 (marzo) se observó 60 dias después de la época seca (enero); sin embargo, no se presentó un defcit hídrico, lo cual podría no ser éste el factor inductor. La floración en 2013, coincidió con la época seca del mismo año, lo cual, tal como ha sido observado en las otras localidadaes, 4 meses antes de la floración se presentaron lluvias abundantes que promovieron este evento (Figura 2-38). Cabe destacar que en el período seco de mitad de año (2012) en esta zona, no se presentó floración debido a que ese período seco fue de más baja intensidad que el observado en la época más seca del año y no fue suficiente para que ésta se desarrollara.

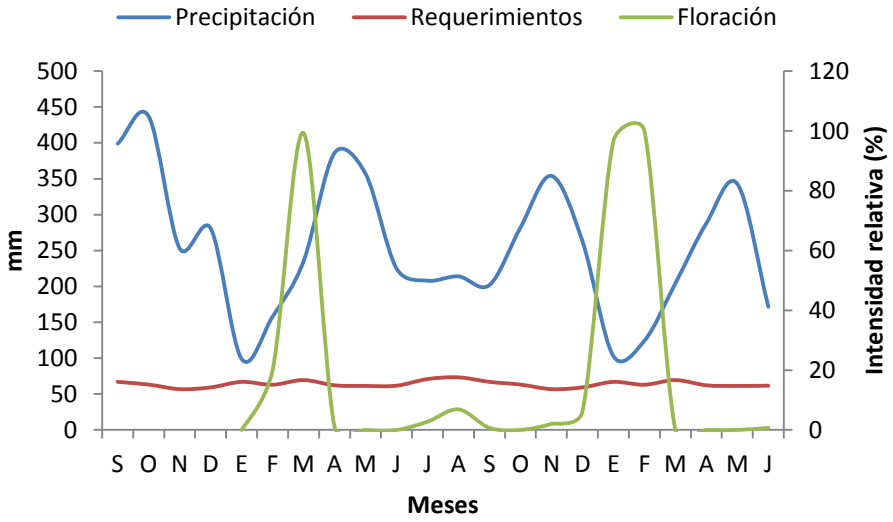


Figura 2-38. Requerimientos hídricos mensuales, precipitación y su relación con el comportamiento de la floración. Jericó, Antioquia (sept. 2011 – jun. 2013).

2.4.3.4 Crecimiento de raíces

Durante los 18 meses de evaluación se presentaron tres flujos de crecimiento de raíces, dos de ellos con alta intensidad relativa (99 y 100 %) los cuales ocurrieron el mismo año durante las dos épocas de mayor precipitación (marzo-junio y agosto-noviembre, respectivamente). Un tercer flujo de crecimiento de raíces de muy baja intensidad relativa (16 %) se observó en mayo de 2013, justo en la época de lluvias.

Los dos mayores flujos de crecimiento de raíces ocurrieron cuando los flujos de crecimiento vegetativo estaban en reducción (49,7 % y 35,5 %, respectivamente) (Figura 2-39), lo cual significa que por competencia en la disponibilidad de fotoasimilados, el crecimiento de raíces aumentó en la medida en que los flujos vegetativos disminuyeron, lo que coincide con lo expuesto por Scora *et al*. (2002), quienes argumentan que las raíces del aguacate inician su etapa de crecimiento rápido cuando el crecimiento vegetativo comienza a declinar. Posteriormente, comienza un segundo flujo de crecimiento vegetativo, restableciéndose de esta manera el equilibrio entre una fase de crecimiento radical y otra vegetativa. En este caso, en el momento del mayor crecimiento de raíces, las hojas de los flujos vegetativos poseían poder fotosintético, las cuales fueron importantes para suplir las necesidades de la raíz.

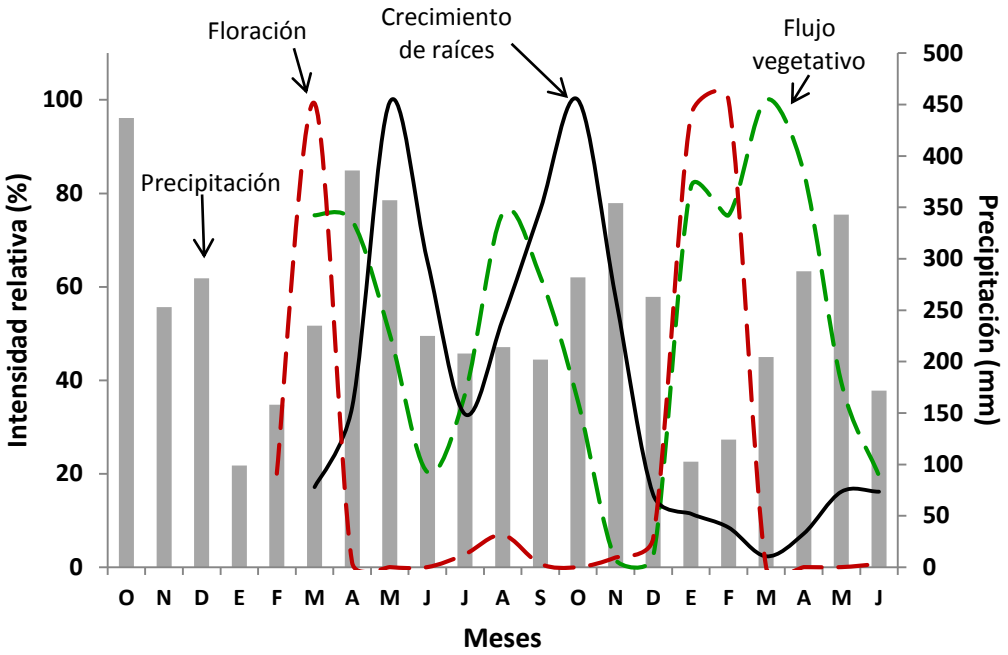


Figura 2-39. Comportamiento fenológico del cv. Hass, bajo las condiciones ambientales de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011 - 2013).

Se aclara que las condiciones climáticas donde se adelantó el estudio, muestran un suministro casi permanente de lluvias, incluso en épocas de verano, es así como los meses de más baja precipitación en 2012 registraron 99 mm en febrero y 202 mm en septiembre y en 2013, 102,8 mm en enero y 171,7 mm en junio del mismo año. Lo anterior sugiere un suministro constante de humedad en el suelo, de tal forma que aun en épocas consideradas de baja precipitación, se presentan como favorables para el crecimiento radical (Figura 2-39).

2.4.3.5 Humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo fue un poco más variable que en Rionegro; sin embargo, los niveles de humedad fluctuaron entre 32,42 %, la más alta en diciembre de 2012 y 10,85 % la más baja, en marzo del mismo año, con una diferencia de 21,57 % (Figura 2-40). En general, los dos niveles más altos de humedad oscilaron entre el 33,42 y 32,09 % y se registraron entre diciembre de 2012 y mayo de 2013, entre dos periodos de lluvia. En marzo de 2012 y febrero de 2013, la humedad del suelo descendió hasta alcanzar el 10,85 y 12,49 %, respectivamente (Figura 2-40).

En esta localidad, cuando se presentaron las condiciones menos favorables de humedad en el suelo (10,85 % marzo de 2012 y 12,49 febrero de 2013), se observó que la producción de raíces fue mínima (17,14 y 18,27 %, respectivamente), a pesar de que en estas mismas fechas los flujos vegetativos estaban presentes (74,1 y 75,3 %, respectivamente), debido a que 30 a 60 días antes el contenido de humedad en el suelo, fue suficiente para estimular el crecimiento vegetativo posterior, pero se presentaba en niveles muy detrimentales como para provocar el crecimiento de las raíces en esas fechas.

Cuando la humedad del suelo se incrementó, se inició un nuevo flujo de crecimiento de raíces (Figura 2-40), a excepción de lo ocurrido en mayo de 2013, en el que hubo un pequeño flujo de raíces de apenas un 16 % y que a pesar de existir un buen contenido de humedad en el suelo, no se estimuló su crecimiento, posiblemente debido a la competencia por fotoasimilados demandados por los flujos vegetativos y de cuajamiento del fruto.

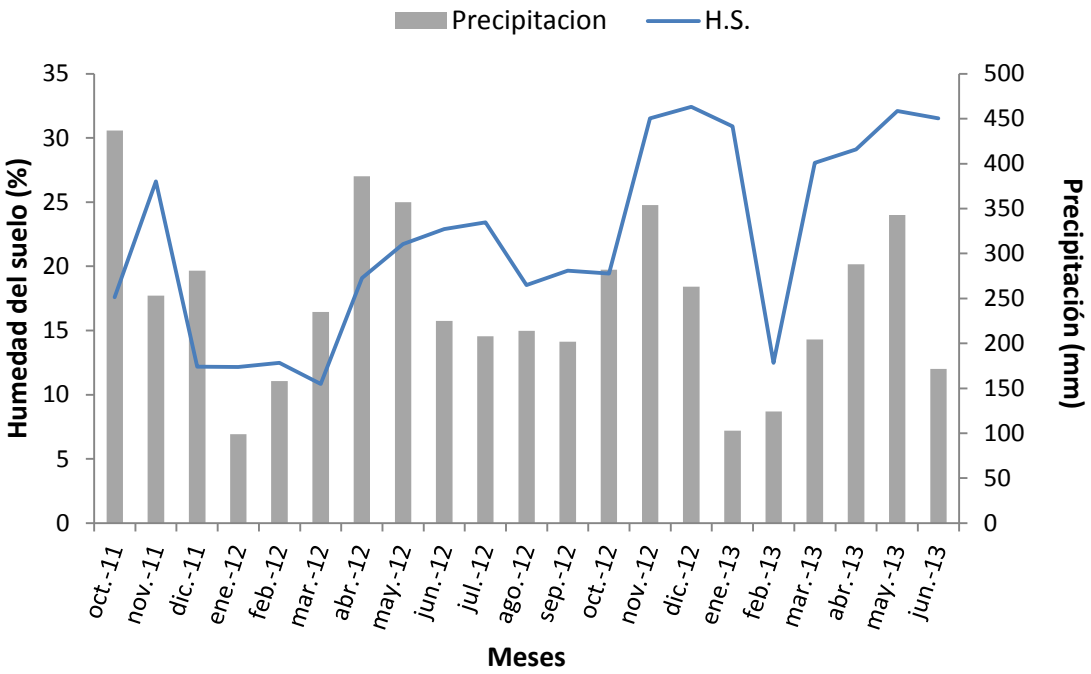


Figura 2-40. Valores mensuales de precipitación y de humedad promedio en el suelo, en Jericó, Antioquia (2011-2013).

2.4.3.6 Caída de fruto

Durante el periodo de evaluación se presentaron tres épocas de caída de fruto, la primera de ellas (mayo de 2012), de gran intensidad (95,41 %) tuvo su máxima aparición, 60 días después de un flujo de floración alto (99,31 %) del mismo año, en época de lluvias y cuando el fruto tenía aproximadamente un 53 % de su tamaño; la segunda caída, de menor intensidad (3,48 %), se presentó prácticamente 30 días antes del periodo de cosecha y aproximadamente 8 meses después del final de la antesis (Figura 2-41). Esta primera caída de fruto, coincide con lo reportado por Wolstenholme y Whiley (1995), Rosales *et al*. (2003) y Cossio-Vargas *et al*. (2007a), quienes aseguran que en aguacate, se presenta una caída importante de fruto debido a la competencia entre el crecimiento vegetativo, radical y el desarrollo del fruto, afectando directamente la productividad.

En este caso, esta caída se presentó principalmente por competencia con el crecimiento de raíces, el cual fue de gran intensidad (99,5 %) en esa misma fecha. Esta misma situación se repitió con la segunda época de caída fruto, la cual estuvo marcada por la competencia del crecimiento de raíces en esa misma etapa. Resulta importante afirmar que los períodos de caída de fruto en esta localidad, difieren con lo reportado por Whiley

et al. (1988) y Wolstenholme *et al*. (1990), quienes indican que en aguacate, la planta ajusta su capacidad de nutrir a los frutos modificando su número, mediante la caída masiva de frutos recién cuajados durante las primeras tres a cuatro semanas y nuevamente, cuando el fruto ya ha alcanzado entre un 10 % y un 40 % de su tamaño. En este caso la primera caída se observó 60 días y la segunda, 240 días después de la máxima floración. No hay una explicación porqué los tiempos de caída de fruto fueron tan disimiles a lo informado por la literatura, lo que si queda claro es que si se presentaron los dos períodos observados en casi todas las zonas productoras a nivel mundial y que éstos, en este caso, estuvieron acentuados por la competencia por fotoasimilados y además, por el exceso de agua en el suelo, como lo indica Alfonso (2008), quien asegura que el exceso de precipitación durante la floración y la fructificación, reducen la producción y provoca la caída de fruto.

La tercera caída de fruto, de mayor intensidad (100 %) se presentó en mayo de 2013, aproximadamente 180 días después de la máxima floración, observada en febrero de ese año, en época de gran precipitación, manteniendo la tendencia observada en las caídas anteriores, donde el tiempo entre el periodo de floración y la primera caída de fruto en esta localidad fue "retardada", situación que no fue observada en las anteriores localidades y diferente a lo informado en la literatura.

Posiblemente el aspecto climático de la localidad pudo influenciar este "retraso". Llama la atención que los tres periodos de caída de fruto (mayo y noviembre de 2012 y mayo de 2013) coincidieron con la presencia de altas precipitaciones en esos periodos (357, 354 y 342,9 mm, respectivamente). Se insiste en el hecho de que los más altos niveles de caída de fruto (99 y 100 %), se presentaron el mismo mes de 2012 y 2013), lo que demuestra un comportamiento cíclico del evento (Figura 2-41).

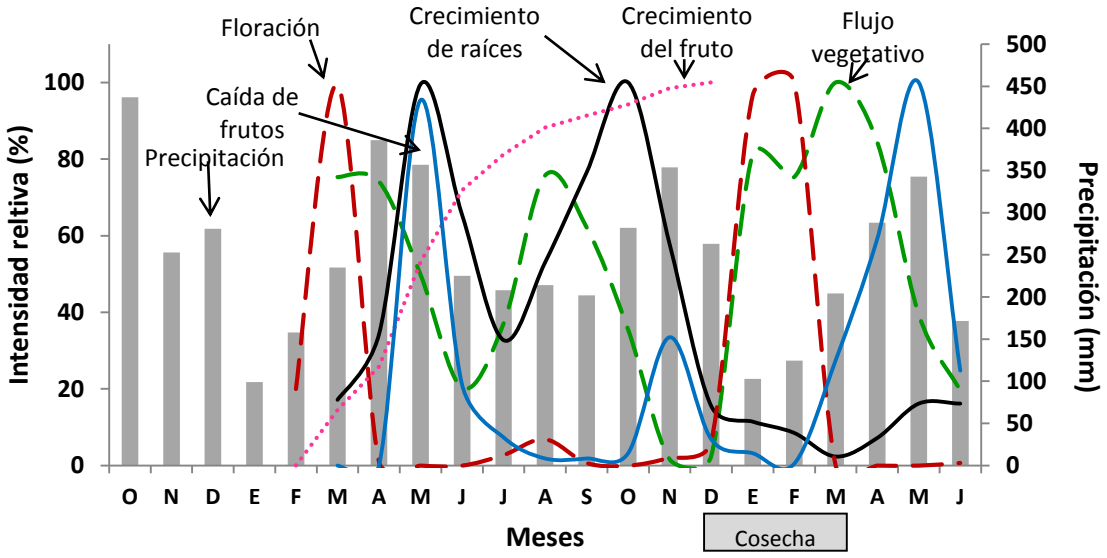


Figura 2-41. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011 – 2013).

2.4.3.7 Cosecha

La cosecha obtenida en esta localidad correspondió al fruto colectado entre diciembre de 2012 y marzo de 2013, la cual ocurrió entre diez a doce meses después de la floración presentada en marzo de 2012 (Figura 2-41), reduciéndose en aproximadamente un mes el período comprendido entre la floración y la cosecha, con respecto a la localidad de Rionegro, ubicada a un altura de 2.147 msnm y en dos meses, con la localidad de Entrerríos ubicada a 2.420 msnm. Frecuentemente la cosecha principal del cv. Hass, en el suroeste antioqueño, es entre octubre y enero (Mejía, 2011).

En Jericó, suroeste antioqueño, la época de cosecha se presentó en ese periodo, aunque se alargó por dos meses más, coincidiendo con la cosecha del oriente antioqueño; sin embargo, como se pude observar en este capítulo, en la localidad de Rionegro presentó esa cosecha a partir del mes de febrero de 2012, lo que significó al menos dos meses de adelanto en la obtención de fruto, lo cual obviamente representa el logro de mejores precios y mayor ingreso a los productores de esta zona del departamento. Lo anterior corrobora lo reportado por Popenoe (1919), quien estimó que la madurez del fruto se retrasa casi un mes por cada 300 m de aumento en la altitud donde se encuentren las plantas.

En condiciones del subtrópico la madurez del fruto se retrasa un mes por cada grado de aumento en la latitud. De este modo, la altitud y la latitud junto con las diferencias climáticas inciden en la época de cosecha para un mismo cultivar. Es necesario mencionar que las técnicas de manejo (particularmente el riego), pueden ser utilizadas, en ocasiones, para manipular la época de maduración del fruto (Lahav y Kalmar, 1977). Se manifiesta que durante el transcurso del estudio, se realizaron varias cosechas que no están registrados en este capítulo y que serán objeto de análisis más adelante.

2.4.3.8 Temperatura del aire y suelo

En esta localidad, al igual que en las anteriores la variación en las temperaturas ambientales entre el mes más frío y el más cálido fue muy poca. La temperatura promedio durante todo el estudio (20 meses) fue de 19,08 °C; el mes más caluroso fue enero de 2013 con un promedio de 20,16 °C; el más frío fue octubre de 2011 con 17,88 °C; las temperaturas medias variaron durante este periodo en 1,17 °C. Los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas del aire, al igual que en las localidades anteriormente analizadas, variaron muy poco a través del año, lo cual puede ser un indicio de que la temperatura no es un factor determinante en la aparición de ninguna de las manifestaciones fenológicas observadas en la planta, lo cual ya fue discutido anteriormente (Figura 2-42).

La diferencia entre la temperatura ambiental máxima promedio (28,23 °C) y la mínima (13,83 °C) durante todo el estudio fluctuó entre los 10,18 °C (noviembre de 2011), al final de la época lluviosa y 13,53 °C (septiembre de 2012), al final del segundo periodo de verano e inicio del segundo periodo de lluvias de ese año, siendo en promedio general esta diferencia, durante todo el periodo de evaluación, de 11,73 °C.

Las temperaturas máximas durante el desarrollo del estudio se mantuvieron entre 24,83 °C (noviembre de 2011) y 28,23 °C (enero de 2013), es decir 3,4 °C de diferencia, inferior a lo referenciado por Cossio-Vargas *et al.* (2008), para el estado de Nayarit (México),

ubicado entre los 20° 36' y los 23° 05' de latitud Norte, donde la fluctuación entre las temperaturas máximas estuvo entre los 26,8 a 33,4 °C, siendo esta diferencia de 6,6 °C. Las temperaturas mínimas ambientales presentaron una menor variación que las máximas, fluctuando entre los 13,83 °C (febrero de 2012) inicio de invierno y los 15,35 °C (abril de 2013) al inicio periodo de lluvias, existiendo un diferencia de 1,5 °C, muy inferior a lo señalado por Cossio-Vargas *et al*. (2008), al advertir que variación en las temperaturas mínimas fue de 11,1 °C., sin que se presentaran efectos negativos de estas temperaturas sobre la floración o amarre de frutos, lo que permite asegurar que si con esas diferencias de temperatura anunciadas por este autor, no hubo efectos negativos en floración y cuajado, mucho menos habrá con las diferencias encontradas en este estudio.

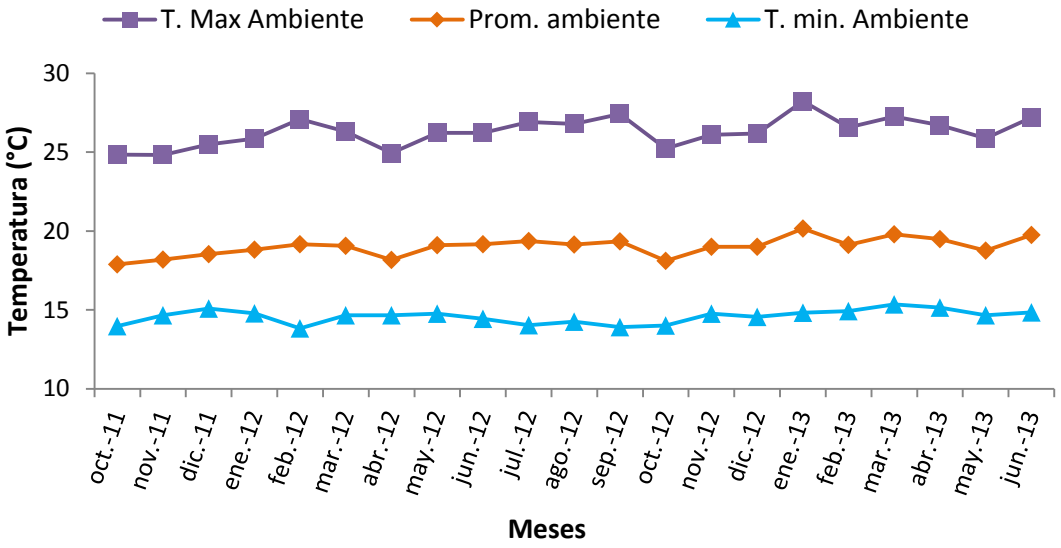


Figura 2-42. Temperaturas ambiente (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011 - 2013).

El comportamiento general de la temperatura (máxima, promedio y mínima) del suelo en esta localidad fue equivalente (22,09, 22,04 y 21,97 °C, respectivamente), presentándose diferencias muy escasas entre estos parámetros. La diferencia entre la temperatura de suelo máxima y mínima durante todo el estudio fluctuó entre los 23,24 °C (febrero de 2012) y 20,73 °C (mayo de 2013), ambos en época de lluvias, siendo la diferencia de 2,51 °C, lo que muestra que la variación en la temperatura del suelo fue mucho menor que la observada en el ambiente (Figura 2-43).

Los promedios mensuales de las temperaturas máximas del suelo tuvieron similar cambio que las del aire. En este estudio las temperaturas máximas del suelo variaron entre los 23,24 °C (febrero de 2012) y los 20,81 °C (mayo de 2013), existiendo una diferencia de 2,43 °C.

Las temperaturas mínimas del suelo, que tuvieron mayor fluctuación que la máximas, estuvieron entre 20,73 °C (mayo de 2013) y los 23,14 °C (junio de 2012), siendo la diferencia de 2,41 °C (Figura 2-43). Los resultados aquí encontrados muestran que las temperaturas mínimas del suelo no limitaron el crecimiento de las raíces, ya que éstas siempre estuvieron por encima de los 13,5 °C, indicados como críticos para el crecimiento de las raíces del aguacate, de acuerdo con lo señalado por Whiley *et al*. (1990).

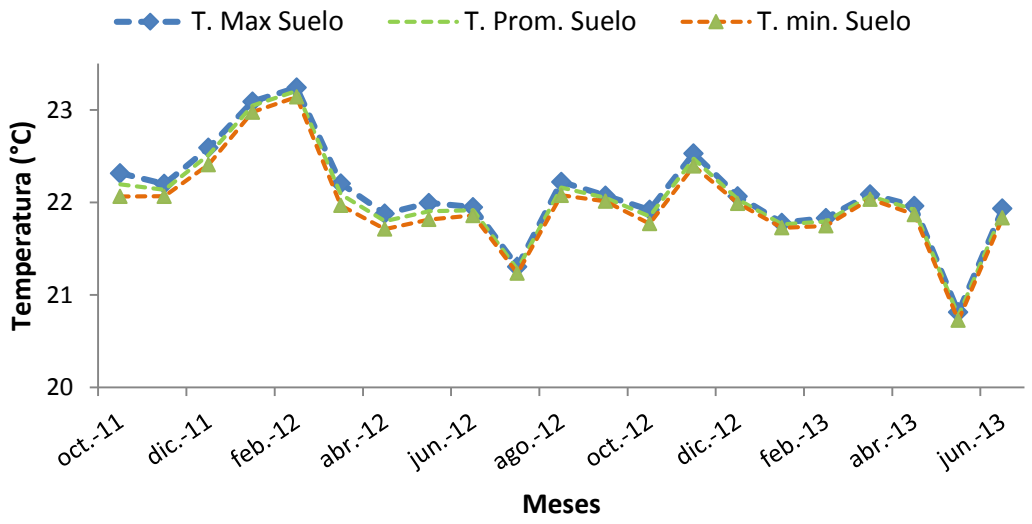


Figura 2-43. Temperaturas ambiente (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011 - 2013).

En general, las temperaturas máximas, promedio y mínimas del suelo, en Jericó, siempre estuvieron por encima de las temperaturas promedio y mínimas del ambiente y por debajo de las máximas, lo cual indica el efecto amortiguador que tiene el suelo (Figura 2-44).

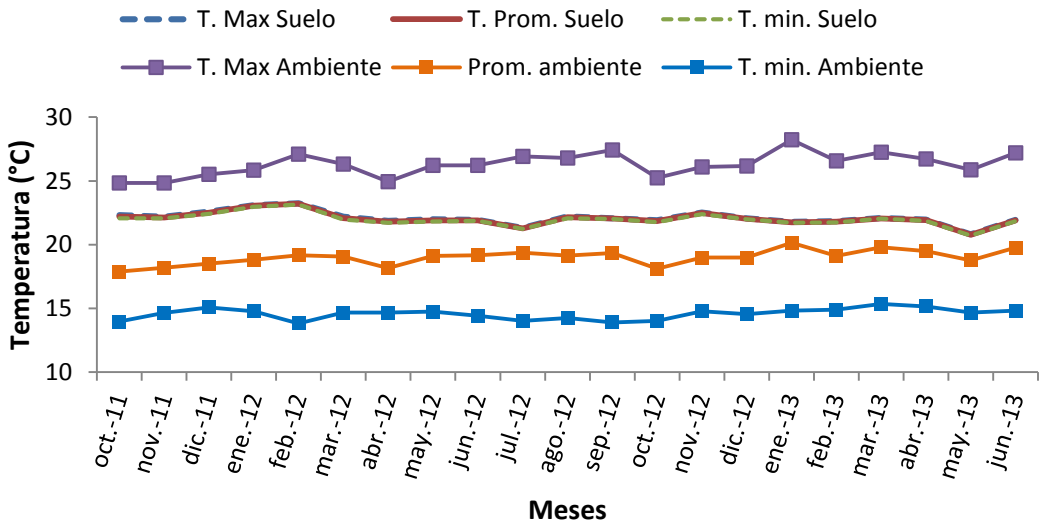


Figura 2-44. Temperatura ambiente y de suelo a 30 cm (máxima, promedio y mínima), bajo condiciones de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011-2013).

En el periodo de evaluación, las temperaturas máximas, promedio y mínimas, tanto del suelo como del ambiente tuvieron muy poca variación (Figura 2-39). Sin embargo, las temperaturas ambientales presentaron mayor rango de diferencia entre los valores máximos y mínimos, superando los 15 °C, siendo de 16,49 °C en 2011, 16,33 °C en 2012 y 17,53 °C en 2013, para las temperaturas ambientales, mientras que las del suelo fueron de 2,2 °C para 2011, 1,27 °C para 2012 y 0,92 °C para 2013 (Figura 2-45).

Con lo anterior se reafirma el efecto “buffer” del suelo, que permite mantenerlo más cálido cuando las temperaturas ambientales son bajas y más frío cuando las temperaturas ambientales son altas. Para destacar la poca diferencia entre los valores máximos y mínimos de la temperatura del suelo, posiblemente debido a la estructura del suelo (Franco-arcillo-arenosa), que difirió de la estructura presentada en las anteriores localidades, cuya variación en este parámetro, fue mayor y las cuales tenían una estructura un poco más desagregada (Franco-arenosa).

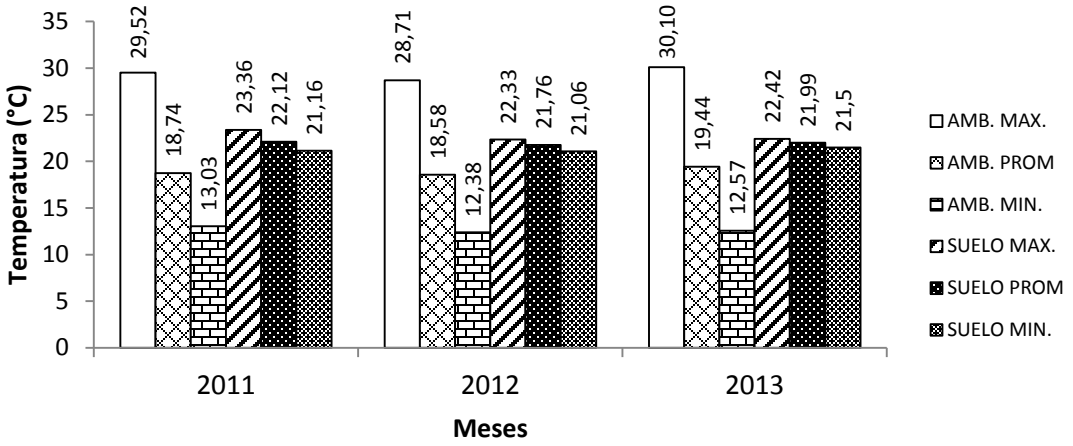


Figura 2-45. Temperaturas ambiental y del suelo (Máxima, Promedio y Mínima) bajo condiciones de Jericó, Antioquia. (1.900 msnm) (2011 - 2013).

2.4.4 Támesis (1.340 msnm)

2.4.4.1 Flujos de crecimiento vegetativo

Durante el período de evaluación, al igual que en Jericó, se observaron cuatro flujos de crecimiento vegetativo, cada uno con diferente intensidad y duración. En el año 2012, se presentaron dos flujos de muy pequeña intensidad (16,14 % en marzo y 8,77 % en junio), la primera en época de verano y la segunda en época de baja precipitación, que prácticamente muestran el poco rebrote de los árboles en este año. Dos flujos se registraron en 2013, el de mayor intensidad, con 100 % de intensidad relativa, ocurrido en enero, en época de verano y un segundo flujo de muy poca intensidad, con un 19,5 %, que se observó en el mes de abril, al inicio del primer periodo de lluvia de ese año.

Podría decirse que estos dos flujos se fusionaron, iniciándose en noviembre de 2012, terminando en junio del año siguiente (2013), lo cual de alguna manera suplieron la baja brotación del año anterior. Similarmente a lo observado en Jericó, en esta localidad, en 2012, sucedieron dos flujos vegetativos diferentes y de baja intensidad relativa, mientras que en 2013, se puede asegurar que a pesar de presentarse dos flujos, estos estuvieron prácticamente encadenados y los árboles mostraron un crecimiento vegetativo durante todo el primer semestre (desde enero hasta junio de 2013) (Figura 2-46). En todos los casos, los flujos vegetativos encontrados se presentaron aproximadamente 60 días después de una alta precipitación y como ya se mencionó en este mismo capítulo, esta

respuesta coincide con lo expresado por Rocha-Arroyo *et al*. (2008), quienes encontraron en la zona de Michoacán (México) tres flujos vegetativos (invierno, primavera y verano para ellos) en el mismo año y de diferente intensidad. Se resalta el escaso flujo de brotación en 2012, lo que indica la baja adaptación del cultivar bajo estas condiciones.

Al igual que en Jericó y Rionegro, en esta localidad el inicio de cada flujo vegetativo, a diferencia con lo ocurrido en Entrerríos, coincidió con el descenso de las lluvias y su aparición, no estuvo relacionada con la precipitación en ese momento, sino que se dio como resultado de un aumento en los niveles de lluvia dos o tres meses previos al evento (Figura 2-50).

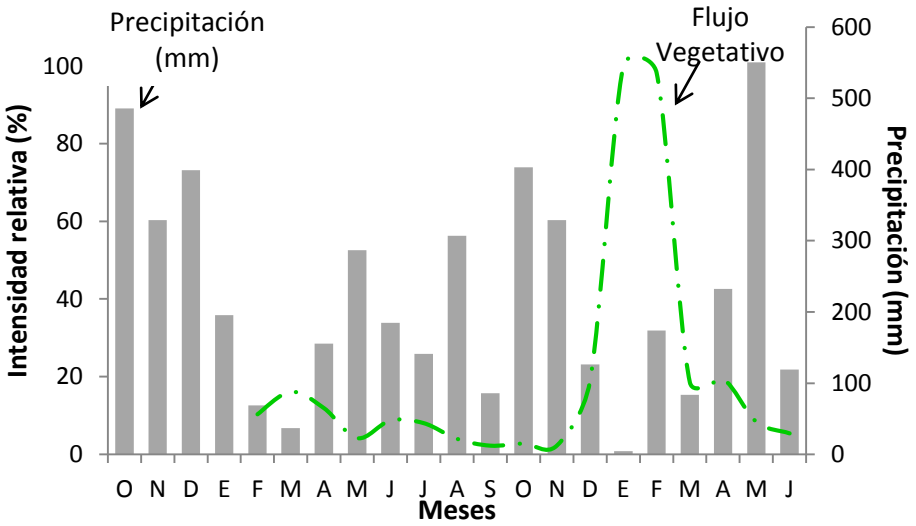


Figura 2-46. Flujos de crecimiento vegetativo en aguacate cv. Hass vs precipitación en Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011-2013).

2.4.4.2 Desarrollo floral

Durante los 18 meses de evaluación se presentaron cinco flujos marcados de floración de diferente intensidad. En 2012 se observaron tres flujos, el primero de ellos de gran intensidad, mientras que los dos subsiguientes fueron de muy baja aparición. El primer flujo de floración (100 % de las yemas), se observó en el mes de febrero, en temporada seca (Figura 2-47). El segundo flujo, fue apenas perceptible con un 4,25 % de intensidad, en junio, al igual que el tercero, que fue un poco más alto, pero con apenas un 5,85 %, se apreció en el mes de agosto. Se señala que todos estos flujos florales estuvieron acompañados simultáneamente, con brotes vegetativos (8,77 % y 4,03 %, respectivamente). La primera floración con una intensidad del 100 % en febrero, estuvo acompañado de un flujo vegetativo de baja intensidad (10,35 %); en marzo, cuando el flujo floral disminuyó a un 38,3 %, los brotes vegetativos aumentaron hasta un 16,14 %. En general, los flujos de floración, fueron promovidos por la precipitación y se desarrollaron en épocas secas.

Lo anterior da cuenta de la presencia de un gran porcentaje de inflorescencias determinadas, en esta localidad, que para el primer flujo floral seria de un 89,65 % en febrero y de un 83,86 % en marzo, lo cual difiere con lo informado por investigadores como Schroeder (1944) y Salazar-García y Lovatt (1998), quienes aseguran que solo entre un 5 al 20 % de todas las inflorescencias producidas por un árbol de aguacate, son determinadas con pocas excepciones; en tanto que las inflorescencias de tipo indeterminado son más abundantes (Cossio-Vargas *et al*., 2007a), mientras que las inflorescencias de tipo determinado tienden a ser más productivas. En Nueva Zelanda la relación determinadas-indeterminadas es 50:50, mientras en California puede ser de 10:90 (Dixon y Sher, 2002).

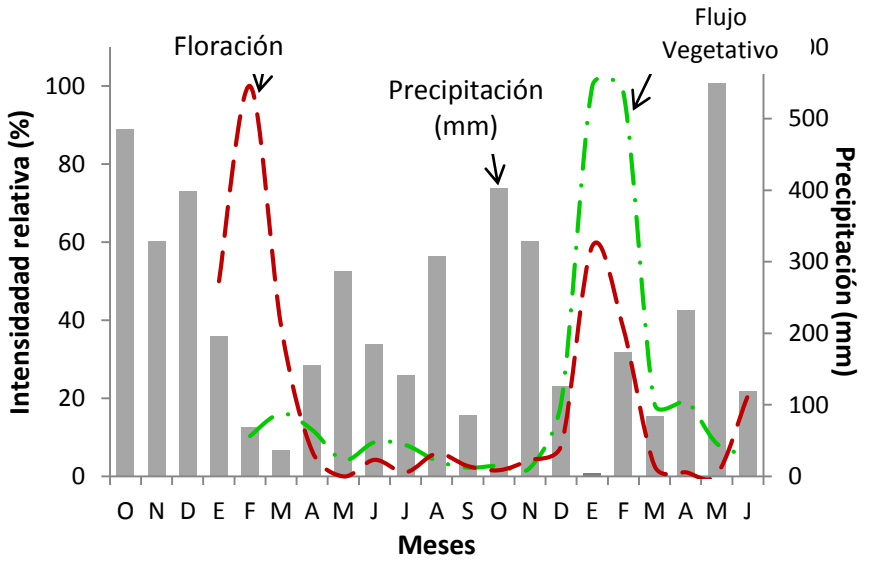


Figura 2-47. Flujos de crecimiento vegetativo y desarrollo floral del aguacate cv. Hass vs. Precipitación en Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011-2013).

Esta situación se explica por el hecho que el cv. Hass en esta localidad, como mecanismo de supervivencia florece en detrimento del crecimiento vegetativo y, contrariamente, cuando se obtienen brotes vegetativos, la floración es menor (Figura 2-47), lo cual es un síntoma inequívoco de alternancia productiva. La alternancia, vecería, añerismo o bianualidad productiva es un fenómeno que se caracteriza por un año de cosecha abundante (año “on”) seguido por un año de baja producción (año “off”) (Monselise y Goldschmitdt, 1982). Un ciclo de alternancia por lo general será el resultado de condiciones de manejo del huerto o de las condiciones del medio ambiente, que resultan, ya sea en una excepcional carga de los cultivos o en una muy pobre (Gardner y Lovatt, 2008). Previo a esto, el balance vegetativo: reproductivo, favorece el crecimiento vegetativo. En aguacate, es fácil observar el efecto inhibitorio de una fructificación alta sobre la iniciación floral de los brotes en una rama, comparada luego con una producción muy baja en ésta. Wolstenholme (2001) sugiere que la alternancia es mejor entendida si se establece como una jerarquía de factores controlables (hormonas, reservas de carbohidratos, decisiones de manejo) e incontrolables (clima y suelo, cultivar y porta injertos, evolución, eco fisiología) que la causan. En 2013, se pudieron detectar dos flujos florales, el primero de ellos, el cual correspondió al cuarto flujo floral manifestado, de menor intensidad con el 59,04 % de las yemas, se observó hacia el mes de enero de 2013, coincidiendo con la temporada más seca de todo el período evaluado (Figura 2-47).

Esta floración, también estuvo acompañada de un flujo vegetativo (59 %), que corresponde a inflorescencias indeterminadas, presentándose un 40 % de inflorescencias determinadas, valor muy alto, que sigue corroborando la situación que se presentó en esta localidad y que al respecto ya había sido tratado, para el año anterior. Una última floración se observó en el mes de junio de 2013, en época de verano, al final del periodo de evaluación y la cual se presentó con una intensidad relativa del 20 % y prácticamente sin acompañamiento de flujo vegetativo (Figura 2-47).

2.4.4.3 Requerimientos hídricos

Al igual que en las demás localidades, se consideraron los datos promedios mensuales históricos (promedio de 40 años) del tanque de evaporación de la estación climatológica más cercana al sitio de evaluación, localizada en el mismo municipio (Estación La Granja) a 1.151 msnm y utilizando la fómula propuesta por FAO (2006), ETc = Eo x Kc, se obtuvieron los requerimientos hídricos mensuales para árboles adultos de aguacate cv. Hass (Tabla 2-5). Bajo tales condiciones, los requerimientos hídricos anuales del aguacate cv. Hass, son de aproximadamente 1.372,4 mm al año, cantidad que está dentro del rango reportado por Galán-Sauco, (1990) (665 mm y 2.000 mm año^{-1}). Estos 1.372,4 mm representan apenas un 56,7 % de la evaporación anual que es de 2.420,4 mm, mostrando una menor eficiencia de los árboles de aguacate en el uso del agua en esta zona comparada con el altiplano y oriente, pero mayor que en Jardín (Tabla 2-5).

Tabla 2-5. Requerimientos hídricos mensuales de árboles adultos de aguacate cv. Hass en Támesis, Antioquia.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	∑
Eo[1]	85,8	103,6	151,4	232,8	291,1	192,9	180,4	198,7	265,2	315,1	240,1	163,3	2420,4
Kc	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
ETc	124,4	123,4	132,7	114,1	105,9	105,9	121,5	125,9	112,2	102	98,1	106,3	1372,4

[1]E_o expresados en mm/mes.

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas históricas registradas en la misma estación, la precipitación supera a la evapotranspiración del cultivo durante once meses del año. Solo en el mes de enero la precipitación fue mayor a los requerimientos hídricos de la planta, preséntandose un déficit de apenas 5 mm. Los meses más lluviosos (mayo y octubre) superaron en 3,7 y 4,2 veces respectivamente, los requerimientos hídricos del cultivo. Como se mencionó anteriormente se presenta una condición desfavorable para el cultivo por el exceso de agua, lo que implica la necesidad de establecer el cultivo en suelos con excelente drenaje y adecuada escorrrentía superficial, de tal manera que no se generen encharcamientos, perjudiciales para el buen desarrollo de los árboles (Figura 2-48).

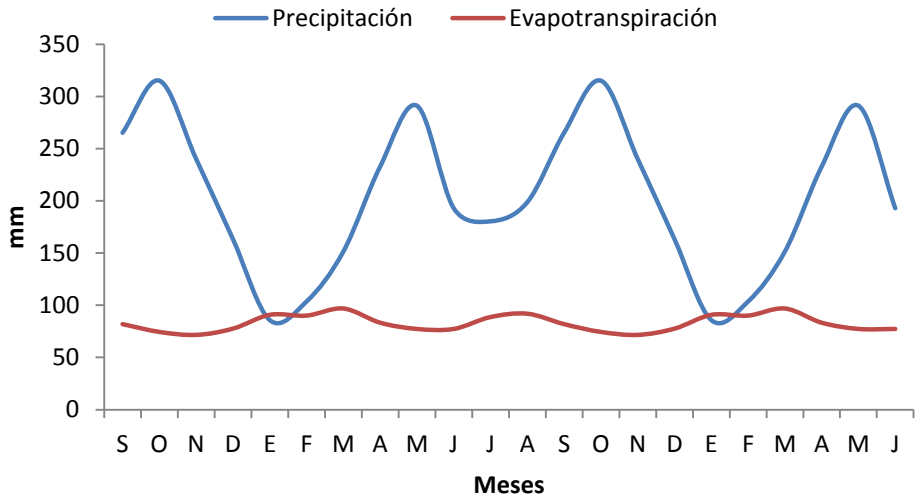


Figura 2-48. Balance hídrico entre la precipitación promedia anual y la evapotranspiración del cultivo de aguacate cv. Hass, Támesis, Antioquia.

Considerando el período comprendido entre septiembre de 2011 a junio de 2103, se observa que las floraciones se presentaron en forma simultánea en las épocas secas, donde incluso se observó un déficit hídrico, lo que implica que, como en los casos anteriores, esta etapa fenológica del cultivo, fue promovida por períodos lluviosos (4 meses antes, aproximadamente) y se manifestó en épocas secas (Figura 2-49).

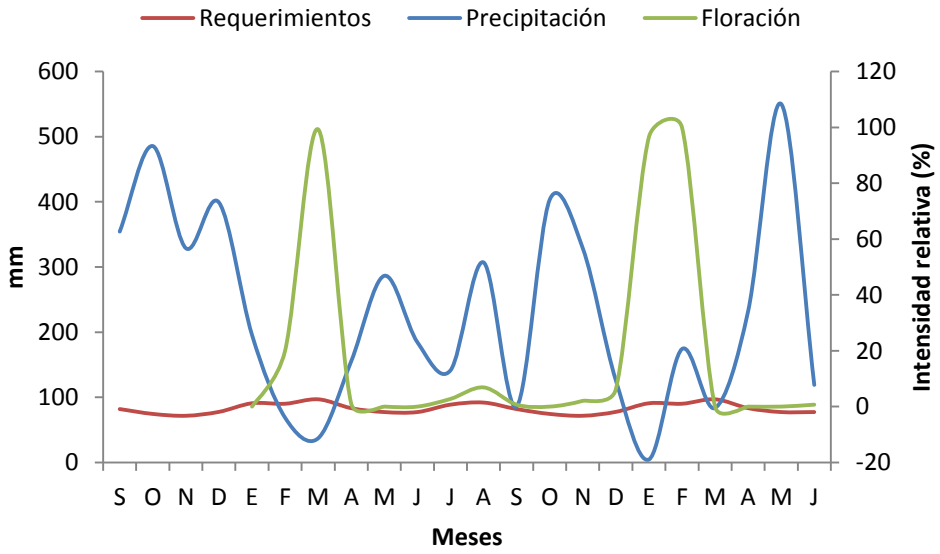


Figura 2-49 Requerimientos hídricos mensuales, precipitación y su relación con el comportamiento de la floración. Támesis, Antioquia (sept. 2011 – jun. 2013).

2.4.4.4 Crecimiento de raíces

Durante los 18 meses de evaluación se presentaron hasta seis flujos de crecimiento de raíces, en donde solo uno de ellos fue de alta intensidad relativa (100 %) (Figura 2-50). En 2012 se registraron cuatro flujos y en 2013, dos. El sucesivo crecimiento de raíces observado en 2012 ocasionó una inhibición del crecimiento vegetativo por competencia de

fotoasimilados entre éstos y la raíz, sumado al hecho de la demanda por parte de los frutos para su desarrollo (Figura 2-54); contrariamente, en 2103, cuando ocurrió gran flujo de crecimiento vegetativo (diciembre-marzo), el crecimiento de raíces presentó un intensidad relativa inferior al 15 %.

Lo anterior concuerda con lo indicado por Ho (1988), quien asegura que el reparto de fotoasimilados está regulado por las interacciones fuente-sumidero, donde las fuentes son exportadores y los sumideros importadores netos de fotoasimilados. El orden de prioridad de la demanda es función de la tasa de crecimiento (actividad del sumidero) y del tamaño del sumidero (número de frutos). Al respecto, Wolstenholme (1990) y Ho (1988) plantean sus puntos de vista, los que ya fueron discutidos anteriormente. Scora *et al*. (2002) aseguran que las raíces del aguacate inician su etapa de crecimiento rápido cuando el crecimiento vegetativo comienza a declinar. Luego, empieza un segundo flujo de crecimiento vegetativo, restableciéndose de esta manera el equilibrio entre una fase de crecimiento radical y otra vegetativa (Figura 2-50). Además, Scholefield *et al*. (1985) argumentan que el vigor del crecimiento completo del árbol y la producción de fruto dependen del tiempo y extensión de los eventos fenológicos, lo cual está bajo el control de la disponibilidad de carbono y energía y de su distribución (Wolstenholme y Whiley, 1989), en respuesta a las condiciones medioambientales.

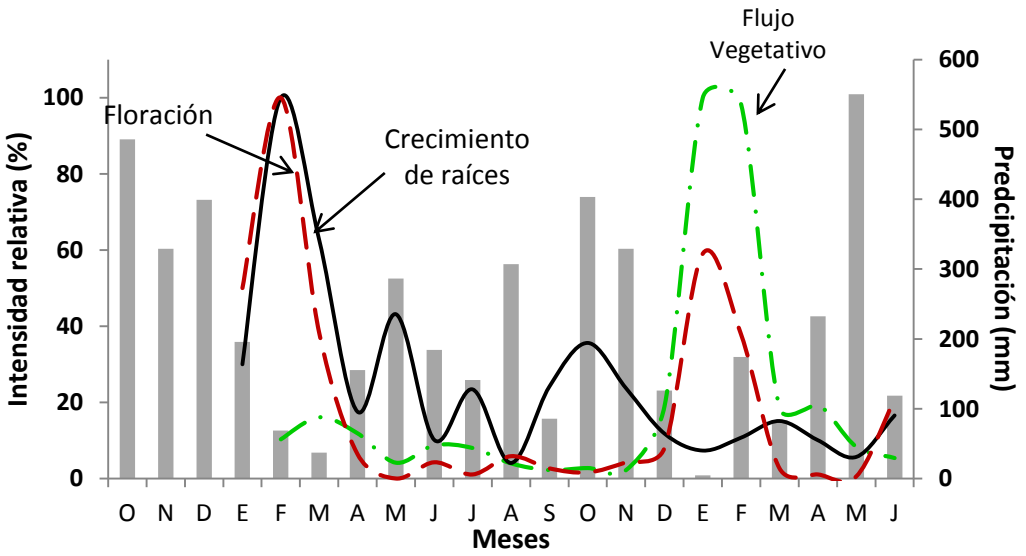


Figura 2-50. Comportamiento fenológico del cv. Hass, bajo condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011 - 2013).

2.4.4.5 Caída de fruto

Durante el periodo de evaluación se presentaron dos épocas de caída de frutos, las cuales se presentaron entre 30 y 60 días después de la floración, manteniendo la misma intensidad de éstas. En 2012 se observó una gran caída de fruto (100 %) en febrero, en época de verano la cual ocurrió 60 días después del flujo de floración (100 %), cuando los frutos tenían alrededor del 50 % de desarrollo (Figura 2-51).

En 2013, una segunda caída de fruto con una intensidad relativa de 53,84 %, sucedió en época de verano, 30 días después del flujo floral, de un 59,04 % de intensidad relativa. El comportamiento percibido en esta localidad se ajusta a lo reportado por Whiley *et al*. (1988) y Wolstenholme *et al*. (1990), quienes afirman que en aguacate, la planta ajusta su capacidad de nutrir a los frutos modificando su número, mediante la caída masiva de frutos recién cuajados durante las primeras tres a cuatro semanas y nuevamente, cuando el fruto ya ha alcanzado entre un 10 % y un 40 % de su tamaño. En este caso la primera caída se observó 60 días y la segunda, 30 días después de la máxima floración. Además, se ajusta a lo expresado por Wolstenholme y Whiley (1995); Rosales *et al*. (2003). Cossio-Vargas *et al*. (2007a), quienes aseguran que en aguacate, se presenta una caída importante de frutos debido a los periodos de competencia entre el crecimiento vegetativo, radical y el desarrollo del fruto, afectando directamente la productividad.

En este caso, en 2012, previamente se había presentado un gran flujo de crecimiento de raíces, que dejó al árbol “agotado” para el suministro de carbohidratos necesarios para el llenado del fruto, sumado al hecho de que no se dio el flujo vegetativo necesario para suplir tales demandas. Contrariamente en 2013, a pesar de que se notó un flujo vegetativo de gran intensidad, éste en vez de fungir como fuente, se convirtió en un demandante de fotoasimilados, causando competencia por éstos, entre los frutos recién cuajados y los brotes y por consiguiente originando la caída del fruto (Figura 2-51). De hecho debe evitarse desequilibrio entre el follaje y la fructificación, pues existe una relación entre la cantidad de hojas (que sintetizan hidratos de carbono) y el desarrollo de los frutos (los cuales se alimentan de los fotoasimilados producidos por la hojas), de esta relación dependen los niveles de rendimiento por árbol y por hectárea (Rodríguez, 1992).

Se estima que son necesarias aproximadamente 50 hojas para el llenado de un fruto de aguacate (Bisono y Hernández, 2008) y si, como en este caso, no existe ese aparato sintetizador y formador fotoasimilados como es la formación de nuevo follaje, no habrá llenado de fruto y por lo tanto gran caída del mismo. En efecto, el crecimiento y la producción dependen marcadamente del reparto de carbohidratos.

Aumentar la producción en especies subtropicales de fructificación poliaxial terminal, como es el caso del aguacate, plantea un desafío para el manejo agronómico, ya que el árbol presenta una tendencia natural al crecimiento vegetativo, lo que resulta en una mayor asignación de materia seca, en detrimento del desarrollo de órganos reproductivos, dependiendo de las condiciones climáticas del lugar (Whiley *et al*., 1988; Wolstenholme, 1990).

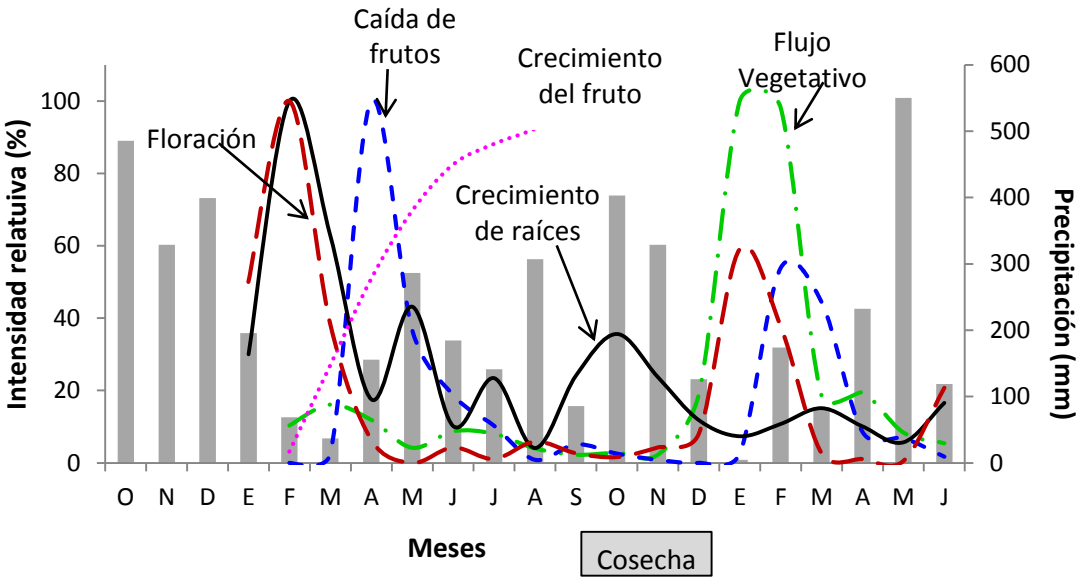


Figura 2-51. Fenología de árboles de aguacate cv. Hass bajo condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011 – 2013).

2.4.4.5 Cosecha

La cosecha conseguida en este estudio correspondió al fruto colectado entre septiembre y diciembre de 2012 (Figura 2-55), justo en la misma época que menciona Mejía (2011), quien afirma que la cosecha principal del cv. Hass, en el suroeste antioqueño, se presenta entre octubre y enero. Esta cosecha ocurrió entre ocho a diez meses después de la antesis surgida en febrero de ese mismo año, reduciéndose en aproximadamente un mes el período comprendido entre la floración y la cosecha, con respecto a la localidad de Jericó, ubicada a 1.900 msnm y en dos meses, con la localidad de Rionegro ubicada a 2.187 msnm. Teniendo en cuenta lo anterior, esta localidad presenta una ventaja competitiva con respecto a las localidades anteriormente descritas (Entrerríos, Rionegro y Jericó), puesto que el período entre floración y cosecha se reduce y, además, la época de cosecha "temprana", permite obtener mejores precios. Esta situación se ajusta a lo expresado por Popenoe (1919), quien estimó que la madurez del fruto se retrasa casi un mes por cada 300 m de aumento en la altitud donde se encuentren las plantas, situación que ya fue considerada anteriormente. Sin embargo, como se mostrará más adelante en otros capítulos de este estudio, el desarrollo de los árboles, los rendimientos y la calidad del fruto obtenido bajo estas condiciones, no permiten una adecuada rentabilidad del cultivo.

2.4.4.6 Temperatura del aire y suelo

En esta localidad la temperatura promedio durante el tiempo de evaluación fue de 22,27 °C; el mes más caluroso fue enero de 2013; el más frío fue noviembre de 2012 con 21,13 °C; las temperaturas medias variaron durante este periodo en 1,57 °C. Debido a la localización de Colombia en la Región Tropical, la temperatura del aire para una misma altitud es muy constante a través del año; la temperatura media del mes más frío difiere poco de aquella del

mes más caliente. La diferencia entre la temperatura máxima y mínima del día (amplitud térmica diaria), cambia con las condiciones de radiación solar que ocurran (Jaramillo-Robledo, 2005). Los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas del aire, al igual que en las localidades anteriormente analizadas, variaron muy poco a través del año, lo cual puede ser un indicio de que la temperatura no es un factor determinante en la aparición de ninguna de las manifestaciones fenológicas observadas en la planta (Figura 2-52). La diferencia entre la temperatura ambiental máxima (31,78 °C) y la mínima (17,22 °C) durante todo el estudio fluctuó entre los 10,22 °C (noviembre de 2011), al final de la época lluviosa y 14,22 °C (septiembre de 2012), al final del segundo periodo de verano e inicio del segundo de período de lluvias de ese año, siendo en promedio general esta diferencia, durante todo el periodo de evaluación, de 11,75 °C. Las temperaturas máximas durante el desarrollo del estudio se mantuvieron entre 27,88 °C (noviembre de 2012 y 2013) y 31,78 °C (enero de 2013), es decir 3,9 °C de diferencia, inferior a lo referenciado por Cossio-Vargas *et al.* (2008), en Nayarit (México), donde la fluctuación entre las temperaturas máximas estuvo entre los 26,8 a 33,4 °C, siendo esta diferencia de 6,6 °C.

Las temperaturas mínimas ambientales presentaron una menor variación que las máximas, fluctuando entre los 17,22 °C (octubre de 2012) época de lluvias y los 18,52 °C (marzo de 2013) al inicio periodo de lluvias, existiendo un diferencia de 1,3 °C, inferior a lo anunciado por Cossio-Vargas *et al.* (2008), cuya variación en la temperaturas mínimas fue de 11,1 °C, sin que se presentaran efectos negativos de estas temperaturas sobre la floración o amarre de frutos, lo que permite asegurar que si con esas diferencias de temperatura reportadas en México, no hubo efectos negativos en floración y cuajamiento, mucho menos habrá con las diferencias encontradas en este estudio.

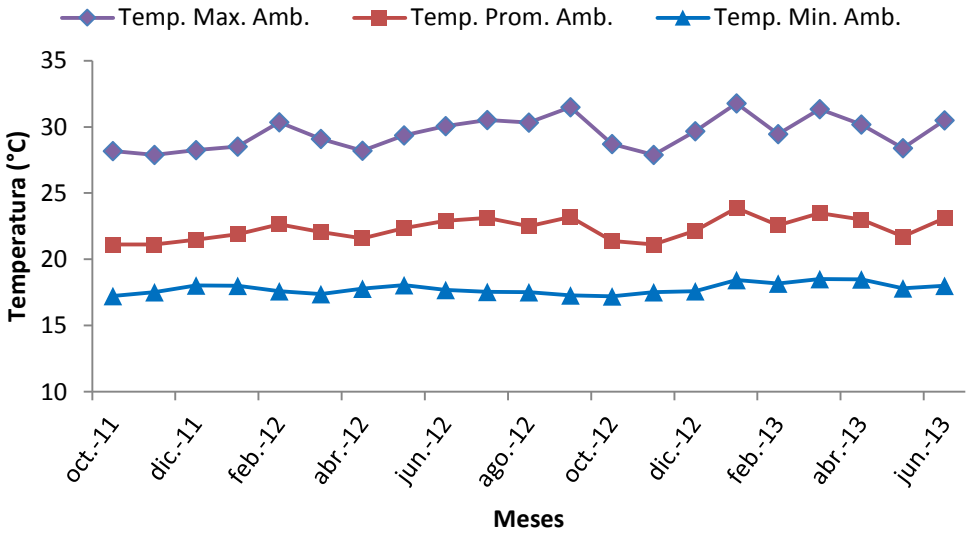


Figura 2-52. Temperaturas ambiente (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011 - 2013).

El comportamiento general de la temperatura máxima, promedio y mínima del suelo en esta localidad mostró muy poca variación. La diferencia entre la temperatura de suelo máxima y mínima durante todo el estudio fluctuó entre los 28,01 °C (junio de 2013) finalizando la época de lluvia y 22,8 °C (mayo de 2013) en plena época de lluvias, siendo en promedio de 5,21 °C, lo que muestra que la variación en la temperatura del suelo fue mucho menor que la observada en el ambiente (Figura 2-53). Los promedios mensuales de las temperaturas máximas del suelo tuvieron similar cambio que las del aire. En este estudio las temperaturas máximas del suelo oscilaron entre los 28,01 °C (junio de 2013) y los 24,28 °C (diciembre de 2011), existiendo una diferencia de 3,73 °C.

Las temperaturas mínimas del suelo, que tuvieron menor fluctuación que la máximas, estuvieron entre 22,8 °C (mayo de 2013), época de lluvias y los 24,58 °C (enero de 2012), época de verano, siendo la diferencia de 1,78 °C (Figura 2-57). Los resultados aquí encontrados muestran que las temperaturas mínimas del suelo no limitaron el crecimiento de las raíces, ya que éstas siempre estuvieron por encima de los 13,5 °C, indicados como críticos para el crecimiento de las raíces del aguacate, de acuerdo con lo reportado por Whiley *et al*. (1990).

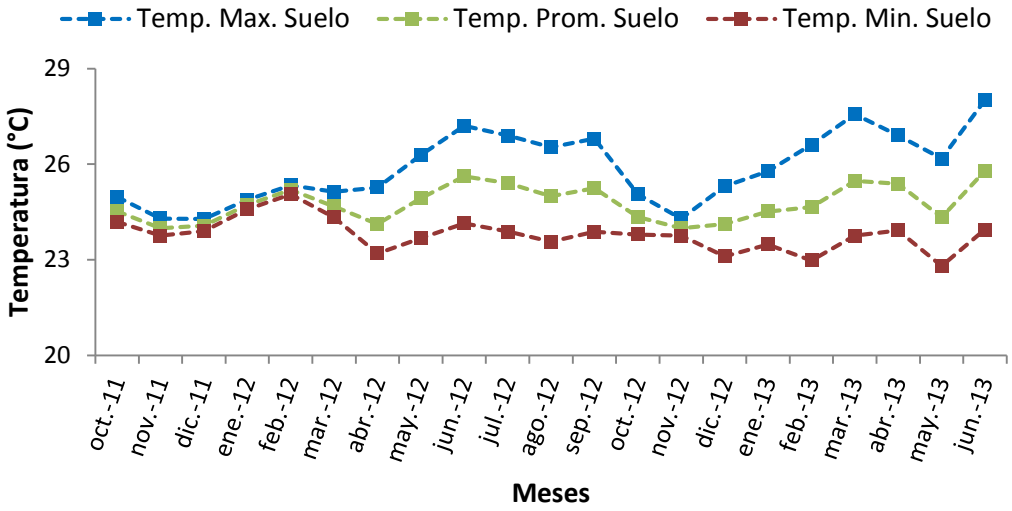


Figura 2-53. Temperatura del suelo (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011 - 2013).

En general, las temperaturas máximas, promedio y mínimas del suelo en Támesis, siempre estuvieron por encima de las temperaturas promedio y mínimas del ambiente y por debajo de las máximas, lo cual indica el efecto amortiguador que tiene el suelo (Figura 2-54).

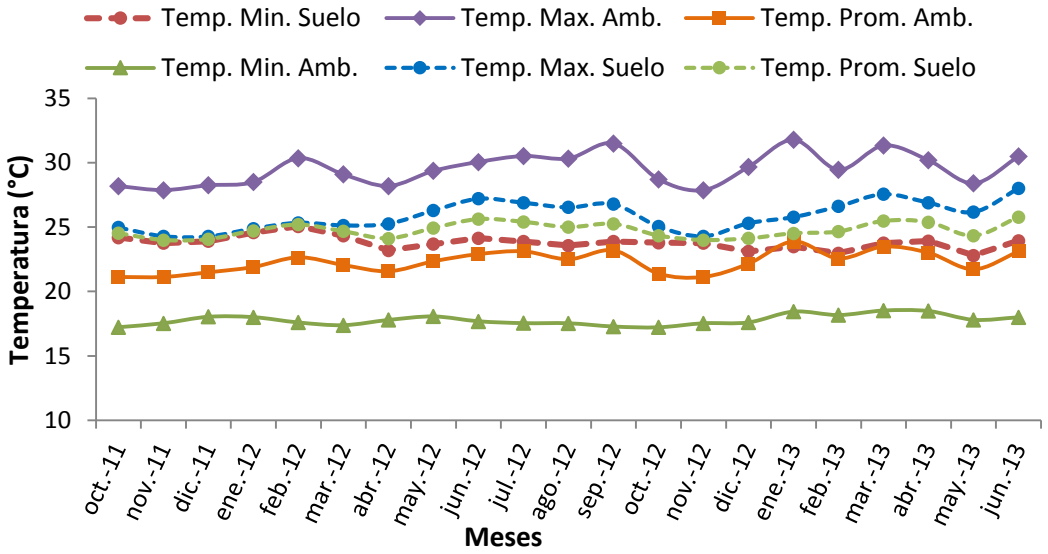


Figura 2-54. Temperatura ambiente y del suelo (máxima, promedio y mínima) bajo condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011 - 2013).

En el periodo de evaluación, las temperaturas máximas, promedio y mínimas, tanto del suelo como del ambiente tuvieron muy poca variación (Figura 2-55). Sin embargo, las temperaturas ambientales presentaron mayor rango de diferencia entre los valores máximos y mínimos, superando los 10 °C, siendo de 10,7 °C en 2011, 11,99 °C en 2012 y 12,23 °C en 2013, para las temperaturas ambientales, mientras que las del suelo fueron de 0,8 °C para 2011, 1,83 °C para 2012 y 3,63 °C para 2013 (Figura 2-55). Con lo anterior se reafirma el efecto “colchón” del suelo, que permite mantenerlo más cálido cuando las temperaturas ambientales son bajas y más frío cuando las temperaturas ambientales son altas.

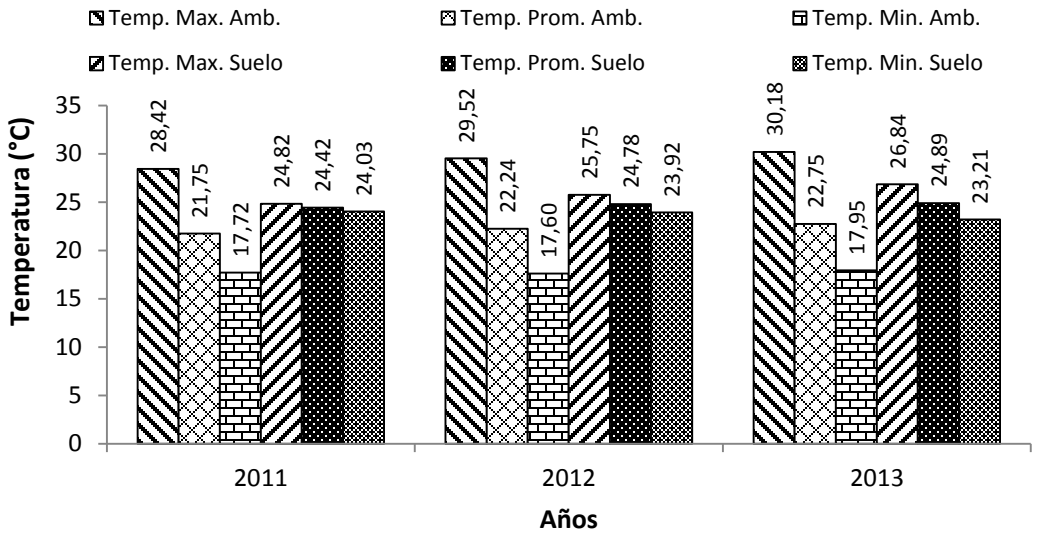


Figura 2-55. Temperaturas ambiental y del suelo (Máxima, Promedio y Mínima) en las condiciones de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011 - 2013).

2.4.5 Todas las localidades

La Tabla 2-6 resume el total de brotes evaluados en las cuatro localidades del departamento de Antioquia, ubicadas en distintos pisos térmicos y plantadas comercialmente con aguacate cv. Hass. En total se hicieron 46.037 lecturas en los brotes, que correspondieron a 4 ramas por árbol, 4 árboles por localidad y al menos 10 yemas por rama, en las cuatro localidades. El 55,69 % de las yemas observadas, estuvieron en pre brotación, las cuales luego se convirtieron en brotes vegetativos nuevos (que conformaron los flujos vegetativos) o en brotes florales.

Como se puede observar del total de brotes evaluados el 4,58 % estuvieron en reposo, el 20,3 % fueron brotes nuevos y el 10,38 % fueron brotes florales, mientras que el 8,16 %, correspondieron a brotes con fruto.

La localidad donde se hicieron más lecturas fue en Entrerríos (39,24 %), seguido por Jericó (26,11 %), Rionegro (17,57 %) y finalmente Támesis (17,07 %), siendo 2,3 veces mayor el porcentaje de yemas observadas en Entrerríos que en Támesis, lo cual muestra la gran actividad fenológica presentada en los árboles de esa localidad. El mayor porcentaje de yemas inactivas o en reposo se detectó en Entrerríos con 5,65 % del total de las yemas evaluadas, seguido de Támesis con un 4,91 %, posteriormente estuvo Rionegro (3,83 %) y finalmente Jericó (3,27 %); este comportamiento fue inferior al citado

por Cossio-Vargas *et al.* (2008), quienes encontraron que al inicio de 2004, en el cv. Choquette, el flujo de primavera se presentó durante o inmediatamente después de la floración. Este flujo fue observado en 75 % de los brotes presentes; el resto de brotes (25 %) permaneció inactivo, es decir, no produjo brotes florales o vegetativos.

Tabla 2-6. Tipo de crecimiento producido por brotes de árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia (Entrerríos, Rionegro, Jericó y Támesis) (2011-2013).

Localidad	Brotes evaluados	Yemas inactivas (A)	Yemas en prebrotación (B+C)	Brotes nuevos	Brotes en floración	Brotes con fruto	Cosechados
		Brotes evaluados (%)					
Entrerríos	18.064	1.021	9.788	4.120	2.269	866	78
%	39,24	5,65	54,19	22,81	12,56	4,79	20,42
Rionegro	8.095	310	4.150	1.383	1.318	934	51
%	17,57	3,83	51,27	17,08	16,28	11,54	12,67
Jericó	12.035	393	7.471	1.904	635	1.632	161
%	26,11	3,27	62,08	15,82	5,28	13,56	38,79
Támesis	7.843	385	4.642	1.938	555	323	92
%	17,01	4,91	59,19	24,71	7,08	4,12	20,27
Total	46.037	2.109	26.051	9.345	4.777	3.755	382
%		4,58	56,59	20,30	10,38	8,16	

El mayor porcentaje de brotes nuevos se detectó en los huertos de Támesis (24,71 %), seguido de los Entrerríos (22,81 %), Rionegro (17,08 %) y Jericó (15,82 %). Sin embargo, en el huerto de Támesis se presentó solo un flujo vegetativo en el tiempo de evaluación a diferencia de lo observado en las otras localidades que mostraron al menos dos. Los huertos establecidos en Jericó y Rionegro mostraron el mayor porcentaje de brotes con fruto (13,56 y 11,54 %, respectivamente) seguido de los ubicados en Entrerríos (4,79 %) y Támesis (4,12 %). En la Figura 2-56, se observa que en todas las localidades, entre 50 y 60 % de las yemas evaluadas, correspondieron a yemas próximas a brotar ya sea como vegetativas, en floración o con fruto, siendo Jericó la localidad con mayor porcentaje de éstas. Entre un 15 y un 25 % de las yemas fueron brotes nuevos.

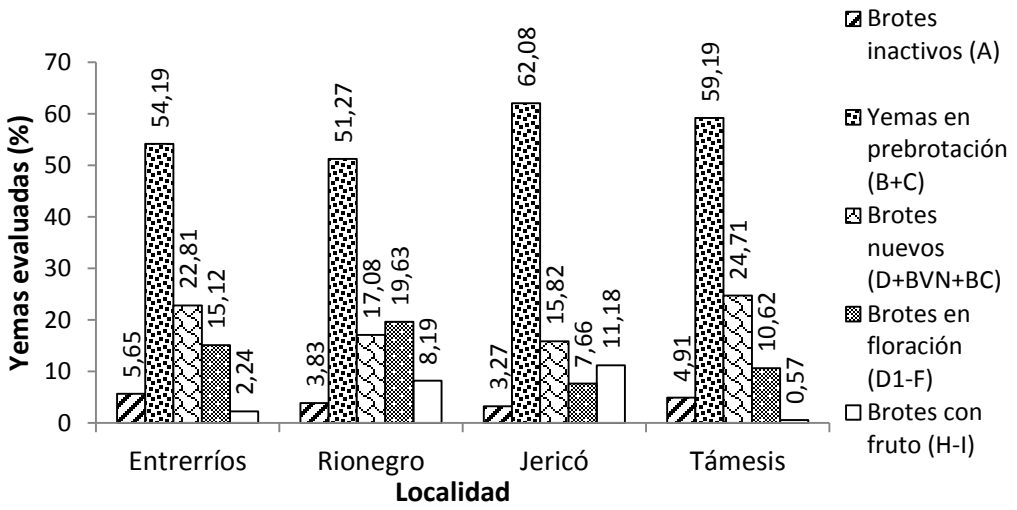


Figura 2-56. Yemas evaluadas en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013).

El aguacate cv. Hass presentó diferencia en número e intensidad en los flujos vegetativos dependiendo de la localidad. En 2012, en Entrerríos se dieron dos flujos vegetativos, el primero de media intensidad (58,18 %) y el segundo de mayor intensidad (87,5 %); sin embargo, dado que no existió un periodo de reposo entre ambos eventos, se pude anotar que prácticamente se observó un solo flujo vegetativo desde febrero hasta noviembre de ese año. En Rionegro, se registró un primer flujo de muy baja intensidad (27 %) y un segundo flujo de alta intensidad (75,5 %). El huerto de Jericó ese mismo año tuvo dos flujos de igual intensidad (aproximadamente un 75 %). Merece especial atención el huerto de Támesis, en el que solo se apreció un flujo vegetativo de apenas un 16 % en 2012 (Figura 2-57). A excepción de esta última localidad, estos resultados coincidieron con los dos flujos vegetativos anuales que normalmente ocurren en otras regiones productoras de aguacate (Thorp *et al.,* 1993; Liu *et al.,* 1999; Cutting, 2003; Mena-Volker 2004) y similar a lo reportado para Nueva Zelanda por Dixon *et al.* (2008).

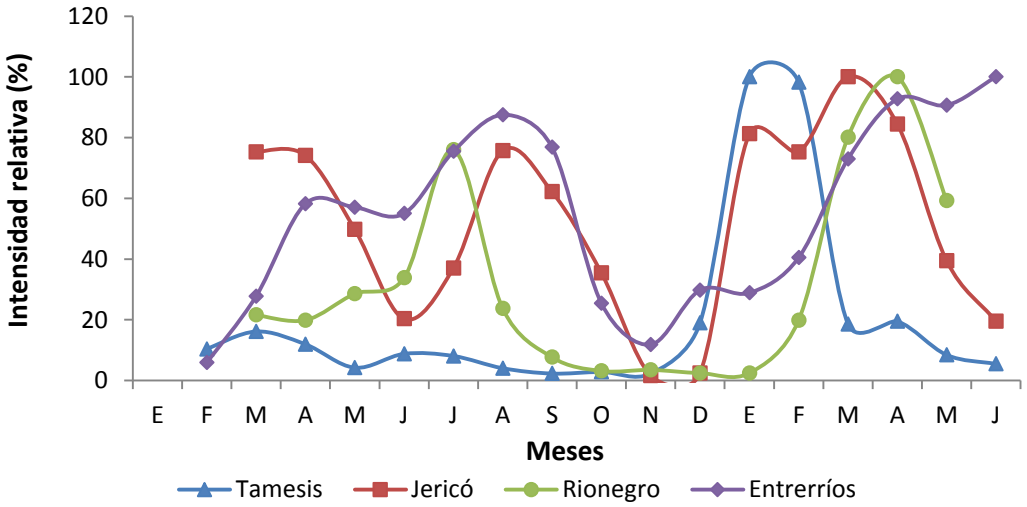


Figura 2-57. Flujos de crecimiento vegetativo en aguacate en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2012-2013).

Los flujos vegetativos tuvieron diferente duración de acuerdo con la localidad. En Entrerríos, la ubicada a mayor altura, los árboles presentaron prácticamente un solo flujo desde febrero hasta noviembre de 2012 y a partir de allí se inició un segundo flujo que terminó en junio de 2013. En Rionegro ubicado a 2.147 msnm, los árboles mostraron un flujo en 2012 que inició en marzo y culminó en octubre de ese año, un segundo flujo vegetativo se presentó en 2013 desde enero hasta mayo. Comportamientos alternantes y cíclicos entre flujos de crecimiento vegetativo y de raíces han sido mencionados para aguacate cv. 'Fuerte' en Australia (Wolstenholme y Whiley, 1989), así como para el cv. Hass en California (Arpaia *et al*., 1994), México (Cossio-Vargas *et al*., 2008) y Nueva Zelanda (Dixon *et al*., 2008). Un comportamiento similar ha sido encontrado en plantas jóvenes de los cvs. Simmonds y Lula (Ploetz *et al*., 1991). Sin embargo, Thorp *et al*. (1995) mencionan que bajo ciertas condiciones de cultivo el cv. Hass puede presentar flujos simultáneos de crecimiento vegetativo y de raíces. Ambas situaciones se presentaron en este estudio, cuando los flujos vegetativos en algunos casos se manifestaron en forma simultánea (Figuras 2-19 y 2-30) y alternante en otros (Figuras 2-41 y 2-55).

Se observó una asociación inversa y altamente significativa entre el flujo vegetativo y las máximas temperaturas ambientales (β_1= -1,99188; P= 0,0247; R^2= 7,76 %) (Figura 2-61) y promedio (β_1= -3,07761; P= 0,0311; R^2= 7,16 %) (Figura 2-58) para las cuatro localidades en estudio. Lo anterior muestra que a mayores temperaturas ambientales menor brotación vegetativa. De acuerdo con Anguiano *et al.* (2007), las condiciones óptimas de temperatura para el aguacate cv. Hass, están entre los 20 a 25 °C, siendo las marginales máximas de 28 a 31 °C. En la Figura 2-59, se aprecia que las temperaturas máximas observadas, estuvieron por encima de las mencionadas por estos autores (31 a 35 °C), lo que indica el efecto negativo sobre el desarrollo de los árboles. De otro lado, aunque las temperaturas promedio de la localidad mas baja flucutó entre los 21 y 23 °C, éstas se mantuvieron constantes durante todo el año, causando una reducción en la aparición de brotes vegetativos y por ende en el crecimiento de los árboles en esos ambientes. El clima en habitats silvestres, sugiere que el aguacate no debe ser tolerante a calor extremo, particularmente los de tipo mexicano o guatemalteco originados en ambientes fríos o medios de zonas altas, como es el caso del cv. Hass (Schaffer *et al*., 1994).

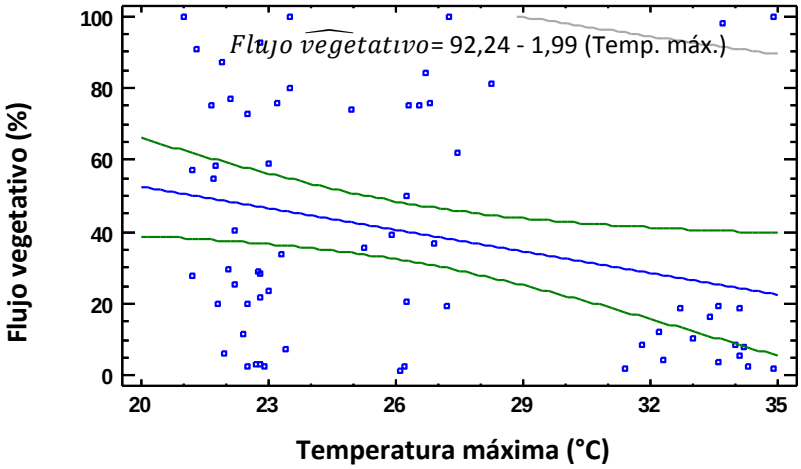


Figura 2-58. Modelo ajustado para el flujo vegetativo, en función de la temperatura máxima, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia.

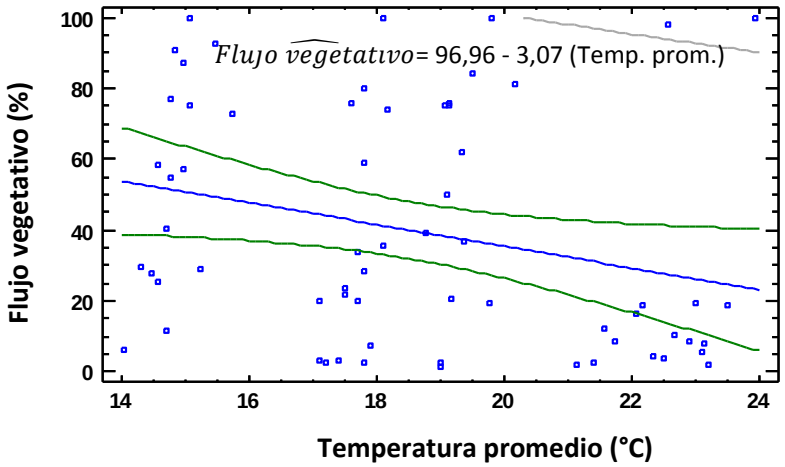


Figura 2-59. Modelo ajustado para el flujo vegetativo, en función de la temperatura promedio, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que existe una influencia ambiental sobre el comportamiento fenológico del aguacate cv. Hass. Las cuatro localidades presentaron un flujo floral, de distinta intensidad, pero en todos los casos se manifestaron en el primer semestre del año, mostrando un comportamiento cíclico en este estado fenológico. Los árboles de tres localidades (Rionegro, Jericó y Támesis), expresaron dos flujos florales, mientras que Entrerríos presentó tres de floración, durante todo el período de evaluación (Figura 2-60). En regiones productoras de aguacate cv. Hass, en Australia, Chile, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Perú, Sudáfrica y Nayarit (México), este cultivar usualmente presenta un flujo de floración al año (Thorp *et al.,* 1993; Liu *et al.*, 1999; Mena-Volker, 2004; Salazar-García *et al.,* 2007; Dixon *et al.,* 2008), situación similar se observó en este estudio, a diferencia de la localidad de Entrerríos, que en año 2102 los árboles presentaron dos flujos florales.

En Michoacán (México), se registraron cuatro flujos florales de diferente intensidad. Se estima que es una situación única en el mundo que merece ser estudiada para entender mejor la floración del cv. Hass (Salazar-García *et al*., 2006). En este estudio, los flujos florales, tuvieron una duración e intensidad diferente, lo cual implica floraciones sucesivas. Este comportamiento fenológico origina la presencia simultánea de fruto de diferentes edades en el árbol, que es cosechado durante la mayor parte del año en los distintos climas de la región.

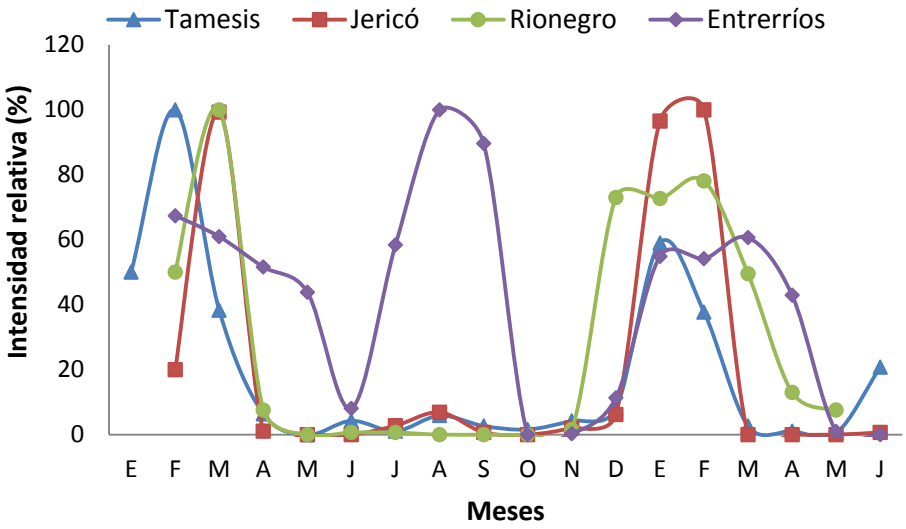


Figura 2-60. Desarrollo floral en árboles de aguacate cv. Hass plantado en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2012-2013).

Como se demostró anteriormente, la precipitación influyó sobre la floración meses antes de la máxima ocurrencia de este estado fenológico. De acuerdo con la regresión simple observada en la Figura 2-61, existe una asociación positiva (β= 0,256) y una alta significancia (P=0,0009; R2 = 53,4238 %), entre la floración y la precipitación 120 días antes, con lo cual se corrobora el hecho de que los brotes florales fueron promovidos por la precipitación cuatro meses antes y se desarrollaron en épocas secas.

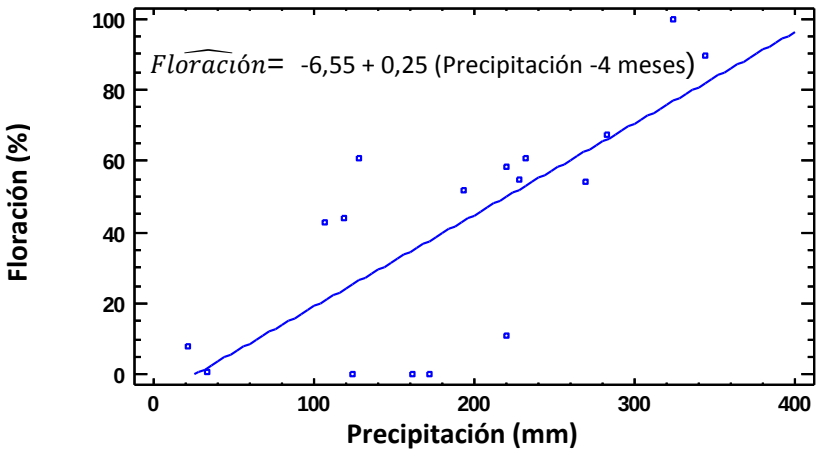


Figura 2-61. Modelo ajustado para la floración, en función de la precipitación, 120 días antes del registro del evento, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia.

En la Figura 2-62, se observa como el tiempo de duración del fruto desde floración a cosecha, varío considerablemente dependiendo del ambiente donde estaba establecido el cultivo. Es así como en Entrerríos, la localidad ubicada a mayor altura (2.420 msnm), con una temperatura ambiental promedio anual de 14,7 °C, este periodo tomó entre 12 y 13 meses aproximadamente; en Rionegro ubicado a 2.180 msnm con una temperatura ambiente promedio anual de 17 °C, el tiempo de floración a cosecha fue de 11 a 12

meses, mientras que en Jericó ubicado a una altura de 1.900 msnm, con una temperatura ambiente promedio anual de 19 °C este tiempo fue de aproximadamente de 10 a 11 meses y finalmente en Támesis, ubicado a 1.340 msnm, con una temperatura anual promedio de 20 °C, el tiempo de floración a cosecha fue de 8 a 9 meses.

Lo anterior es coherente con lo reportado por Bárcenas (2002), quien en aguacate cv. Hass en Michoacán (México), ubicado entre los 17° 55' y los 20° 24' latitud Norte, estableció que el clima tuvo un efecto marcado en el tiempo que tardaba el árbol desde la floración a la cosecha; este período fue de 8 meses en ambientes cálidos, entre 1.400 a 1.600 msnm, de 8 a 10 meses en huertos plantados entre los 1.600 a 1.800 msnm, mientras que en ambientes entre los 1.800 a los 2.000 msnm este período fue de 10 a 12 meses y aquellos cultivos ubicados entre los 2.000 a 2.500 msnm, el tiempo gastado entre la floración a la cosecha fue alrededor de 12 a 14 meses. Garner y Lovatt (2008) encontraron que para las condiciones donde se cultiva el aguacate en California, localizadas entre los 32° y los 37° de latitud Norte, el fruto de aguacate cv. Hass tomó 365 días desde el momento de floración hasta la madurez fisiológica. Cossio-Vargas *et al*. (2008) establecieron en aguacate cv. Hass en México estado de Nayarit, situado entre los 20° 36' y los 23° 05' de latitud Norte, que el tiempo completo de desarrollo del fruto tomo 8 meses y Rocha-Arroyo *et al.* (2011), observaron en aguacate cv. Hass en México estado de Michoacán, que el tiempo completo de desarrollo del fruto tomó cerca de 9 meses.

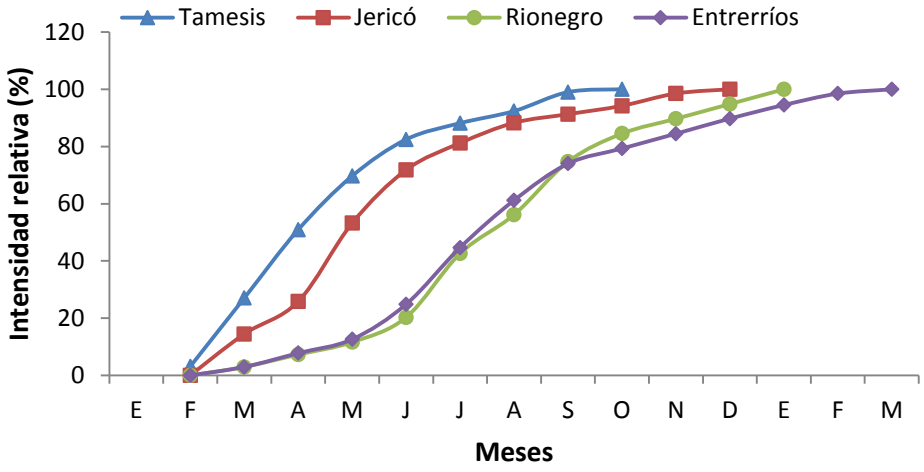


Figura 2-62. Crecimiento del fruto en aguacate cv. Hass vs. en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2012-2013).

Durante todo el año se registró producción de raíces y entre un flujo y otro, no ocurrió un período de reposo (Figura 2-63). Esto coincidió con lo encontrado para el cv. Hass en California (Robinson *et al*., 2002), así como para los cvs. 'Simmonds' y 'Lula' en Florida (Ploetz *et al*., 1991); diferente a lo establecido en otras investigaciones (Whiley *et al*., 1990; Cossio-Vargas *et al*., 2008). Las temperaturas medias mensuales del suelo variaron de 13,6 a 20,7 °C y no se consideran limitantes para el crecimiento de raíces (Whiley *et al*., 1990). Comportamientos alternantes y cíclicos entre flujos de crecimiento vegetativo y de raíces han sido mencionados para aguacate cv. 'Fuerte' en Australia (Wolstenholme y Whiley, 1989), así como para el cv. Hass en California (Arpaia *et al*., 1994), México (Cossio-Vargas *et al*., 2008) y Nueva Zelanda (Dixon *et al*., 2008). Un hábito similar ha sido encontrado en plantas jóvenes de los cvs. Simmonds y Lula (Ploetz *et al*., 1991). Sin embargo, Thorp *et al*. (1995) mencionan que bajo ciertas condiciones de cultivo el cv. Hass puede presentar flujos simultáneos de crecimiento vegetativo y de raíces.

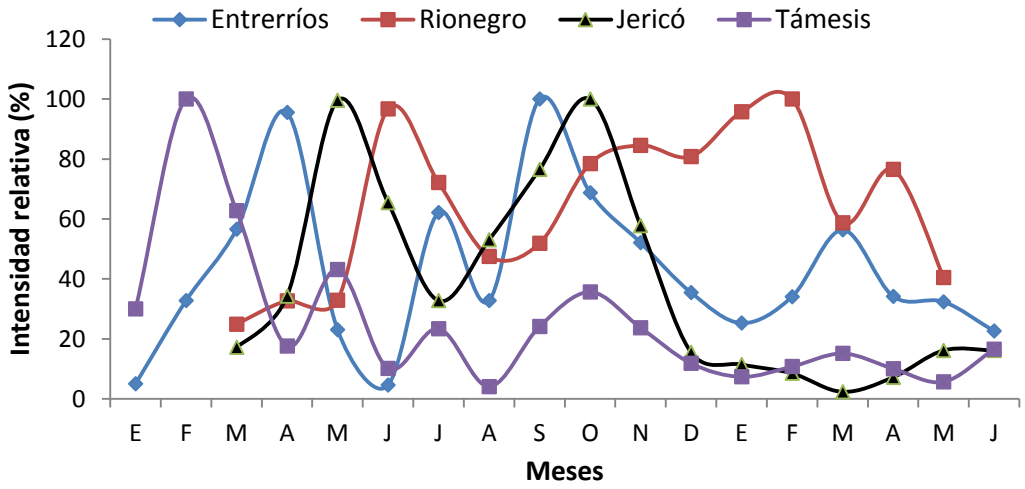


Figura 2-63. Crecimiento de raíces en aguacate cv. Hass en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013).

En este estudio se observó un efecto de las temperaturas sobre el crecimiento de raíces. Los resultados mostraron una asociación inversa entre el crecimiento de la raíz y las máximas temperaturas ambientales (β= -2,43615; P= 0,0017; R^2= 14,23 %) (Figura 2-64) y del suelo (β= -2,61262; P= 0,0385; R^2= 6,42 %) (Figura 2-65) para las cuatro localidades en estudio, durante el tiempo de evaluación (2012). Lo anterior muestra que las temperaturas máximas tanto ambiental como del suelo, limitaron el crecimiento de la raíz de los árboles de aguacate cv. Hass, ya que en algunos casos fueron superiores a los 32 °C, indicados como críticos para el desarrollo de las raíces del aguacate (Whiley *et al*., 1990).

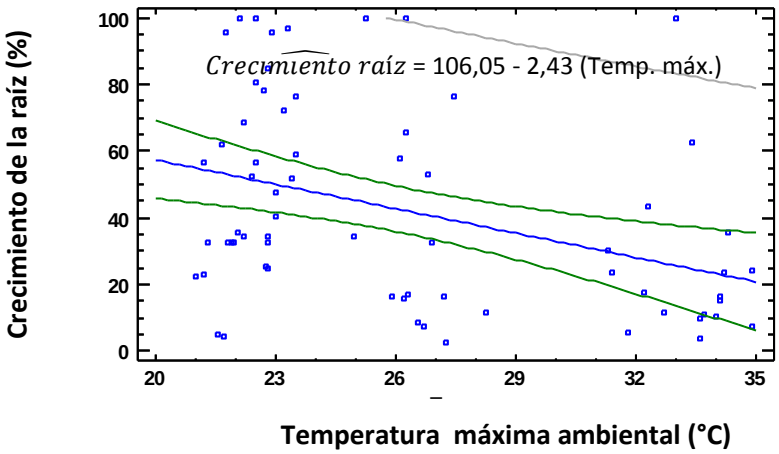


Figura 2-64. Modelo ajustado para el crecimiento de la raíz, en función de la temperatura máxima ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia.

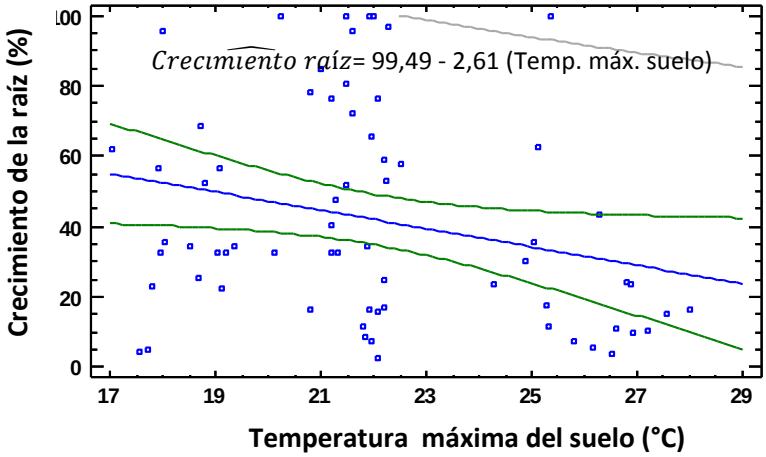


Figura 2-65. Modelo ajustado para el crecimiento de la raíz, en función de la temperatura máxima del suelo, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia.

La precipitación en todas las localidades presentó un régimen bimodal (Figura 2-66) la cual tuvo un comportamiento uniforme. Los periodos de mayor precipitación correspondieron en todos los casos, a los comprendidos entre marzo a mayo y entre octubre y noviembre; los periodos más secos se presentaron entre enero a marzo y entre junio y septiembre. Al respecto Jaramillo-Robledo (2005) puntualiza que la distribución intra-anual de la precipitación en la región Andina de Colombia, se caracteriza por la ocurrencia de dos períodos secos y dos lluviosos en el año; los meses de mayor lluvia son abril, mayo, octubre y noviembre, determinados por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), la cual condiciona el tiempo de alta nubosidad y gran cantidad de lluvia. A pesar de presentarse esta situación, los fenómenos fenológicos no se mostraron en forma similar en todas las localidades, debido a que otros factores climáticos también tienen influencia y además, el material productivo mostró diversos comportamientos fenológicos de acuerdo al ambiente donde estaba establecido el cultivo.

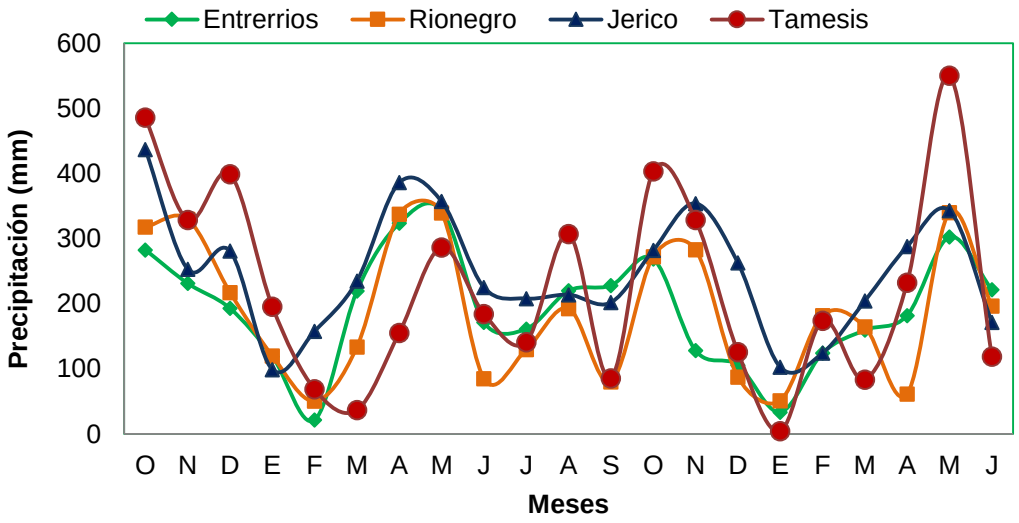


Figura 2-66. Precipitación mensual en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013), donde se evaluó el comportamiento fenológico del aguacate cv. Hass.

La precipitación registrada en los años 2011 a 2013, muestra un régimen similar en todas las localidades, siendo el año más lluvioso 2011, seguido de 2012 y 2013 (Figura 2-67). En 2011 la localidad con más precipitación fue Támesis, seguida de Jericó, Rionegro y Entrerríos. En 2012 y 2013 Jericó fue la localidad con mayor precipitación seguida de Támesis, Entrerríos y Rionegro. En todas las localidades la precipitación fue mayor a los 1.800 mm y menor a los 4.000 mm año^{-1}, tal como lo menciona Jaramillo-Robledo (2005), quien expone que las cantidades anuales de lluvia para la región Andina en las zonas de cultivo del café varían entre 1.000 y 4.000 mm y una mayor frecuencia con cantidades superiores a los 2.000 mm. Sin embargo, estos valores son inferiores a los registrados por Tapia *et al*., (2011) en un promedio de 10 años (2001-2010) en la zona productora del cv. Hass en el municipio de Uruapan (Michoacán, México) a una altitud entre 1.610 y 1.740 msnm cuyas precipitaciones anuales en un régimen unimodal (junio-octubre lluvias), son de aproximadamente 1.730 mm año^{-1}, lo que supone bajo las condiciones del departamento de Antioquia, un manejo del agua en exceso que se presenta en los años y meses más lluviosos.

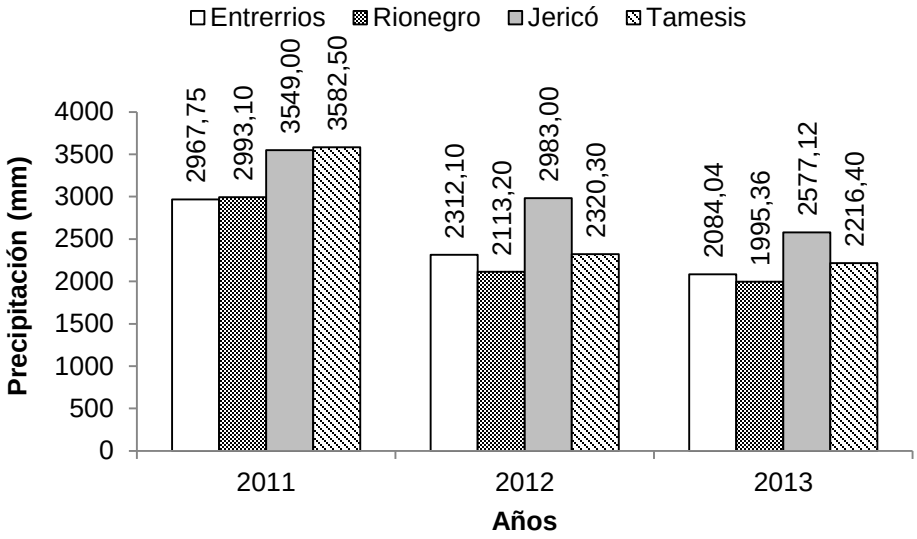


Figura 2-67. Precipitación acumulada en tres años de registro (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia.

De acuerdo con la regresión simple observada en la Figura 2-68, existe una asociación positiva (β= 0,01055) y una alta significancia (P= 0,0022; R^2 = 52,79 %), entre la caída del fruto y la precipitación 60 días antes, lo cual pudo ser consecuencia de una saturación del suelo, creando condiciones anoxigénicas en el área radical, produciendo un deterioro en el comportamiento de los árboles, que se expresó en caída de frutos (Pegg *et al*., 1982). Como consecuencia de su evolución en bosques húmedos, los árboles de aguacate poseen un ineficiente y escaso sistema radical, con un alto requerimiento en oxígeno. Por lo tanto, la toma de agua es relativamente pobre y los árboles son intolerantes a cortos períodos de inundación (Whiley y Schaffer, 1994).

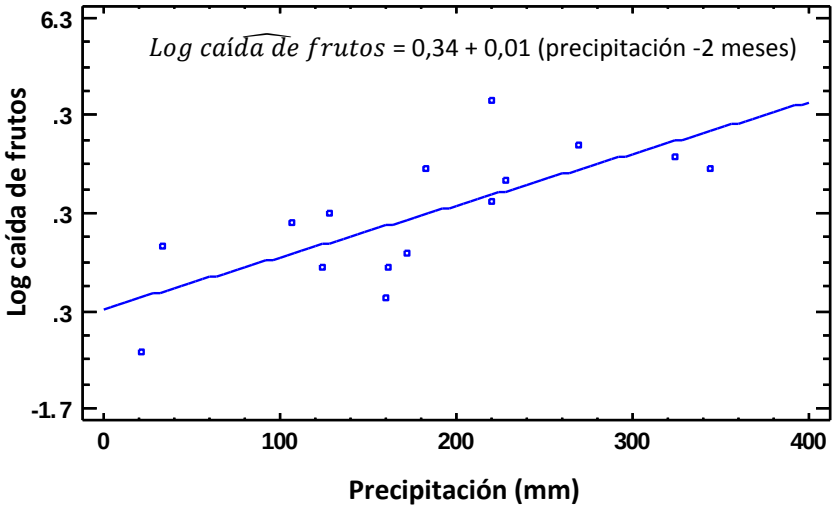


Figura 2-68. Modelo ajustado para Log caída de frutos, en función de la precipitación, 60 días antes del registro del evento, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia.

2.5 Conclusiones

El comportamiento fenológico del aguacate cv. Hass en los distintos climas incluidos en este estudio evidenció la ausencia de un periodo de reposo en los árboles. La intensidad y la duración de los flujos vegetativos fueron variables en todas las localidades y no tuvieron un comportamiento cíclico, tal como se presentó con la floración. Durante el período de avaluación (18 meses), tres de las localidades presentaron al menos dos flujos marcados de crecimiento vegetativo anual (mayor al 75 %), a excepción del huerto de Támesis que en 2012 mostró apenas un flujo no mayor al 20 %, lo que señala el escaso desarrollo vegetativo en esta localidad, insuficiente para el llenado de frutos. Este comportamiento coincide con los dos flujos vegetativos anuales que normalmente ocurren en otras regiones productoras de aguacate, aunque difiere de lo ocurrido en Michoacán, donde se presentan tres flujos vegetativos.

La floración del aguacate cv. Hass en las localidades estudiadas presentó un comportamiento cíclico, el cual se observó en los primeros tres meses del año, con variaciones en intensidad y duración; los flujos florales se observaron en épocas secas y aproximadamente 4 meses después de un período de lluvias. El huerto de Entrerríos fue el único que presentó tres flujos florales durante el periodo de estudio, siendo la máxima intensidad en una época en las que en las demás localidades no presentaban floración; sin embargo, esa situación no representó una cosecha adicional.

El crecimiento de raíces tuvo un comportamiento variable en todas las localidades presentándose distintos flujos en intensidad y duración y los cuales ocurrieron con la injerencia de la temperatura en su aparición.

El período de fructificación varió entre las localidades, demostrándose el efecto ambiental y particularmente la temperatura sobre el tiempo que transcurre entre la floración y la cosecha, siendo las zonas más cálidas donde el fruto tardó menos tiempo a diferencia de

las zonas más altas, donde ocurrió lo contrario. Tanto las temperaturas promedio, como las máximas y mínimas registradas en todas las localidades tuvieron un comportamiento poco variable, característica normal dentro de las condiciones del trópico, lo cual indica que no es la temperatura el inductor de la floración o de otros fenómenos fenológicos en el trópico.

El comportamiento de la precipitación en todas las localidades tuvo un régimen bimodal, con dos períodos de lluvia entre marzo-mayo y octubre-noviembre y días de sequía entre diciembre a febrero y junio a septiembre. Todas las localidades mostraron una alta precipitación acumulada (más de 1.990 mm $año^{-1}$) y un comportamiento similar en los años de evaluación, que se consideran óptimas para el cultivo, lo cual demuestra que hubo un suministro adecuado de agua en el suelo y que el comportamiento fenológico registrado, es el que se esperaría en un año promedio de precipitación. Se observó que periodos de baja y alta precipitación, influyeron para que ocurrieran cambios fenológicos, induciendo la floración, estimulando el crecimiento de raíces o favoreciendo los flujos vegetativos.

Durante el transcurso de las observaciones fueron determinados traslapes o sobreposiciones en períodos y eventos, lo cual supone encontrar en los árboles, simultáneamente, flujos de crecimiento vegetativo, fruto en crecimiento, floraciones y frutos para cosechar. Esta situación obliga a realizar un seguimiento más sistemático y durante mayor tiempo a la fenología del aguacate cv. Hass, en las diferentes zonas de cultivo, con el fin de definir con más precisión, las fechas de ocurrencia y duración de cada evento, con el fin de optimizar las prácticas de manejo del huerto. Esta es la primera vez que se obtienen diagramas fenológicos para aguacate cv. Hass en diferentes climas y condiciones del trópico alto de Colombia. Esta información será de utilidad para planear investigaciones con el objetivo de desarrollar tecnología basada en eventos fenológicos y no en días calendario, como usualmente sucede. Adicionalmente, de inmediato permite adecuar las diversas prácticas de manejo del huerto a la época en que ocurren las diversas fases fenológicas y la interrelación entre ellas.

2.6 Literatura citada

Alfonso B., J.A. 2008. Manual Técnico del Cultivo del Aguacate Hass (*Persea americana* L.). Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 53 p.

Anguiano C., J.; Ruíz C., J.A.; Alcántar R., J.J.; Vizcaino V., I. y González A., I.J. 2006. Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Michoacán (Período 1961-2003). Centro de Investigación Regional del Pacífico. Centro Campo Experimental Uruapan, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México. 248 p.

Anguiano, C.J.; Alcántar, J.J.; Toledo, B.R.; Tapia, L.M. y Vidales-Fernández, J.A. 2007. Caracterización Edafoclimática del Área Productora de Aguacate de Michoacán, México. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. Viña Del Mar, Chile. 10 p.

Arpaia, M.L. 1998. Enhancement of avocado productivity. I. Plant improvement - selection and evaluation of improved varieties and rootstocks. California Avocado Grower 2: 1.

Arpaia, M.L., Witney, G.W.; Robinson, P.W.; Mickelbart, M.V. 1994-95. Hass avocado phenology in California: preliminary results. Subtropical Fruit News 3(1): 1-2.

Aubert, B. et Lossois, S. 1972. Considérations sur la phénologie des espèces arbustives. Fruits 27(4): 269-286.

Avilán, L.; Soto, E.; Pérez, M.; Rodríguez, M. y Ruiz, J. 2007. Fenología de cultivares e híbridos de aguacate de la raza mexicana en la región centro-norte costera de Venezuela. Agronomía Tropical 57(2): 89-98.

Bárcenas O., A.E. 2002. Botánica y ecología del aguacate cv. Hass en Michoacán. En: El Cultivo del Aguacate en México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". Volumen 1. 40 p.

Bergh, B.O. 1967. Reasons for low yields of avocados. California Avocado Society Yearbook 51:161-172.

Bertling, I. and Kohne, S. 1986. Investigation into fruit set of avocado. South African Avocado Growers' Association Yearbook 9: 59-62.

Biran, D. 1979. Fruitlet abscission and spring growth retardation – their influence on avocado productivity. MSc. Thesis. The Hebrew University of Jerusalem, Rehovot, Israel. (In Hebrew, English abstract).

Bisono P., S.M. y Hernández B., J.R. 2008. Guía tecnológica sobre el cultivo del aguacate. Consejo Nacional de Competitividad. Clúster del Aguacate Dominicano. Santo Domingo, República Dominicana. 50 p.

Bower, J. and J. Cutting. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. Horticultural Reviews 10: 229-271.

Bower, J.P. and Cutting, J.G.M. 1992. The effect of selecting pruning on yield and fruit quality in “Hass” avocado. Acta Hort. 296: 55-58.

Buchholz, A. 1986. Young vegetative growth as a possible factor involved with fruitlet abscission in avocado. MSc. Thesis. Hebrew University of Jerusalem, Rehovot, Israel. (In Hebrew with English abstract).

Calabrese, F. 1992. El aguacate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España 249 p.

Cossio-Vargas, L.; Salazar-García, S.; González-Duran, I. y Medina-Torres, R. 2007a. Algunos aspectos reproductivos del aguacate Hass en clima semicálido. En: Proceedings VI World Avocado Congress. Viña Del Mar, Chile. 11 p.

Cossio-Vargas, L.; Salazar-García, S.; González-Duran, I. y Medina-Torres, R. 2007b. Modelos de predicción de la determinación irreversible a la floración en los aguacates ‘Choquette’ y ‘Booth-8’. En: Proceedings VI World Avocado Congress. Viña Del Mar, Chile. 11 p.

Cossio-Vargas, L.E.; Salazar-García, S.; González-Durán, I. J. L. y Medina-Torres, R. 2008. Fenología del aguacate Hass en el clima semicálido de Nayarit, México. Revista Chapingo. Serie Horticultura 14(3): 325-330.

Cutting, J.G.M. 2003. Impact of spring and summer flush type on flowering in Hass avocado. New Zealand Avocado Growers Association. Annual Research Report 3: 42-47.

Cutting, J.G. and Bower, J.P. 1990. Spring vegetative flush removal: the effect on yield size, fruit mineral composition and quality. South African Avocado Growers' Association Yearbook 13: 33-34.

Chandler, W.H.1958. Evergreen Orchards. 2nd ed. Lea and Febiger, Philadelphia. pp. 205-228.

Davenport, T.L. 1986. Avocado flowering. Horticultural Reviews 8: 257-289.

Dixon, J. 2007. Shoot growth of Hass avocado trees in 'on' and 'off' flowering years in the western bay of Plenty. Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association. 7: 41-48.

Dixon, J. and D., Sher. 2002. Pollination of avocados. Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association 2: 31-40.

Dixon, J.; Cotterell, C.; Hofstee, B. and Elmsly, T. A. 2008. 'Hass' avocado tree phenology 2004-2009 in the Western Bay of Plenty. Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association 8: 35-57.

Dixon, J.; Elmsly, T. and Greenwood, A. 2007a. Differences in initial fruit set on determinate and indeterminate flowering shoots. Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association 7: 31-40.

Dixon, J.; Elmsly, T.; Dixon, E. and Mandemaker, A. 2007b. 'Hass' avocado tree phenology 2004-2008 in the Western Bay of Plenty. Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association 7: 21-29.

Espinel, L.S. y Montenegro, E. 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa de ecológico. IGAC, Bogotá. 238 p.

FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Bol. No 56, Roma, Italia.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2012. http://faostat.fao.org/c FAO; consultado: noviembre 2012.

Galán-Saúco, V. 1990. Aguacate. En: Los frutales tropicales en los subtrópicos. i. Aguacate, mango, litchi y longan. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 25-58.

Gandolfo, S.P. 2008. Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruta del aguacate. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Producción Vegetal. Valencia, España. 225 p.

García-Serrano J., P.; Lucena M., J.J.; Ruano C., S. y Nogales G., M. 2009. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Parte I. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 119 p.

Gardner, L.C. and Lovatt, C.J. 2008. The relationship between flower and fruit abscission and alternate bearing of Hass avocado. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 133: 3-10.

Gazit, S. y Degani, C. 2007. Biología reproductiva. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 103-131.

Halle, F.; Oldeman, R.A.A. and Tomlinson, P.B. 1978. Tropical trees and forest: An Architectural Analysis. Springer Verlag. Berlin, Germany. 441 p.

Hernández, F. 1991. Aproximación al ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill.) cultivar Hass, para la zona de Quillota, V región. Taller de Licenciatura. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. 99 p.

Ho, L.C. 1988. Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. Ann. Rev. Plant Physiol. 39: 355–378.

Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs, 54(2): 187-211.

Issarakraisila, M. and Considine, J.A. 1994. Effects of temperature on pollen viability in mango cv. Kensington. Annals of Botany, 73: 231-240.

Jackson, D.I. and Sweet, G.B. 1972. Flower initiation in temperate woody plants. Hort. Abst. 42: 9-24.

Jaramillo-Robledo, A. 2005. Clima andino y café en Colombia CENICAFÉ. Chinchiná, Caldas. Colombia. 196 p.

Lahav, E. and Kalmar, D. 1977. Water requirement of avocado in Israel. II. Influence on yield, fruit growth and oil content. Austral. J. Agric. Res. 28:869-877.

Liu, X., Hofshi, R. and Arpaia, M.L. 1999. Hass avocado leaf growth, abscission, carbon production and fruit set. Proceedings of avocado Brainstorming. Session 3. Canopy management 52-55. Riverside, California. pp. 52-55.

Lovatt, C. 1990. Factors affecting fruit set/early fruit drop in avocado. California Avocado Society Yearbook 71: 193-199.

MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2013. Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero 2011. Dirección de Política Sectorial - Grupo Sistemas de Información. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/anuario/anuario.pdf; consulta: abril 2013.

Mejía, 2011. Informe de Gestión. Secretaría Técnica Consejo Nacional del Aguacate. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Abril - Junio / 2011. Bogotá, Colombia. 32 p.

Mena-Volker, F. 2004. Fenología del palto, su uso como base del manejo productivo. 2º Seminario Internacional de Paltos. Sociedad Gardiazábal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile. http://www.avocadosource.com/Journals/2_Seminario/2_Seminario_Mena_Fenologia_SPAN.pdf; consulta: abril 2014.

Monselise, S.P. and Goldschmidt, E.E. 1982. Alternate bearing in fruit trees. Hort. Rev. 4: 128-173.

Orduz, O.R. 2007. Estudios ecofisiológicos y caracterización morfologica y molecular de la mandarina 'Arrayana' (*Citrus reticulata* Blanco) en el piedemonte llanero de Colombia. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Bogotá, D.C. 137 p.

Pegg, K.G.; Forsberg, L.I. and Whiley, A.W. 1982. Avocado root rot. Queensland Agricultural Journal 108: 162–168.

Pérez, M.; Avilán, L.; Soto, E.; Rodríguez, M. and Ruiz, J. 2007. Thermal and hydric behaviour in Mexican variety avocado (*Persea* spp) flowering in the coastal north-center region of Venezuela. Proceedings VI World Avocado Congress. Viña Del Mar, Chile. 9 p.

Ploetz, R.C.; Ramos, J.L. and Parrado, J.L. 1991. Shoot and root cycles of avocado in south Florida. Proc. Fla. State Hort. Soc. 104: 21-24.

Ploetz, R.C.; Ramos, J.L. and Parrado, J.L. 1992. Shoot and root growth phenology of grafted avocado. In: Lovatt, C.J. (ed.). Proceedings II World Avocado Congress. University of California, Riverside, USA. pp. 215-220.

Popenoe, W. 1919. The avocado in Guatemala. USDA Bulletin 743 p.

Rocha-Arroyo, J.L.; Salazar-García, S. y González-Durán, I.J.L. 2008. Flujos de crecimiento vegetativo y reproductivo del aguacate Hass en diversos climas de Michoacán. Proceedings of the Caribbean Food Crops Society 44(2): 425-431.

Rocha-Arroyo, J.; Salazar-García, S.; Bárcenas-Ortega, A.; González-Durán J. y Cossio-Vargas, L. 2011a. Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2(3): 303-316.

Rocha-Arroyo, J.; Salazar-García, S.; Bárcenas-Ortega, A.; González-Durán J. y Medina-Torres, R. 2011b. Crecimientos vegetativo y reproductivo del aguacate Hass en diversos climas de Michoacán, México. Proc. VII World Avocado Congress. Cairns, Australia. 10 p.

Rodríguez S., F. 1982. El aguacate. A.G.T. Editor, México D. F., México. 167 p.

Rosales, J.; Parodi, G. y Carlini, B. 2003. Evaluación del ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass para la zona de la irrigación Santa Rosa, Perú. Proc. V World Avocado Congress. Málaga-Granada, España. pp. 311-316.

Salazar-García, S. 2000. Fisiología reproductiva del aguacate. En: Telíz, D. ed. El Aguacate y su Manejo Integrado. México, D. F. Mundi- Prensa. pp: 57-83.

Salazar-García, S. 2007. Floración y fructificación. En: Teliz, D. y Mora, A. (ed.) El aguacate y su manejo integrado. 2a. edición. Mundi-Prensa. México D. F., México. pp. 64-86.

Salazar-García, S. and Cortés-Flórez., J.I. 1986. Root distribution of mature avocado trees growing in soils of different texture. California Avocado Society Yearbook. 70: 165-174.

Salazar-García, S. and Lovatt, C. 1998. GA_3 application alters flowering phenology of the Hass avocado. J. Am. Soc. Hort. Sci. 123(5): 791-797.

Salazar-García, S. and Lovatt, C. 2002. Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.). I. Inflorescence and flower development. Revista Chapingo Serie Horticultura. 8(1): 71-75.

Salazar-García, S., E. Lord and C. Lovatt. 1999. Inflorescence development of the Hass avocado: commitment to flowering. J. Am. Soc. Hort. Sci. 124 (5): 478-482.

Salazar-García, S.; Cossio-Vargas, L.; Lovatt, C.; González-Duran, I. and Pérez-Barraza, M. 2006. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of Hass avocado. Hort Science 41(7): 1541-1546.

Salazar-García, S.; Cossio-Vargas, L.; González-Durán, I. y Lovatt, C. 2007. Desarrollo floral del aguacate Hass en clima semicálido. Parte I. Influencia de la carga de fruta y edad de los brotes. Revista Chapingo Serie Horticultura 13(1): 87-92.

Sánchez-Pérez., J. de la L.; Alcántar R., J.J.; Coria A., V.M.; Anguiano C., J.; Vidales F., I.; Tapia V., L.M.; Aguilera M., J.L.; Hernández R., G. y Vidales F., J.A. 2001. Tecnología para producir aguacate en México. SAGARPA-INIFAP. Campo Experimental Uruapan. Libro técnico No. 1. Uruapan, México. 208 p.

Scora, R.W.; Wolstenholme, B.N. and Lavi, U. 2002. Taxonomy and botany. In: AW Whiley, B Schaffer and BN Wolstenholme (eds): The Avocado: Botany, Production and Uses. CABI Publishing. Wallingford, U.K. pp. 15-38.

Schaffer, B., Whiley, A.W. and Crane, J.H. 1994. Mango. In: Schaffer, B. and Andersen, P.C. (eds) Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crop, Vol 2, Subtropical and Tropical Crops. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 165-197.

Scholefield, P.B.; Sedgley, M. and Alexander, D. Mc.E. 1985. Carbohydrate cycling in relation to shoot growth, floral initiation and development and yield in the avocado. Scientia Horticulturae 25: 99-110.

Schroeder, C.A. 1944. The avocado inflorescence. California Avocado Society Yearbook 28: 39–40.

Sedgley, M. and Alexander, D.M. 1983. Avocado breeding research in Australia. California Avocado Society Yearbook 67: 129-135.

Sedgley, M. and Grant, W.J.R. 1983. Effect of low temperature during flowering on floral cycle and pollen tube growth in nine avocado cultivars. Scientia Horticulturae 18:207-213.

Tapia V., L.M; Larios G., A.; Vidales F., I.; Pedraza S., M.E. y Barradas, V.L. 2011. Cambio climático en la zona aguacatera de Michoacán: Análisis de precipitación y temperatura a largo plazo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 2. p. 325-335.

Teliz, D. 2000. El aguacate y su manejo integrado. Ed. Mundi- Prensa. México. 219 p.

Thorp, T.G.; Aspinall, D. and Sedgley, M. 1993. Influence of shoot age on floral development and early fruit set in avocado (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass'. J. Hort. Sci. 68: 645-651.

Thorp, T. G.; Anderson, P. and Camilleri, M. 1995. Avocado tree growth cycles a quantitative model. Proceedings III World Avocado Congress. Tel Aviv, Israel. pp. 76-79.

Van der Walt, M.; Davie, S. J. and Smith, D. G. 1993. Carbohydrate and other studies on alternate bearing Fuerte and Hass avocado trees. South African Avocado Growers' Association Yearbook 16:82-85.

Van Schaik, C.P.; Terborgh, J.W. and Wright, S.J. 1993. The phenology of tropical forest - adaptive, significance and consequences for primary consumers. Annu. Rev. Ecol. Syst. 24: 353-377.

Whiley, A. 1990a. CO_2 assimilation of developing fruiting shoots of cv. Hass avocado (*Persea americana* Mill). South African Avocado Growers' Association Yearbook 13: 28-33.

Whiley, A. 1990b. Interpretación de la fenología y fisiología del palto para obtener mayores producciones. En: Avocado Source. 24 p. http://www.avocadosource.com/ journals /civdmchile _1990/civdmchile_1990_pg_06. pdf; consulta: abril 2013.

Whiley, A.W. 1994. Ecophysiological studies and tree manipulation for maximization of yield potential in avocado (*Persea americana* Mill.). PhD thesis, Department of Horticultural Science. University of Natal. Pietermaritzburg, South Africa. 179 p.

Whiley, A.W. and Winston, E. C. 1987. Effect of temperature at flowering on varietal productivity in some avocado-growing areas in Australia. South African Avocado Growers' Association Yearbook, 10s: 45-7.

Whiley, A.W. and Schaffer, B. 1994. Avocado. In: Scahffer, B. and Anderson, P.C. (eds) Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol. 2 Subtropical and Tropical Crops. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A. pp. 165-197.

Whiley, A.W., Saranah, J.B., Cull, B.W. and Pegg, K.G. 1988. Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. Queensland Agricultural Journal 114: 29-36.

Whiley, A.W.; Wolstenholme, B.N.; Saranah, J.B. and Anderson, P.A. 1990. Effect of root temperature on growth of two avocado rootstocks cultivars. Acta Hort. 275: 153-160.

Whiley, A.W.; Saranah, J.B. and Wolstenholme, B.N. 1998. Pheno-physiological modelling in avocado - an aid in research planning. Proceedings III World Avocado Congress. Tel Aviv, Israel. pp. 71-75.

Whiley, AW, Schaffer, B and Wolstenholme, BN 2002. The Avocado: Botany, Production and Uses. CABI Publishing. Wallingford, U.K. pp. 416.

Wilkie, J.; Sedgley, M. and Olesen, T. 2008. Regulation of floral initiation in horticultural trees. J. Exp. Bot. 59(12): 3215–3228.

Wolstenholme B.N. 1990. Resource allocation and vegetative reproductive competition: Opportunities for manipulation in evergreen fruit trees. Acta Horticulturae 275: 451-459.

Wolstenholme, B.N. 2001. Understanding the avocado tree; introductory ecophysiology. In: De Villiers, E. A. EA de Villiers (ed.): The Cultivation of Avocado. Institute Tropical and Subtropical Crops/ARC, Nelspruit, South Africa. pp. 45-61

Wolstenholme, B.N. and Whiley, A.W. 1989. Carbohydrate and phenological cycling as management tools for avocado orchards. South African Avocado Growers' Association Yearbook 12: 33-37.

Wolstenholme, B.; Whiley, A. and Saranah, J. 1990. Manipulating vegetative: Reproductive growth in avocado (*Persea americana* Mill.) with paclobutrazol foliar sprays. Scientia Horticulturae 41: 315-327.

Wolstenholme, B. and Whiley, A. 1995. Strategies for maximizing avocado productivity: An overview. pp 61-70. Proceedings III World Avocado Congress. Tel Aviv, Israel.

Zilkah, S.; Klein, I.; Feigenbaum, S. and Wepaum, S.A. 1987. Translocation of foliar-applied urea ^{15}N to reproductive and vegetative sinks of avocado and its effects on fruit set. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112:1061-1065.

Capítulo 3

Comportamiento de la fotosíntesis en aguacate cv. Hass plantado en diversos ambientes del departamento de Antioquia.

3.1 Resumen

El estudio se realizó en cuatro localidades del departamento de Antioquia, en cultivos comerciales de aguacate cv. Hass. Las localidades seleccionadas por sus diferencias climáticas y altitudinales, fueron Támesis a 1.350 msnm, Jericó a 1.900 msnm, Rionegro a 2.147 msnm y Entrerríos a 1.340 msnm. Se estudió la variación de la fotosíntesis y de otros parámetros fisiológicos en los cuatro diferentes ambientes, en árboles del cv. Hass, de aproximadamente 5 años de edad. Se realizaron dos curvas diarias de comportamiento fotosintético (una en verano y otra en la época de lluvias) y tres curvas de máxima actividad fotosintética neta (Fn), en hojas maduras de cuatro árboles en cada localidad y en diferente estado fenológico. La actividad fotosintética presentó variaciones, determinadas principalmente por el flujo fotónico incidente sobre la fronda del árbol, la temperatura y la humedad relativa ambiental. Los valores de Fn obtenidos en la época de lluvias fueron mayores que los de verano en todas las localidades. En Entrerríos en la época de lluvias fue de 6,13 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} y en verano de 3,56 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}; en Rionegro en la época de lluvias de 5,42 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} y en verano de 4,80 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}; en Jericó fue de 6,59 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} en la época de lluvias y de 5,97 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} en verano y en Támesis en la Fn en la época de lluvias fue de 7,66 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} y en verano de 5,47 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Los valores máximos de la radiación fotosintéticamente activa, se observaron en verano en Entrerríos con 1234 µmol fotones m^{-2} s^{-1} y en Jericó con 1255 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. La Fn estuvo influenciada por el estado fenológico de los árboles, presentándose mayores tasas fotosintéticas cuando los árboles mostraban crecimiento activo, floración y/o frutos, en comparación con árboles en reposo. No se observó diferencia significativa en la Densidad Estomática (DE) por estrato del árbol; la DE en las hojas de los árboles cultivados en Entrerríos fue de 116,99 estomas mm^{-2}, en Rionegro de 113,20 estomas mm^{-2}, en Jericó 138,86 estomas mm^{-2} y en Támesis de 134,74 estomas mm^{-2}, siendo muy similar su número en todas las localidades.

Palabras clave: *Persea americana* Mill, radiación fotosintéticamente activa, estomas, densidad estomática, frutales, cultivos perennes.

3.2 Introducción

Mandemaker (2007a) señala que para lograr incrementos en los rendimientos del fruto, se requiere de un mayor entendimiento de la fisiología del aguacate, particularmente, del proceso fotosintético, donde sea posible establecer las épocas con mayores tasas de fijación de CO_2 y consecuentemente, mayor acumulación de carbohidratos. Sin embargo, los promedios en la tasa de intercambio de CO_2 varían con el tiempo, la edad de la planta, la hoja evaluada, la época del año, el estado fenológico y las condiciones del cultivo.

Los factores ambientales influyen en todos los aspectos del crecimiento del aguacate y determinan la magnitud con la que se expresa su potencial genotípico. Con frecuencia la actividad fotosintética es un indicador del crecimiento actual y futuro del cultivo y de su productividad. Además de la cantidad de carbono acumulado y fijado en forma de carbohidratos, el crecimiento y la producción también dependen de la repartición espacial y temporal de los carbohidratos en los distintos órganos de la planta (Whiley *et al.,* 1988; Wolstenholme, 1990). Los factores ambientales tales como la luz, la temperatura y las concentraciones de CO_2 y O_2 atmosférico, no solo afectan la fotosíntesis y la respiración, sino que también tienen repercusión sobre la repartición de carbohidratos en diferentes órganos (Schaffer y Whiley, 2007). La disminución en la productividad en muchas especies de plantas debido a condiciones ambientales adversas o prácticas de manejo inadecuadas, es asociada con frecuencia a la reducción en la capacidad fotosintética, esto radica en la importancia de su principal producto, un alto poder reductor, para formar carbohidratos que son usados para el crecimiento y mantenimiento de la planta (Schaffer y Whiley, 2002; Taiz y Zeiger, 2002).

En aguacate, el principal limitante en el proceso fotosintético es la disponibilidad de radiación en las diferentes partes del dosel. Debido a la alta densidad y vigor de los flujos de crecimiento vegetativo, el manejo inadecuado de la copa, puede causar en árboles de gran porte, un alto sombreamiento interno. La baja disponibilidad lumínica en la parte interna y en los estratos inferiores del árbol, genera una reducción en la eficiencia fotosintética de la planta y una disminución en el rendimiento y calidad del fruto (Schaffer y Whiley, 2002; Hadari, 2004; Medina-Torres *et al*., 2011).

La cantidad de carbono fijado en la fotosíntesis es controlada principalmente por la radiación incidente y la temperatura, y es limitada por la disponibilidad de agua y de nutrientes. La temperatura controla directamente las tasas de producción bruta y respiración ya que la actividad de las enzimas implicadas en estos procesos depende de la temperatura. Además determina la tasa de fotosíntesis neta (el balance entre el carbono atmosférico fijado por las plantas, la fotosíntesis bruta y el carbono retornado por las hojas, durante el proceso de la respiración oscura). De toda la radiación incidente sobre una hoja, sólo los fotones cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y los 700 nm resultan útiles para la fotosíntesis. El flujo de fotones fotosintéticos (FFF) absorbido por las hojas, constituye la fuente de energía utilizada en la fotosíntesis y determina la tasa de asimilación del CO_2 (Taiz y Zeiger, 2002).

El aguacate es una planta típica C3, con una máxima capacidad de intercambio de CO_2 alcanzada a 20-25 °C. El punto de saturación de luz para la fotosíntesis en árboles adultos de aguacate cv. Hass es de 1.110 µmol quanta m^{-2} s^{-1} de flujo de fotones fotosintéticos, alrededor de la mitad de lo que se obtiene al mediodía en el trópico. Las hojas tardan alrededor de 40 días desde la brotación de la yema hasta cuando empiezan

a ser exportadoras netas de fotoasimilados. Durante estos 40 días, las hojas compiten con los frutos en desarrollo por los fotoasimilados disponibles y esta competencia, tiene una marcada influencia sobre la retención y desarrollo del fruto (Paull y Duarte, 2011).

Existen informes contradictorios en la literatura sobre los efectos de la luz en la fotosíntesis neta de los árboles de aguacate. Los primeros estudios indicaron que la saturación de luz para la fotosíntesis de hojas de un aguacate cv. Fuerte plantado en maceta, estuvo entre 400-500 µmol m^{-2} s^{-1} (Scholefield *et al*., 1980). Para copas completas de árboles del cv. Edranol, establecidos en macetas, la saturación de luz se produjo a un flujo fotónico fotosintético (FFF) de 660 µmol m^{-2} s^{-1}, o cercano al 33 % de la luz solar total (Bower *et al*., 1978). Los mismos autores encontraron que el mayor punto de saturación de luz, medido para una población de hojas, se debió, muy probablemente, a que una parte del follaje estaba a la sombra, por lo que requería un FFF mayor para saturar todas las hojas (Whiley, 1994; Whiley y Schaffer, 1994).

Para las hojas de aguacate cv. Hass el punto de compensación de luz, es decir, el nivel de FFF al cual la fotosíntesis neta se iguala cero, es de ≈63 µmol m^{-2} s^{-1} cuando es cultivado en macetas (Scholefield *et al*., 1980) y de ≈10 µmol m^{-2} s^{-1} para hojas de plantas cultivadas en el campo (Whiley, 1994). Ambos valores son considerablemente menores a los 200-120 µmol m^{-2} s^{-1} encontrados a 1–1,5 m dentro de una copa en un día soleado (Whiley *et al*., 1992). Estos puntos de compensación de luz relativamente bajos reflejan, indudablemente, el hábitat lumínico bajo el cual se desarrolló originalmente el aguacate, un bosque tropical lluvioso. La tendencia a favor del crecimiento vegetativo (Wolstenholme, 1990), que permite al aguacate superar la competencia por luz en las copas en las condiciones del bosque tropical lluvioso y el bajo punto de compensación lumínico, contribuyen a maximizar la fotosíntesis de los árboles en su hábitat de origen.

A pesar de ello, existe una correlación escasa entre la fotosíntesis neta de las hojas y la productividad de la planta. En efecto, el cálculo de la productividad de una planta usando la fotosíntesis neta foliar, da resultados comparables sólo si se toman en cuenta la anatomía y morfología de la planta junto con su geometría y la absorción de luz por la copa (Bolhar-Nordenkampf, 1985). La tasa fotosintética o de intercambio de CO_2 (FN) del aguacate pueden verse afectada por leves fluctuaciones de temperatura. El rango óptimo de temperaturas para la fotosíntesis del cv. “Edranol” plantado en macetas fue de 20-24 °C para una tasa de 0,40 µmol m^{-2} s^{-1} (Bower, 1978). Más o menos 5 °C dentro de este rango, la fotosíntesis neta (FN) declinó cerca del 20 %. En Australia, la fotosíntesis neta en el cv. Hass, se redujo de 19 µmol m^{-2} s^{-1} durante el otoño, cuando las temperaturas mínimas diarias fueron más altas de 14 °C a 10,9 µmol m^{-2} s^{-1} en invierno, cuando las temperaturas estuvieron a menos de 10º C (Whiley *et al*., 1999). Mandemaker (2007b), en Nueva Zelanda estableció que en el cv. Hass el intercambio neto de CO_2 en verano y otoño, bajo saturación de luz, fue de 7 a 12 µmol m^{-2} s^{-1}; el valor máximo de Fn fue de 18 µmol m^{-2} s^{-1} en un día cálido de invierno, que coincidió con las temperaturas más frías.

De otro lado, en climas cálidos como el de La Florida y California, las temperaturas alcanzan su nivel máximo durante el verano, lo que limita el rendimiento fotosintético. La Fn se redujo a cerca de cero en California en el cv. Hass cultivado en el campo cuando la temperatura de la hoja estuvo entre 35 a 40 °C; situación que estuvo fuertemente correlacionada con la reducción en la conductancia estomática (Liu *et al*., 2002). Se ha encontrado que la fotosíntesis puede ser mantenida al 33 % de sus niveles máximos, a temperaturas por arriba de 40 °C (Scholefield *et al*., 1980; Whiley y Schaffer, 1994).

El crecimiento de la planta y la formación de frutos tienen una estrecha relación con el aprovechamiento lumínico. Así, una reducción de la intensidad lumínica afecta sobre todo la inducción del botón floral, su diferenciación, el cuajado, tamaño, color y la calidad de los frutos y en menor grado el crecimiento (Dussi, 2007). En las zonas altas, en donde el aire es más limpio y la radiación solar más elevada, la calidad del fruto es superior en cuanto a su coloración y aspecto sanitario (Fischer y Orduz-Rodríguez, 2012). Además, por las temperaturas bajas en estas altitudes, Dussi (2007) supone que los frutos pueden reducir la pérdida respiratoria de azúcares en la cáscara por lo cual se acumularán más fotoasimilados importantes para la biosíntesis de antocianinas. La fracción de la radiación incidente sobre el dosel que es absorbida por las hojas que la componen, depende básicamente de la estructura de la copa. Una descripción detallada de la estructura de la copa requiere localizar la posición, orientación e inclinación de las hojas y otros órganos aéreos de la planta, lo que representa una tarea imposible de llevar a cabo salvo en el caso de doseles muy sencillos. Las propiedades espectrales de la superficie foliar también afectan a las propiedades ópticas de las copas (Ross, 1981).

En las plantas superiores varias funciones fisiológicas importantes involucran intercambio de gases entre la atmósfera y la hoja. El intercambio de gases generalmente ocurre a través de los estomas en la epidermis. Los estomas son responsables de la toma de CO_2 y de la pérdida de agua durante la transpiración bajo las cambiantes condiciones ambientales. Por ello, la información acerca de la morfología, densidad y frecuencia de los estomas es importante para el mejor entendimiento del intercambio de gases (Barrientos-Priego *et al*., 2003). Los estomas de aguacate de la raza Mexicana se encuentran distribuidos uniformemente en la hoja (Macías y Borys, 1980), lo que fue ratificado por Figueroa y Hernández (1986) y Morales-Escobar *et al*. (1992) quienes no encontraron diferencias en la parte apical, media y basal de las hojas de aguacate de las razas Antillana y Mexicana, respectivamente.

Estudios en razas y cultivares de aguacate bajo diferentes condiciones y etapas de desarrollo, han mostrado que la densidad estomática puede variar de 100 a 610 estomas por mm^2 (Kadman, 1965). Según Chartzoulakis *et al.* (2002), la anatomía foliar en aguacate está influenciada por condiciones ambientales; tal es caso de la sequía, que causa reducción en varias características anatómicas, por lo que es probable que también cambie la densidad estomática. El sombreado podría ocasionar diferencias aún dentro del mismo dosel del árbol, como sucede en manzano (*Malus domestica* Borkh.), en el que ocasiona una reducción en la densidad estomática (Cowart, 1935). La variación en el número de estomas por unidad de superficie es una característica intrínseca del aguacate, con diferencias hasta del 100 % (Barrientos-Pérez y Sánchez-Colín, 1983; Barrientos-Priego y Sánchez-Colín, 1987). Al respecto, en árboles de 4 meses, 9, 15 y 23 años de edad, Saavedra (1993) detectó que la densidad estomática es muy estable en cada cultivar, como también se ha evidenciado en el portainjerto clonal de manzano M27 de 2, 6, 9 y 22 años de edad (Beakbane y Majumder, 1975).

La relación entre la asimilación de CO_2 y la conductividad estomática varía entre especies, siendo fuerte en algunos casos, mientras que en otros es débil o puede no presentarse. Heath *et al*. (2010) documentaron la relación entre estos parámetros a diferentes horas del día y entre diferentes cultivares de aguacate; en todos los casos, la relación fue alta sugiriendo que la conductancia es el principal factor que afecta la fotosíntesis en hojas de aguacate y que cualquier factor que afecte la conductancia afecta directamente el desempeño fotosintético y potencialmente la productividad. El sistema estomático en el aguacate es muy sensible al estatus hídrico de la planta, controlando la asimilación

completamente. Altas temperaturas inhiben la toma de agua y causan el cierre estomático debido a un aumento del CO_2 en los tejidos; sin embargo, el cierre es lento y la transpiración continúa. Por otro lado, el cierre estomático es rápido en respuesta a la luz, lo que significa que las hojas ubicadas en la parte interna del dosel, que tienen un alto nivel de sombreamiento, tienen baja productividad. Un repentino aumento en la intensidad lumínica no resulta en un incremento en la productividad de las hojas de aguacate, debido a que la apertura estomática es lenta (Heath y Arpaia, 2006).

Wolstenholme y Whiley (1999) encontraron que la conductancia estomática de las hojas de aguacate llegó a su punto más alto poco después del amanecer (425 mmol m^2 s^{-1}), cuando el déficit de presión de vapor (DPV) estuvo en su punto más bajo del día; hacia el mediodía, la conductancia cayó a 105 mmol m^2 s^{-1} cuando el DVP era más pronunciado. Bower *et al*. (1978) encontraron en aguacate cv. Edranol una disminución del 50 % en la fotosíntesis neta de los árboles debido a una reducción en la conductancia estomática como resultado de un aumento en el DPV.

Heat *et al*. (2010) apreciaron que bajo las condiciones de las zonas productoras de California, en la mañana el DPV, la temperatura y la HR son significativamente mayores que en las horas de la tarde, lo que genera un alta conductancia en la mañana (>150 mmol m^2 s^{-1}) y causa un cierre de estomas en la tarde (50 % del cierre estomático o más). Por el contrario baja conductancia en la mañana, resulta en alta conductancia en la tarde (10-20 % del cierre estomático), esta relación es fuerte en la mayoría de variedades cultivables de aguacate. Sin embargo, la relación entre la conductancia de la mañana y de la tarde puede ser aumentada por el incremento del DVP como consecuencia de la disminución de la HR en la tarde.

Existe una cantidad importante de investigaciones sobre prácticas de manejo y cultivo del aguacate. Sin embargo, como ocurre generalmente en las especies de árboles frutales tropicales, a diferencia de las especies de la zona templada (Schaffer y Andersen, 1994), se dispone de poca investigación acerca de la fisiología ambiental del aguacate. Cultivos de aguacate cv. Hass establecidos en diferentes zonas productoras cambian considerablemente en su comportamiento agronómico y ecofisiológico, teniendo en cuenta que se han plantado a diversas altitudes, con diferente humedad relativa, temperatura, radiación solar, entre otros factores. En Colombia, son escasos los estudios sobre fotosíntesis en aguacate, por lo que, el objetivo de este estudio fue determinar la variación de la tasa de fotosíntesis y los parámetros ecofisiológicos con ella relacionados, en árboles de aguacate cv. Hass, establecidos en cuatro diferentes altitudes.

3.3 Materiales y Métodos

3.3.1 Ubicación

Los cultivos experimentales estaban localizados en: Municipio de Entrerríos, vereda La Tabla, finca Guacamayas. Municipio de Rionegro, vereda Varahonda, finca La Escondida. Municipio de Jericó, vereda Palenquito, finca El Encanto. Municipio de Támesis, vereda San Isidro, finca La María.

3.3.2 Material biológico

El trabajo de campo se realizó en huertos comerciales de aguacate cv. Hass, de cinco años de edad, injertados sobre portainjertos criollos originados por semilla. Las plantas procedían del vivero Profrutales Ltda. (Villa Gorgona, Valle del Cauca). Al inicio del estudio, se hicieron en todos los huertos, análisis de suelo y foliar, con el fin de conocer sus condiciones fisicoquímicas. Con base en los resultados se generaron las recomendaciones para el manejo nutricional de los árboles. En todas las localidades los suelos eran de textura franca o franco arenosa.

3.3.3 Procedimiento experimental

3.3.3.1 Determinación de la curva diaria fotosintética

En el tercio medio de cada brote (5ª o 6ª hoja desde el ápice), en cuatro árboles seleccionados, se eligió una hoja joven, completamente desarrollada, en el tercio medio de los árboles, en cuatro ramas equidistantes (Medina-Torres *et al*., 2011), con el fin de realizar el seguimiento a la actividad fotosintética de cada una de ellas durante el día desde las 6:00 hasta las 18:00 horas, usando el equipo portátil de fotosíntesis CIRAS-3 PP System®. Se realizaron dos curvas diarias, una en época de lluvias (invierno) y la otra en época de menor precipitación (verano) para determinar las diferencias en cada estado climatológico. Se midió la tasa de fotosíntesis neta (Fn) (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), humedad relativa ambiental (HR), temperatura de la hoja (TH) y radiación fotosintéticamente activa (RFA) (µmol fotones m^{-2} s^{-1}).

3.3.3.2 Determinación de la actividad fotosintética

Con la información anterior donde se determinaron las horas de máxima actividad fotosintética, se registró, en las cuatro localidades, en cuatro árboles, la fotosíntesis instantánea. Para ello, se tomó como órgano de referencia, una hoja joven, completamente desarrollada, durante la fase vegetativa y la hoja de igual característica, por debajo o más cercana, a las flores-frutos (reproductivo). Las lecturas se realizaron entre las 9:00 y las 13:00 horas (Córdoba, 2012). Las variables registradas fueron: Tasa de fotosíntesis neta (Fn) (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), temperatura de la hoja (TH) (°C) y radiación fotosintéticamente activa (RFA) (µmol m^{-2} s^{-1}).

3.3.3.3 Densidad estomática

El procedimiento que se siguió fue el utilizado por Barrientos-Priego (1986), que básicamente consistió en aplicar una película de barniz de uñas transparente sobre la superficie abaxial de la hoja, con la que se obtiene una impronta de los estomas, la cual se monta en un portaobjetos, para ser observada al microscopio. Las muestras se obtuvieron de hojas completamente maduras, tomadas de los tres estratos del árbol (alto, medio y bajo), en cuatro árboles. Cada estrato se obtuvo calculando la altura total del árbol, dividido por tres. En cada muestreo se tomaron tres hojas por estrato, en donde se realizaron tres lecturas. Las muestras fueron observadas con un microscopio Carl Zeiss®, utilizando un aumento de 40x. El área en mm^2 del campo microscópico se determinó con ayuda de un micrómetro objeto y ocular. La DE se obtuvo dividiendo el número de estomas observados en un área de 0,45 mm^2, equivalente al área del campo observado.

Con base en el dato obtenido por unidad de área (mm^2), se calculó el número de estomas por estrato y por localidad. Con la información obtenida se hizo análisis de varianza para evaluar, por localidad, las diferencias en número estomático entre diversos estratos.

3.3.4 Análisis Estadístico

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

3.4 Resultados y Discusión

3.4.1 Entrerríos (2.420 msnm)

3.4.1.1 Determinación de la curva diaria fotosintética

Se tomaron dos curvas diarias, la primera en marzo de 2012, que coincidió con una época de lluvias y en la cual los árboles se encontraban en un 60,9 % de floración y en 27,7 % en crecimiento vegetativo y los frutos apenas alcanzaban un 2,9 % de su crecimiento total (Figura 3-1). La segunda se registró en junio de 2013, con menor precipitación y en la cual los árboles se encontraban en un 100 % de brotación vegetativa, sin floración (Figura 3-1).

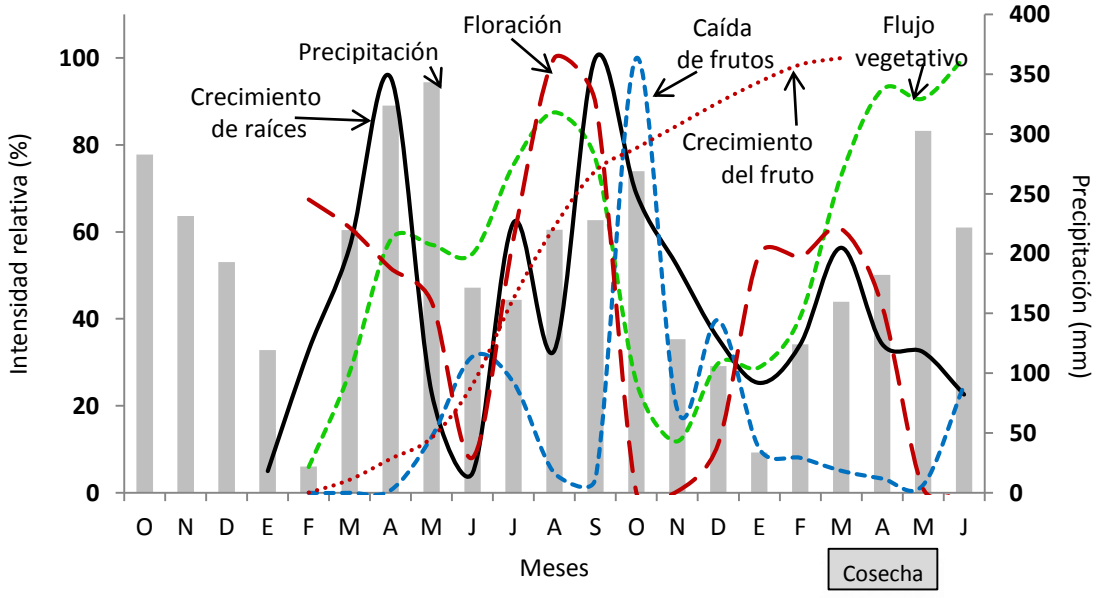


Figura 3-1. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones ambientales de Entrerríos, Antioquia (2.420 msnm) (2011–2013).

En ambos casos, la Fotosíntesis neta (Fn) presentó una relación directa con la radiación fotosintéticamente activa (RFA) disponible, ya que las fluctuaciones en esta tasa, estuvieron, en general, acompañadas de variaciones de la RFA, en la misma tendencia (Figura 3-2). La actividad fotosintética presentó un comportamiento diferencial durante el transcurso del día. El dosel del árbol de aguacate es denso y la radiación no puede penetrar en el interior fácilmente por lo cual, la efectividad del proceso fotosintético se puede volver baja en las partes internas del dosel, en los sitios donde la limitación de luz es mayor, las hojas pueden permanecer con un balance fotosintético negativo, consumiendo agua nutrientes y fotoasimilados sin contribuir con la producción primaria (Heath *et al*., 2005; Hadari, 2004).

En el primer caso, al momento de la determinación de la curva diaria se encontró que la RFA máxima incidente sobre la fronda del árbol se presentó cerca del medio día con un valor de 626,4 µmol fotones m^{-2} s^{-1}.

La dinámica de la actividad fotosintética diaria presentó un comportamiento paralelo a los cambios en la RFA durante el día (Figuras 2-2A y 2-2B). Hacia las 6:00 horas la RFA en el estrato medio del árbol presentó valores cercanos a los 22 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, razón por la cual la Fn es baja, cercana a 0,27 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Conforme transcurrió el día, la RFA se incrementó hasta alcanzar un pico a las 11:00 horas con una intensidad de 626 µmol fotones m^{-2} s^{-1} en el estrato medio del árbol, lo que se vio reflejado en un pico en la Fn cercano a 6,12 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Hacia las 15:00 horas se presentó un nuevo incremento en la Fn, el cual estuvo alrededor de los 4,67 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, que coincidió con un aumento en la RFA, de 550 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Hacia el final del día la RFA disminuyó hasta 30 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, al momento del último muestreo, donde los valores de Fn estuvieron cercanos a los -0,8 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, lo que demuestra que en la planta en ese momento predominaba la actividad respiratoria.

Similar a lo encontrado en la dinámica de la RFA, la temperatura foliar presentó una relación lineal positiva respecto la actividad fotosintética. Hacia las 6:00 horas la temperatura fue menor respecto al resto del día (12,7º C), conforme transcurría el día la temperatura se incrementó hasta alcanzar un pico a las 12:00 horas con un valor de 22,82º C. Hacia el final del día la temperatura disminuyó hasta los 13,22º C (Figura 3-2C). Se presentó una marcada disminución en la HR ambiental después de las 7:00 horas, a las 10:00 horas se alcanzó un pico mínimo de 53,15 %, a partir de las 15:00 horas, la HR aumentó hasta alcanzar al final del día valores del 86,1 %, que coincidieron con la mínima actividad fotosintética.

En las horas de la tarde, la disminución en la Fn es atribuida a una menor tasa transpiratoria como consecuencia de la variación de la humedad relativa, la cual presentó sus niveles más bajos después del mediodía (Figura 3-2D).

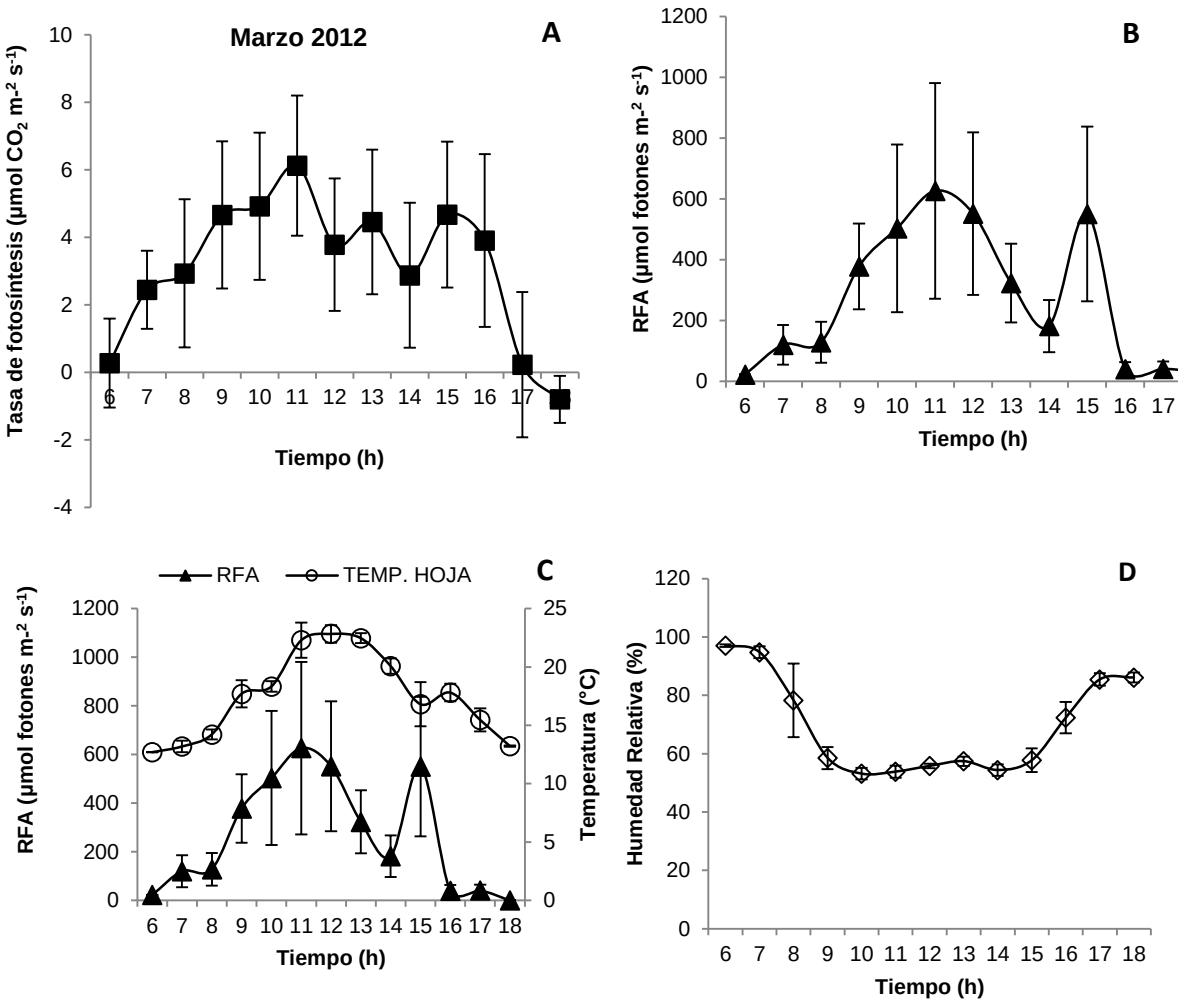


Figura 3-2. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (marzo de 2012). Entrerríos, Antioquia. Las barras sobre los promedios indican ± Error Estándar.

La dinámica de la temperatura de la hoja (similar a la observada con la RFA), presentó una relación lineal positiva respecto la actividad fotosintética. Hacia las 6:00 horas la temperatura fue menor respecto al resto del día (11,82º C), conforme transcurrió el día la temperatura se incrementó hasta alcanzar un pico entre las 9 y las 10:00 horas, con valores de 21,61 y 21,29 ºC, respectivamente. Hacia el final del día la temperatura disminuyó hasta los 14,32º C (Figura 3-3C). Se presentó una marcada disminución en la HR ambiental después de las 7:00 horas; a las 10:00 horas se alcanzó un valor de 58,67 %, alcanzándose el menor pico a las 14:00 horas con un 52,92 % de HR. La HR aumentó hasta alcanzar al final del día valores del 81,97 %, que coincidieron con la mínima actividad fotosintética. Hacia las horas de la tarde la disminución en la Fn es atribuida a una menor tasa transpiratoria como consecuencia de la variación de la humedad relativa, la cual presentó sus niveles más bajos después del mediodía (Figura 3-3D).

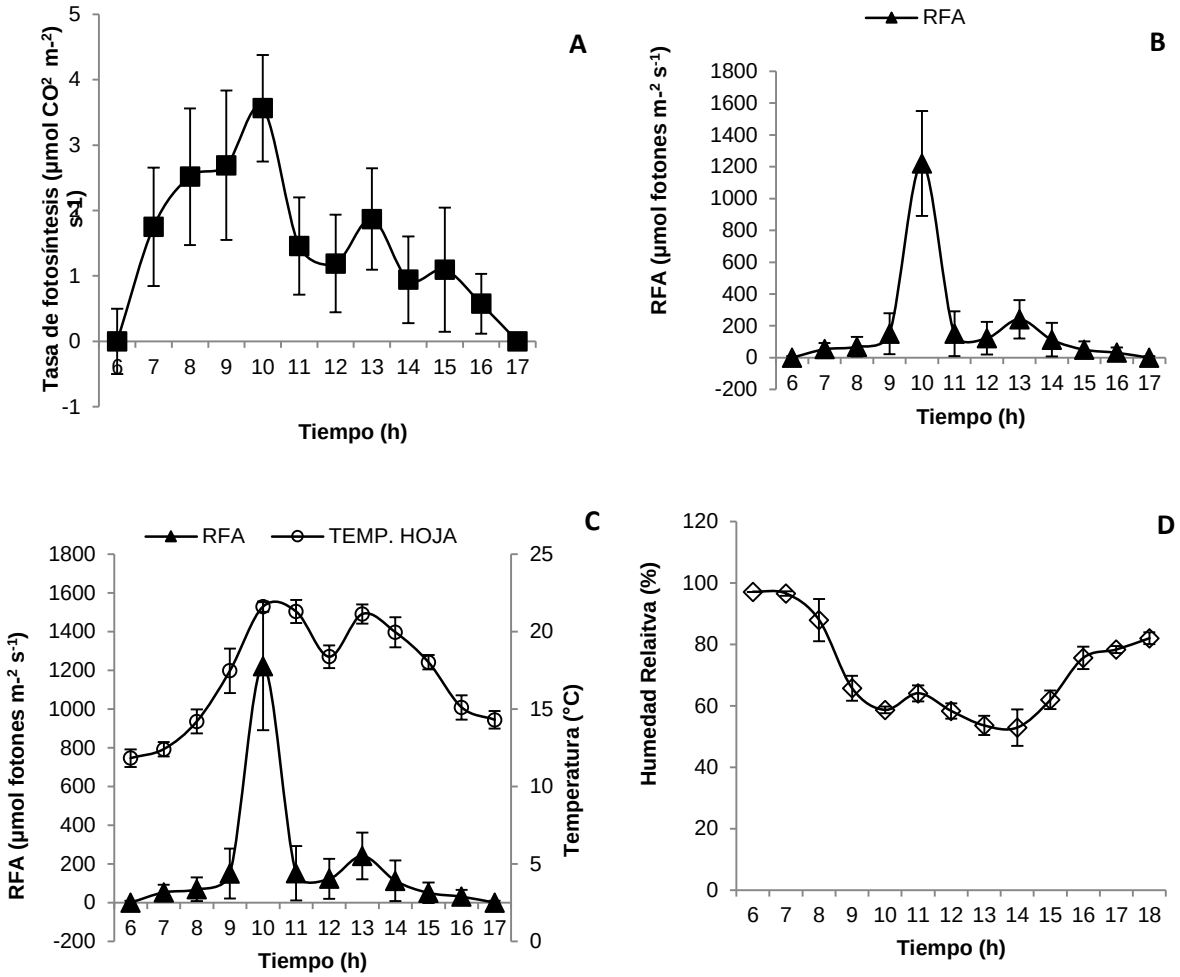


Figura 3-3. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass, durante el transcurso del día (junio de 2013). Entrerríos, Antioquia.

En la curva diaria que se realizó al momento de la floración (marzo 2012), la actividad fotosintética mostró en su punto máximo, valores mayores (6,12 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) a pesar de presentarse una baja RFA (626 µmol fotones m^{-2} s^{-1} en la fronda del árbol), en comparación con la misma curva realizada durante la etapa de crecimiento vegetativo (junio 2013), donde en la máxima actividad fotosintética se obtuvieron valores de 3,56 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, con valores de RFA de hasta 1.220 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Lo anterior muestra una mayor eficiencia fotosintética en los árboles que presentaban brotes "combinados" (procedentes de inflorescencias indeterminadas), que en los árboles con brotes solamente vegetativos, debido a una alta demanda de carbohidratos por las hojas en pleno crecimiento en este mismo brote, además de las demandas por el flujo de crecimiento reproductivo al momento de floración.

Respecto a los árboles de brotes vegetativos, su menor eficiencia fotosintética puede ser explicada por el hecho de que las hojas presentes en esos brotes, son hojas que se desarrollaron tempranamente en el flujo de crecimiento vegetativo, por tanto son hojas

completamente maduras, de ahí su menor actividad, comparada con la encontrada en los árboles con brotes con crecimiento indeterminado, ya que éstos son brotes jóvenes que se encuentran en pleno crecimiento y aún no han alcanzado su máximo potencial (Salazar-García *et al*., 2006; Gazit y Degani, 2007; Scora *et al*., 2007; Salazar-García *et al*., 2007). Según Liu *et al*. (2002), la Fn puede ser muy variable (hasta el doble) en hojas de la misma edad en el mismo flujo de crecimiento. Las curvas de respuesta lumínica también pueden presentar una amplia variación entre experimentos, cultivares y condiciones ambientales, además estas diferencias se pueden dar entre hojas presentes en diferentes tipos de ramas en un mismo árbol. En este estudio se encontró que los árboles en estado vegetativo, necesitan una mayor cantidad de luz para fijar CO_2, mientras que los árboles con inflorescencias indeterminadas donde los brotes presentan, tanto hojas como flores, son más eficientes en el uso de la luz. De hecho, en este último caso, la máxima Fn alcanzada fue de 6,12 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, con una RFA de 626,42 µmol de fotones m^{-2} s^{-1}, mientras que en árboles de hojas maduras solo se alcanzó alrededor de la mitad del valor de Fn (3,56 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), con aproximadamente el doble de la RFA (1.220,66 µmol de fotones m^{-2} s^{-1}). En inflorescencias determinadas el fruto se encuentra acompañando por hojas maduras provenientes del ciclo anterior, donde todo el sistema asimilatorio está completamente desarrollado al momento de antesis y cuajado del fruto, mientras que en inflorescencias indeterminadas el fruto en desarrollo se encuentra acompañado por hojas del nuevo flujo de crecimiento vegetativo (Rosales *et al*., 2003; Dixon, 2007), generando una competencia por agua, nutrientes y fotoasimilados entre frutos jóvenes y el crecimiento vegetativo apical el cual ocurre generalmente durante antesis y cuajado de fruto (Wolstenholme y Whiley, 1995; Bower y Cutting, 1988; Gazit y Degani, 2007; Rosales *et al*., 2003). El éxito de la formación de frutos durante los primeros 60 días posteriores a la floración depende de la disponibilidad de asimilados almacenados, la fotosíntesis del momento y del tiempo de transición de las hojas del brote como órganos demandantes a órganos fuente (Wolstenholme y Whiley, 1995).

El punto de compensación de luz o PCL, es aquel que se presenta cuando la cantidad de CO_2 fijado por la hoja, es igual a la cantidad de CO_2 respirado; en esta condición, no se presenta acumulación neta de materia seca. Las tasas negativas que se presentan con valores de FFF cercanos a los 0 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, indican que la hoja presenta una mayor actividad respiratoria. Whiley y Schaffer (1994) y Whiley (1994) encontraron que el PCL en árboles de aguacate cv. Hass en campo, fue de 10 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}

Aunque en este estudio no se determinó el Punto de Compensación de Luz (PCL), en una investigación realizada por Romero (2011), se encontró que para aguacate cv. Lorena en condiciones de clima cálido tropical, a una altitud de 495 msnm y temperatura media de 26,6 °C, el PCL estuvo cercano a los 25 µmol de fotones m^{-2} s^{-1}. Lo anterior puede servir de base para referenciar tales valores a otras zonas del trópico colombiano como las consideradas en este estudio. Autores como Whiley (1994) y Schaffer y Whiley (2003) reportan valores más bajos en el PCL cercanos a los 10 µmol fotones m^{-2} s^{-1} en aguacate cv. Hass en condiciones del subtrópico; esta diferencia puede ser atribuida a la menor intensidad lumínica bajo estas condiciones en ciertas etapas del año, por tanto las hojas están adaptadas a una menor disponibilidad lumínica. Por otra parte, Wolstenholme y Whiley (1995) mencionan que este punto puede variar entre 13 y 30 µmol de fotones m^{-2} s^{-1} según la altura y grado de sombreamiento del árbol. Varios atributos fisiológicos, tales como un bajo PCL, la rápida transformación de las hojas al pasar de vertedero a fuente y una duración corta, son el reflejo de su centro de origen (Schaffer y Whiley, 2003). Este PCL bajo proporciona una ventaja adaptativa para plantas que crecen en condiciones de sombrío, además de su habilidad natural de un acelerado crecimiento vegetativo que le

permite remplazar y producir constantemente nuevo material vegetal en búsqueda de luz (Hadari, 2004). Sin embargo bajo condiciones de plena radiación como en huertos comerciales, este bajo PCL se traduce en una elevada producción de hojas las cuales son potencialmente sombreadas en detrimento de la producción de flores y frutos (Schaffer y Whiley, 2003; Hadari, 2004). Según Wolstenholme y Whiley (1999) este PCL es intermedio y no lo suficientemente bajo como para calificar como hojas verdaderas de sombra pero indica una considerable tolerancia a bajas intensidades lumínicas.

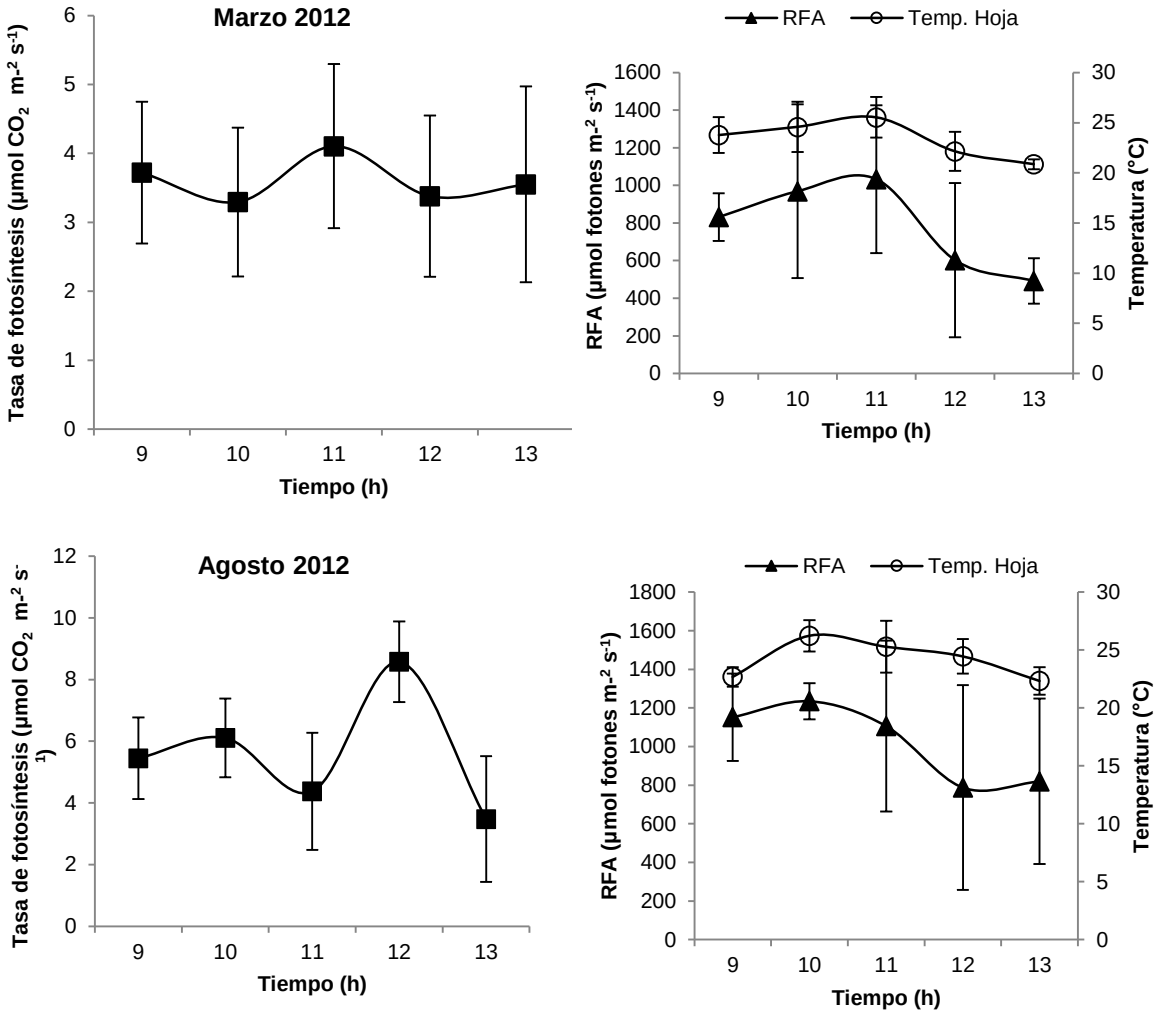
3.4.1.2 Determinación de la actividad fotosintética

Dado que se determinó que la máxima actividad fotosintética se presentó entre las 9 y las 13:00 horas, se realizaron tres lecturas en ese tiempo, en tres etapas fisiológicas del árbol, floración, crecimiento vegetativo y reposo. Para ese fin, en marzo de 2012 se realizó la primera lectura, la cual coincidió con una etapa en la cual los árboles se encontraban en un 60 % de floración, 27 % brotación, 95 % de crecimiento de raíces y un 3 % del desarrollo de los frutos, es decir recién cuajados (Figura 3-1). En este caso, la máxima Fn obtenida fue de 4,1 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, a las 11:00 horas cuando también se observó la máxima RFA de 1033 fotones m^{-2} s^{-1} y la máxima temperatura era de 25,5 °C (Figura 3-4).

En contraste, cuando las lecturas se realizaron en agosto del mismo año, cuando los árboles se encontraban en completa floración (100 %), las cuales correspondieron en su mayoría a inflorescencias indeterminadas con un 87,5 % de brotes vegetativos, se obtuvieron los mayores valores de Fn (8,57 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) (Figura 3-4) con un 60 % del fruto en crecimiento y apenas un 32 % de crecimiento de raíces (Figura 3-1). La mayor Fn se alcanzó a las 12:00 horas, pero no coincidió con la máxima RFA de 1.234 fotones m^{-2} s^{-1} ocurridos a las 10:00 horas, siendo este valor solo 788 fotones m^{-2} s^{-1}, lo que significó una mayor eficiencia fotosintética ya que la planta continuó realizando fotosíntesis a pesar que la RFA disminuyó; sin embargo, debido a la disminución de la temperatura, esto contribuyó para que los estomas continuaran abiertos y el proceso se llevara a cabo.

Lo anterior se explica con lo planteado por Scholefield *et al*. (1980), quienes encontraron que el punto de saturación por luz (PSL) en aguacate es de 1.000 fotones m^{-2} s^{-1}. El PSL es la intensidad de la luz a partir de la cual no se presentan más incrementos en la actividad fotosintética con aumentos en la RFA, aun así, leves incrementos en la RFA por encima de este punto no representan efectos adversos sobre el aparato fotosintético, este exceso de luz produce más ATP que NADPH que puede ser usado en procesos no fotoquímicos (Taiz y Zeiger, 2002). Cuando la intensidad de luz supera los 2.500 µmol de fotones m^{-2} s^{-1}, se pueden presentar daños en la maquinaria fotosintética y la Fn disminuye significativamente (Taiz y Zeiger, 2002; Hadari, 2004). Los árboles de aguacate se caracterizan por tener un metabolismo fotosintético tipo C3, en los cuales la actividad fotosintética está limitada principalmente por la disponibilidad y el suministro de CO_2 a los cloroplastos (Schaffer y Whiley, 2003). A diferencia de las especies C4, las cuales presentan una anatomía especializada que les permite incrementar sus tasas fotosintéticas conforme aumenta la intensidad de luz, en las especies C3, sus tasas fotosintéticas se ven afectadas cuando se presenta alta radiación (Taiz y Zeiger, 2002).

Los valores mínimos de Fn se obtuvieron en noviembre de ese mismo año, etapa en la cual los árboles se encontraban en una etapa de reposo, con apenas un 11 % de brotes vegetativos, sin floración, 50 % de crecimiento de raíces y un 70 % del fruto ya desarrollada (Figura 3-4). En este caso, la máxima actividad fotosintética (3,56 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) se alcanzó a las 10:00 horas, la cual coincidió con la máxima RFA (1.220 fotones m^{-2} s^{-1} y la máxima temperatura de la hoja (21,29 °C). Factores ambientales como la luz, la temperatura y la concentración de CO_2 atmosférico no solo afectan la fotosíntesis y la respiración, sino que también tienen repercusión sobre la distribución espacial y temporal de los carbohidratos en los distintos órganos (Schaffer y Whiley, 2002).



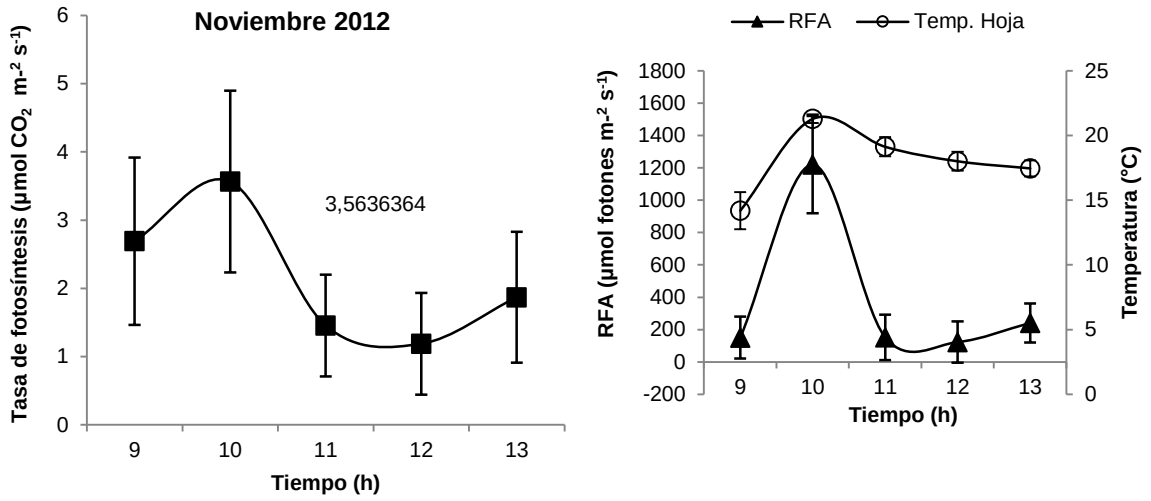


Figura 3-4. Actividad fotosintética, radiación fotosintéticamente activa y temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass en diferentes estados fenológicos (Marzo, Agosto y Noviembre de 2012). Entrerríos, Antioquia.

3.4.2 Rionegro

3.4.2.1 Determinación de la curva diaria fotosintética

En esta localidad se tomaron dos curvas diarias, la primera en marzo de 2012, al inicio de la época de lluvias (134 mm mes^{-1}) y en la cual los árboles se encontraban en un 100 % de floración, en un 21 % en crecimiento vegetativo y los frutos apenas alcanzaban un 7,2 % de su crecimiento total, además, presentaban un 25 % de intensidad relativa en el crecimiento de raíces (Figura 3-5). La segunda se registró en junio de 2012, con menor precipitación (85,2 mm mes^{-1}) y en la cual los árboles se encontraban en un 34 % de brotación vegetativa, sin floración, pero con un crecimiento de raíces del 96 % y 42 % del tamaño del fruto (Figura 3-5).

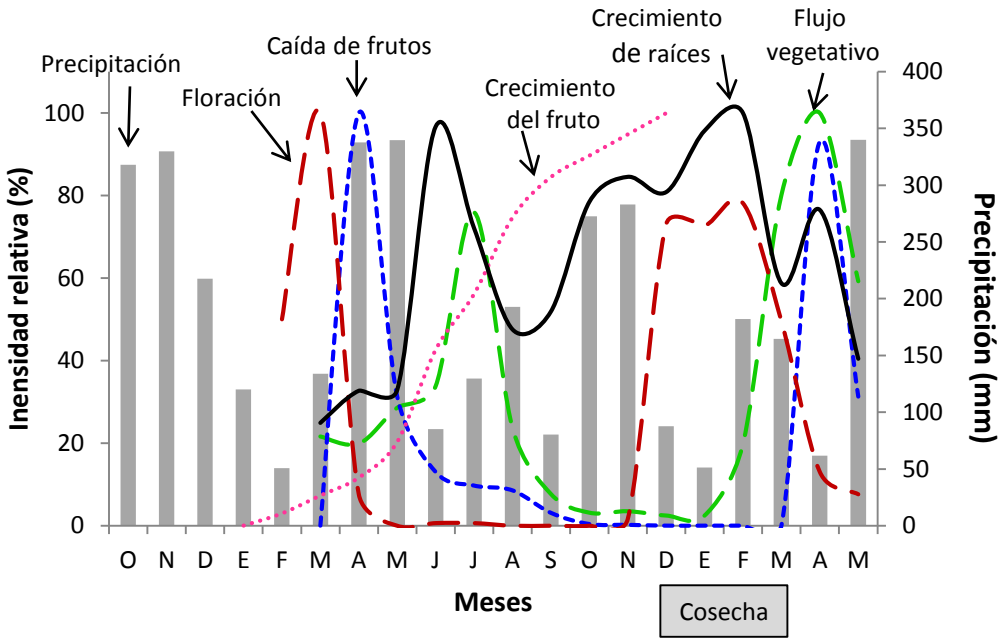


Figura 3-5. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones ambientales del municipio de Rionegro, Antioquia (2.147 msnm) (2011–2013).

En la primera curva diaria fotosintética, se encontró que la RFA máxima incidente sobre la copa del árbol se presentó al medio día (12:00 horas) con un valor de 600 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Como en el caso anterior, la dinámica de actividad fotosintética diaria presentó un comportamiento paralelo a los cambios en la RFA durante el día (Figuras 2-6A y 2-6B). A las 6:00 horas la RFA en el estrato medio del árbol presentó valores cercanos a los 94,5 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, razón por la cual la Fn fue baja, cercana a 3,17 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. En la medida que transcurrió el día, la RFA se incrementó hasta alcanzar un primer pico a las 10:00 horas con una intensidad de 544,67 µmol fotones m^{-2} s^{-1} en el estrato medio del árbol, lo que se vio reflejado en un pico en la Fn cercano a 4,32 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Hacia las 12:00 m se presentó la máxima Fn, el cual estuvo alrededor de los 4,8 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, que coincidió con la máxima RFA, de 600 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Hacia las 15:00 horas, se presentó un nuevo pico, tanto en la Fn (4,22), como en la RFA (500,43). A partir de allí la RFA disminuyó hasta 46,1 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, al momento del último muestreo, donde los valores de Fn estuvieron cercanos a los 2,02 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Figuras 6A y 6B).

De la misma manera como se presentó la dinámica de la RFA, la temperatura presentó una relación lineal positiva respecto la actividad fotosintética. Hacia las 6:00 horas la temperatura fue menor respecto al resto del día (14,07 ºC), durante el transcurso del día la temperatura se incrementa hasta alcanzar un pico a las 10:00 horas con un valor de 24,4 ºC, posteriormente con el aumento de la RFA, se presentó oro pico a las 12:00 horas, del mismo valor (24,4 ºC). De este punto hacia el final del día, la temperatura disminuyó hasta los 19 ºC (Figura 3-6C). En esta fecha se presentó un marcado aumento en la HR ambiental después de las 7:00 horas, la cual pasó de 67,3 % a 69 % a las 10:00 horas, a partir de esa hora la HR disminuyó hasta un 68 % a las 13:00 horas, luego aumento a 68,3 % a las 15:00 horas, para luego volver al 68 % al final del día, cuando se observó una disminución en la Fn, atribuida a una menor tasa transpiratoria como consecuencia de la variación de la humedad relativa, la cual presentó sus niveles más bajos después del mediodía (Figura 3-6D).

Aunque la variación en la HR no fue tan marcada, cambios mínimos en ésta, mostraron respuestas diferenciales de la actividad fotosintética. La humedad relativa y su efecto sobre el déficit de presión de vapor (DPV), afecta a la fotosíntesis a través de su influencia sobre la apertura estomática. El óptimo higrométrico es 60-70 % (Stoev y Dobreva, 1966). Todo incremento en la HR en todas las temperaturas tiene un efecto positivo. El efecto negativo de HR bajas se manifiesta en cambio cuando la alimentación hídrica de la planta es insuficiente. Algunos estudios señalan que incluso en condiciones de estrés severos, la hoja era capaz de captar el vapor de agua de la atmósfera evitando cierres estomáticos prematuros.

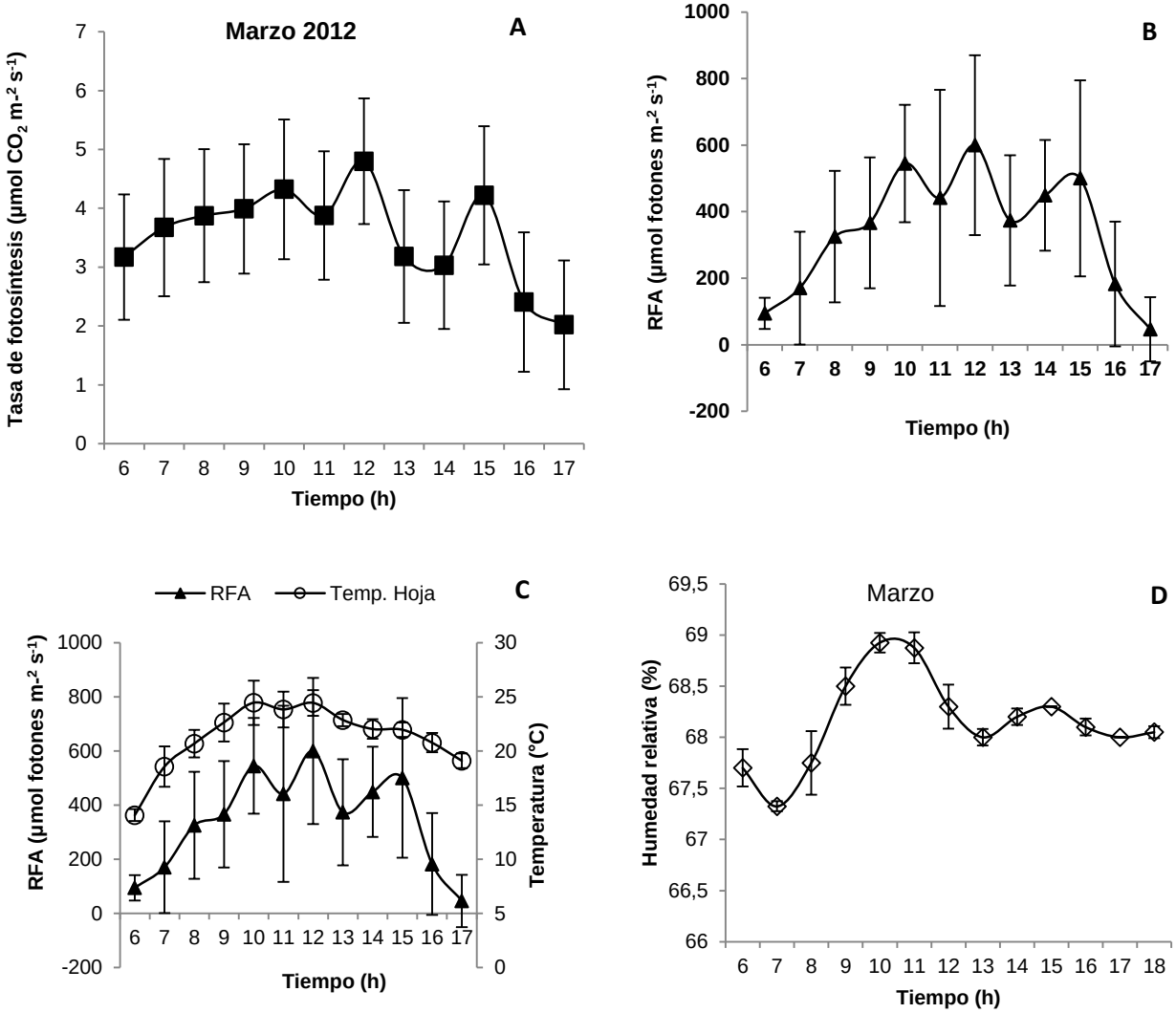


Figura 3-6. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (marzo de 2012). Rionegro, Antioquia.

La segunda curva diaria realizada en junio de 2012, época de menor precipitación (85,2 mm mes^{-1}) y en la cual los árboles se encontraban en un 34 % de brotación vegetativa, sin floración, pero con un crecimiento de raíces del 96 % y, 42 % del tamaño del fruto, mostró que la RFA máxima incidente sobre la fronda del árbol se presentó cerca de las 12:00 horas con un valor de 566,5 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. La dinámica de la actividad fotosintética diaria presentó un comportamiento paralelo a los cambios en la RFA durante el día (Figuras 2-7A y 2-7B). La RFA presentó, a las 6:00 horas valores cercanos a los 54,2 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, razón por la cual la Fn fue baja, alrededor de 1,66 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Cuando el día transcurrió, se presentó un incremento en la RFA hasta alcanzar un primer pico en la Fn de 5,42 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, acompañado de una RFA en ese punto de 377 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. A las 12:00 horas se presentó la máxima RFA con una intensidad de 566,4 µmol fotones m^{-2} s^{-1} en el estrato medio del árbol, lo que se vio reflejado en un pico en la Fn cercano a 5,29 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}.

Hacia las 1400 horas, se presentó un nuevo incremento en la Fn, el cual estuvo alrededor de los 3,79 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, que coincidió con un aumento en RFA, de 490,67 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Hacia el final del día la RFA disminuyó hasta 44,3 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, al momento del último muestreo, donde los valores de Fn estuvieron cercanos a 2,61 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Figuras 7A y 7B).La temperatura presentó una relación lineal positiva respecto la actividad fotosintética, de la misma manera como se presentó la dinámica de la RFA. La temperatura más baja del día se observó hacia las 6:00 horas (14,03º C), a medida que transcurría el día, la temperatura se incrementó hasta alcanzar un pico a las 12:00 horas con un valor de 23,3º C. A partir de este punto y hasta el final del día, la temperatura disminuyó hasta los 19º C (Figura 3-7C).

La HR mostro una disminución sostenida después de las 6:00 horas, la cual pasó de 95,5 % hasta un 34,7 % a las 12:00 horas, luego aumentó a 53,82 % al final del día cuando se observó una disminución en la Fn, atribuida a una menor tasa transpiratoria como consecuencia de la variación de la humedad relativa y su efecto sobre el DPV (Figura 3-7D). Los valores encontrados durante la mayor actividad fotosintética a las 12:00 horas, coincidieron con la menor HR, los cuales estuvieron por debajo del óptimo higrométrico de 60-70 % (Stoev y Dobreva, 1966). Sin embargo, dado que el contenido de humedad en el suelo, no representaba un déficit hídrico, la actividad fotosintética no se vio afectada y por el contrario alcanzó su máxima manifestación. La disponibilidad hídrica limita la actividad fotosintética, incluso más que las altas temperaturas. Está generalmente admitido que la asimilación neta máxima de CO_2 se produce en condiciones de buena humedad en el suelo (Baeza, 1994).

Si los estomas estuvieran todo el día abiertos, la evapotranspiración aumentaría linealmente al tiempo que la demanda evaporativa. Cualquier incremento en DPV incrementa la transpiración, y cuando aumenta por encima de un determinado umbral, produce una disminución en la conductancia estomática (gs). La respuesta de la fotosíntesis al DPV puede ser diferente a la que presente gs según en qué punto se encuentre de la curva gs-A. El descenso de la gs debido a aumentos del DPV se ve incrementado en casos de condiciones de sequía, ya que el sistema radical no se encuentra bien abastecido de agua (Bravdo *et al*., 1972)

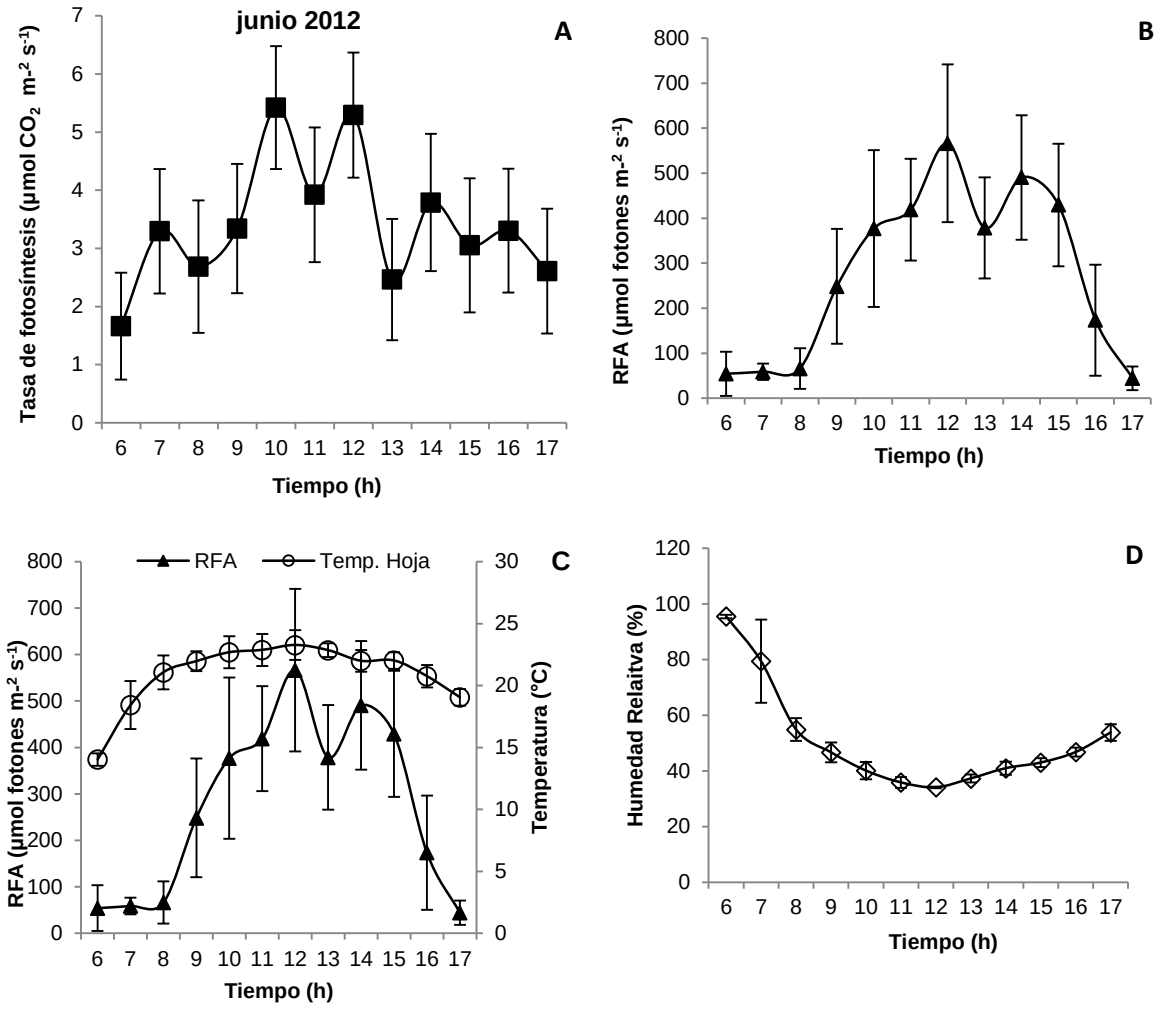


Figura 3-7. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (junio de 2012). Rionegro, Antioquia.

3.4.2.2 Determinación de la actividad fotosintética

Para la determinación de la actividad fotosintética, se realizaron tres lecturas, en tres estados fenológicos diferentes. En ese sentido, en mayo de 2012 se realizó la primera lectura, la cual coincidió con una etapa en la cual los árboles se encontraban sin floración, 28,6 % brotación vegetativa, 32,8 % de crecimiento de raíces y un 20 % del desarrollo de los frutos, aproximadamente β después de cuajados (Figura 3-5). En este caso, la máxima Fn obtenida fue de 5,73 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, a las 12:00 horas, momento en el cual se alcanzó la máxima RFA de 733,6 µmol fotones m^{-2} s^{-1} y la máxima temperatura era de 23,35 °C (Figura 3-8). En contraste, cuando las lecturas se realizaron en octubre del mismo año, cuando los árboles se encontraban en un 89,7 % del fruto en crecimiento y un 78,5 % de crecimiento de raíces, se obtuvieron valores inferiores de Fn (4,8 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}). En octubre, la mayor Fn se alcanzó también a las 12:00 horas, coincidiendo con la máxima RFA de 576,93 µmol fotones m^{-2} s^{-1} y la máxima temperatura del día de 25,38 °C (Figura 3-8).

Lo anterior muestra como dependiendo de la etapa fenológica, entre otros factores, la actividad fotosintética cambia, de tal manera que cuando se tiene en un árbol, fruto recién cuajado, brotes vegetativos y crecimiento de raíces, existe una mayor demanda por los fotoasimilados que cuando el árbol presenta frutos más desarrollados, aun con una requerimiento por el crecimiento de raíces.

La presencia de fruto en crecimiento provocó una gran demanda lo que obligó a la fuente, las hojas de la periferia, a una mayor producción de fotoasimilados, lo cual coincide con lo indicado por Avery (1969, 1975) y Kazaryan *et al.* (1965). Este cambio tan drástico de la fuente (hojas) a causa de la demanda (frutos), de acuerdo con lo indicado por Wolstenholme (1987), se debe a que el fruto del aguacate acumula aceite y no carbohidratos, proceso que es exigente en energía y es regulado por las hormonas que produce el fruto en desarrollo.

De acuerdo con Wolstenholme (1990), el orden de prioridad de la demanda por los productos elaborados en las hojas, está en función de la tasa de crecimiento (actividad del vertedero) y de su tamaño (número de frutos). El orden de dicha demanda es primero la semilla, luego la pulpa del fruto, que se comporta igual a los brotes apicales y las hojas en formación, luego el cambium, el crecimiento de las raíces y por último los tejidos de almacenamiento. En ese sentido las hojas jóvenes, mientras se hallan en expansión, son fuertes vertederos que compiten con otros órganos demandantes de la planta hasta que alcanzan su tamaño definitivo, momento en el cual se convierten en exportadoras netas (Ho, 1988).

En marzo de 2013, se obtuvieron los valores máximos de Fn, ya que los árboles se encontraban en una etapa de fuerte demanda por fotoasimilados, pues presentaban un 80,1 % de brotes vegetativos, floración en un 50 % y un 58,7 % de crecimiento de raíces. En este caso, la máxima Fn se alcanzó entre las 12:00 y las 13:00 horas (6,37 y 6,38 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, respectivamente), cuando también se registró la máxima RFA de 723,75 y 757 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, respectivamente, al igual que la máxima temperatura, que fluctuó entre los 26 y los 28 °C (Figura 3-8).

Aumentar la producción en especies de fructificación poliaxial terminal, como es el caso del aguacate, plantea un desafío para el manejo agronómico, ya que el árbol presenta una tendencia natural al crecimiento vegetativo, lo que resulta en una mayor asignación de materia seca, en detrimento del desarrollo de órganos reproductivos (Whiley *et al*., 1988; Wolstenholme, 1990).

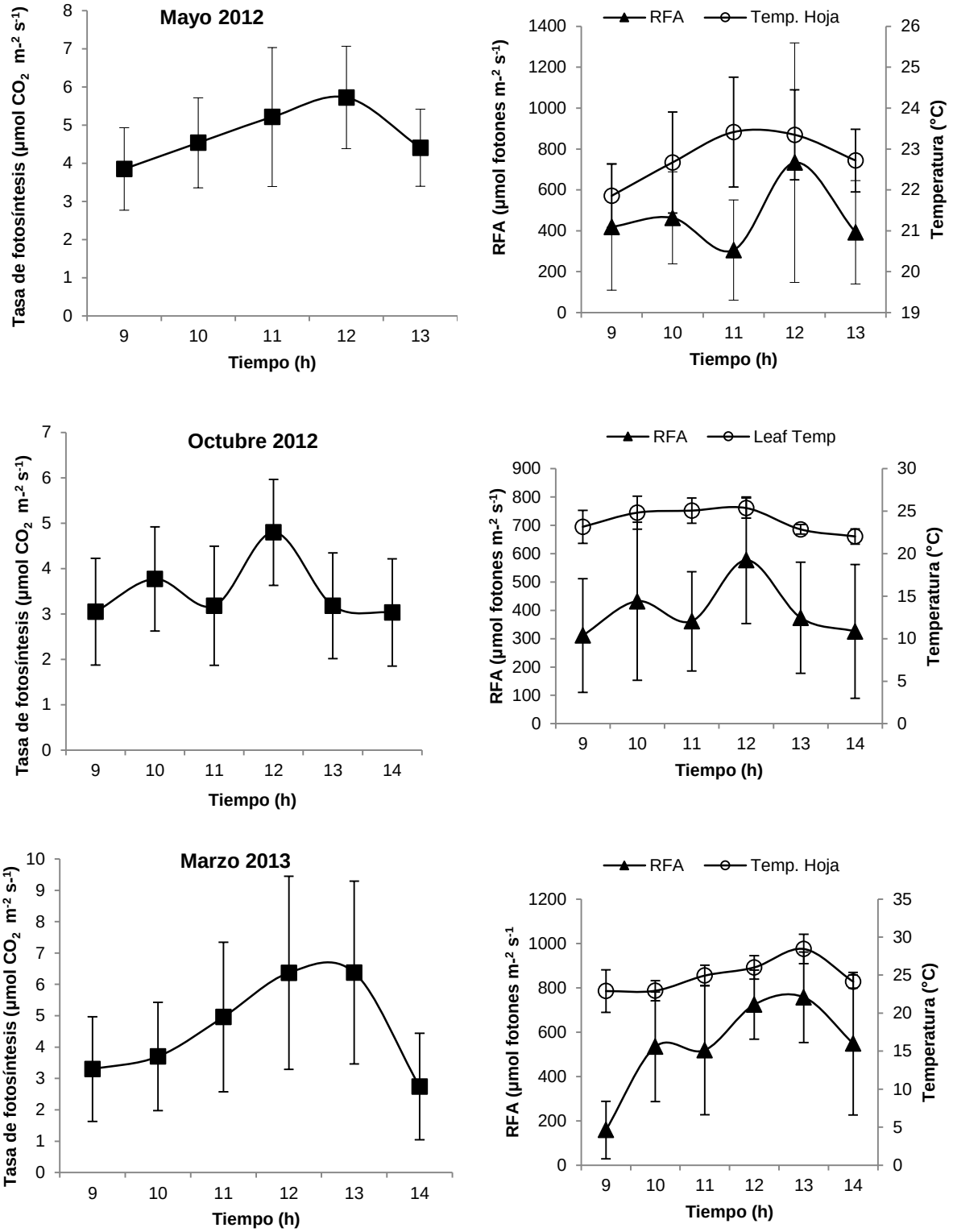


Figura 3-8. Actividad fotosintética, radiación fotosintéticamente activa y temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass en diferentes estados fenológicos (Mayo y Octubre de 2012 y Marzo de 2013). Rionegro, Antioquia.

3.4.3 Jericó

3.4.3.1 Determinación de la curva diaria fotosintética

En esta localidad se tomaron dos curvas diarias, la primera en marzo de 2012, que coincidió con el inicio de la primera época de lluvias de ese año (235 mm) y en la cual los árboles se encontraban en la máxima floración (100 % de intensidad relativa) y en un 75 % de brotación vegetativa y los frutos apenas alcanzaban un 14,18 % de su crecimiento total, correspondientes a fruto de aproximadamente 30 días de edad (Figura 3-9). La segunda se registró en febrero de 2103, en época de menor precipitación (124 mm) y en la cual los árboles se encontraban en la misma condición fenológica, con un 100 % de floración, 75 % de brotación vegetativa y en época la cosecha principal (Figura 3-9). De acuerdo con la condición fenológica, los brotes terminales en ambas lecturas estaban representados en inflorescencias, en su mayoría indeterminadas, donde se presentaban en forma simultánea flores en máxima apertura, con brotes vegetativos nuevos.

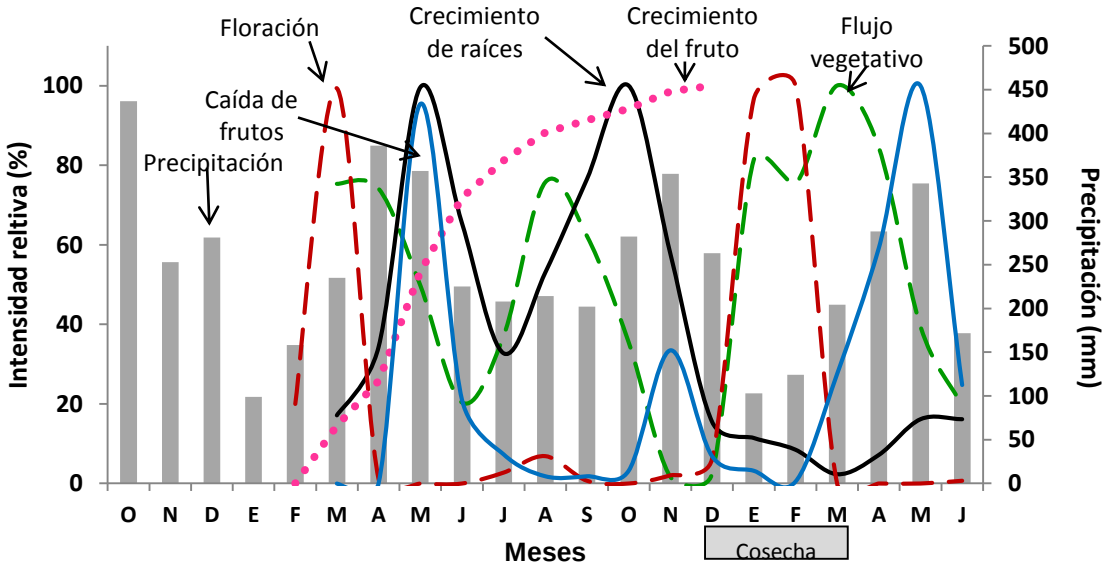


Figura 3-9. Fenología del aguacate cv. Hass bajo condiciones ambientales de Jericó, Antioquia (1.900 msnm) (2011–2013).

Al igual que en las ocasiones anteriores, en las dos curvas, la fotosíntesis neta (FN) presentó una relación directa con la RFA disponible, ya que las fluctuaciones en esta tasa, estuvieron, en general, acompañadas de variaciones de la RFA, en la misma tendencia (Figuras 10A y 10B). Como se discutió anteriormente, la actividad fotosintética presentó un comportamiento diferencial durante el trascurso del día.

En el primer caso, al momento de la determinación de la curva diaria se encontró que el RFA máxima incidente sobre la fronda del árbol se presentó al medio día (12:00 horas) con un valor de 272,5 µmol fotones m^{-2} s^{-1}; debido que la fecha de muestreo, correspondió a una época de lluvias, el día estuvo completamente nublado lo cual sirve para evaluar la eficiencia fotosintética de las plantas a bajas intensidades de luz. El valor de la Fn obtenida a esa hora fue de 6,59 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Figura 3-10A). La dinámica de actividad fotosintética diaria presentó un comportamiento paralelo a los cambios en la RFA durante

el día (Figura 3-10B). Hacia las 7:00 horas la RFA en el estrato medio del árbol presentó valores cercanos a los 18 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, razón por la cual la Fn es baja, cercana a 1,7 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Conforme transcurre el día, la RFA se incrementó hasta alcanzar un primer pico a las 10:00 horas con una intensidad de 162 µmol fotones m^{-2} s^{-1} en el estrato medio del árbol, lo que se vio reflejado en un pico en la Fn cercano a 6,59 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Hacia las 12:00 horas, se observó la máxima Fn, la cual alcanzó los 4,83 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, que coincidió con un aumento en la RFA, de 272,5 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. A las 15:00 horas observó un repunte en la Fn, obteniéndose un valor de 2,84 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, acompañado de un valor en la RFA de 248,3 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Hacia el final del día la RFA disminuyó hasta 20,2 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, al momento del último muestreo, donde los valores de Fn estuvieron cercanos a los 2,2 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Figuras 10A y 10B). Estas tendencias se asocian a las variaciones provocadas en el DPV.

Similar a lo encontrado en la dinámica día RFA, la temperatura de la hoja presentó una relación lineal positiva respecto la actividad fotosintética. Hacia las 6:00 horas la temperatura fue menor respecto al resto del día (17,95º C), conforme transcurre el día la temperatura se incrementa hasta alcanzar el máximo a las 15:00 horas, con un valor de 22,98 ºC. Hacia el final del día la temperatura disminuyó hasta los 18,43 ºC (Figura 3-10C). La máxima Fn en este estudio se alcanzó con una temperatura 19,19 °C. Estos resultados concuerdan con Bower y Cutting (1988), quienes afirman que una Fn óptima entre 19 y 24 °C, por encima de 25 °C decrece la producción de materia seca y rendimiento debido a una menor actividad fotosintética y un aumento en la fotorespiración. Existe una amplia variación en las tasas de asimilación de CO_2 dependiendo de la localidad y la variedad de aguacate (Bower *et al*., 1978; Whiley, 1990; Schaffer *et al*., 1991; Schaffer y Whiley, 2002; Mandemaker, 2007a; Medina-Torres *et al.,* 2011).

Se presentó una marcada disminución en la HR ambiental después de las 7:00 horas (con un 100 %), hasta las 13:00 horas, donde se obtuvo un pico mínimo de 63,5 %, a partir de esta hora, la HR aumentó hasta alcanzar al final del día valores del 78,87 %, que coincidieron con la mínima actividad fotosintética. Hacia las horas de la tarde la disminución en la Fn es atribuida a una menor tasa transpiratoria como consecuencia de la variación de la humedad relativa, la cual presentó sus niveles más bajos después del mediodía (Figura 3-10D).

El punto de compensación de luz (PCL), corresponde a la radiación fotosintéticamente activa (RFA), con la cual el intercambio neto de CO_2 de la hoja es cero debido a que se iguala el consumo fotosintético de CO_2 con la cantidad gastada en respiración (Taiz y Zeiger, 2002). En aguacate se ha determinado que este depende del cultivar, el estado fenológico de la planta, el desarrollo de la hoja y las características ambientales (Whiley, 1994; Wolstenholme y Whiley, 1995). Estas observaciones demuestran la eficiencia fotosintética de la especie y reflejan su origen como planta colonizadora de los bosques. El punto de compensación de luz tan bajo que presenta esta especie, refleja las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolló originariamente: un bosque tropical lluvioso.

El origen Mesoamericano del aguacate, incluye hábitats desde el nivel del mar hasta altitudes que exceden los 3.000 msnm, cubriendo un amplio rango de climas y tipos de suelo que dieron lugar a una gran diversidad genética y adaptabilidad. Aunque el aguacate evolucionó dentro de latitudes tropicales, el efecto moderado de la altitud tuvo un fuerte impacto en el pool de genes.

El germoplasma de los ecotipos de aguacates guatemaltecos y en menos extensión el de los mexicanos, originados en tierras altas tropicales o en la frontera fría del clima subtropical, está igualmente bien adaptado a áreas cálidas subtropicales y su producción es predominante en estas regiones (Whiley *et al*., 2002). La tendencia al crecimiento vegetativo (Wolstenholme, 1990), ayuda a superar la competencia por luz en las copas del bosque tropical lluvioso, y el bajo punto de compensación lumínico contribuye a maximizar la fotosíntesis de los árboles en su hábitat espontáneo. Varios atributos fisiológicos, tales como un bajo PCL, la rápida transformación de las hojas al pasar de vertedero a fuente y una duración corta, son el reflejo de su centro de origen (Schaffer y Whiley, 2003). Este PCL bajo proporciona una ventaja adaptativa para plantas que crecen en condiciones de sombrío, además de su habilidad natural de un acelerado crecimiento vegetativo que le permite remplazar y producir constantemente nuevo material vegetal en búsqueda de luz (Hadari, 2004), en detrimento de la producción de estructuras repróductivas y frutos.

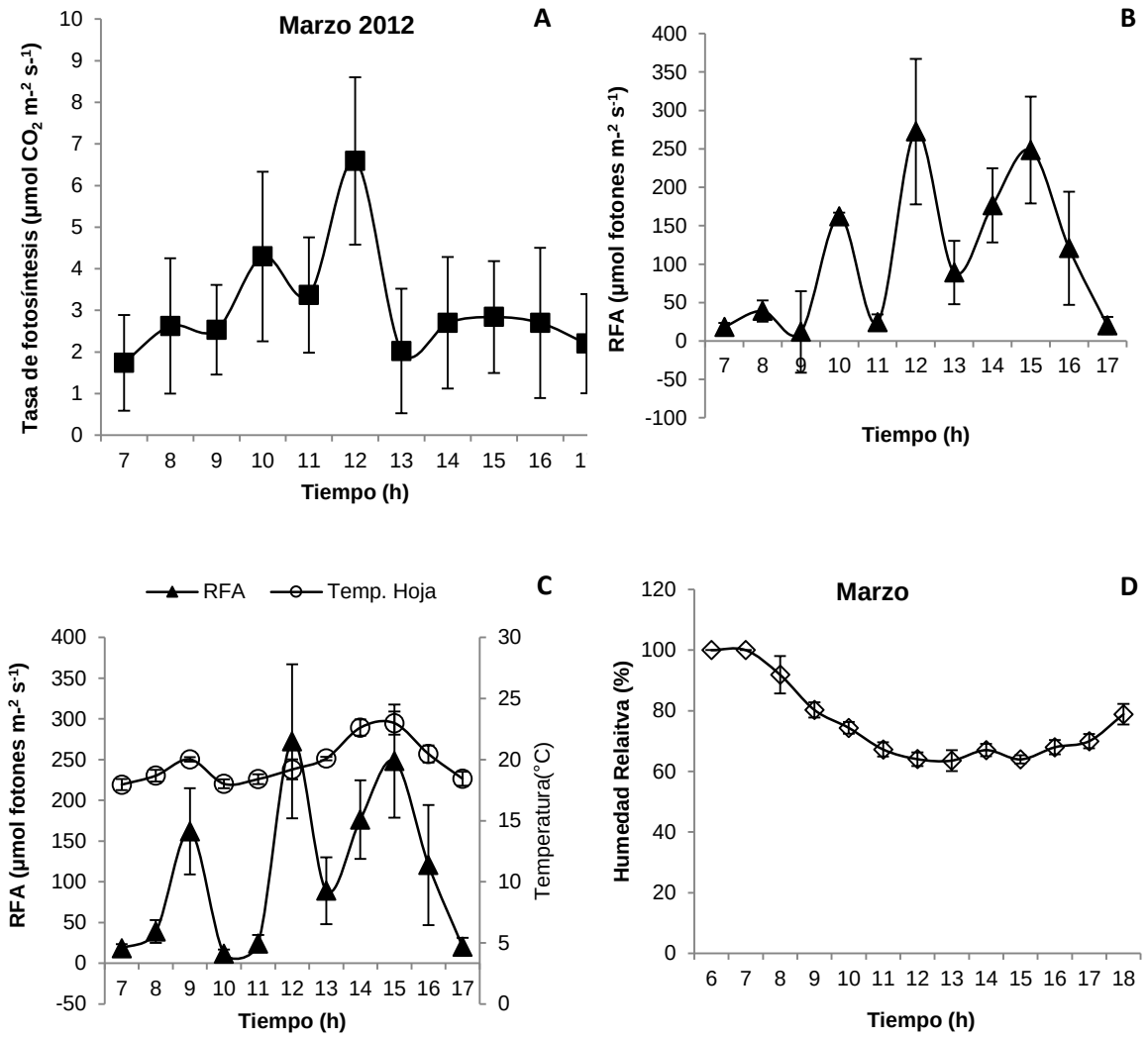


Figura 3-10. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (Marzo de 2012). Jericó, Antioquia.

La curva diaria realizada en época de baja precipitación (febrero 2013), reveló que la RFA máxima incidente sobre la fronda del árbol se exhibió alrededor de las 12:00 horas con un valor de 1255 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. La actividad fotosintética diaria presentó un comportamiento paralelo a los cambios en la RFA durante el día (Figuras 11A y 11B). Particularmente en este caso, la dinámica de la RFA, fue alta, por realizarse en un día de verano y sin nubosidad. Hacia las 7:00 horas, la RFA presentó valores cercanos a los 950,9 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, con una Fn cercana a 2,7 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Con el transcurso del día, la RFA aumentó hasta alcanzar un máximo a las 12:00 horas con una intensidad de 1255 µmol fotones m^{-2} s^{-1} en el estrato medio del árbol; sin embargo, en este punto la Fn disminuyó a 2,16 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. La Fn máxima de 4,83 no se alcanzó en esta oportunidad con la máxima RFA (1.255 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), sino con 1.197,3 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, posiblemente debido a que la planta superó su punto de saturación de luz (PSL) en ese momento, como lo menciona Whiley (1994), quien expresa que el PSL para aguacate Hass en campo ocurre a 1.100 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Además, se observó que la alta temperatura registrada a esa hora (31 °C), comparada con la observada una hora antes (29 °C), contribuyó con esa saturación. La tasa fotosintética del aguacate puede ser afectada significativamente por pequeñas fluctuaciones de temperatura. Medina-Torres *et al.* (2011) citan diferentes estudios donde se evidencia que la tasa de Fn en hojas de aguacate es fuertemente influenciada por la temperatura. Schaffer y Whiley (2003) afirman que en el cv. Edranol la Fn máxima se presentó a temperaturas entre 20 y 24º C, y fluctuaciones de más o menos 5 °C disminuyeron la actividad fotosintética en un 20 %.

Hacia las 15:00 horas, se presentó un nuevo incremento en la Fn, el cual alcanzó 3,36 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, que coincidió con un aumento en la RFA, de 1.099,2 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Hacia el final del día la RFA disminuyó hasta 637 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, al momento del último muestreo, donde los valores de Fn estuvieron cercanos a 2,1 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Figuras 11A y 11B). Similar a lo encontrado en la dinámica de la RFA, la temperatura presentó una relación lineal positiva respecto la actividad fotosintética. Hacia las 7:00 horas la temperatura fue menor respecto al resto del día (26,76ºC), conforme avanzaron las horas, la temperatura se incrementó hasta alcanzar un pico a las 12:00 horas (31 °C). Hacia el final del día, la temperatura disminuyó hasta los 27,7º C (Figura 3-11C).

Se presentó una marcada disminución en la HR ambiental después de las 7:00 horas, que inició con un 99,5 %, alcanzándose el menor pico a las 15 horas, con un 49,77 %. La HR aumentó hasta alcanzar al final del día, valores del 84,4 %, que coincidieron con la mínima actividad fotosintética. Hacia las horas de la tarde la disminución en la Fn es atribuida a una menor tasa transpiratoria como consecuencia de la variación de la humedad relativa, la cual presentó sus niveles más bajos después del mediodía (Figura 3-11D). Este comportamiento coincide con lo percibido do por Mandemaker (2007b), quien determinó el comportamiento diario fotosintético en hojas de aguacate cv. Hass en Nueva Zelanda, encontrando que en las horas de la mañana la tasa de Fn es baja debido a un menor FFF el cual estuvo por debajo del PCL y generó un valor de Fn de -1,2 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Hacia el mediodía la RFA aumentó significativamente hasta los 1.280 µmol fotones m^{-2} s^{-1} lo que generó una máxima tasa fotosintética diaria de 18 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} y una conductancia estomática de 190 mmol H2O m^{-2} s^{-1}. En la tarde cuando la RFA disminuyó a la tercera parte, la Fn se redujo a la mitad. Cabe destacar que a pesar de que aunque ambas curvas se desarrollaron bajo similares etapas fenológicas, la Fn máxima a obtenida en cada caso fue diferente, por distintas razones, tal como lo proponen Liu *et al*. (2002), quienes aseguran que la Fn puede ser muy variable (hasta el doble) en hojas de la misma edad en el mismo flujo de crecimiento.

Las curvas de respuesta lumínica también pueden presentar una amplia variación entre experimentos, cultivares y condiciones ambientales, además estas diferencias se pueden dar entre hojas presentes en diferentes tipos de ramas en un mismo árbol. El hecho de que en el primer caso, donde la máxima Fn fue de 6,59 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} comparado con 4,83 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} en el segundo, se atribuye entre otros factores ya discutidos aquí, a que en marzo de 2012, se encontraban frutos recién cuajados, mientras que en febrero, había fruto en cosecha, lo que significó una menor demanda por fotoasimilados en el último caso. Según Schaffer *et al.* (1991), después de cosecha la actividad fotosintética disminuye debido a la remoción de frutos, este efecto es atribuido a que la planta ya no cuenta con su principal vertedero donde los asimilados son transportados en forma de sacarosa, por tanto estos son acumulados en forma de almidón en los cloroplastos, generando una interferencia en la absorción de luz o la disrupción de las membranas tilacoidales debido a la acumulación de sacarosa en las hojas.

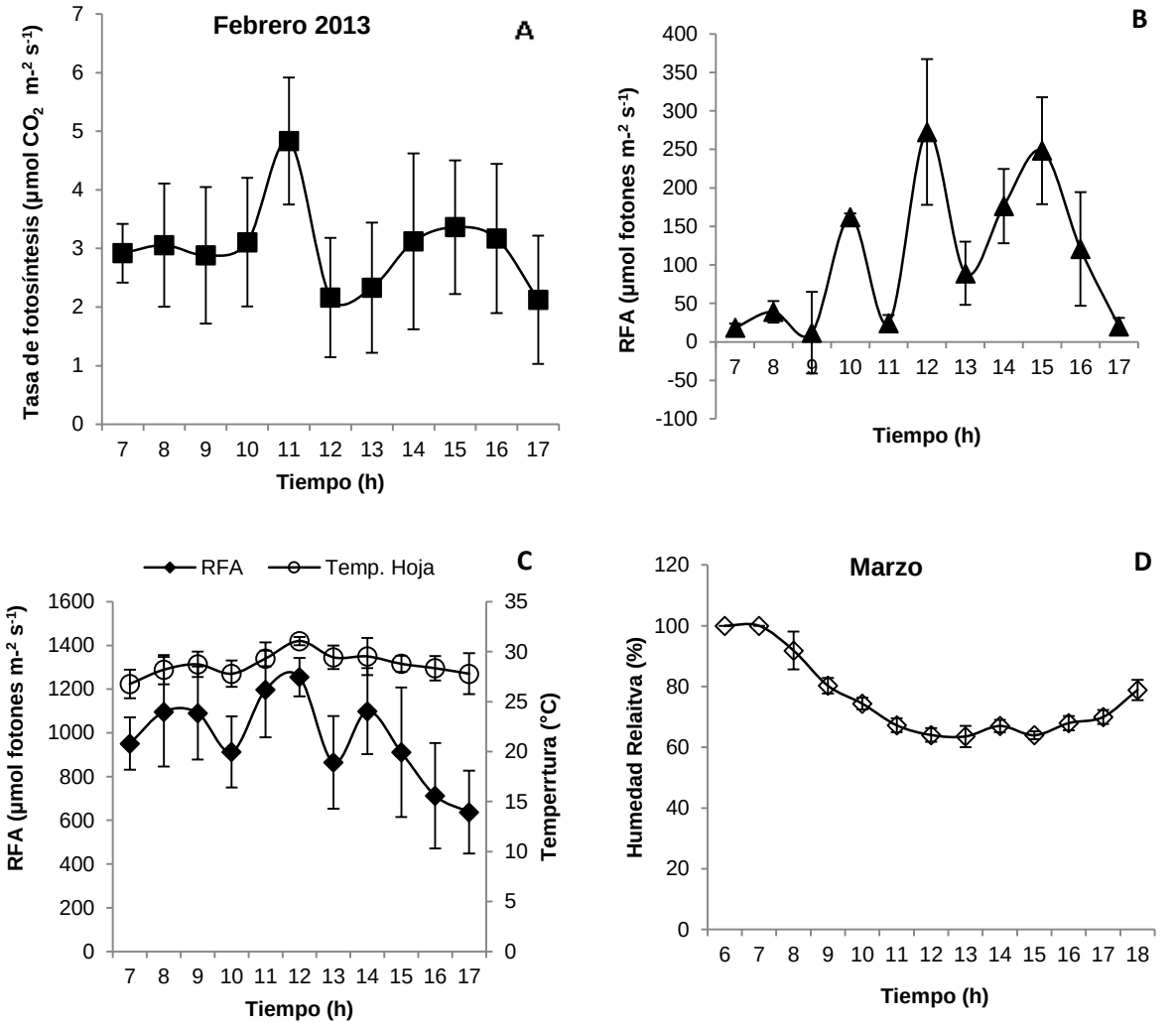


Figura 3-11. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (Febrero de 2013). Jericó, Antioquia.

3.4.3.2 Determinación de la actividad fotosintética

Al igual que para las anteriores localidades, se realizaron tres lecturas, correspondientes a tres etapas fisiológicas del árbol: floración, crecimiento vegetativo y reposo. Dado que en esta localidad se había realizado una curva diaria fotosintética en plena época de floración, se realizó la primera curva de máxima actividad fotosintética en mayo de 2012, cuando lo árboles se encontraban en una etapa fenológica con frutos en un 50 % de su desarrollo y con un crecimiento vegetativo en un 50 % de brotación, con un máximo de crecimiento de raíces del 100 %, lo que implicaba un gran demanda de fotoasimilados, especialmente para el llenado de frutos y el desarrollo de raíces (Figura 3-9). La máxima Fn obtenida fue de 5,96 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, a las 12:00 horas, momento en el cual también se observó la máxima RFA de 1104 fotones m^{-2} s^{-1} y una temperatura máxima en ese instante de 22,5 °C (Figura 3-12).

De otro lado, cuando las lecturas se realizaron en agosto de mismo año, cuando los árboles se encontraban en una etapa de reposo, con solo un 6 % de los brotes en floración, 2 % de brotes vegetativos, 15 % en crecimiento de raíces y con fruto en cosecha, es decir con baja demanda por fotoasimilados, la dinámica de la actividad fotosintética presentó tres picos muy equivalentes, a las 9:00 , 11:00 y 14:00 horas con valores de Fn de 3,45, 3,2 y 3,3 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, respectivamente, con una tendencia correspondiente de la RFA de 1090, 1197 y 1099 fotones m^{-2} s^{-1}, respectivamente (Figura 3-12). La máxima RFA alcanzada a las 12:00 horas, de 1255 fotones m^{-2} s^{-1}, no coincidió con la máxima Fn, debido a que en ese punto la planta alcanzó su PSL y la máxima temperatura del día de 31 °C, por lo que la actividad fotosintética, a partir de ese punto decreció.

Lo anterior corrobora lo planteado por Scholefield *et al*. (1980), quienes encontraron que el punto de saturación por luz (PSL) en aguacate es de 1.000 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Tasas de fotosíntesis aparentemente bajas observadas en esta fecha, podrían deberse a que a la sazón estaban aún presentes las lluvias, aunque más bajas. El cultivo lucía en su mayoría, hojas en plena madurez, con frutos fisiológicamente maduros (aptos para ser cosechados) y prácticamente no mostraba brotación vegetativa, lo cual implica una baja demanda de asimilados y por ende una disminución en la actividad fotosintética. Medina-Torres *et al.* (2011) reportan para los cvs. Edranol, Fuerte y Hass que en las primeras fases de crecimiento del fruto se presentó un incremento importante en la tasa de Fn y en la conductancia, debido posiblemente al estado fenológico de mayor demanda de fotoasimilados.

Cuando se midió la actividad fotosintética en marzo de 2013, con flujo vegetativo del 100 %, sin floración, pero con frutos recién cuajados, las tasas de fotosíntesis aumentaron, respecto a la anterior curva, dado que en este instante las demandas de fotoasimilados aumentaron. El valor máximo de Fn fue de 5,2 µmol CO2 m^{-2} s^{-1}, a las 11.00 horas, con una RFA de 693 fotones m^{-2} s^{-1} y una temperatura de 27,7 °C. Cuando la RFA disminuyó a 326 fotones m^{-2} s^{-1} y se registró la máxima temperatura de la hoja (28,8 °C), se observó la menor tasa de Fn de 3 µmol CO2 m^{-2} s^{-1}, cuando la RFA aumentó la Fn también lo hizo. La actividad fotosintética en esta fecha, dadas las demandas planteadas por el crecimiento vegetativo, podrían haber sido superiores; sin embargo, los valores de RFA no fueron suficientes para mostrar su máximo potencial (Figura 3-12). Medina-Torres *et al.* (2011) encontraron en los cvs. Hass, Colín V-101 y Rincón en Nayarit, México, que la disponibilidad de luz solar durante las estaciones del año afectan la actividad fotosintética, en época de verano y primavera donde la intensidad lumínica es mayor, se generan una mayor actividad fotosintética, mientras en períodos de otoño e invierno donde la nubosidad es mayor, la disponibilidad de luz y la actividad fotosintética disminuyen.

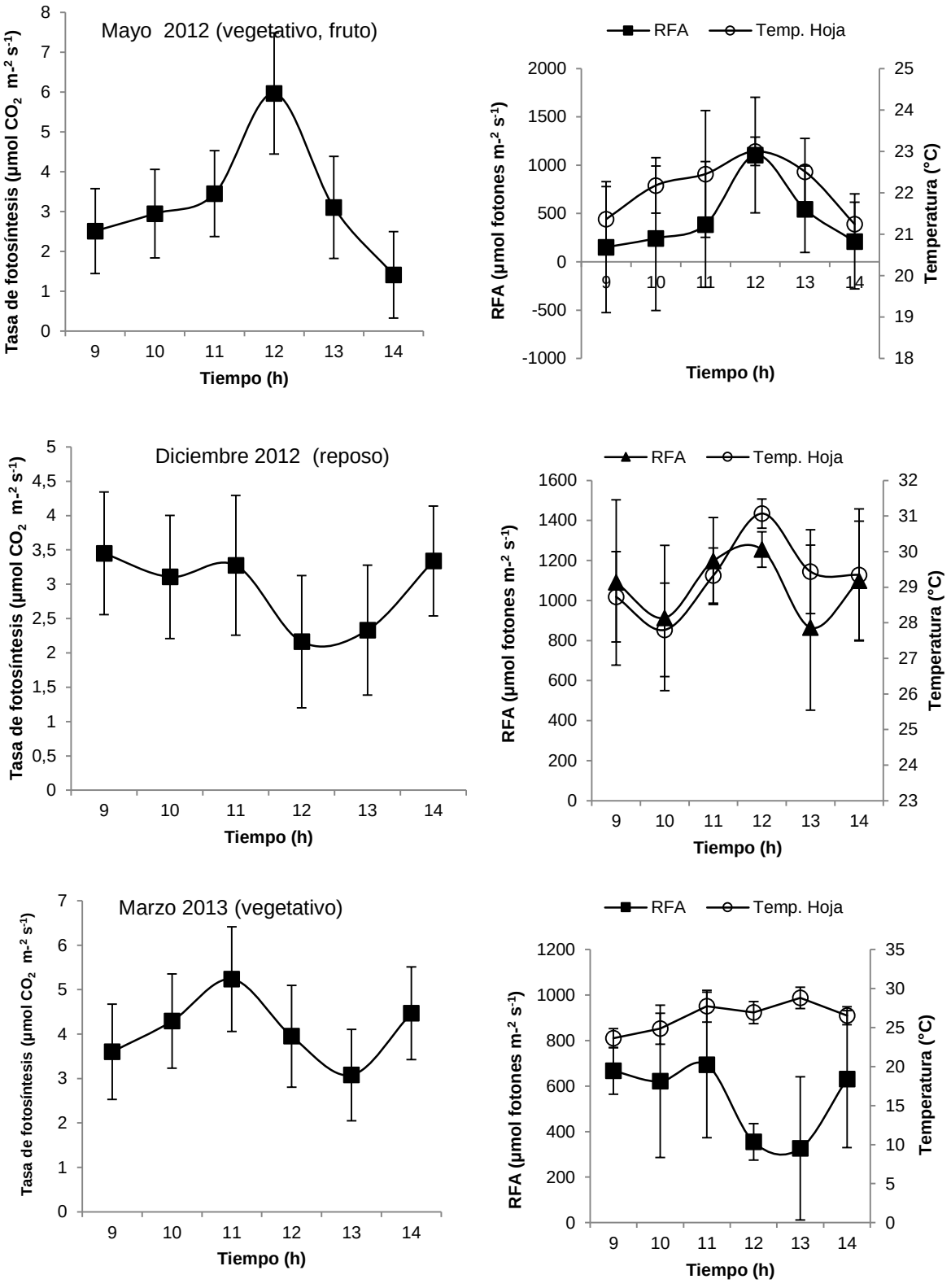


Figura 3-12. Actividad fotosintética, radiación fotosintéticamente activa y temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass en diferentes estados fenológicos (Mayo y Diciembre de 2012 y Marzo de 2013). Jericó, Antioquia.

3.4.4 Támesis

3.4.4.1 Determinación de la curva diaria fotosintética

En esta localidad se tomaron dos curvas diarias, la primera en febrero de 2012, que coincidió con la época seca de ese año (37 mm) y en la cual los árboles se encontraban en la máxima floración (100 % de intensidad relativa) y en un 100 % de brotación vegetativa y los frutos apenas alcanzaban un 3,1 % de su crecimiento total (recién cuajados) (Figura 3-13). La segunda se registró en mayo del mismo año, en época de mayor precipitación (286,5 mm) y en la cual los árboles se encontraban en un 43 % en crecimiento de raíces, 70 % de llenado de fruto, sin floración ni brotación vegetativa (Figura 3-13).

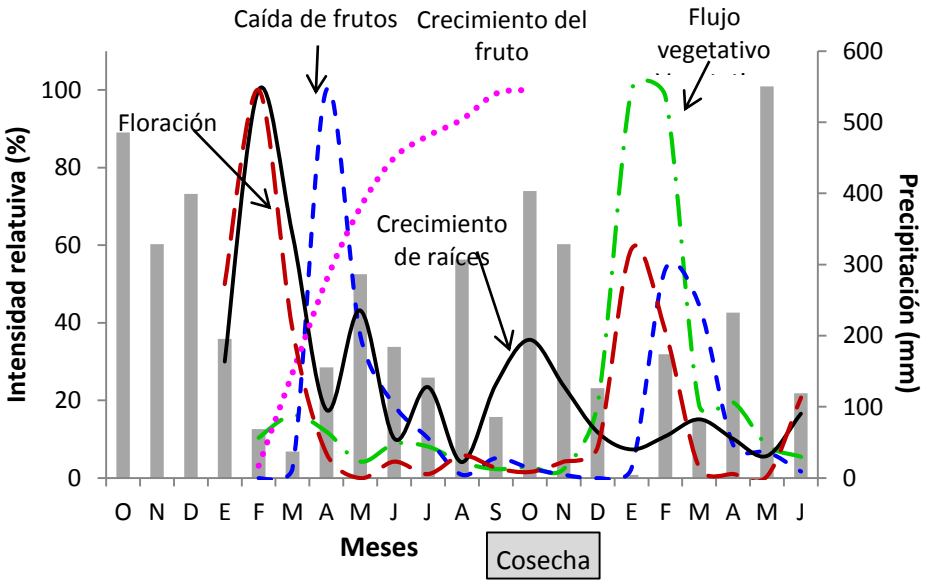


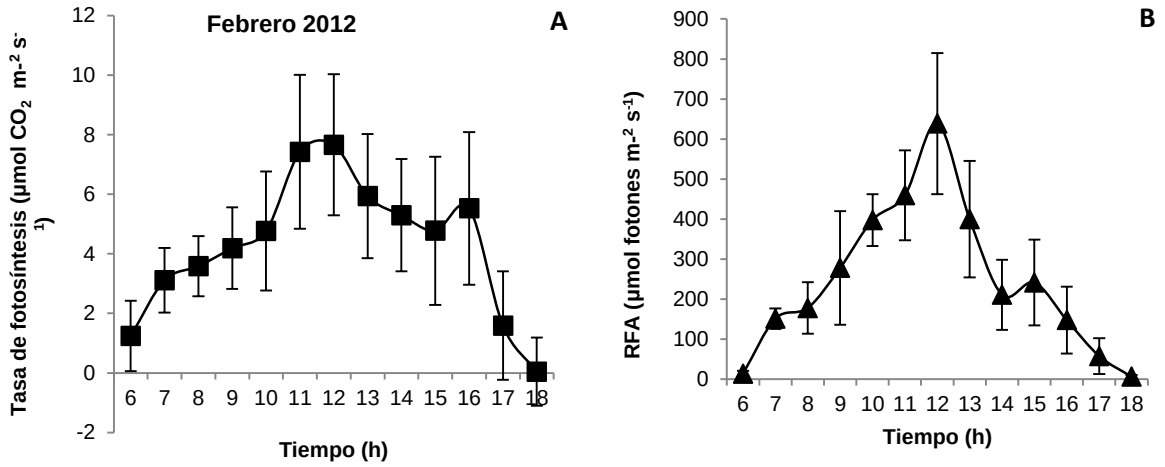
Figura 3-13. Fenología de árboles de aguacate cv. Hass bajo las condiciones ambientales de Támesis, Antioquia (1.340 msnm) (2011 – 2013).

Al igual que en los casos anteriores, en las dos curvas, la fotosíntesis neta (FN) presentó una relación directa con la RFA disponible, ya que las fluctuaciones en esta tasa, estuvieron, en general, acompañadas de variaciones de la RFA, en la misma tendencia (Figuras 14A y 14B). Como se discutió anteriormente, la actividad fotosintética presentó un comportamiento diferencial durante el transcurso del día.

En la primera curva se observó que el RFA máxima incidente sobre la fronda del árbol se presentó al medio día (12:00 horas) con un valor de 638,7 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. La Fn obtenida a esa hora fue de 7,66 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. La dinámica de actividad fotosintética diaria presentó un comportamiento paralelo a los cambios en RFA durante el transcurso del día (Figuras 2-14A y 2-14B). A las 6:00 horas, la RFA en el estrato medio del árbol presentó valores cercanos a los 13,7 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, razón por la cual la Fn es baja, cercana a 1,6 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. A medida que transcurre el día, la RFA se incrementó hasta alcanzar un máximo pico a las 12:00 horas con una intensidad de 638,7 µmol fotones m^{-2} s^{-1} en el estrato medio del árbol, lo que estuvo acompañado con un pico máximo en la Fn cercano de 7,66 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. A las 16:00 horas observó un repunte en la Fn, obteniéndose un valor de 5,52 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, acompañado de un valor en la RFA de 241,1 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. En el final del día la RFA disminuyó hasta los 6 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, al momento del último muestreo, donde los valores de Fn estuvieron cercanos a los 0,2 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Figuras 14A y 14B).

La temperatura de la hoja presentó una relación lineal positiva, similar al comportamiento de la RFA, respecto la actividad fotosintética. Hacia las 6:00 horas la temperatura fue menor respecto al resto del día (18º C), con el transcurso del día, la temperatura se incrementó hasta alcanzar un máximo valor a las 12:00 horas, con un valor de 25º C. De allí, hasta el final del día, la temperatura disminuyó hasta los 21,5º C (Figura 3-14C). En este caso, la máxima Fn se alcanzó con la máxima temperatura de ese día. Como ya se discutió anteriormente, existe una amplia variación en las tasas de asimilación de CO_2 dependiendo de la localidad y el cultivar de aguacate (Bower *et al*., 1978; Whiley,1990;Schaffer *et al*., 1991; Schaffer y Whiley, 2002; Mandemaker, 2007a; Medina-Torres *et al.,* 2011), lo cual sugiere que tasas fotosintéticas de similar valor pueden presentarse con menores radiaciones, si las temperaturas presentes son mayores, como en este caso, si se compara con valores similares encontrados en las demás localidades con mayores radiaciones. La tasa fotosintética del aguacate puede ser afectada significativamente por pequeñas fluctuaciones de temperatura. Medina-Torres *et al*. (2011) refieren diferentes estudios donde se evidencia que la tasa de Fn en hojas de aguacate es fuertemente influenciada por la temperatura.

La HR ambiental presentó una tendencia sostenida desde las 6:00 hasta las 10:00 horas (con un valor cercano al 100 %), desde esa hora hasta las 16:00 horas, presentó una disminución hasta obtener un valor mínimo del 71 %, a partir de allí, la HR aumentó hasta alcanzar al final del día un 91,6 %, que coincidió con la mínima actividad fotosintética (Figura 3-14D). En las horas de la tarde la disminución en la Fn es atribuida a una menor tasa transpiratoria como consecuencia de la variación de la humedad relativa, la cual presentó sus niveles más bajos después del mediodía (Figura 3-14D).



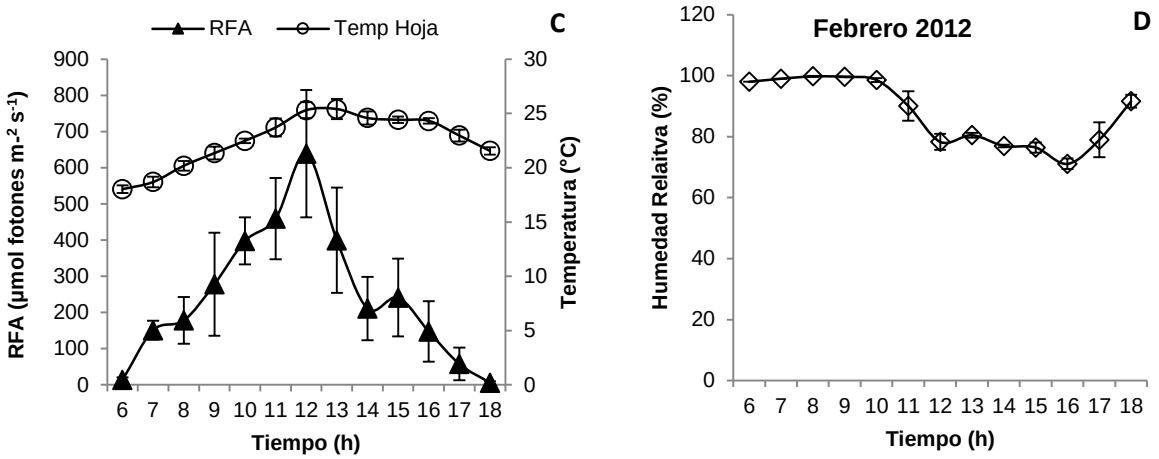


Figura 3-14. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass durante el transcurso del día (Febrero de 2012). Támesis, Antioquia.

La curva diaria realizada en mayo de 2012, en un mes de mayor precipitación, mostró que la RFA máxima incidente sobre la fronda del árbol se presentó cerca de las 10:00 horas con un valor de 1.220,66 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. La dinámica de actividad fotosintética diaria presentó un comportamiento paralelo a los cambios RFA durante el día (Figuras 2-15A y 2-15B). Hacia las 6:00 horas, la RFA presentó valores cercanos a los 16 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, razón por la cual la Fn fue baja, cercana a 2,58 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. La RFA se incrementó hasta alcanzar un pico a las 9:00 horas con una intensidad de 481 µmol fotones m^{-2} s^{-1} en el estrato medio del árbol; sin embargo, la Fn se mantuvo estable hasta esa hora con un leve repunte hasta obtenerse 2,7 CO_2 m^{-2} s^{-1}. A partir de allí, hasta las 11:00 horas, ambas, la RFA y la Fn, mostraron una disminución, obteniéndose a las 13:00 horas la máxima Fn, la cual estuvo alrededor de los 5,47 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1},

La máxima RFA se presentó a las 12:00 horas, donde alcanzó los 631 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Hacia el atardecer la RFA disminuyó hasta 30 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, al momento del último muestreo, donde los valores de Fn estuvieron cercanos a 1 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Figuras 15A y 15B). El valor de la máxima Fn de la primera curva (7,66 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) respecto a la segunda (5,47 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), se explica por el hecho de que en la primera existía mayor demanda de fotoasimilados, producto del estado fenológico de las plantas, ya que éstas se encontraban en plena floración, frutos recién cuajados y raíces en pleno crecimiento, comparado con la situación en el segundo caso, donde los árboles solo presentaban un llenado de frutos que ya superaba el 50 % de su desarrollo, situación que ya fue discutida ampliamente en este capítulo.

Como en las curvas anteriores, la temperatura de la hoja presentó una relación lineal positiva, similar al comportamiento de la RFA, respecto la actividad fotosintética. Hacia las 6:00 horas se registró la menor, respecto al resto del día (20,5º C), con el transcurrir del tiempo, la temperatura se incrementó hasta alcanzar un máximo valor a las 11:00 horas, con un valor de 29,74º C. De allí, hasta el final del día, la temperatura disminuyó hasta los 26º C (Figura 3-15C). En este caso, la máxima Fn no se alcanzó con la máxima temperatura de ese día, aunque fue considerablemente alta (29,11 °C), ya que como se discutió anteriormente, existe una amplia variación en las tasas de asimilación de CO_2 dependiendo de la localidad y el cultivar de aguacate (Bower *et al*., 1978;

Whiley,1990;Schaffer *et al*., 1991; Schaffer y Whiley, 2002; Mandemaker, 2007a; Medina-Torres *et al.,* 2011), lo cual sugiere que tasas fotosintéticas de similar valor pueden presentarse con menores radiaciones, si las temperaturas presentes son mayores, como en este caso, si se compara con valores similares encontrados en las demás localidades con mayores radiaciones. Tal como lo mencionan Medina-Torres *et al*. (2011), las tasas fotosintéticas del aguacate pueden ser afectadas significativamente por pequeñas fluctuaciones de temperatura. Respecto a la HR ambiental, ésta presentó una tendencia sostenida desde las 6:00 (con un valor cercano al 100 %), hasta las 11:00 horas (69,4 %); desde esa hora hasta las 14:00 horas presentó un pequeño aumento hasta obtener un valor del 72,87 %; a las 15:00 horas se observó el menor valor de la HR con un 68,5 %, a partir de ese punto, la HR aumentó hasta alcanzar al final del día un 89,72 %, que coincidió con la mínima actividad fotosintética (Figura 3-15D). Tal como se observó en otras localidades, en las horas de la tarde la disminución en la Fn es atribuida a una menor tasa transpiratoria como consecuencia de la variación de la humedad relativa (Figura 3-15D).

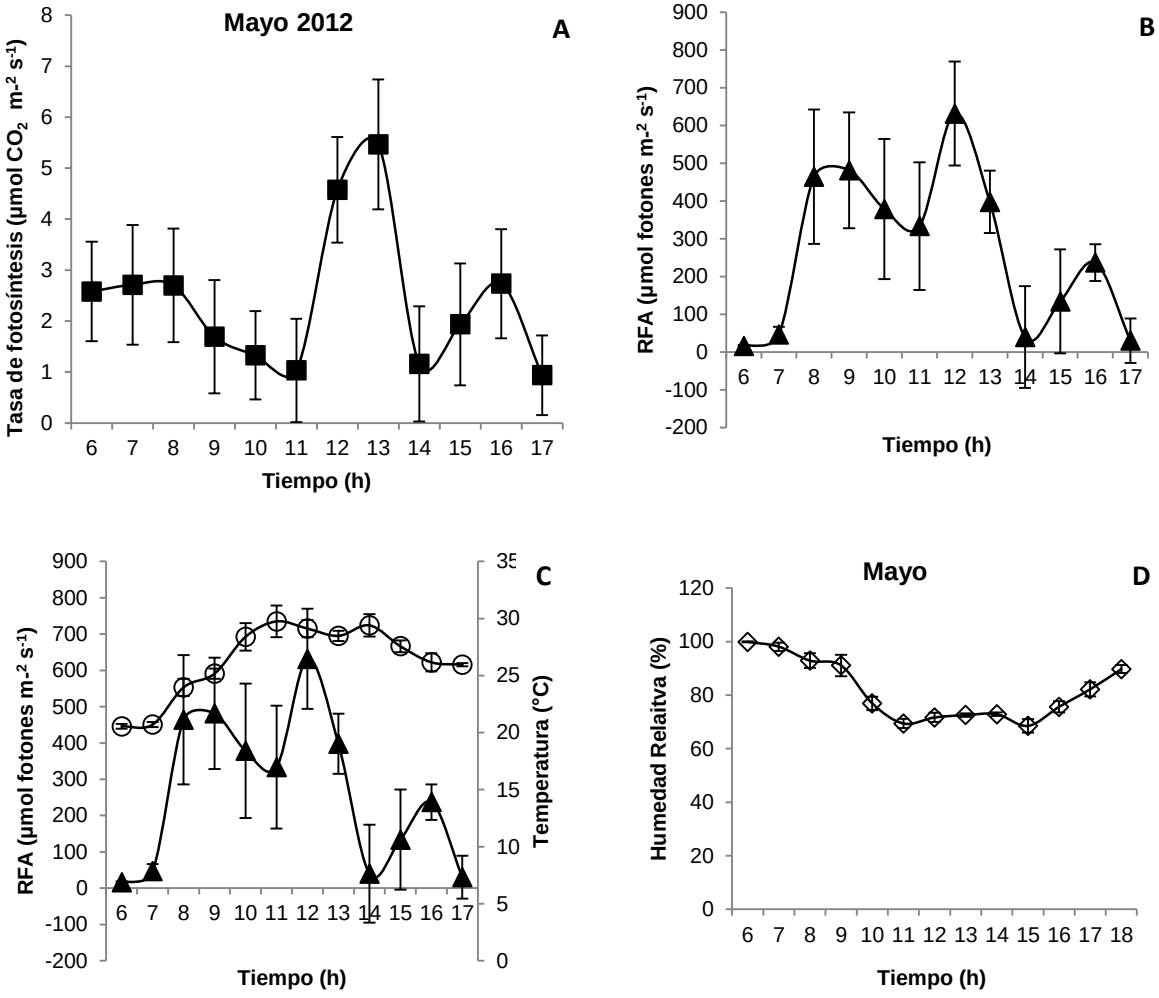


Figura 3-15. A. Fotosíntesis neta. B. Radiación fotosintéticamente activa (RFA). C. RFA y temperatura foliar. D. Humedad relativa (HR) ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass, durante el transcurso del día (Mayo de 2013). Támesis, Antioquia.

3.4.4.2 Determinación de la actividad fotosintética

Con base en la metodología empleada en las localidades ya mencionadas, se realizaron tres lecturas, correspondientes a tres etapas fisiológicas del árbol: floración, crecimiento vegetativo y reposo. La primera curva de máxima actividad fotosintética se efectuó en diciembre de 2012, teniendo en cuenta que este mismo año se habían realizado dos curvas diarias, en febrero y mayo. En este momento (diciembre 2012) los árboles se encontraban en una etapa fenológica considerada como de reposo, después de la cosecha (sin fruto), con un crecimiento vegetativo en apenas 19 %, con un crecimiento de raíces del 11,8 % y con solo un 7,9 % de brotes florales, lo que implicaba un baja demanda de fotoasimilados, especialmente por la ausencia de fruto en el árbol, la baja brotación y el reducido crecimiento de raíces (Figura 3-13). En ese sentido, la distribución de fotoasimilados está regulada por las interacciones fuente: sumidero.

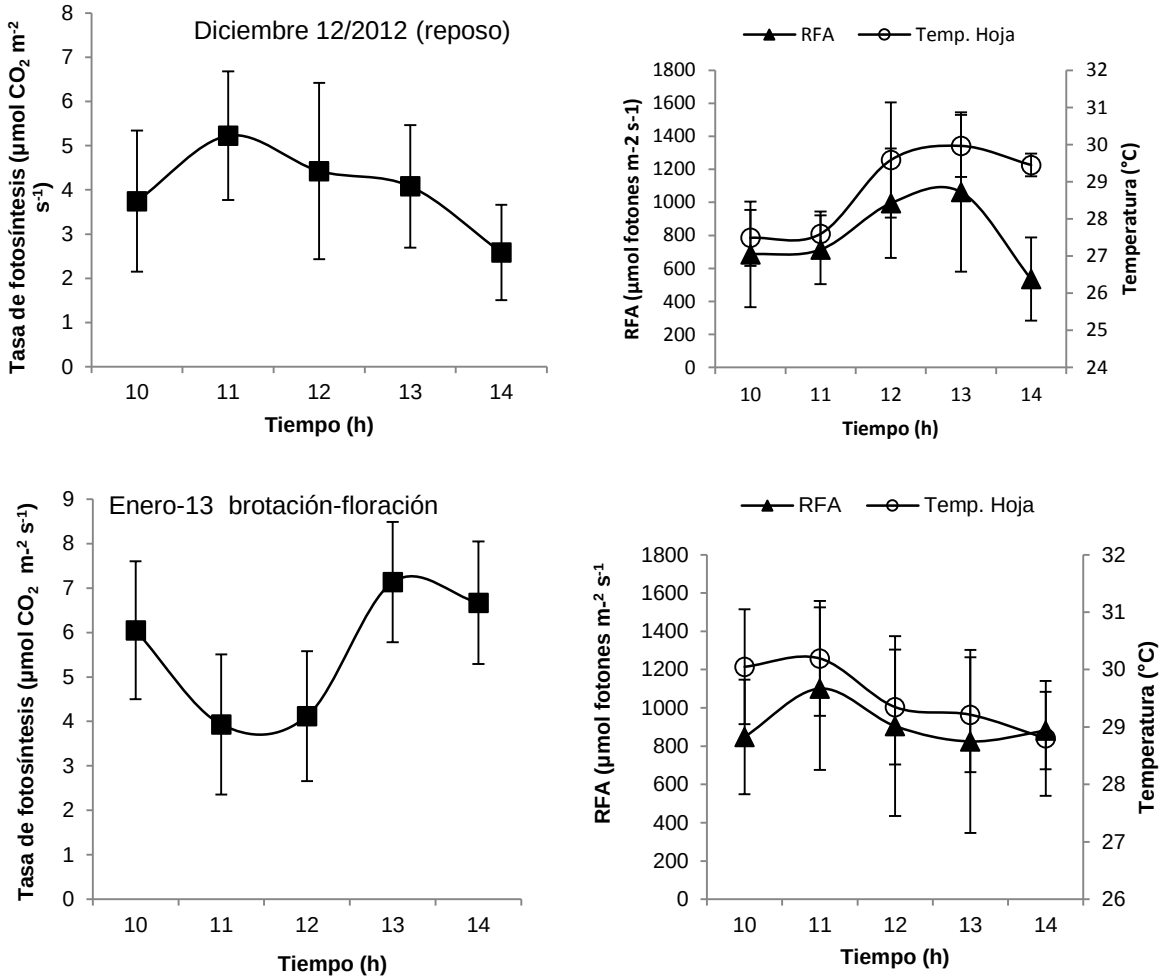
En este estudio, la máxima Fn obtenida fue de 5,23 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, a las 11:00 horas con una RFA de 713 µmol fotones m^{-2} s^{-1} y una temperatura en ese instante de 27,6 °C. A partir de ese punto, la Fn disminuyó a pesar que la RFA aumentó hasta alcanzar los 1.062 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, a las 13:00 horas (Figura 3-16), posiblemente debido a que la temperatura aumentó hasta alcanzar los 30 °C, lo que causó un cierre de estomas por la alta temperatura y por ende una disminución en la actividad fotosintética.

El origen guatemalteco x mexicano del cv. Hass puede ser un factor por el cual, con variaciones en la temperatura, la actividad fotosintética se ve afectada. Scora *et al.* (2007) mencionan que los cultivares de la raza guatemalteca o sus híbridos, entre ellas el aguacate cv. Hass, se adaptan a condiciones subtropicales, en zonas de vida de bosque húmedo pre montano, temperaturas umbrales de 4 a 19º C y alturas entre 1.200 y 2.400 msnm. Los cultivares dentro de cada raza presentan, generalmente, respuestas similares a las condiciones climáticas y también edáficas. Sin embargo, hay diferencias entre las razas y entre cultivares respecto a su adaptabilidad a las condiciones ambientales (Whiley y Shaffer, 1994), como es el caso del cv. ´Hass`, híbrido entre la raza Mexicana y Guatemalteca, que presenta características intermedias entre ambas.

Hass fue originalmente considerado como un guatemalteco puro, pero la progenie producida por autopolinización, indica que contiene genes mexicanos (Bergh and Whitsell, 1974). El Hass cuenta con un 10 a 15 % de la raza Mexicana y el resto, 85 a 90 %, de la raza Guatemalteca (Bergh y Ellstrand, 1986). La actividad fotosintética registrada en enero de 2013, se realizó cuando los árboles se encontraran con un flujo vegetativo del 100 %, 60 % de floración, 7,3 % de crecimiento de raíces, sin fructificación (Figura 3-13). En este caso, se presenta una gran demanda de fotoasimilados para la formación de hojas nuevas, el cuajamiento de fruto y en menor proporción para el crecimiento de raíces, por lo cual la máxima Fn obtenida fue de 7,13 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, superior a las máximas obtenidas en los casos anteriores, dada la condición fenológica de los árboles (Figura 3-16). Una vez más se observa como la temperatura reguló el comportamiento fotosintético de la planta, puesto que a pesar de que la máxima RFA se presentó hacia las 11:00 horas, con valores cercanos a los 1.100 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, también la temperatura en ese punto fue máxima, 30 °C, lo cual significó que la planta bajo tales condiciones mostró su mayor actividad a menor temperatura (19 °C), a las 13:00 horas, con una intensidad lumínica menor 825 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. La tasa fotosintética del aguacate puede ser afectada significativamente por pequeñas fluctuaciones de temperatura.

El clima en los hábitats de origen, sugieren que el aguacate es intolerante al calor extremo, particularmente los tipos mexicanos y guatemaltecos, originados en ambientes de clima medio (templado), de tierras altas y de latitudes medias o del semitrópico. Las altas temperaturas se espera que sea más detrimentales durante los periodos críticos de polinización y cuajamiento (Wolstenholme, 2007). Las respuestas fisiológicas del aguacate a los factores ambientales reflejan la evolución natural de la especie en los bosques lluviosos de las tierras altas de Centroamérica (Whiley, 1994; Wolstenholme y Whiley, 1999).

Otra lectura fue realizada en mayo de 2013, cuando los árboles se encontraban en una etapa de reposo, con solo un 0,5 % de los brotes en floración, 8 % de brotes vegetativos, 5,6 % en crecimiento de raíces, pero con aproximadamente un 70 % del tamaño del fruto en crecimiento es decir con demanda un mayor demanda por fotoasimilados que en el caso anterior, la máxima Fn fue de 5,32 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, ligeramente superior. En esta lectura se observó que la máxima actividad fotosintética se alcanzó a las 11:00 y a las 13:00 horas, con valores de 5,32 y 4,62 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, respectivamente (Figura 3-16). Cuando la temperatura alcanzó una máxima de 26 °C, la actividad fotosintética disminuyó, situación que ya fue discutida anteriormente.



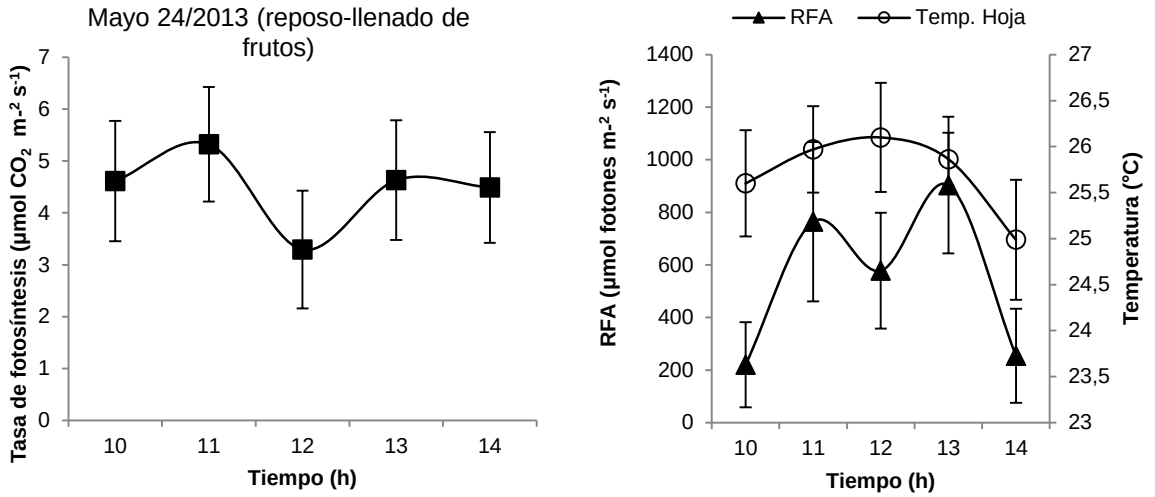


Figura 3-16. Actividad fotosintética, radiación fotosintéticamente activa y temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass en diferentes estados fenológicos (Diciembre de 2012 y Mayo de 2013). Támesis, Antioquia.

3.4.5 Todas las localidades

En las Tablas 3-1 y 3-3 se observan las tasas de fotosíntesis (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) promedio y máximas tanto de las curvas diarias fotosintéticas, como de la actividad fotosintética en las horas de máxima intensidad. En general, en las curvas diarias fotosintéticas los valores promedio fluctuaron entre los 1,56 a los 5,01 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, mientras que los valores máximos variaron entre los 3,56 a los 7,66 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. En este estudio el efecto de la variación temporal de Fn en cada localidad mostró que durante las épocas secas, se presentaron las tasas más bajas en todas las localidades (Tabla 3-1), debido a la menor disponibilidad de agua en el suelo (datos no mostrados), causando bajos niveles de potencial de agua en el xilema, provocando de esta manera una reducción en la conductancia de la hoja, tanto en CO_2 como en el vapor de agua, con serios efectos en la fotosíntesis.

Esta situación corrobora lo mencionado por Ramadasan (1980) y Nevin y Lovatt (1988), quienes mencionan que en condiciones de déficit y estrés por sequía las plantas experimentan un déficit hídrico interno que afecta varios procesos fisiológicos que en el caso del aguacate algunos han sido estudiados, encontrando reducciones en fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática. Según Whiley (1990), el aguacate presenta una estructura radical superficial, extensamente suberizada, relativamente ineficiente en la absorción de agua, baja conductividad hidráulica y baja frecuencia de pelos radiculares, lo cual puede producir una variación diurna excesiva en el contenido de agua del árbol, lo que puede tener como consecuencia una reducción en el número de frutos y en consecuencia el rendimiento, al afectar etapas críticas del desarrollo, como es la floración.

Tabla 3-1. Tasas de fotosíntesis registradas en las curvas diarias, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en Entrerríos, Rionegro, Jericó y Támesis, Antioquia (2012-2013).

Tasa de Fotosíntesis	Entrerríos		Rionegro		Jericó		Támesis	
(µmol CO_2 m^{-2} s^{-1})	Lluvias	Verano	Lluvias	Verano	Lluvias	Verano	Lluvias	Verano
Promedio	3,45	1,56	3,70	3,54	3,56	2,99	5,01	2,86
Máxima	6,13	3,56	5,42	4,80	6,59	5,97	7,66	5,47

De las cuatro localidades, Entrerríos y Jericó exhibieron durante la curva diaria fotosintética, una mayor RFA en época de verano, que en la época de lluvias, mientras que en Rionegro y Támesis ese comportamiento fue inverso (Tabla 3-2), posiblemente por presentarse el día de las lecturas, una mayor nubosidad en esas localidades, a pesar de que las tasas de Fn fueron menores en verano, en todas las fincas.

Tabla 3-2. Radiación fotosintéticamente activa registrada durante dos curvas diarias en dos periodos climáticos, en árboles de aguacate cv. Has plantados en cuatro localidades de departamento de Antioquia.

RFA	Entrerríos		Rionegro		Jericó		Támesis	
(µmol fotones m^{-2} s^{-1})	Lluvias	Verano	Lluvias	Verano	Lluvias	Verano	Lluvias	Verano
Promedio	266,57	200,17	341,15	275,51	107,51	975,32	244,52	265,82
Máxima	626,43	1220,67	600	566,43	272,57	1255	638,71	631,5

Con respecto a las curvas de la actividad fotosintética (entre 10:00 y 14:00 horas), los promedios variaron entre 2,15 a 5,58 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} y los valores máximos fluctuaron entre 3,45 y 8,58 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Tabla 3-3). En general, se observa que los valores aquí obtenidos de las tasas de fotosíntesis máximas y promedio, fueron muy bajos comparadas con los datos de Medina-Torres *et al*. (2011), quienes en México, encontraron que la tasa de fotosíntesis neta al fin de verano fue de 18,45 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, se elevó ligeramente a 20,22 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} al inicio de otoño y alcanzó el promedio máximo en pleno otoño con 30,05 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} que coincidió con el crecimiento de fruto. Las bajas tasas de fotosíntesis encontradas en este estudio, pueden ser debidas a la baja densidad estomática de las hojas en los árboles de las localidades en estudio.

Los valores encontrados demuestran que a lo largo del día la planta no alcanza su potencial fotosintético respecto a la disponibilidad de luz, pues otros factores como la humedad relativa y la temperatura influyen en el grado de apertura de los estomas, y por tanto en la asimilación de CO_2 (Schaffer y Whiley, 2003; Heath *et al*., 2005). Sumado a esto, los valores altos de PSL indican que para asegurar la máxima productividad fotosintética se debe exponer el máximo de hojas a luz plena (Mandemaker, 2007b; Musyimi, 2007).

La máxima tasa de fotosíntesis alcanzada en este estudio (8,58 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) (Tabla 3-3) es baja cuando se compara con reportes de algunas especies frutales perennes como vid (56 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), durazno (74 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) y manzana (97 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) (Scholefield *et al*., 1980). Sin embargo, estas especies son todas caducifolias y comparadas con plantas siempre verdes, son capaces de fotosintetizar en un periodo del año inferior al 30 % (Scholefield *et al*., 1980).

Tabla 3-3. Actividad fotosintética registrada en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en Entrerríos, Rionegro, Jericó y Támesis, Antioquia (2012-2013).

	Entrerríos			Rionegro			Jericó			Támesis		
	Tasa de Fotosíntesis (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1})											
	Dic.	Mar.	Jul.	Ago.	Jul.	Oct.	Dic.	Feb.	May.	Dic.	Feb.	May.
Prom.	5,59	3,61	2,15	3,60	4,75	4,94	2,87	4,03	3,60	4,01	5,58	4,47
Máx.	8,58	4,11	3,56	4,80	5,73	6,38	3,45	5,24	5,97	5,23	7,13	5,32
Prom. Gral.		5,41			5,63			4,88			5,89	

La máxima RFA promedio de tres lecturas, se observó en Entrerríos, seguido por Támesis, Jericó y Rionegro (Tabla 3-4). En general, la RFA, fue similar en tres de las localidades a excepción de Rionegro, que fue menor. Existen reportes contradictorios en la literatura en cuanto al PSL en aguacate (nivel donde la fotosíntesis neta alcanza su máxima tasa); sin embargo, en un cultivo en Queensland, Australia, Whiley (1994) observó que el PSL para la fotosíntesis en hojas maduras de aguacate cv. Hass fue de 1.100 µmol fotones m^{-2} s^{-1}; igualmente, apreció que la máxima tasa neta fotosintética fue de 23 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}.

Los valores máximos de RFA encontrados en este estudio estuvieron cercanos al PSL mencionado por Whiley (1994) (a excepción de Rionegro); sin embargo, las tasas de Fn fueron bajas, en comparación con las mencionadas por el mismo autor, lo que supone que el PSL en este estudio fue menor al valor registrado. El máximo valor obtenido de 1255 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, obtenido en Jericó, estuvo muy por debajo de los 2.000 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, señalados por Schaffer y Whiley (2007), al medio día, en verano, en latitudes medias a altas. Cabe anotar que cuando la intensidad de luz supera los 2.500 µmol de fotones m^{-2} s^{-1}, se pueden presentar daños en la maquinaria fotosintética y la Fn disminuye significativamente (Taiz y Zeiger, 2002; Hadari, 2004).

Tabla 3-4. Radiación fotosintéticamente activa, registrada durante tres curvas de máxima actividad fotosintética, en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades de departamento de Antioquia.

	Entrerríos			Rionegro			Jericó			Támesis		
	RFA (µmol de fotones m^{-2} s^{-1})											
	Dic.	Mar.	Jul.	Ago.	Jul.	Oct.	Dic.	Feb.	May.	Dic.	Feb.	May.
Prom.	1020	785	377	396	462	539	1070	548	440	798	911	544
Máxima	1234	1033	1220	576	733	757	1255	693	1104	1062	1100	903
Max. Prom.		1162			681			1017			1022	

Al considerar todas las lecturas diarias y las de máxima actividad fotosintética realizadas, en todas las localidades, se generó la regresión múltiple cuadrática que se muestra en la Figura 3-17, que indica la existencia de una alta asociación y significancia entre la fotosíntesis y la RFA (P= 0,00001; R^2= 41,14 %), así como con la temperatura de la hoja (P= 0,001; R^2= 41,14 %), En la Figura 3-18 se observa como la fotosíntesis máxima se obtuvo con temperaturas de 21,63 °C y una RFA de 829,34 µmol de fotones m^{-2} s^{-1}; con valores superiores, la fotosíntesis empezó a declinar, mostrando una saturación del aparato fotosintético. Este valor de radiación, fue inferior al reportado por Whiley (1994) en Australia, quien señala que el valor máximo de Fn se obtiene con radiaciones de 1.100 µmol fotones m^{-2} s^{-1}, a pesar de que las temperaturas estuvieran en el rango óptimo.

Whiley (1994), también observó que la tasa fotosintética máxima neta (Amax) de árboles en condiciones de cultivo (alrededor de 23 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), era significativamente mayor que la de árboles en macetas (de alrededor de 7 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), valores similares a los obtenidos en este estudio. Whiley *et al.* (1999) han señalado que esta menor Amax de los árboles en maceta, comparada con los que crecen en el campo, se debe, probablemente, a la restricción de la capacidad sumidero de sus raíces, lo que conduciría a una inhibición, por producto final, de la fotosíntesis.

De otra parte, se observó que la temperatura foliar (21,63 °C), a la cual la Fn fue máxima, tuvo un comportamiento similar a los señalados por Benacchio (1982) e Ibar (1983), quienes mencionan que el rango óptimo para fotosíntesis en aguacate es de 25 a 30°C. Sin embargo, para la raza mexicana la media óptima es de 20 °C, para la raza guatemalteca está entre 22 y 25 °C y para la raza antillana oscila entre 24 y 26 °C; dado que el cv. Hass es un híbrido mexicano por guetemalteco, este rango se ubica entre 20 y 25 °C. De acuerdo con lo obtenido en este estudio, temperaturas por encima de los 23,6 °C, reducen la Fn. En climas cálidos como el de Florida y California, las temperaturas alcanzan su nivel máximo durante el verano, limitando el rendimiento fotosintético. La fotosíntesis neta se redujo a cerca de cero en California, en el aguacate cv. Hass, cuando la temperatura de la hoja estuvo entre 35 a 40 °C; se correlacionó fuertemente con la reducción en la conductancia estomatal (Liu *et al*., 2002). Se ha encontrado que la fotosíntesis puede ser mantenida al 33 % de sus niveles máximos, a temperaturas por arriba de 40°C (Scholefield *et al*., 1980; Whiley y Schaffer, 1994).

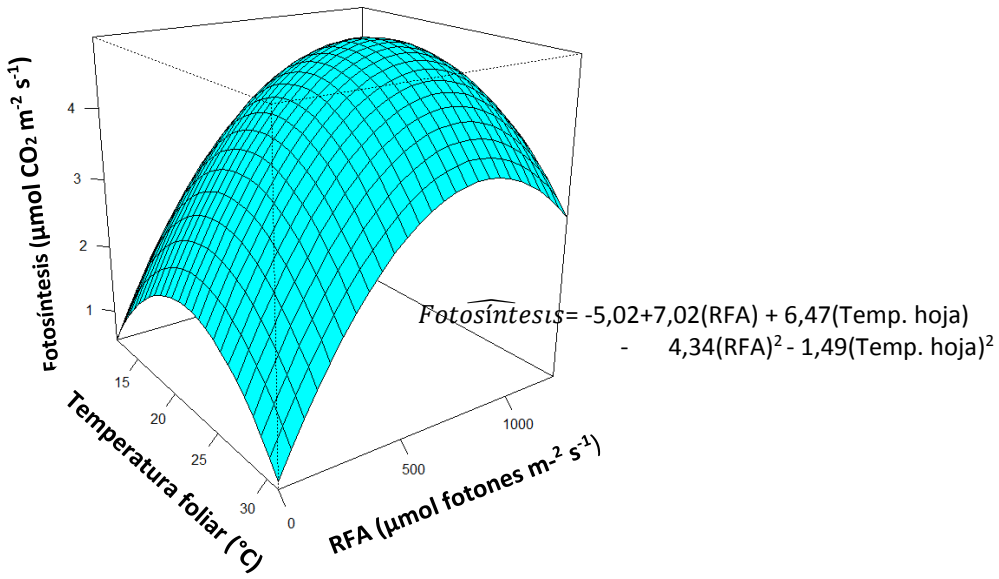


Figura 3-17. Superficie del modelo cuadrático para la fotosíntesis, en función de la radiación fotosintéticamente activa y la temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia.

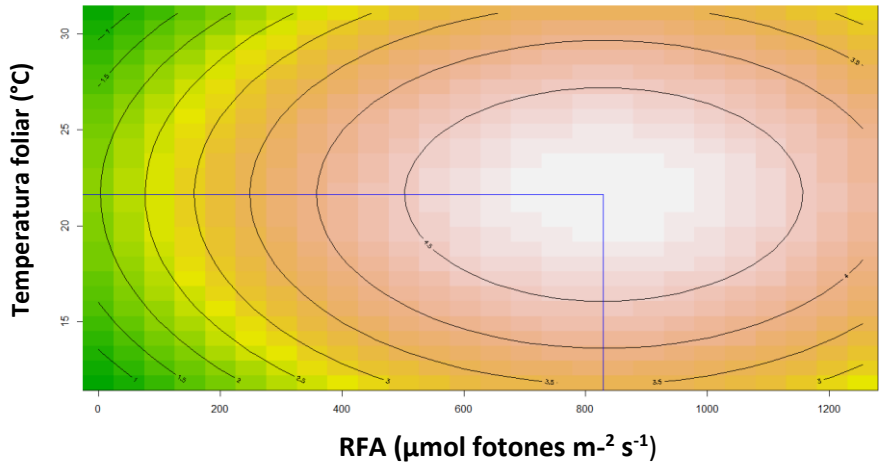


Figura 3-18. Diagrama de contornos del modelo cuadrático de la fotosíntesis, en función de la radiación fotosintéticamente activa y la temperatura de la hoja, en árboles de aguacate cv. Hass plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia.

3.4.5.1 Densidad estomática

En las plantas superiores, la función primaria de los estomas es permitir la entrada de CO_2 y controlar la inevitable pérdida de vapor de agua, bajo la cambiante condición ambiental, lo cual es esencial para el funcionamiento de la planta.

El conocimiento acerca de los estomas ha sido obtenido empleando una gran variedad de técnicas. En las hojas de aguacate el número de estomas por unidad de área ha sido objeto de estudio en algunos trabajos, relacionados con relaciones filogenéticas (García e Ichicawa, 1979), respuesta a sequía (Macías-González, 1981), hábito de crecimiento (Barrientos-Pérez y Sánchez-Colín, 1983; Barrientos-Priego y Sánchez-Colín, 1987), poliploidía inducida (Morales-Escobar *et al*., 1992), y estudios fisiológicos (Blanke, 1992). De acuerdo con Heisman (1939), los estomas de las hojas de aguacate se encuentran solamente en la superficie abaxial (envés). Lo cual fue confirmado en una población de árboles de aguacate por Macías y Borys (1980). En este caso, la densidad estomática encontrada en las hojas de los árboles plantados en Entrerríos fue de 134,74, en las hojas de los árboles plantados en Rionegro de 138,86, en las hojas de los árboles plantados en Jericó de 113,20 y en las hojas de los árboles plantados en Támesis de 116,99 estomas mm^2.

De acuerdo con lo anterior, se observa que las hojas de los árboles plantados por encima de los 2.200 msnm, mostraron una mayor densidad estomática, al compararse con las hojas de los árboles plantados en alturas inferiores (Tabla 3-5). Estos resultados concuerdan con los de Kadman (1965), quien en plántulas francas de aguacate contó entre 100 y 120 estomas por mm^2. Sin embargo, Macías-González (1981) enumeró 561,8 estomas por mm^2 para cultivares de la raza Antillana y 519.4 por mm^2 para cultivares de la raza Mexicana en hojas de plantas desarrolladas bajo condiciones adecuadas de humedad de suelo.

Por su parte Blanke (1992) indicó que el cv. Fuerte cuenta con 390-510 estomas por mm^2. Estos valores tan altos comparados con los encontrados en este estudio, posiblemente se deban al tipo de hoja muestreada, pues si ésta es muy joven posee un mayor densidad estomática y contrariamente, hojas maduras, como las analizadas en esta investigación, poseen una menor cantidad.

La transpiración y la intensidad de la respiración está en razón directa al número y abertura de los estomas y como las hojas son los principales órganos de las plantas donde se realiza la fotosíntesis, la cantidad y distribución de los estomas influyen directamente sobre la asimilación clorofílica o fotosíntesis (conjunto de fenómenos fisiológicos que permiten a los vegetales clorofílicos producir moléculas orgánicas glucídicas, a partir del anhídrido carbónico de la atmósfera y del agua, en presencia de luz) (Fernández-Cano y Togores, 2011). Rubino *et al*. (1989) y Thakur (1990) señalan que la disminución de la cantidad de estomas por mm^2 incrementa la resistencia estomática de la planta y de esta manera evita un exceso de transpiración; sin embargo, tanto la DE como el Índice Estomático son tan variables que están fuertemente influenciadas por diversas condiciones estresantes como condiciones de sequía y altas concentraciones salinas además el material vegetal que se trate (Salas *et al*., 2001; Bethke y Drew, 1992; Rubino *et al*., 1989).

Tabla 3-5. Densidad estomática en tres estratos de hojas de aguacate cv. Hass, en huertos plantados en cuatro localidades de departamento de Antioquia.

	Támesis		Jericó		Rionegro		Entrerríos	
Estrato	Densidad estomática (No. estomas mm^2)							
Superior	113,07	a	110,97	a	145,66	a	123,06	a
Medio	121,30	a	111,13	a	135,27	a	135,53	a
Bajo	116,60	a	117,51	a	135,66	a	145,62	a
Promedio	116,99		113,20		138,86		134,74	

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Scheffé a una $P \leq 0,05$

Macías y Borys (1980), al estudiar el número de estomas por mm^2 en árboles de aguacate de raza mexicana, encontraron entre 423 y 688, indicando la posible influencia de las condiciones ambientales en el número de estomas, lo cual fue confirmado por Macías-González (1981), al someter plantas de aguacate a -2 y -12 bares de tensión de humedad en el suelo, donde se constató que el número de estomas bajo esas condiciones fue de 426,7 y 610 por mm^2, respectivamente. El sistema estomático en el aguacate es muy sensible al estatus hídrico de la planta, controlando la asimilación de CO_2 completamente. Altas temperaturas inhiben la asimilación y causan el cierre estomático debido a un aumento del CO_2 en los tejidos, sin embargo el cierre es lento y la transpiración continúa. Por otro lado el cierre estomático es rápido en respuesta a la luz, lo que significa que las hojas ubicadas en la parte interna del dosel, que tienen un alto nivel de sombreamiento tienen baja productividad. Un repentino aumento en la intensidad lumínica no resulta en un incremento en la productividad de las hojas de aguacate debido a que la apertura estomática es lenta (Heath y Arpaia, 2006).

En este estudio se encontró que no hubo diferencia significativa en la densidad estomática de las hojas, entre los estratos de la fronda de los árboles, en las diferentes localidades, a pesar de que estos niveles exhiben diferente grado de interceptación de luz (Tabla 3-5). Romero (2011) encontró que el estrato alto de los árboles de aguacate cv. Lorena, genera una interceptación de luz cercana al 60 %, mientras que en el estrato

medio, ésta se reduce a un 40 %. De alguna manera estos resultados están en concordancia con lo mencionado por Mickelbart et al. (2000), quienes aseguran que la densidad estomática de hojas de aguacate cv. Hass, tanto de las crecidas bajo sombra, como las expuestas a plena luz solar, no mostraron diferencias significativas. Esta situación se explica por el hecho de que el aguacate es un árbol de sotobosque en su hábitat natural, por lo que la anatomía de la hoja no está lo suficientemente adaptada al incremento de la luz solar bajo condiciones de cultivo. De hecho, las hojas de aguacate alcanzan un nivel de saturación de luz en la fotosíntesis, a niveles ligeramente más bajos, cuando se comparan con especies adaptadas a la plena exposición solar (Liu *et al*., 2002; Mickelbart *et al*. (2000).

La relación entre la asimilación de CO_2 y la conductividad estomática varía entre especies, siendo fuerte en algunos casos mientras en otros es débil o puede no presentarse. Heath *et al*. (2010) documentaron la relación entre estos parámetros a diferentes horas del día y entre diferentes cultivares de aguacate, en todos los casos la relación fue alta sugiriendo que la conductancia es el principal factor que afecta la fotosíntesis en hojas de aguacate, cualquier factor que influya sobre este parámetro repercute directamente en el desempeño fotosintético y potencialmente en la productividad.

Estos resultados reflejan el hecho de que el cv. Hass, por considerarse entre el grupo de los aguacates subtropicales, su adaptación en el trópico debe ser cercana a las condiciones de las zonas altas de México y Guatemala (Wolstenholme, 2007); por lo tanto, los resultados de rendimiento y peso promedio de frutos menor obtenidos en las zonas más cálidas, son el reflejo de una desadaptación a tales condiciones. Al respecto, Walters (2005) postuló que los cambios en el ambiente tienen un impacto importante en al aparato fotosintético, ya que no solo éste es la fuente de energía de la planta y el sitio de fijación del carbono, sino también el lugar donde se presenta el mayor daño bajo condiciones de estrés. A pesar de que en este estudio, no se presentó una diferencia marcada en las tasas fotosintéticas en las diferentes localidades, incluyendo la más cálida, es posible que la distribución de los fotoasimilados en esta última localidad estuviera dirigida a la fracción vegetativa, donde las plantas tratando de sostener el aparato fotosintético, emiten mayor follaje, en detrimento de la cantidad, tamaño y calidad del fruto producido.

De otro lado, el aumento de la temperatura en zonas más bajas, como la encontrada en la localidad de Támesis, causa también un calentamiento excesivo de las hojas y por consiguiente, una pérdida mayor de agua, pues la planta tratando de reducir el calor alcanzado por la hoja en esas condiciones, transpira más. Al respecto, se puede decir que el cv. Hass bajo condiciones de altas temperaturas, no logra aclimatarse y presenta una mayor pérdida de agua, en comparación con los otros ambientes con menores temperaturas, con las consecuencias mencionadas anteriormente y enunciadas por Scholefield *et al*. (1980). Las diferencias en la respuesta al clima, podrían ser suficientes para identificar el origen racial de los árboles. Por ejemplo, solo la raza antillana se adapta al clima netamente tropical de las tierras bajas, mientras que los árboles de las otras razas pueden no cuajar frutos o, incluso, no producir flores bajo dichas condiciones (Serpa, 1968). Una raza o cultivar tiene un rango considerable de ambientes, pero esto suele acarrear variaciones en su rendimiento. Por lo anterior, el aguacate cv. Hass de origen guatemalteco (con cierto porcentaje de genes de la raza mejicana), se espera que prospere bien en las tierras altas del trópico que son similares a las existentes en el lugar donde tuvo su desarrollo evolutivo y no en las zonas bajas, donde predominan condiciones ambientales muy diferentes a las de su centro de origen (Galán-Sauco, 1990). Para una región donde se cultive aguacate puede resultar útil el estudio de la dispersión anual de la fotosíntesis representada mensualmente, como una herramienta para el diseño particular de un programa de manejo de la copa del árbol y maximizar la captación de la luz solar, así como para explicar cómo se adapta el cv. Hass a diferentes ambientes de cultivo, debido a la variación existente de las tasas de asimilación de CO_2 entre localidades.

3.5 Conclusiones

La tasa de fotosíntesis en aguacate cv. Hass presentó un comportamiento parecido en las localidades evaluadas.

La actividad fotosintética presenta amplias variaciones, determinadas principalmente por la radiación fotosintéticamente activa incidente sobre la fronda del árbol y las variaciones de la temperatura.

Las curvas de actividad fotosintética de los árboles, mostraron un comportamiento distinto, de acuerdo con el estado fenológico encontrado al momento de las lecturas.

Las tasas de fotosíntesis disminuyeron en las épocas secas, por la menor disponibilidad de agua en el suelo, una mayor RFA y un aumento en la temperatura ambiental.

Las tasas de fotosíntesis registradas fueron muy bajas en comparación con las reportadas en otras latitudes para el mismo cultivar, aun cuando los valores de RFA fueron adecuados.

El bajo índice estomático registrado, pudo contribuir a la disminución de las tasas de fotosíntesis encontradas.

Los estratos del árbol no presentaron diferencia en índice estomático, lo cual corrobora la información que al respecto, existe en la literatura.

3.6 Literatura citada

Avery, D. J. 1969. Comparisons of fruiting and deblossomed maiden apple trees, and of non-fruiting trees on a dwarfing and an invigorating rootstock. New Phytol. 68: 323-336.

Avery, D. J. 1975. Effects of climactic factors on the photosynthetic efficiency of apple leaves. In: Climate and the Orchard. H. C. Pereira (ed.). Commonwealth Agr. Bureaux, Farnham Royal Slough, England. pp. 25-31.

Baeza, P. 1994. Caracterización ecofisiológica y evaluación agronómica de diferentes sistemas de conducción del viñedo (*Vitis vinifera* L.) en regadío. Tesis doctoral. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 220 p.

Barrientos-Pérez, F. and Sánchez-Colín, S. 1983. Height variability obtained from a new dwarf avocado tree population. Acta Horticulturae 140: 163-68.

Barrientos-Priego, A.F. and Sánchez-Colín, S. 1987. Stomatal density and its relationship to growth habit in avocado. South African Avocado Growers' Association Yearbook 10: 66-67.

Barrientos-Priego, A.F.; Borys, M.A.; Trejo, C y López-López, L. 2003. Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. Rev. Fitotec. Mex. 26 (4): 285–290.

Beakbane, A.B. and Majumder, P.K. 1975. A relationship between stomatal density and growth potential in apple rootstocks. J. Hort. Sci. 50: 285-289.

Benacchio, S.S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivos con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nacional de Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.
.

Bergh, B.O. and Whitsell, R.H. 1974. Self-pollinated Hass seedlings. California Avocado Society Yearbook 57, 118–126.

Bergh, B., N. and Ellstrand. 1986. Taxonomy of the Avocado. In: California Avocado Society Yearbook 70:135-146.

Bethke, C.P. and Drew, C.M. 1992. Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity. Plant Physiology 99(1): 219-226.

Blanke, M.M. 1992. Photosynthesis of avocado fruit. Proc. of Second World Avocado Congress. Orange, California. pp. 179-189.

Bolhar-Nordenkampf, H.R. 1985. Shoot morphology and leaf anatomy in relation to photosynthesis. In: Coombs, J., Hall, D.O., Long, S.P. and Scurlock, J.M.O. (eds) Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. Pergamon Press. Oxford, U.K. pp. 107–117.

Bower, J.P. 1978. The effects of shade and water relation in the avocado cv. Edranol. South African Avocado Growers' Association. Research Report 2: 59-61.

Bower, J. and Cutting, J. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. Horticultural Reviews. 10: 229-271.

Bower, J.P.; Wolstenholme B.N. and Jager, J.M. 1978. Incoming solar radiation and internal water status as stress factors in avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Edranol. South African Avocado Growers' Association. Proceedings of the Technical Committee 23: 35-40.

Bravdo, B.; Hepner, Y.; Loinger, C.; Cohen, S. and Tabacman, H. 1985. Effect of crop level and crop load on growth, yield, must and wine composition, and quality of Cabernet Sauvignon. Am. J. Enol. Vitic. 36(2): 125-31.

Córdoba G., O. de J. 2012. Comportamiento ecofisiológico de variedades de higuerilla (*Ricinus communis* L.) para la producción sostenible de aceite y biodiesel en diferentes agroecosistemas colombianos. Tesis de Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín, Colombia. 137 p.

Cowart, F.F. 1935. Apple leaf structure as related to positions of the leaf upon the shoot and to type of growth. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 40: 113-119.

Chartzoulakis, K.; Patakas, P.; Kofidis, G.; Bosabalidis, A. and Nastou, A. 2002. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. Scientia Hortic. 95:39-50.

Dixon, J. 2007. Shoot growth of 'Hass' avocado trees in 'on' and 'off' flowering years in the western bay of plenty. Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association. 7, 41-48.

Dussi, M.C. 2007. Intercepción y distribución lumínica en agroecosistemas frutícolas. En: Sozzi, G.O. (ed.). Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina pp. 200-241.

Espinel, L.S. y Montenegro, E. 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa de ecológico. IGAC, Bogotá. pp. 238.

Fernández-Cano, L.H. y Togores, J.H. 2011. Organografía de la vid. En: Viticultura I. Tratado de viticultura. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. pp. 155-192.

Figueroa, C. y Hernández, M. 1986. Localización, distribución y cuantificación de estomas en aguacate (*Persea americana* Mill.). Programa y Resúmenes del XI Congreso Nacional de Fitogenética. Facultad de Agricultura, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 172 p.

Fischer, G. y Orduz-Rodríguez, J.O. 2012. Ecofisiología en frutales. En: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá, Colombia. pp. 54-72.

Galán-Sauco, V. 1990. Los frutales tropicales en los subtrópicos (Aguacate, mango, litchi y longan). Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa.133p.

García, A. and Ichicawa, S. 1979. Cytogenetical studies in the genus *Persea* (Lauraceae). II. A comparative morphological study on 61 strains. Japan J. Breed. 29 (1): 66-76.

Gazit, S. y Degani, C. 2007. Biología reproductiva. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.) El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaiso, Chile. pp. 103-131.

Hadari, M. 2004. A three-dimensional model of the light regime in an avocado orchard. Research Thesis for the Degree of Master of Science of Agricultural Engineering (Water, Soil and Environmental Engineering). Israel Institute of Technology. Haifa, Israel. 107 p.

Heath, R. and Arpaia, M. 2006. Avocado Tree Physiology - Understanding the basis of productivity. In: Proceedings of the California Avocado Research Symposium. University of California. Riverside, California, U.S.A. pp. 93-107.

Heath, R.; Arpaia, M.L. and Mickelbart, M. 2005. Avocado tree physiology-Understanding the basis of productivity. Proceedings of the California Avocado Research Symposium. University of California. Riverside, California, U.S.A. pp. 65-88.

Heath, R.; Mickelbart, M.; Arpaia, M.; Fassio, C. and Miller, R. 2010. Midday depression of stomatal conductance in avocado leaves. In: Avocado Source: http://www.avocadosource.com/journals/civdmchile_1990/civdmchile_1990_pg_06; consulta: marzo 2015.

Heisman, P. 1939. Notes on avocado anatomy. California Avocado Society Yearbook: 87-91.

Ho, L.C. 1988. Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. Ann. Rev. Plant Physiol. 39: 355–378.

Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs, 54(2): 187-211.

Ibar, L. 1983. Cultivo de Aguacate, Chirimoya, Mango, Papaya. Editorial Aedos Barcelona 159-171.

Kadman, A. 1965. Influence of transpiration and some other factors on the uptake, transport and accumulation of chlorine and sodium in avocado seedlings. Proceedings of the Symposium on the Use of Isotopes and Radiation in Soil Plant Nutrition Studies, Ankara, Turkey. International Atomic Energy Agency. Viena, Austria. pp. 539-562.

Kazaryan, V.O.; Balagezvan, N.V. and Karapetyan, K.A. 1965. Influence of the fruits of apple trees on the physiological activity of the leaves. Soviet Plant Physiol. 12: 265-269.

Liu, X.; Sievert, J.; Arpaia, M. and Madore, M. 2002. Postulated physiological roles of the seven-carbon sugars, mannoheptulosa and perseitol in avocado. Journal of the American Society for Horticultural Science 127: 108-114.

Macías G., J.L. y Borys, M.W. 1980. Distribución de estomas en una población de *Persea americana* var. *drymifolia* Mill. Programa de Actividades y Resúmenes de Ponencias del Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI). Uruapan, México. 82 p.

Macías-González, J.L. 1981. Respuesta de dos razas de aguacate (*Persea americana* Mill.) a tres regímenes de riego. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de México, México. 124 pp.

Mandemaker, AJ. 2007a. Review: Photosynthesis of avocado. New Zealand Avocado Growers' Association. Annual Research Report; 7: 1-10.

Mandemaker, A.J. 2007b. Review: Photosynthetic performance of overwinter leaves. New Zealand Avocado Grower's Association. AnnualReport 7: 11-20.

Medina-Torres, R.; Salazar-García, S.; Ortiz-Catón, M. y Valdivia-Bernal, R. 2011. Variación estacional de la fotosíntesis en varios cultivares de aguacate. Revista Biociencias 1(3):35-45.

Mickelbart, M.V.; Miller, R.; Parry, S.; Arpaia, M.L. and Heath, R. 2000. Avocado leaf surface morphology. California Avocado Society Yearbook. 84:139-150.

Morales-Escobar, L., Barrientos-Priego, A. F., Barrientos-Pérez, F. y Martínez-Damián, Ma. T. 1992. Obtención de poliploides en aguacate (*Persea americana* Mill.) mediante el uso de colchicina. Memoria de la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, Edo. de México, México. pp. 89-96.

Musyimi, M. 2007. Photosynthetically active radiation influence on gas exchange parameters of avocado seedlings growing under saline conditions. Journal of Biological Sciences 7(8): 1400-1405.

Nevin, J.M. and Lovatt, C.J. 1989. Changes in starch and ammonia metabolism during low temperature stress-induced flowering in Hass avocado-A preliminary report. South African Avocado Growers' Association Yearbook . 12: 21-25.

Paull, R.E. and Duarte, O. 2011. Avocado. In: Tropical Fruits. 2nd. Ed. Vol.1. CABI. Oxfordshire, U.K. pp. 153-184.

Ramadasan, A. 1980. Gas exchange in the avocado leaves under water stress and recovery. California Avocado Society Yearbook 64: 147- 151.

Romero S., M.A. 2011. Comportamiento fisiológico del aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, Área Fisiología de Cultivos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, Escuela de Posgrados. Bogotá, Colombia. 134. p.

Rosales, J.; Parodi, G. y Carlini, B. 2003. Evaluación del ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass para la zona de la irrigación Santa Rosa, Perú. En: Proceedings V World Avocado Congress. Granada-Málaga, España. pp. 311-316.

Ross, J. 1981. The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands. Junk, Boston, Massachusets, U.S.A., 391 p.

Rubino, P.; Tarantino, E. and Rega, F. 1989. Relationship between soil water status and stomatal resistance of tomatoes. Irrigazione e Drenaggio 36: 95- 98.

Saavedra, G.C. 1993. Determinación de índices para selección hacia porte bajo en aguacate. In: Memoria 1993 de la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C. Coatepec Harinas, México. pp. 129-137.

Salas, J.A.; Sanabria, M.E. y Pire, R. 2001. Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. Bioagro 13(3): 99-104.

Salazar-García, S.; Cossio-Vargas, L.; Lovatt, C.; González-Duran, I. and Pérez-Barraza, M. 2006. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of Hass avocado. Hort. Science 41(7): 1541-1546.

Salazar-García, S.; Cossio-Vargas, L.; González-Duran, I. y Lovatt, C. 2007. Desarrollo floral del aguacate 'Hass' en clima semicálido. Parte I. Influencia de la carga de fruta y edad de los brotes. Revista Chapingo Serie Horticultura 13(1): 87-92.

Schaffer, B. and Andersen, P.C. 1994. Introduction. In: Schaffer, B. and Andersen, P.C. (eds) Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol. 2, Subtropical and Tropical Crops. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A. pp. 165–197.

Schaffer, B. and Whiley, A.W. 2002. Environmental physiology. In: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN. (eds) Avocado: Botany, Production and Uses. CABI Publishing. Oxon, U.K. pp. 135-160.

Schaffer, B. and Whiley, A.W. 2003. Environmental regulation of photosynthesis in avocado trees – a minireview. Proc. V World Avocado Congress. Granada – Malaga, Spain. pp. 335-342.

Schaffer, B. y Whiley, A.W. 2007. Fisiología ambiental. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.) El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaiso. Valparaíso, Chile. pp. 133-154.

Schaffer, B.; Whiley, A.W. and Kohli, R. 1991. Effects of leaf age on gas exchange characteristics of avocado (*Persea americana* Mill.). Scientia Horticulturae. 48: 21-28.

Scholefield, P.B.; Walcott, J.J.; Kriedemann, P.E. and Ramadasan, A, 1980. Some environmental effects on photosynthesis and water relations of avocado leaves. California Avocado Society Yearbook 64: 93-105.

Scora, R.W.; Wolstenholme, B.N. y Lavi, U. 2007. Taxonomía y Botánica. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.) El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 25-46.

Serpa, D. 1968. Avocado culture in Venezuela. California Avocado Society Yearbook. 52:153-168.

Stoev, K. et Dobreva, S. 1976. Influence du modo de conduite de la vigne sur la photosynthese et la distribution des substances. Connaissance de la Vigne et du Vin 10(2): 125-139.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology, Third Edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusets. 690 p.

Thakur, P.S. 1990. Different physiological responses of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars to drought. Acta Physiol. Pl.12: 175-182.

Walters, R.G. 2005. Toward an understanding of photosynthetic acclimation. In: Journal of Experimental Botany. 56 (411): 435-447.

Whiley, A.W. 1990. CO_2 assimilation of developing fruiting shoots of cv. Hass avocado (*Persea americana* Mill.). A preliminary report. South African Avocado Growers' Association Yearbook 13: 28-30.

Whiley, A.W. 1994. Ecophysiological studies and tree manipulation for maximization of yield potential in avocado (*Persea americana* Mill.). Ph.D. thesis, Department of Horticultural Science, University of Natal. Pietermaritzburg, South Africa. 189 p.

Whiley, A.W. 2002. Crop Management. In: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN. (eds) The Avocado: Botany, Production and Uses. CABI Publishing. Oxon, U.K. pp. 231-258.

Whiley, A.W. and Schaffer, B. 1994. Avocado. In: Scahffer, B. and Anderson, P.C. (eds) Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol. 2 Subtropical and Tropical Crops. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A. pp. 165-197.

Whiley, A.; Saranah, J. and Wolstenholme, B.N. 1992. Effect of paclobutrazol bloom sprays on fruit yield and quality of cv. Hass avocado growing in subtropical climates. Proc. II World Avocado Congress. Orange, California, U.S.A. pp 227-232.

Whiley, A.W., Saranah, J.B., Cull, B.W. and Pegg, K.G. 1988. Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. Queensland Agricultural Journal 114: 29-36.

Whiley, A.W.; Schaffer, B. and Wolstenholme. 2002. Preface. In: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN. (eds) The Avocado: Botany, Production and Uses. CABI Publishing. Oxon, U.K. pp. ix-xi.

Whiley, A.W.; Searle, C.; Schaffer, B. and Wolstenholme, B.N. 1999. Cool orchard temperature or growing trees in containers can inhibit leaf gas exchange of avocado and mango. Journal of the American Society for Horticultural Science 124(1): 46-51.

Wolstenholme, B. 1987. Some aspects of avocado research world-wide. South African Avocado Growers' Association Yearbook. 10: 8-12.

Wolstenholme, B.N. 1987. Theoretical and applied aspects of avocado yield as affected by energy budgets and carbon partitioning. South African Avocado Growers' Association Yearbook 10:58-61.

Wolstenholme B.N. 1990. Resource allocation and vegetative reproductive competition: Opportunities for manipulation in evergreen fruit trees. Acta Horticulturae 275: 451-459.

Wolstenholme, B.N. 2007. Ecología: El Clima y el ambiente edáfico. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.) El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 75-101.

Wolstenholme, B. and Whiley, A. 1995. Strategies for maximizing avocado productivity: An overview. In: Proceedings III World Avocado Congress. Tel Aviv, Israel. pp 61-70.

Wolstenholme B.N. and Whiley, A.W. 1999. Ecophysiology of the avocado tree (*Persea americana* Mill.) tree as a basis for pre-harvest management. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 77-88.

Capítulo 4

Evaluación del desarrollo y productividad de árboles de aguacate cv. Hass plantados en diversos ambientes del departamento de Antioquia.

4.1 Resumen

En Colombia el cultivo del aguacate cv. Hass se ha desarrollado de manera cotidiana y con un manejo más empírico que tecnificado; además, con una tendencia que privilegiaba el mercado y el consumo interno, sobre el comercio de exportación. En los últimos años ha tomado auge la plantación y producción del cultivar, con una visión empresarial y exportadora y pasó de ser cultivado por agricultores tradicionales, a ser explotado por inversionistas; lo anterior cambió la producción del aguacate cv. Hass a un enfoque comercial, debido a las demandas del mercado internacional y la agroindustria. En este estudio, se analizó la evolución en el crecimiento y la producción de árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, Colombia. (Támesis, 1.340 msnm, Venecia PB, 1.510 msnm, Venecia SC, 1.770 msnm, Jericó 1.900 msnm, Marinilla, 2.087 msnm, Rionegro, 2.140 msnm y Entrerríos, 2.420 msnm). En todos los ambientes evaluados, se presentó incompatibilidad entre el portainjerto y la copa, observándose que la circunferencia en los portainjertos fue menor que en las copas. La circunferencia del portainjerto y la copa, la altura y el diámetro de los árboles, aumentó en los años evaluados en todas las localidades; sin embargo, no se observó un efecto ambiental sobre estos parámetros, año a año, dado que la selección de los árboles se realizó buscando copas uniformes y de alturas similares en todas la localidades. El comportamiento del cultivar de aguacate Hass un híbrido de guatemalteco x mexicano, en condiciones del trópico, guarda una fuerte correlación con su origen evolutivo, por lo que su mayor respuesta ecofisiológica y productiva se da en ecosistemas húmedos y frescos del trópico alto. Los más altos rendimientos en dos años de producción (2011-2012) se lograron en ambientes por encima de los 1.700 msnm; así, el mayor rendimiento en t ha^{-1} se obtuvo en Marinilla con 17,42, seguido de Jericó, con 17,12, luego Venecia SC, con 15,77, Rionegro con 11,41 y Entrerríos con 7,99; en las localidades por debajo de los 1.700 msnm, como Venecia PB, a 1510 msnm, se recolectaron 5,88 t ha^{-1} y Támesis, a 1.340 msnm solo se cosecharon 2,55 t ha^{-1}. La más consistente eficiencia promedio en kg m^2 se obtuvo en Marinilla, con valores de 1,40 en 2011 y de 1,82 en 2012; Venecia SC tuvo el mayor valor en 2011 con 1,41, sin embargo, fue un 57 % menor en 2012; Támesis mostró una eficiencia promedio muy baja, siendo de 0,05 en 2011 y de 0,19 en 2012. Las producciones de fruto, por árbol y por hectárea, así como la eficiencia productiva promedio, de las localidades en estudio no fueron consistentes (altas en un año, seguidas de bajas en el siguiente y viceversa), por lo que se comprueba que existe alternancia productiva en este cultivar. Las cosechas fueron variables en ocurrencia y duración; no obstante en 2011, la mayoría de las cosechas se concentró en el primer semestre y en 2012 en el segundo.

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

4.2 Introducción

Según el DANE (2013), el aguacate fue una de los frutos con mayor crecimiento en área de la última década y actualmente ocupa el tercer lugar en importancia del sector frutícola nacional. Es un fruto que cuenta con alta demanda debido a su sabor y múltiples usos, tanto en la industria alimenticia, como en la cosmética y farmacéutica, sin contar con sus cualidades nutracéuticas. De acuerdo con estadísticas del MADR (2013), durante 2012 se registró en Colombia una producción de 215.090 toneladas de aguacate, obtenidas en 27.555 hectáreas, que se encuentran altamente dispersas desde el punto de vista geográfico, ya que el cultivo está presente en 15 departamentos del país. El 21,3 % (5.864 ha) del área total plantada en el país, se concentra en el departamento del Tolima, seguido por Bolívar y Antioquia con una participación del 12,4 % (3.406 ha) y el 14,8 % (4.083 ha), respectivamente. Este cultivo representa el 2 % del área frutícola cosechada nacional, así como el 2 % de la producción de todo el sector. El área cosechada creció un 6 % y la producción un 10 %, en el período 1992–2000 (MADR, 2013). En la última década, según el DANE (2013), el cv. Hass ha venido teniendo un auge importante, tanto para mercado nacional como para mercados internacionales. Para 2012, el área plantada de este cultivar en Colombia llegó aproximadamente a las 7.000 ha, presentando un incremento del 75 % frente a 2008. Los principales departamentos productores de aguacate cv. Hass son Antioquia con 3.000 ha, Tolima 2.000 ha, Caldas 800 ha, Eje Cafetero (Quindío y Risaralda) 700 ha, Cauca y Valle del Cauca 600 ha.

Al establecer un huerto, la elección de la densidad de plantacion determina en gran medida el tiempo que tarda en desarrollarse completamente la copa, logrando la máxima interceptación de la luz. Sin embargo, son muchas las opciones de densidad de plantación y diseño del huerto para una determinada condición ambiental, social y económica. La elección debe apuntar a un balance apropiado entre la simpleza y la complejidad que corresponda con las habilidades que se posean para manejar y mantener el huerto (Whiley, 2007). El tamaño de los árboles de aguacate, es uno de los mayores problemas que enfrenta la industria de esta especie a nivel mundial (Kohne y Kremer-Kohne, 1990). El negocio agrícola basado en producción de aguacate para la exportación, exige diseñar huertos altamente productivos en el corto y mediano plazo, con fruto de calibre exportable y con árboles fáciles de manipular en cuanto a labores agrícolas (Stassen, 1999).

El diseño de la mayoría de los huertos modernos de aguacate utiliza densidades de plantación medias a altas (6 x 4 a 9 x 7 m, con 159 a 416 árbolesha^{-1}). La topografía, el cultivar, los sistemas de poda y la conducción, se han convertido en los factores claves para la determinación del espaciamiento entre los árboles y el diseño el huerto. Existen múltiples herramientas técnicas para el control del tamaño de los árboles; sin embargo, todas ellas representan un costo importante dentro de las labores agrícolas, por este motivo cobra importancia potenciar la capacidad natural del árbol de conservar un tamaño de dosel controlado, con el objetivo de mantener costos competitivos en el negocio agrícola (Cristoffanini *et al*., 2011).

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

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

La capacidad de unión de dos plantas para desarrollarse de modo satisfactorio desde el punto de vista de la producción como una sola planta compuesta, se le llama compatibilidad. Es difícil definir entre compatibilidad e incompatibilidad de un injerto (Camacho-Ferre y Fernández-Rodríguez, 2000). Las incompatibilidades suelen manifestar algunos de estos síntomas: Porcentaje bajo en el prendimiento del injerto, amarillamiento en hojas, a veces defoliación y falta de crecimiento, muerte prematura del cultivar injertado, diferencias en la tasa de crecimiento entre el portainjerto y la copa, formación de un desarrollo excesivo en torno a la unión del injerto y ruptura por la zona de unión del injerto (Camacho-Ferre y Fernández-Rodríguez, 2000).

La superficie lateral o cara exterior de la figura geométrica que en particular se asuma para una especie determinada, permite en un momento dado establecer una relación entre la superficie antes citada y el número de frutos contenidos en la misma. Esta relación define la eficiencia productiva o reproductiva de una planta, en cualquier momento a lo largo de su vida, en general, o dentro de un ciclo o año de producción, en particular. Esta relación se denomina Índice de Fructificación (Avilán, 1981). De acuerdo con los hábitos de crecimiento y a la conformación de la copa de los árboles adultos o en plena producción, descrita para algunas especies frutícolas por algunos investigadores, se adoptaron las siguientes figuras geométricas. Para mango, Aubert (1975) asume que la copa es un cilindro que tiene como superficie de revolución $p=\pi D h$, donde *D* es igual a la media de los diámetros N.S. y E.O. y *h* la altura de la planta. Avilán (1980) consideró como copa útil del árbol la contenida en un cono truncado, al determinar que la producción que está ubicada en el ápice de la planta es despreciable y que cerca del 98 % de los frutosse ubican en la parte media de la copa del árbol. Esta última figura geométrica se asemeja mucho más a la forma de la copa de bola o de huso descrita por Aubert y Lossois (1972) para el cultivo en cuestión. Para calcular el área productiva de la copa de aguacate Barrientos-Villaseñor *et al.* (1999) asumieron una forma regular: un paraboloide, cuya ecuación fue: $0{,}5236\ r\ h^{-2}\ [(r^2 + 4h^2)^{3/2} - r^3]$; donde, r=radio de la copa y h=altura de la copa, ambos en metros.

El potencial de producción de una superficie de cultivo de frutales, está en relación directa al follaje de fructificación (Zaragoza y Alonso, 1980). Es por ello, pertinente, diferenciar entre el ciclo de vida biológico, que como ente vivo posee la planta y el ciclo de vida

productivo, que constituye la razón y base económica de quienes se dedican a su explotación. La comprensión de las respuestas fisiológicas y de crecimiento del aguacate al medio ambiente es fundamental para minimizar el impacto negativo de las condiciones ambientales adversas y desarrollar así estrategias de manejo, con el fin de conseguir una máxima productividad (Schaffer y Andersen, 1994). El conocimiento de la fenología, hábitos de crecimiento y ecología del aguacate, es esencial para interpretar las respuestas fisiológicas a los factores ambientales (Schaffer y Whiley, 2007).

El ciclo productivo del aguacate en forma natural puede superar los 40 años; cuando éste se planta en forma comercial, su ciclo alcanza hasta los 15 años; sin embargo, en países como México, existen cultivos comerciales de hasta 50 años con excelentes producciones. El inicio del ciclo productivo depende de la variedad o cultivar, del clima donde se encuentre el cultivo y del tipo de propagación empleado. Para cultivares propagados por semilla la producción se inicia después del cuarto o quinto año, entrando en plena producción después del noveno. Los cultivares propagados por injerto comienzan a producir a partir del segundo año, entrando en plena producción hacia el tercero o cuarto año y con una vida útil promedia de la plantación de 15 años (Bernal y Díaz, 2014).

Las plantas pueden crecer continuamente o de manera intermitente, con tendencia a presentar unos períodos de actividad y otros de quietud. En el trópico, las plantas leñosas responden a pequeñas fluctuaciones de temperatura y a fuertes precipitaciones, con crecimiento notable en corto tiempo. Además, en el trópico húmedo, solamente, el 20 % de los árboles siempre verdes crecen de manera estable a lo largo del año; en las otras especies, el crecimiento es interrumpido a intervalos. Aunque los bosques tropicales son verdes todo el año, individualmente, los árboles remplazan periódicamente las hojas viejas, aunque pueden defoliarse totalmente de manera temporal (Larcher, 2003). El crecimiento, generalmente se puede medir cuantificando el aumento en masa o en volumen (tamaño), esta última se puede determinar de manera aproximada a través de la altura, el diámetro o el área de una parte de la planta, estas mediciones no tienen que ser de carácter destructivo (Salisbury y Ross, 1994).

El crecimiento puede medirse como longitud, grosor o área; a menudo se mide como aumento en volumen, masa o peso seco (ya sea fresco o seco). Por otra parte, el desarrollo puede definirse como un cambio ordenado o progresivo, a menudo (aunque no siempre) hacia un estado superior más complejo (Bidwell, 1979). Informaciones referentes al ciclo de vida de algunos frutales son señalados por Gaillard (1978), los cuales ponen en relevancia que la edad de la primera cosecha, en la mayoría de los frutales, se inicia a los 3 años y la época de plena producción se alcanza entre los 8 y 10 años.

En huertos comerciales de aguacate, los bajos rendimientos por hectárea han sido una causa de preocupación mundial por muchos años. En California, un buen rendimiento para el cv. Fuerte está entre 5,6 y 11,2 t ha^{-1} y para el cv. Hass de 7,8 a 13,4 t ha^{-1} (Gustafson y Rock, 1976). En México, el promedio nacional de producción de todas los cultivares de aguacate en 1987 fue de 7,5 t ha^{-1} (CONAFRUT, 1988). Información más reciente para el cv. Hass en Michoacán (México), indicó que una producción común para un huerto adulto (100 árboles ha^{-1}) con manejo intermedio, oscila entre 11 y 15 t ha^{-1} (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1996).

Las zonas productoras de aguacate en Colombia presentan grandes variaciones en altitud, radiación solar, humedad relativa, temperatura y precipitación, entre otros factores. Esto proporciona gran variación en la respuestas de los cultivares en cuanto a comportamiento agronómico, productividad, rendimiento y calidad de fruto, sumado al hecho de que existe gran cantidad de genotipos criollos, que son producto del cruce entre las diferentes razas, lo cual hace que exista un suministro casi permanente de fruto y por lo cual la producción total del país es consumida internamente.

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

4.3 Materiales y Métodos

4.3.1 Ubicación

El estudio se hizo durante los años 2011 y 2012, en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en el oriente, altiplano norte y suroeste de Antioquia, Colombia (Tabla 4-1).

Tabla 4-1. Condiciones ambientales de los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass utilizados para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa.

Municipio	Finca	Altura (msnm)	Temp. (°C)	H.R. (%)	Precipitación promedio año (mm)	Brillo solar (horas año^{-1})	Zona de vida*
Támesis	La María	1.340	22,5	81,0	1.917	1.726	(bh-PM)
Venecia	Piedras Blancas (PB)	1.510	20,1	74,0	2.504	2.090	(bh-PM)
Venecia	Santa Cruz (SC)	1.770	19,5	75,0	2.300	2.164	(bh-PM)
Jericó	El Encanto	1.900	19,0	82,0	1.917	2,430	(bh-MB)
Marinilla	La Persea	2.087	17,0	81,5	1.800	1.876	(bh-MB)
Rionegro	La Escondida	2.147	17,0	78,0	1.900	1.861	(bh-MB)
Entrerríos	Guacamayas	2.420	14,7	82,7	1.917	1.684	(bh-MB)

* Holdridge, 1967.

4.3.2 Material biológico

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

4.3.3 Condiciones ambientales

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

4.3.4 Evaluación del desarrollo de los árboles

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

4.3.5 Evaluación de la productividad de frutos

Esta actividad se llevó a cabo en 15 árboles en cada una de las localidades seleccionadas y para tal fin se tomó información de la producción, durante todo el tiempo de duración del estudio, cuando hubo fruto para cosechar. Durante la cosecha de cada ciclo de cultivo se contabilizó y pesó el fruto en cada corte. Las variables a medir fueron rendimiento en kg/árbol y kg/ha, así como, productividad medida en kg/cm del perímetro de tallo y kg/vol de copa. Con los datos de peso de frutos por árbol y área productiva de cada planta se calculó y comparó la eficiencia promedio de los árboles. Para deducir el área productiva de la copa se supuso una forma regular: un paraboloide, cuya ecuación fue: $0{,}5236\ r\ h^{-2}\ [(r^2 + 4\ h^2)^{3/2} - r^3]$; donde, r=radio de la copa y h=altura de la copa, ambos en metros (Ben-Ya'acov *et al*., 1993, Barrientos-Villaseñor *et al*., 1999).

4.3.6 Análisis Estadístico

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

4.4 Resultados y Discusión

4.4.1 Condiciones ambientales

La diversidad climática de las regiones productoras de aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia con diferentes tipos de clima, es debida al gradiente altitudinal, la topografía del suelo, la exposición al sol y a los vientos dominantes. Esa variabilidad puede afectar la producción de fruto y su calidad (Lobell *et al*., 2007). Las propiedades químicas del fruto (componentes orgánicos y minerales) son más impactadas que la morfología (p. ej. tamaño de los frutos), por las diferencias en el ambiente dado por diversas microrregiones (Izhaki *et al*., 2002). El auge actual de este cultivar en Colombia y en particular en Antioquia, por su potencial exportador y mercado nacional, ha motivado la incorporación a la producción, en ambientes en donde se desconoce el comportamiento del cultivo, así como su rendimiento y calidad del fruto. En este estudio se consideraron zonas donde se encontraban cultivos de aguacate cv. Hass en siete diferentes ambientes, comprendidos entre los 1.340 y los 2.420 msnm y así determinar el ambiente más adecuado para el establecimeinto comercial. Un indicativo de las zonas óptimas para el cultivo del aguacate cv. Hass, puede ser tomado de la zona de Michoacán (México), ubicado en el semitrópico, entre los 17° 55' y 20° 24' de latitud Norte, donde aproximadamente un 0,6 % de los cultivos, se ditribuían entre los 1.200 a los 1.400 msnm, el 6,3 % entre 1.400 y 1.600 msnm, un 26 % entre los 1.600 y los 1.800 msnm, un 32 % entre los 1.800 y los 2.000 msnm, entre los 2.000 y los 2.200 msnm el 26,9 %, entre los 2.200 y los 2.400 msnm el 7,4 % y a mas de los 2.400 msnm, solo el 0,6 %. Es decir que el 85 % de los cultivos se encontraban en altitudes entre los 1.800 y los 2.200 msnm (SAGARPA, 2007). Anguiano *et al.* (2007), aseguran que las zonas óptimas para el aguacate cv. Hass, están entre los 1.600 y los 2.200 msnm.

4.4.1.1 Temperatura

La temperatura, es un factor determinante en la respuesta de los árboles, ya sea en su desarrollo como en su produccion y calidad de fruto; el promedio de temperatura en la zona más cálida es de 22,2 °C (Támesis), con máximas de 32,99 °C y el de la zona más fría un promedio de 14,76 °C, con máximas de 21,71 °C, marcan una diferencia de 7.7 °C en el promedio general y de 8,5 °C en las temperaturas máximas, que explican en gran parte la desadaptación del cultivar en condiciones cálidas, específicamente por ser muy

diferentes a las zonas de origen. Las temperaturas de 17,9 a 19,7 °C con condiciones ambientales templadas, estables y libres de estrés, son consideradas como las mejores condiciones para la producción de aguacate cv. Hass; mientras que las temperaturas límite para lograr un desempeño razonable de este cultivar son de 19,5 a 21 °C, que corresponden a los climas subtropicales cálidos y húmedos (Wolstenholme, 2007). En este estudio, la temperatura promedio fue de 22,25 °C para Támesis, 18,92 °C para Jericó, 17,60 °C para Rionegro y 14,76 °C para Entrerríos, por lo que solo Jericó y Rionegro estarían dentro del rango óptimo para el cutivar propuesto por Wolstenholme (2007) (Figura 3-1). De acuerdo con Anguiano *et al.* (2007), las condiciones óptimas de temperatura para el aguacate cv. Hass, están entre los 20 a 25 °C siendo las marginales mínimas de 4 a 10 °C y las marginales máximas de 28 a 31 °C; ninguna de ellas estvo dentro del rango óptimo propuesto por Anguiano *et al.* (2007); sin embargo estas condiciones se refieren a cultivos en México con una latitud de los 19 °N, con lo cual debe haber un corrección por latitud.

De otra parte, las temperaturas máximas observadas en Támesis (32,25 °C) y Jericó (29,3 °C), consideradas por Anguiano *et al.* (2007), como marginales máximas, pudo afectar el rendimiento y calidad del fruto, con respecto a las otras localidades. Las temperaturas mínimas nunca fueron inferiores a los 10 °C en la localidad mas alta (Enterríos a 2.420 msnm), considerada dentro del límite inferior por el mismo invetigador. Pese a lo anterior, la temperatura en la zona tropical esta determinada por la altura sobre el nivel del mar; mientras en la zona subtropical esta influenciada, además, por la época del año y posición de la tierra con respecto al sol, por lo cual hay dos épocas en el año, una de temperaturas altas y otra de temperaturas bajas (Avilán *et al.*, 1989). A nivel mundial, los aguacates se cultivan en una gama muy amplia de temperaturas. Existen requerimientos térmicos distintos para los cultivares subtropicales (Mexicanos y Guatemaltecos e híbridos entre ambos) y para los cultivares tropicales (Antillanos e híbridos de Antillanos con Guatemaltecos). Además, existen variaciones sustanciales en los climas subtropicales, con las consecuentes diferencias en las unidades de calor, que afectan el tiempo de floración y especialmente, el tiempo de madurez de los frutos de un determinado cultivar (Wolstenholme, 2007). En realidad, no existen para el cv. Hass, referencias en el trópico que indiquen las condiciones óptimas de temperatura, que promuevan un rendimiento competitivo y garanticen la calidad de la fruta; este estudio pretende hacer un acercamiento a esa información.

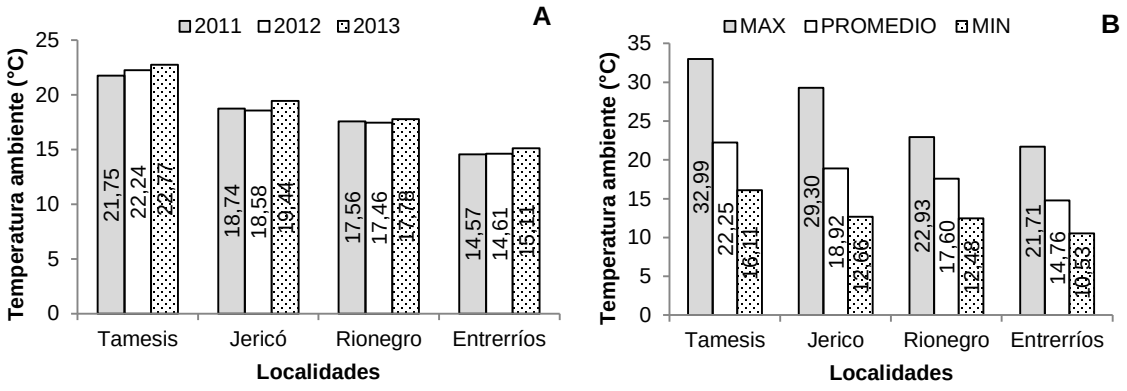


Figura 4-1. A. Temperatura promedio. B. Temperturas máxima, promedio y mínima en tres años continuos de lectura, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013).

4.4.1.2 Humedad Relativa

De acuerdo con la Figura 4-2, se observa que en cuanto a la Humedad Relativa (HR), las tres zonas de registro presentan similares condiciones, fluctuando entre los 78,43 % en Rionegro hasta los 82,83 % en Entrerríos. Estos valores son altos si se comparan con los mencionados por Anguiano *et al.* (2007), para Michoacán (México), donde reportan valores óptimos de HR entre los 57 a 63 %. Sin embargo, el aguacate se adapta a climas húmedos y semihúmedos, con marcadas diferencias entre las estaciones húmedas y secas. Baíza (2003) menciona que la humedad relativa óptima del aguacate es del 60 al 70 %, aunque cultivares como el Hass, toleran hasta el 80 %. Este factor influye en la calidad del fruto y la sanidad de las partes aéreas del árbol. Humedades relativas altas, favorecen la proliferación de enfermedades fungosas en hojas, ramas y frutos; por el contrario, humedades relativas por debajo del mínimo requerido, ocasionan el cierre estomático, la consecuente deshidratación y ausencia de fotosíntesis. Aunque se adecúa bien a condiciones de humedad atmosferica bajas, el orden de adaptacion de menor a mayor humedad relativa para las tres razas es: Mexicana, Guatemalteca y Antillana (Avilán *et al*., 1989). En este orden de ideas las HR aquí registradas son apropiadas para el cultivo, solo que esta condición puede ser predisponente para problemas fitosanitarios.

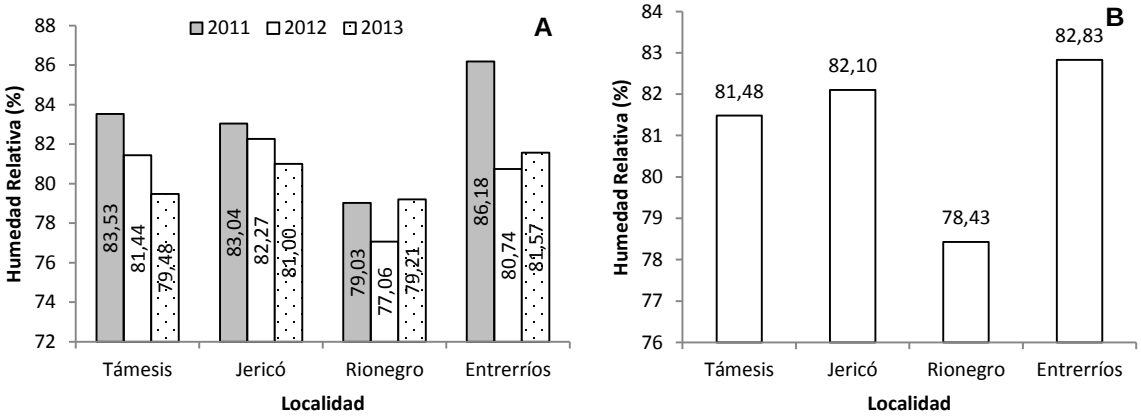


Figura 4-2. A. Humedad Relativa promedio (2011-2013). B. Humedad Relativa promedio en tres años de evaluación continua, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013).

4.4.1.3 Precipitación

Con respecto a la precipitación, se pudo establecer que el año 2011 fue más lluvioso en todas las localidades, en comparación con los años 2012 y 2013. Esta situación pudo afectar en algunos huertos, los rendimientos obtenidos en la cosecha de 2012. Se considera que las localidades donde se llevó registro meteorológico tienen un regimen normal de lluvias y es óptimo para el establecimiento del cultivo (Figura 4-3).

La precipitación registrada en el estudio muestra regímenes típicos de la zona de vida de bh-Mb. El aguacate tiene una amplia adaptación a la pluviosidad; se cultiva sin riego en zonas con precipitaciones que varian entre 665 mm y mas de 2.000 mm año^{-1} (Galán-Sauco, 1990); sin embargo, los promedios aquí observados son altos con respecto a esta referencia, pues los valores fueron, el mas bajo de 2.367 mm año^{-1}, en Rionegro y el más alto de 3.036 mm año^{-1}, en Jericó.

De acuerdo con lo anterior, los valores encontrados son altos pero suplen las necesidades del cultivo; sin embargo, se hace necesario un buen sistema de drenaje para evacuar el exceso de agua en el suelo. Este frutal, como ningún otro, requiere suelos muy bien drenados, ya que sus raíces son altamente susceptibles a los problemas radicales; suelos con profundidad efectiva y nivel freático superiores a 1,0 m, con texturas livianas que favorezcan la formación de un sistema radical denso y muy ramificado, son los deseables (Avilan *et al*., 1989).

Además, hay que considerar que en todas las localidades se pesenta un regimen bimodal, con dos épocas de lluvia y dos de baja preciptación, pero con buena distribuición anual (como fue discutido en el Capítulo 2 de este estudio). Tambien debe considerarse la etapa fenológica del cultivo y la precipitación; en ese sentido, el concepto de requerimientos hídricos variables de acuerdo con la etapa fenológica de crecimiento fue formalizado por Whiley *et al*. (1988). El requerimiento de agua es bajo durante el receso del crecimiento vegetativo, incrementándose a niveles moderados a altos durante la floración y manteniéndose a un nivel moderado durante la mayor parte del período de crecimiento, excepto durante la caída de frutos y a comienzos de los flujos de crecimiento vegetativo, cuando los requerimientos hídricos son altos (Wolstenholme, 2007).

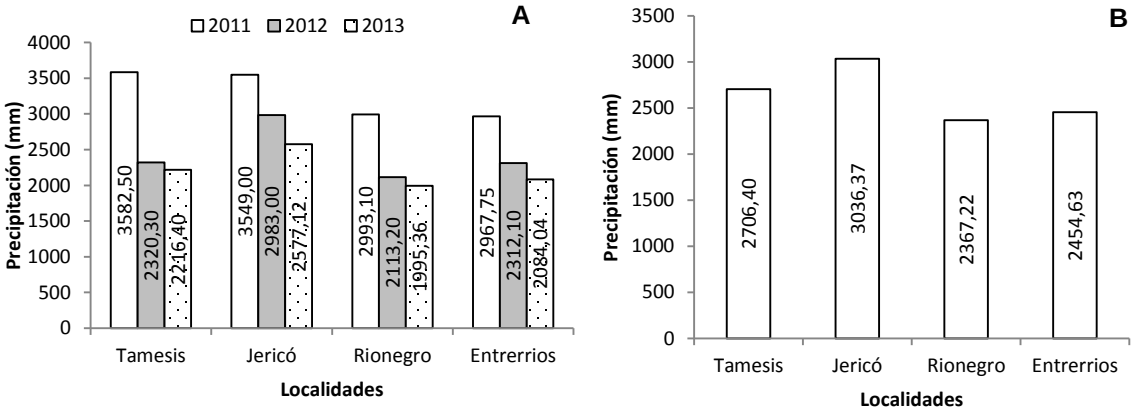


Figura 4-3. A. Precipitación anual máxima, promedia y mínima. B. Precipitación promedio en tres años continuos de evaluación, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013).

4.4.1.4 Brillo Solar

El brillo solar (BS), registrado en un promedio de tres años (2011-2013), en Enterríos fue de 5,24 horas día^{-1}, es decir 1.912,6 horas año^{-1}, seguido por Rionegro con 5,52 horas día^{-1}, para un total de 2.014,8 horas año^{-1}, Támesis con 5,72 horas día^{-1}, para un total de 2.087,8 horas año^{-1} y Jericó con 6,4, con un valor total de 2.336 horas año^{-1}, lo cual está dentro de los requerimientos reportados por Gaillard y Godefroy (1995), quienes señalan que los aguacates tienen buenos resultados, en áreas con más de 2.000 horas de luz solar al año (Figura 4-4) y que en las áreas de producción en California e Israel, se reciben entre 3.000 y 3.500 horas de luz solar al año, principalmente durante los largos días de verano. De acuerdo con la informaciόm contenida en la Figura 4-4, los valores del BS fueron en aumento desde 2011 a 2013, situación que fue consistente en las cuatro localidades evaluadas, debido a que la precipitación disminuyó en esos años (Figura 4-3).

Si se considera que el BS es la expresión del número de horas de la radiación solar directa, cuando se compara con altas latidues, el trópico presenta muy pocas variaciones estacionales en la radiación solar a lo largo del año. Los días largos de verano en altas latitudes exceden las cantidades diarias de la radiación solar recibida en los trópicos, la cual es reducida por las nubes y el vapor de agua en el aire, a través de la reflexión y la absorción. Por lo tanto, la irradiancia no es un factor limitante en el crecimiento de las plantas en el trópico, excepto durante períodos de alta nubosidad y humedad relativa ambiental y en condiciones de sombremiento por la vegetación o las montañas. Frutales como el aguacate no responden al fotoperiodo y son capaces de florecer en cualquier estación del año. En ese mismo sentido, ya que la temperatura, la radiación solar y el fotoperíodo son bastante constantes en el trópico, la variedad de subclimas y vegetación son frecuentemente dependientes de la precipitación (Paull y Duarte, 2011).

A pesar de que los valores de BS aquí encontrados están dentro de los requerimientos del cultivo, es necesario acotar que las ramas demasiado sombreadas del aguacate son improductivas, de ahí la importancia de realizar prácticas adecuadas de poda y controlar la densidad de las plantas. De otras parte, la exposición completa a la luz solar es altamente benéfica para la plantación; sin embargo, un exceso de luminosidad produce quemaduras en ramas, hojas y frutos e incluso en los troncos de los árboles jóvenes (Bárcenas, 2000).

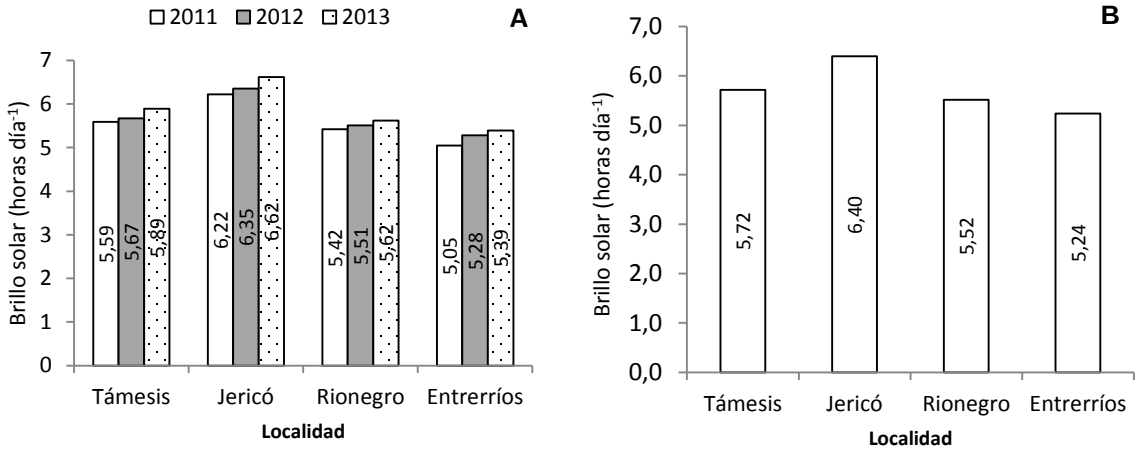


Figura 4-4. A. Brillo solar máximo, promedio y mínimo. B. Brillo solar promedio en tres años de evaluación, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2011-2013).

4.4.2 Evaluación del desarrollo de los árboles

Respecto al desarrollo de los árboles, en la Figura 4-5 se observan las diferencias en el crecimiento entre el portainjerto y la copa, en dos fechas de muestreo (2011- 2012), en las diferentes localidades donde se adelantó el estudio. Al analizar los resultados alcanzados, se destaca una tendencia al incremento de los valores obtenidos en los dos años de evaluación. Esto sin embargo no se manifestó de manera uniforme en todos las localidades del estudio, como consecuencia de cierta variabilidad en el grado de compatibilidad entre el injerto/portainjerto, lo que resulta normal. La explicación a ese hecho viene dada desde el punto de vista anatómico y fisiológico de los cultivares, esto

corrobora lo informado por diferentes autores (Samson, 1991; Jiménez *et al*., 2007). Se puede decir que el crecimiento del aguacatero coincide en forma general con el crecimiento de otros frutales de porte alto en las condiciones tropicales. Las variables del crecimiento del tronco son importantes, porque se ha demostrado que existe una correlación entre el volumen de la copa del árbol, rendimiento de frutos y materia seca (Stassen *et al.,* 1998). Este mismo autor plantea que la circunferencia del tronco puede usarse para predecir el potencial de rendimiento, requerimientos nutricionales y otro tipo de información.

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

La capacidad de dos plantas diferentes de unirse y desarrollarse satisfactoriamente como una planta compuesta es lo que se llama compatibilidad. En ese sentido Hartmann *et al.* (1997) mencionan que estos síntomas pueden ser consecuencia de condiciones ambientales desfavorables, presencia de enfermedades o malas técnicas de injerto. Además, indican que la diferencia entre injerto compatible e incompatible no está bien definida. Desde especies que tienen una relación estrecha y unen con facilidad, hasta otras no relacionadas entre sí incapaces de unirse, hay una graduación intermedia de plantas que forman una soldadura, pero con el tiempo muestran síntomas de desarreglo en la unión o en su hábito de crecimiento. En este estudio, la incompatibilidad se manifestó por diferencias marcadas en la tasa de crecimiento entre el portainjerto y la copa, como lo mencionan Camacho-Ferre y Fernández-Rodríguez (2000). A veces, la aparición de estos síntomas, de forma aislada, no significa incompatibilidad, ya que pueden producirse por condiciones ambientales inadecuadas.

En este estudio se observó que desde la zona más fría hasta la más cálida, siempre hubo incompatibilidad portainjerto/copa (Figura 4-5), lo cual desvirtúa el concepto generalizado, no respaldado con resultados de una investigación formal, de que la incompatibilidad que se presenta en las principales zonas de cultivo comercial en Colombia, es debida al origen antillano de la mayoría de los portainjertos utilizados, que al ser injertados con copas del cv. Hass y posteriormente establecidos en zonas frías, éstos no se adecúan a tales condiciones. Sin embargo, como se observa en la Figura 4-5 el ambiente no tendría tal influencia sobre el desarrollo del portainjerto, por lo que la incompatibilidad es debida, más a la relación genética entre el portainjerto y la copa, que a las condiciones ambientales. Por tal razón, la copa del cv. Hass requeriría de portainjertos con condiciones genéticas similares a las de su raza de origen; es decir, portainjertos de tipo guatemalteco o mexicano o sus híbridos (Hass presenta alrededor de un 20 % de genes mexicanos), para evitar que se presenten incompatibilidades. Ben-Ya'acov y Michelson (1995) aseguran que en algunos casos ciertos portainjertos no se adaptan a ciertos

cultivares y viceversa, lo que puede resultar en la muerte de árboles jóvenes, hasta en un 50 % de la población de una combinación dada. Tales casos no deben ser identificados como incompatibles, ya que la razón para tal desorden no es aún conocida.

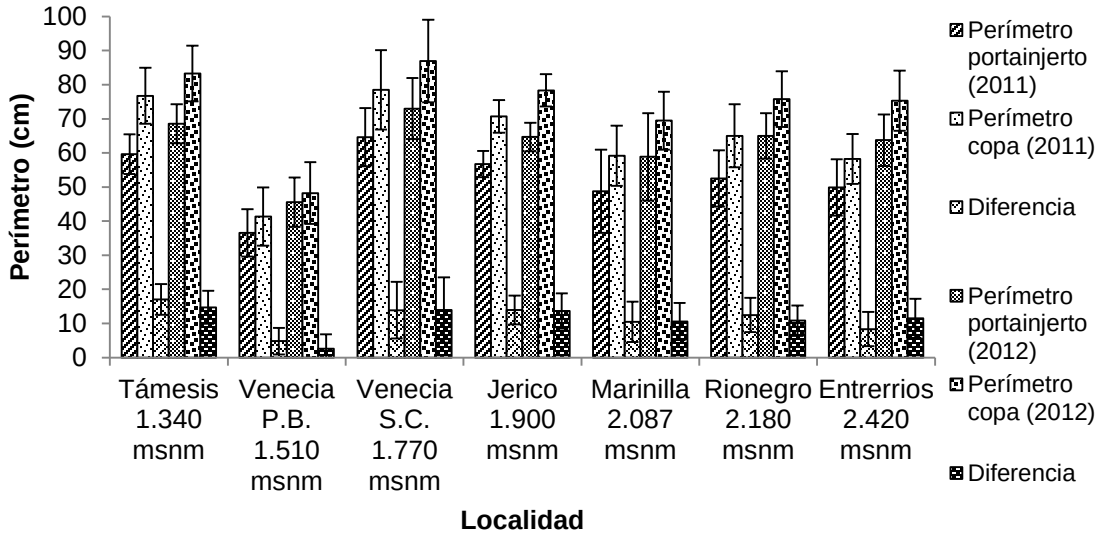


Figura 4-5. Perímetro del portainjerto y la copa (10 cm arriba y abajo del injerto), en árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

En México, Barrientos-Villaseñor *et al*. (1999) utilizando aguacates criollos mexicanos como portainjertos para el cv. Hass, encontraron que el perímetro del portainjerto, 5 cm abajo de la unión con el interinjerto, presentó un comportamiento similar en magnitud y tendencia al cultivar, presentándose compatibilidad portainjerto/copa. En California donde se utilizan portainjertos clonales de cultivares de origen mexicano, como Duke 7 y otros, esta incompatibilidad no se registra. A partir de esta experiencia, en Colombia se han venido realizando algunos ensayos, utilizando como portainjerto para el cv. Hass, semillas de los cvs. Hass, Reed y Fuerte, para lograr mejor adaptación y compatibilidad entre el portainjerto y la copa, sugiriendo una mejor respuesta productiva de los árboles y una mayor vida útil de los mismos (Bernal y Díaz, 2014). Sin embargo, estos cultivos son jóvenes y aún no se conoce con certeza su respuesta en comparación con cultivos de aguacate cv. Hass, injertados sobre portainjertos antillanos o de origen desconocido. De hecho, Schroeder y Frolich (1955) aseguran que después de la unión exitosa entre el portainjerto y la copa, la longevidad y la subsecuente producción de esta combinación debe ser determinada por un período de varios años, antes de llegar a una conclusión sobre la compatibilidad definitiva de combinaciones específicas.

Existen dos tipos de incompatibilidad definidas de manera fisiológica, la incompatibilidad localizada y la traslocada. La primera depende del contacto entre portainjerto e injerto. Si se utiliza un portainjerto intermedio se elimina esta reacción. En este tipo de unión con frecuencia la estructura de la unión es mecánicamente débil, presentando una interrupción en la continuidad de los tejidos vasculares. Los síntomas externos se desarrollan con lentitud, presentándose en proporción al grado de alteración en el injerto. Debido a las dificultades de traslocación a través del injerto finalmente las raíces mueren por agotamiento (Hartmann *et al.,* 1997).

Es frecuente encontrar masas de tejido parenquimático en vez de tejidos normalmente diferenciados interrumpiendo la conexión vascular entre patrón e injerto. La incompatibilidad traslocada: No es corregida por un patrón intermedio compatible. Este tipo produce degeneración del floema y se forma una línea de color pardo o una zona necrótica en el injerto. La unión presenta dificultades al movimiento de carbohidratos: acumulación arriba y reducción abajo (Hartmann *et al*., 1997).

La incompatibilidad está relacionada de forma clara con diferencias genéticas entre el portainjerto y la variedad. En los injertos se combinan una amplia gama de sistemas fisiológicos, bioquímicos o anatómicos diferentes, con muchas interacciones favorables o desfavorables. En algunos casos se han demostrado que algunos compuestos que produce el patrón reaccionan con otros de la variedad, dando otros nuevos que inhiben la actividad del cambium. La reducción de la concentración de azúcares que llegan a la raíz por dificultades de traslocación a través del injerto puede liberar en ella compuestos tóxicos que producen su degeneración y muerte. En otros casos, en las superficies en contacto de dos especies incompatibles, se deposita una capa de suberina a lo largo de la pared celular, formándose una capa necrótica de espesor creciente que conduce a la desecación de la púa (Parkinson *et al.,* 1987).

Al dividir el perímetro del tallo del cv. Hass (copa) entre el perímetro del tallo del portainjerto, los valores más cercanos a uno (1), son característicos de una buena compatibilidad entre ambos (Schâffer *et al*., 2001; Milla *et al*., 2009); por consiguiente, valores bajos en esta relación implican un sobrecrecimiento de la copa con respecto al portainjerto; situación contraria a lo que ocurre en cítricos, donde el portainjerto, por lo general, crece más que la copa (Schâffer *et al*., 2001; Stenzel *et al*., 2005). En este estudio en 2011, los árboles de Támesis tuvieron una relación más baja, lo que implica una mayor compatibilidad entre el crecimiento del portainjerto con respecto a la copa y, contrariamente, los árboles de Venecia PB fueron los más incompatibles; sin embargo en todos los casos hubo un mayor crecimiento de la copa con respecto al portainjerto, tal como fue discutido anteriormente (Tabla 4-2). En 2012, la diferencia en todos los casos fue mayor, siendo la relación más cercana a uno (1), excepto en Entrerríos, donde esta relación descendió; lo anterior supone que a medida que los árboles crecen la incompatibilidad disminuye, probablemente por una mejor afinidad entre los tejidos de los elementos puestos en contacto.

Tabla 4-2. Dimensiones* del portainjerto y la copa de aguacate cv. Hass, en árboles plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Localidad	Perímetro (cm) (2011)			Perímetro (cm) (2012)		
	Portainjerto	Copa	PP/PC	Portainjerto	Copa	PP/PC
Támesis	59,67	76,73	0,77758471	68,53	83,27	0,823058447
Venecia P.B.	36,53	41,33	0,88387097	45,60	48,20	0,946058091
Venecia S.C.	64,60	78,47	0,82327952	73,00	86,93	0,839723926
Jericó	56,73	70,67	0,80283019	64,67	78,33	0,825531915
Marinilla	48,73	59,20	0,82319820	58,87	69,47	0,847408829
Rionegro	52,53	65,00	0,80820513	65,00	75,80	0,857519789
Entrerríos	49,87	58,20	0,85681558	63,73	75,27	0,846767050

PP: Perímetro portainjerto; PC: Perímetro copa.
*** 10 cm arriba y abajo del injerto.**

4.4.3 Altura de los árboles

En la Figura 4-6, se observan los valores para la altura (m) de los árboles en las diferentes localidades, en dos fechas (2011-2012); al igual que para la circunferencia del portainjerto y la copa; la altura de los árboles aumentó en los años evaluados en todas las localidades (Figura 4-6). Los árboles con mayor altura estaban ubicados en Jericó, seguidos por los de Venecia SC, Támesis, Rionegro, Entrerríos, Marinilla y Venecia PB. La diferencia en altura de los árboles entre los más altos (Jericó) con los más bajos (Venecia PB) en 2011 fue de 1,76 (desviación estándar 0,655) y en 2012 fue de 1,77 (desviación estándar 0,653), lo cual muestra una cierta similitud en este aspecto. La localidad con mayor tasa de crecimiento de los árboles fue Rionegro (0,734 m); en un segundo grupo Jericó, Venecia PB, Venecia SC y Marinilla, que crecieron 0,689, 0,675, 0,663 y 0,620 m, respectivamente y en otro pequeño grupo Entrerríos y Támesis con 0,531 y 0,406, respectivamente, observándose gran similitud entre los grupos, lo cual significa uniformidad de los árboles en evaluación.

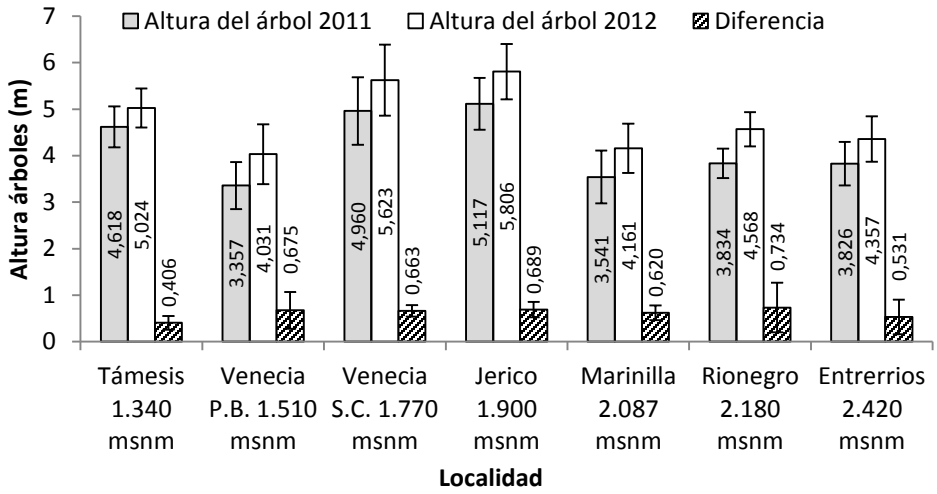


Figura 4-6. Altura de los árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

4.4.4 Diámetro de la copa

En la Figura 4-7 se observa que los árboles de Venecia SC, alcanzaron los mayores diámetros de copa en los dos años de medición, seguidos por los de Támesis, Rionegro, Jericó, Entrerríos, Marinilla y Venecia PB. La diferencia entre los árboles de mayor diámetro de copa (Venecia SC) con los más bajos (Venecia PB) en 2011 fue de 2,23 (desviación estándar 0,80) y en 2012 fue de 2,52 (desviación estándar 0,876), lo cual muestra una cierta similitud en el desarrollo de los árboles. La localidad con mayor tasa de aumento en el crecimiento de copa fue Entrerríos, seguido de Támesis, Marinilla, Rionegro, Jericó, Venecia SC y Venecia PB, (desviación estándar de 0,17). En el año de observación los árboles crecieron en altura y diámetro del dosel (Figuras 3-6 y 3-7); sin embargo, no se tiene evidencia que el incremento registrado en los parámetros mencionados, sea atribuible al ambiente; se requerirían más años de evaluación para determinar este efecto.

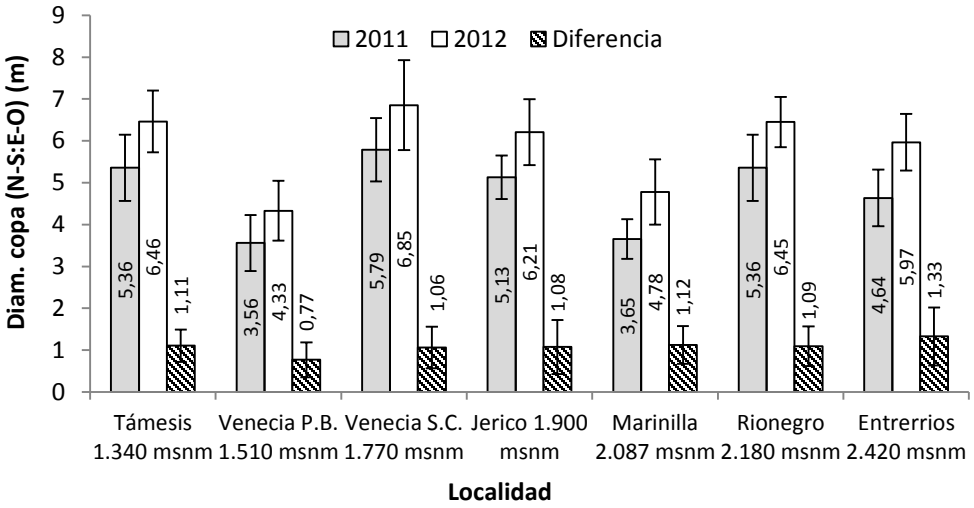


Figura 4-7. Diámetro promedio de la copas en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

4.4.5 Rendimiento de fruto

Con respecto la evaluación del rendimiento en fruto, en la Figura 4-8, se detalla la diferencia en la producción entre las localidades, en kg/árbol, información obtenida de una población de 15 árboles, durante los años 2011 y 2012. En 2011, Venecia SC presentó la mayor producción por árbol (94,03 kg), seguido de Rionegro (52,43 kg), Entrerríos (38,43 kg), Venecia PB (26,02 kg), Jericó (21,85 kg), Marinilla (6,05 kg) y por ultimo Támesis (3,13 kg); esta última localidad presentó una producción por árbol muy baja, 70 % por debajo del valor obtenido en la localidad siguiente en producción (Jericó con 21,85 kg árbol^{-1}); este resultado posiblemente se debe a la baja adaptación del aguacate cv. Hass en estas condiciones o a problemas de alternancia productiva. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, las localidades donde se presentaron buenas producciones en 2011, mostraron menores rendimientos en 2012 y contrariamente, aquellos huertos con producciones muy bajas, resultaron con producciones muy altas en el año siguiente, lo cual puede ser considerado como alternancia. La alternancia, vecería, añerismo o bianualidad productiva es un fenómeno que se caracteriza por un año de cosecha abundante (año “on”) seguido por un año de baja producción (año “off”) (Monselise y Goldschmitdt, 1982). La magnitud de la alternancia es variable entre diferentes zonas productoras y entre cultivares de las distintas razas (Teliz, 2000); sin embargo, es más común en cultivares como Hass o Fuerte, siendo una característica muy marcada en zonas subtropicales (Bergh, 1986; Téliz, 2000). La alternancia varía con las condiciones ambientales, el cultivar, el portainjerto y el manejo agronómico. A pesar de que este estudio solo se hizo durante dos años y no se tiene un registro histórico de todas las localidades, estos resultados muestran un comportamiento alternante, que pudo verse acentuado por condiciones extremas de alta precipitación en 2011, ocasionando modificaciones en el ritmo productivo productivo de los árboles, como lo señalan Lomas (1992) y Lomas y Zamet (1994); un ciclo de alternancia por lo general será el resultado de condiciones de manejo del huerto o de eventos inusuales en el medio ambiente, que resultan, ya sea en una excepcional carga de los cultivos o en una muy pobre (Garner y Lovatt, 2008).

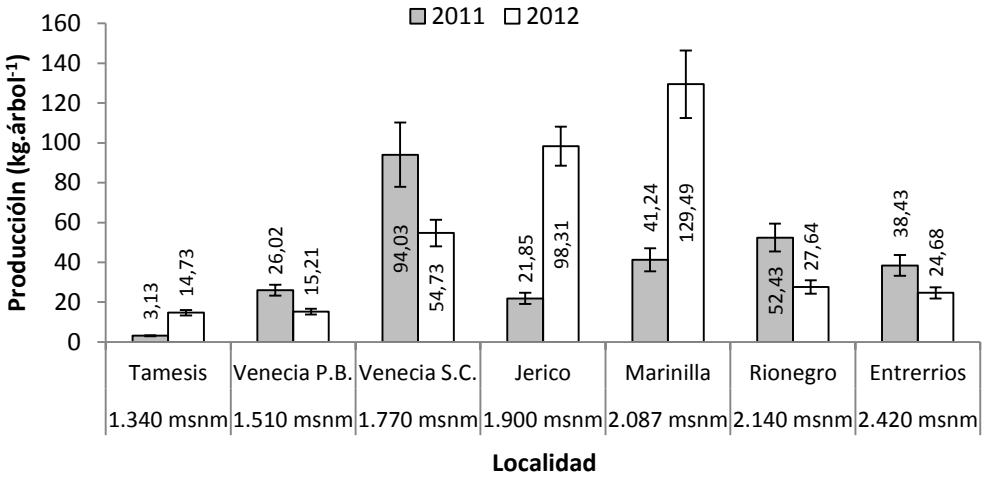


Figura 4-8. Rendimiento de fruto por árbol de aguacate cv. Hass, cosechado en siete localidades del departamento de Antioquia en 2011-2012.

Al respecto, la producción por árbol en Entrerríos pasó de 38,43 kg árbol^{-1} a 24,68 kg árbol^{-1} (Figura 4-9), situación que se vio reflejada por obvias razones, en una reducción del rendimiento esperado, que pasó de 10,95 t ha^{-1} en 2011 a 5,03 t ha^{-1} en 2012 (Figura 4-9). En Rionegro se observó la misma tendencia pues la producción en 2011, paso de 52,43 kg a 27,64 kg árbol^{-1} en 2012, lo cual representó que el rendimiento esperado pasara de 14,94 t ha^{-1} en 2011 a 7,88 t ha^{-1} en 2012, prácticamente la mitad (Figuras 3-8 y 3-9). En Marinilla el comportamiento fue inverso, ya que la producción en 2011 fue de 41,24 y en 2012 pasó a 129,49 kg árbol^{-1}, lo que representó un aumento en el rendimiento de 8,41 a 26,42 t ha^{-1}, respectivamanate. En Jericó se superó la producción por árbol lograda en 2011, de 21,85 kg, obteniéndose 98,31 kg ha^{-1} en 2012, lo cual representó pasar de un rendimiento esperado de 6,23 t ha^{-1} a 28,02 t ha^{-1}, en esos respectivos años, triplicando así el promedio nacional de 9,26 t ha^{-1} (MADR, 2013).

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

Para el caso de Támesis, la localidad más baja y mas cálida, la diferencia entre los años en estudio fue muy notoria, pues la producción por árbol obtenida en 2011 de 3,13 kg, fue casi cinco veces superiores en 2012, alcanzándose registros de 14,73 kg, lo que significó obtener rendimientos de menos de una tonelada por hectárea en 2011, a conseguir rendimientos de hasta 4,20 t ha^{-1} en 2012 (Figuras 3-8 y 3-9). Malo (1977) indica que el aguacate no es un árbol extremadamente productivo, como el peral o el manzano, añadiendo que una buena cosecha anual sería de unos 125 kg, lo cual es coherente con lo mencionado por Brom y Carvalho (1966) en México, quienes indican un rendimiento promedio de 83 kg planta^{-1}; sin embargo, Simao (1971) y Medina *et al*. (1978) en Brasil, señalan producciones para árboles adultos entre 200 a 800 frutos y 115 a 465 kg planta^{-1}.

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

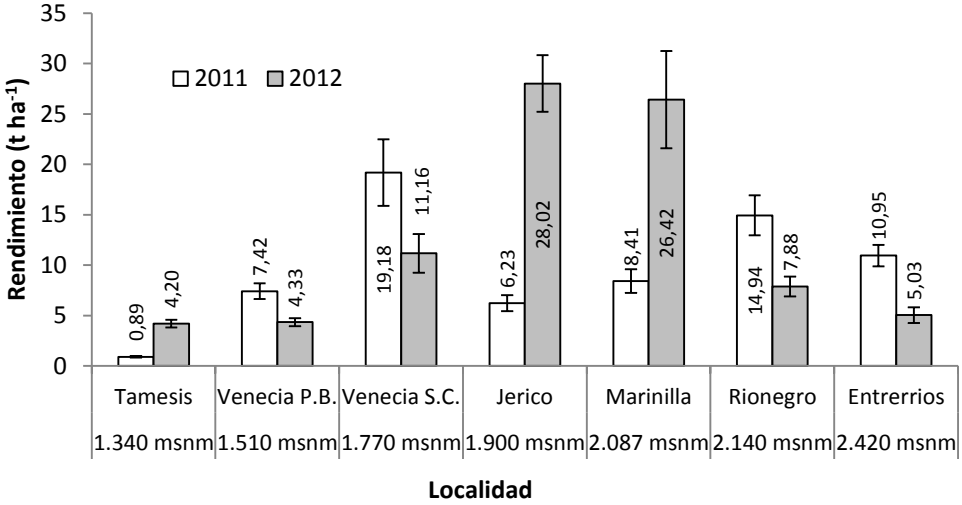


Figura 4-9. Rendimiento de fruto en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia en 2011 y 2012.

Cuando se promedió el rendimiento de los dos años continuos, se observó un efecto ambiental, donde los mejores rendimientos (t ha^{-1}) se obtuvieron en el rango comprendido entre los 1.770 y los 2.140 msnm, notándose que en los extermos los valores fueron inferiores. Cabe destacar que el rendimiento obtenido en Enterrios (7,99 t ha^{-1}), fue apenas 1,27 t por debajo del promedio nacional, mientras que en Venecia PB esta difrencia fue casi de 3,38 t ha^{-1} y en Tamesis de 6,71 t ha^{-1}, lo que indica que estas últimas zonas, por debajo de los 1,770 msnm, presentan mayores desventajas que aquellas por encima de este límite (Figura 4-10). Los rendiminetos obtenidos en Venecia SC (15,17 t ha^{-1}), Jericó (17,12 t ha^{-1}) y Marinilla (17,42 t ha^{-1}), superaron en 5,91, 7,86 y 8,16 t ha^{-1}, respectivamente, el promedio nacional, indicando una muy buena respuesta de este cultivar bajo tales condiciones.

En huertos comerciales de aguacate, los bajos rendimientos por hectárea han sido una causa de preocupación mundial por muchos años. En California, un buen rendimiento para el aguacate cv. Fuerte esta entre 5,6 y 11,2 t ha^{-1} y para el cv. Hass de 7,8 a 13,4 t ha^{-1} (Gustafson y Rock, 1976). En México, el promedio nacional de produccion de todas los cultivares de aguacate en 1987 fue de 7,5 t ha^{-1} (CONAFRUT, 1988). Información mas

reciente para el cv. Hass en Michoacán indico que una producción comun para un huerto adulto (100 árboles ha^{-1}) con manejo intermedio, oscila entre 11 y 15 t ha^{-1} (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1996). Una idea sobre el potencial de produccion del aguacate, se puede obtener al comparar el costo energetico de la fructificación con la capacidad fotosintetica del árbol (Wolstenholme, 1986). El fruto del aguacate es rico en grasas (aceites) mono y poli-insaturadas. Así, el aguacate tiene un "costo energetico" mas alto que el de los frutos acumuladores de azúcar con peso similar; por ejemplo, manzanas o cítricos (Teliz, 2007). La consecuencia es una produccion más baja por hectárea (Wolstenholme, 1986; 1987). Si el promedio de produccion potencial de un huerto de manzano de alta densidad y manejo intensivo sobre portainjertos enanos es de 100 t ha^{-1}, el costo de energia equivalente para el aguacate seria de 32,5 t ha^{-1} (Teliz, 2000). Una de las posibles causas de los bajos rendimientos del aguacate en Colombia y en varias áreas productoras del mundo, es que la mayoría de la producción esta basada en cultivares comunes, los cuales tienen un bajo nivel de domesticación (Wolstenholme y Whiley, 1992; Téliz y Mora, 2007).

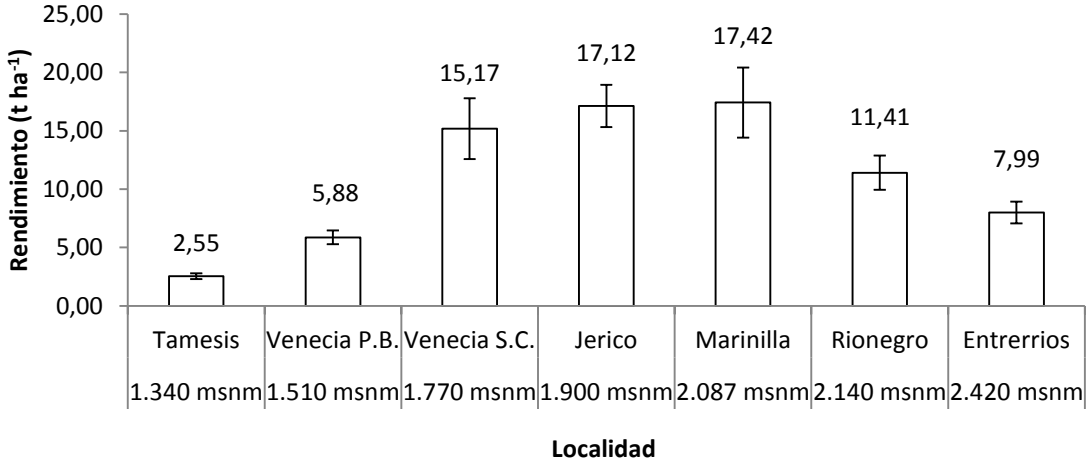


Figura 4-10. Rendimiento de fruto en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en dos años continuos de evaluación (2011-2012).

4.4.6 Eficiencia productiva del árbol

Ben-Ya'acov *et al*. (1993) sugirieron que para medir la productividad de un árbol, es mejor determinar su eficiencia. La eficiencia del árbol es la relación entre la producción y el área productiva de la planta, expresada en masa por unidad de área. De esta manera en la Tabla 4-3, se observan los resultados obtenidos en cuanto a la eficiencia de los árboles en dos años de evaluación en las diferentes localidades consideradas. De acuerdo con los resultados para 2011, la localidad que los árboles presentaron el mayor indice de productivida fue Venecia SC, seguido de Marinilla, Rionegro, Venecia PB, Entrerríos y Támesis. Para 2012 la mayor eficiencia productiva se obtuvo en Marinilla y Jericó, ambas localidades por encima de los 1.800 msnm, en un segundo grupo sobresalen Rionegro y Venecia SC, por encima de los 1.700 msnm; Venecia PB y Entrerríos, ubicadas en altitudes contrastantes se agrupan en un tercer grupo y finalmente Támesis, que presentó el mas bajo indice de fructificación, con una diferencia mayor a 0,2 kg m^{-2} con Venecia PB, siguiente en orden y de mas de 1,6 kg m^{-2} menos que Marinilla, con el mayor indice.

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

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

Tabla 4-3. Producción anual por árbol, área lateral y eficiencia productiva en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Localidad	Altura (msnm)	Densidad (árboles ha^{-1})	Producción (kg $árbol^{-1}$)	Área Lateral Productiva (m^2)	Eficiencia Promedio (kg m^2)	Producción (kg $árbol^{-1}$)	Área Lateral Productiva (m^2)	Eficiencia Promedio (kg m^2)
			2011			2012		
Támesis	1.340	285	3,134	57,213	0,055	14,733	77,080	0,191
Venecia PB	1.510	285	26,019	27,246	0,955	15,210	37,487	0,406
Venecia SC	1.770	204	94,032	66,489	1,414	54,729	90,179	0,607
Jericó	1.900	285	21,853	59,388	0,368	98,315	82,852	1,187
Marinilla	2.087	204	41,244	29,363	1,405	27,641	44,963	0,615
Rionegro	2.140	285	52,432	49,284	1,064	129,494	70,826	1,828
Entrerríos	2.420	204	38,431	41,349	0,929	24,678	60,071	0,411

4.4.7 Épocas de cosecha

En las Tablas 3-4 y 3-5, se muestran las épocas en las que realizó la cosecha del cv. Hass en 2011, en los ambientes evaluados, donde se infiere que el segundo semestre presenta mayor número de cosechas (pases) en casi todas las localidades, mientras que en 2012 esta tendencia fue contraria, presentando las mayores épocas de cosecha en el primer semestre, especialmente en enero, febrero y marzo.

Se desprende de aquí que existen varias cosechas al año, una principal y otra llamada traviesa, ambas de distinta intensidad y duración. Nótese que en Entrerríos en 2012, la cosecha se retrasó hasta marzo de 2013; situación similar se presentó en Marinilla y Rionegro, cuyas cosechas se hicieron en febrero de 2013.

Tabla 4-4. Épocas de cosecha en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011).

Localidad	Altura (msnm)	2011											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Támesis	1.340		■	■	■								■
Venecia PB	1.510								■				
Venecia SC	1.770						■	■					
Jericó	1.900						■		■		■		■
Marinilla	2.087								■		■		
Rionegro	2.140		■					■		■	■		■
Entrerríos	2.420							■		■	■		

Tabla 4-5. Épocas de cosecha en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2012).

Localidad	Altura (msnm)	2012												2013		
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Támesis	1.340	■		■			■	■								
Venecia PB	1.510			■		■										
Venecia SC	1.770	■					■			■			■			
Jericó	1.900					■						■	■			
Marinilla	2.087		■						■						■	
Rionegro	2.140	■						■							■	
Entrerríos	2.420															■

4.5 Conclusiones

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

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

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

El comportamiento del cv. Hass, en condiciones del trópico andino, guarda una fuerte correlación con las condiciones ecológicas de su centro de origen, por lo que su mayor respuesta productiva se da en ambientes ubicados por encima de los 1.700 msnm.
El rendimiento por árbol y por unidad de área obtenidos en los huertos en estudio, no fueron consistentes (altas en un año, seguidas de bajas en el siguiente y viceversa), por lo que se deduce que el cv. Hass presentó alternancia productiva en el tiempo de evaluación.

4.6 Literatura citada

Aguilera-Montañez, J.L. y Salazar-García, S. 1996. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento y tamaño del fruto de aguacate. Folleto Técnico No.12. INIFAP. Campo Experimental Uruapan, México. 24 p.

Andrew, P.K. and C.S. Serrano-Márquez. 1993. Graft incompatibility. Hortic. Rev. 15:183–231.

Anguiano, C.J.; Alcántar, J.J.; Toledo, B.R.; Tapia, L.M. y Vidales-Fernández, J.A. 2007. Caracterización Edafoclimática del Área Productora de Aguacate de Michoacán, México. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. Viña Del Mar, Chile. 10 p.

Aubert, B. 1975. Possibilities of production of mangues grafes. Fruits 30(7-8): 447-79.

Aubert, B. et Lossois, S. 1972. Considerations sur la phenologie des especes arbustives. Fruits 27(4): 269-286.

Avilán, L. 1980. El "índice de fructificación" en frutales perennes. Agronomía Tropical. Maracay, Venezuela 30(1-6): 147-157.

Avilán, L. 1981. Sistema de siembra con altas densidades de población. Una necesidad en la fruticultura nacional. Agropecuaria de Hoy. Caracas. 7s: 34-37.

Avilán, L.; Leal, F. y Bautista, D. 1989. Lauraceae. En: Manual de Fruticultura, Cultivo y Produccion. 1ª. Ed. Editorial América. Chacaito, Venezuela. pp. 666-776.

Baíza A., V.H. 2003. Guía técnica del cultivo del aguacate. Programa Nacional de Frutas de El Salvador-FRUTAL ES. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). San Salvador, El Salvador. 69 p.

Bárcenas O., A.E. 2000. Ecología del Aguacate. En: III Seminario Taller sobre el aguacate. Fac. Agrobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Uruapan, Michoacán, México. pp. 7-14.

Barrientos-Villaseñor, A.; Barrientos-Priego, A.F.; Rodríguez-Pérez, J.E.; Peña-Lomeli, A. y Muñoz-Pérez, R. 1999. Influencia del interinjerto cv. Colín V-33 sobre algunos aspectos fisiológicos en aguacatero (*Persea americana* Mill.). Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 103-116.

Ben-Ya'acov, A. and Michelson, E. 1995. Avocado Rootstocks. Horticultural Reviews 17: 381-429.

Ben-Ya'acov, A.; Michelson, E. and Sela, I. 1993. Rootstock effect on avocado vigor and productivity. Acta Hort. 349: 191-195.

Bergh, B.O. 1986. *Persea americana*. In: Halevy, A.B. (ed.) CRC Handbook of Flowering, Vol. 5. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 253–268.

Bernal E., J.A. y Díaz D., C. 2014. Manejo del cultivo. En: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica; Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia. Actualización Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el Cultivo de Aguacate. 2ª. Ed. Medellín, Colombia. pp. 10-151.

Bidwell, R.G. 1979. Fisiología vegetal. 1ª. Ed. México, D.F., México. 784 p.

Brom, R. E. y Carvalho, C. F. 1966. El aguacate. Ed. Juan Lozoya Dávila. 122 p.

Camacho-Ferre, F. y Fernández-Rodríguez, E.J. 2000. El cultivo de sandía apirena injertada, bajo invernadero, en el litoral mediterráneo español. Caja Rural de Almería. I.S.B.N.: 84-922785-9-5. Escobar Impresores, S.L. El Ejido (Almería). Mundi-Prensa Libros, S.A. Castelló, 37 – 28001. Madrid. 316 p.

CONAFRUT. 1988. Inventario Frutícola 1987. Comisión Nacional de Fruticultura. Subdirección de Planeación y Evaluación. México. D.F., México. 150 p.

Cristoffanini, L.; Lienlaf, P. y Ramella A., F. 2011. Efecto de la distancia de plantación en huertos de alta densidad en palto cv. Hass – primer avance. En: VII Congreso Mundial del Aguacate 2011. Cairns, Queensland, Australia. 8 p.

DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2013. Sistema Estadístico Nacional. Boletín de prensa IV trimestre de 2013. https://www.dane.gov.co/ index.php/es/sala-de-prensa/comunicados-y-boletines/154-boletines/2726-sala-de-prensa-gropecuario; consulta: junio de 2104.

FAO. Food and Agriculture Oranization of the United Nations. FAOSTAT. 2012. http://faostat. fao.org/c FAO; consulta: noviembre de 2012.

Gaillard, J.P. 1978. Etudes sur les fruitiers tropicaux-IRFA. Fruits, 33(9): 543-665.

Gaillard, J.P. and Godefroy, J. 1995. Avocado. The Tropical Agriculturist Series, CTA/Macmillan Education, London. 120 p.

Galán-Sauco, V. 1990. Aguacate. En: Los frutales tropicales en los subtrópicos. i. Aguacate, mango, litchi y longan. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 25-58.

Garner, L.C. and Lovatt, C.J. 2008. The relationship between flower and fruit abscission and alternate bearing of 'Hass' avocado.J. Am. Soc. Hortic. Sci. 133:3-10.

Gustafson, C.D. and Rock, R.C. 1976. Costs to produce avocados in San Diego county. Calif. Avocado Soc. Yrbk. 60: 22-24.

Hartmann, H.T.; Kester, D.E.; Davies Jr., F.T. and Geneve, R.L. 1997. Plant propagation: principles and practices. 6th Ed. Prentice-Hall. Upper Saddle River, NJ. 770 p. http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/michoacan/Lists/Evaluaciones%20Externas1/Attachments /32/compt_aguacate.pdf?Mobile=1; consulta: enero de 2015.

Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs, 54(2): 187-211.

Izhaki, I.; Tsahar, E.; Paluy, O. and Friedman, J. 2002. Within population variation and interrelationships between morphology, nutritional content, and secondary compounds of *Rhamnus alaternus* fruits. New Phythol. 156(2): 217–223.

Jiménez, R.; Lima, H.; Simón, A.; Hernández, L.; Armenteros, I. y Rodríguez, C. 2007. Influencia de dos portainjertos sobre el crecimiento, rendimiento y calidad física de la fruta de seis cultivares de aguacatero en la Habana Cuba. Memorias VI Congreso Mundial Aguacatero. Vaparaíso, Chile. 10 p.

Kohne, J.S. and Kremer-Kohne, S. 1990. Results of a high density avocado planting. South African Avocado Growers' Association Yearbook 13: 31-32.

Larcher, W. 2003. Physiological plant ecology. 4th. Ed. Berlin: Springer Physiological Plant. 513 p.

Lobell, D.B.; Cahill K.N. and Field, C.B. 2007. Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields. Clim Change 81: 187−203.

Lomas, J. 1992. Analysis of the effect of heat stress during flowering on the yield of avocado under Mediterranean climatic conditions. Agric. For. Meteorol. 59:207-216.

Lomas, J. and Zamet, D. 1994. Long-term analysis and modeling of agroclimatic effects on national avocado yields in Israel. Agric. For. Meteor. 61: 315-336.

MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2013. Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero. Dirección de Política Sectorial - Grupo Sistemas de Información. http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/anuario/anuario.pdf; consulta: abril 2014.

Malo, S. 1977. Manual del cultivo del aguacate. XOBA. Revista de Agricultura. Monografía 1. Caja Insular de Ahorros de Gran Canarias. 77 p.

Milla, D.; Arizaleta, M. y Díaz, L. 2009. Crecimiento del limero 'Tahití' (*Citrus latifolia* Tan.) y desarrollo del fruto sobre cuatro portainjertos en un huerto frutal ubicado en el Municipio Palavecino, estado Lara, Venezuela. Revista UDO Agrícola 9 (1): 85-95.

Monselise, S.P. and Goldschmidt, E.E. 1982. Alternate bearing in fruit trees. Hort. Rev. 4: 128-173.

Padilla-Ramírez, J.S.; González-Gaona, E.; Reyes-Muro, L. y Mayek-Pérez, N. 2007. Producción de fruto e índices productivos en árboles de guayabo. Agricultura Técnica en México 33(2): 2 191-196.

Paull, R.E. and Duarte, O. 2011. The Tropics, its soils and horticulture. In: Tropical Fruits, 2nd ed., Vol. 1. C.A.B. International. Crop production science in horticulture series no. 20. 400 p.

SAGARPA. 2007. El Sistema Producto Aguacate en Michoacán. Bases y Estrategias para Mejorar su Competitividad. Fondo de Fomento Agropecuario del Estado de Michoacán Comité Técnico Estatal de Evaluación Proyecto: Diagnostico Sectorial. 70 p.

Salisbury, F.B. y Ross, C.W. 1994. Fisiología Vegetal. Ed. Grupo Editorial Iberoamericano. México D.F., México. 759 p.
Samson, J.A. 1991. Fruticultura Tropical. Editorial Limusa. México D.F., México. 396 p.

Schaffer, B. and Andersen, P.C. 1994. Introduction. In: Schaffer, B. and Andersen, P.C. (eds) Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol. 2, Subtropical and Tropical Crops. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp. 165–197.

Schaffer, B. y Whiley, A.W. 2007. Fisiología ambiental. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.) El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 133-154.

Schâffer, G.; Bastianel, M. e Dornelles, A.L.C. 2001. Porta-enxertos utilizados na citricultura. Ciencia Rural, Santa María 31(4): 723-733.

Schroeder, C.A. and Frolich, E.F. 1955. Avocado rootstock-scion studies. Calif. Agr. 9:11-12.

Simao, S. 1971. Manual de Fruticultura. Sao Paulo. Editora Agronómica Ceres. 530 p.

Stassen, P.J.C. 1999. Results with spacing, tree training and orchard maintenance in young avocado orchards. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 159-164.

Stassen, P.J.C.; Davie, S.J. and Snijder, B. 1998. Training young ´Hass´ avocado trees into a central leader for accommodation in higher density orchards. In: Proceedings of World Avocado Congress III. Tel Aviv, Israel. pp. 351-354.

Stenzel, N.M.C.; Neves, C.S.V.J.; Scholz, M.B.D.S.; Gomes, J.C. 2005. Comportamento da laranjeira 'Folha Murcha' em sete porta-enxertos no Noroeste do Paraná. Rev. Bras. Frutic. 27(3): 408-411.

Téliz, D. 2000. El aguacate y su manejo integrado. Ed. Mundi-Prensa. México. 219 p.

Téliz, D. y Mora, A. 2007. El aguacate y su manejo integrado. 2a. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. México D.F., México. 308 p.

Thomas, G. 1997. The influence of seedling rootstock on yield. In: Proceedings of Conference '97 – Searching for Quality. The Australian Avocado Grower's Federation and NZ Avocado Growers Association Conference. Rotorua, New Zealand. pp. 138-145.

Whiley, A.W. 2007. Manejo del cultivo. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. 215-240.

Whiley, A.W. and Schaffer, B. 1994. Avocado. In: Scahffer, B. and Anderson, P.C. (eds) Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol. 2 Subtropical and Tropical Crops. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp. 165-197.

Whiley, A.W.; Saranah, J.B.; Cull, B.W. and Pegg, K.G. 1988. Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. Queensland Agric. J. 114: 29-36.

Wolstenholme, B.N. 1986. Energy costs of fruiting as a yield-limiting factor, with special reference to avocado. Acta Horticulturae 175: 121-126.

Wolstenholme, B.N. 1987. Theoretical and applied aspects of avocado yield as affected by energy budgets and carbon partitioning. South African Avocado Growers' Association Yearbook 10: 58–61.

Wolstenholme, B.N. 2007. Ecología: El clima y el ambiente edáfico. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. p. 75-101.

Wolstenholme, B.N. and Whiley, A.W. 1992. Requirements for improved fruiting efficiency in the avocado tree. Proc Second World Avocado Congr. Orange, California p. 161-167.

Zaragoza, S. y Alonso, E. 1980. La poda mecanizada de los agrios en España. Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Serie: Producción Vegetal 12: 157-180.

Zilkah, S.; Klein, I.; Feigenbaum, S. and Wepaum, S.A. 1987. Translocation of foliar-applied urea 15N to reproductive and vegetative sinks of avocado and its effects on fruit set. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112 (6): 1061-1065.

Capítulo 5

Evaluación de la calidad del fruto de aguacate cv. Hass plantado en diversos ambientes del departamento de Antioquia

5.1 Resumen

Se analizó la calidad del fruto, procedente de árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, Colombia. (Támesis, 1.340 msnm, Venecia PB, 1.510 msnm, Venecia SC, 1.770 msnm, Jericó 1.900 msnm, Marinilla, 2.087 msnm, Rionegro, 2.140 msnm y Entrerríos, 2.420 msnm). La mayor respuesta en calidad de fruto cosechado (peso del fruto, % de pulpa, % de semilla, % de cáscara, aceptación por análisis sensorial), se presentó en los árboles ubicados a mayor altura; contrariamente, las más bajas calidades se encontraron en los árboles plantados en los ambientes más cálidos. El peso promedio del fruto, obtenido en dos años de evaluación (2011, 2012), en las localidades por encima de los 2.000 msnm, fue superior a los 190 g, catalogados dentro de este estudio como de categoría Extra (mayor de 180 g). En Jericó ubicado a 1.900 msnm, se obtuvieron frutos con un peso promedio de 179,12 g, que clasifican dentro de la categoría Primera (mayor de 140 y menor de 180 g). En esta misma clasificación se ubicaron los frutos procedentes de los ambientes por debajo de los 1.700 msnm, pero con valores promedio inferiores a los de Jericó. En los ambientes ubicados por encima de los 1.770 msnm, el porcentaje de pulpa, fluctuó entre 64 a 70 %, mientras que en los ambientes por debajo de esta altitud, se presentaron porcentajes de pulpa más bajos, aproximadamente 63 %. Los porcentajes de semilla y cáscara, fueron mayores en los ambientes donde el porcentaje de pulpa fue menor y viceversa. Esta característica también demuestra que no solamente se obtienen frutos de menor tamaño en ambientes por debajo de los 1.770 msnm, sino que la calidad interna en términos de contenido de pulpa disminuye, pues presentan menores contenidos de pulpa aprovechable, tanto para consumo en fresco, como para la agroindustria. Las localidades por encima de los 1.700 msnm, mostraron que más del 55 % de su fruto era de calidad Extra y el porcentaje de descarte fue inferior al 3,5 %. Los frutos con mejor clasificación sensorial fueron los de Rionegro y Entrerríos, que corresponden a ambientes más fríos y contrariamente el peor clasificado fue la localidad más baja (Támesis).

Palabras clave: *Persea americana* Mill, agroindustria, cultivos, frutales, nutrición, poscosecha,

5.2 Introducción

La especie *Persea americana* Mill. se divide en tres razas ecológicas, cada una de las cuales tiene un estatus varietal dentro de las especies: *P. americana* var*. drymifolia* (raza mexicana), *P. americana* var*. guatemalensis* (raza guatemalteca) y *P. americana* var. *americana* (raza antillana) (Bergh *et al.,* 1973; Scora y Bergh, 1990). Generalmente, dentro de cada raza los cultivares tienen respuestas similares a las condiciones edáficas y climáticas, dadas dentro su proceso evolutivo. Sin embargo, existen varias diferencias entre las razas en relación a su adaptabilidad a las condiciones medioambientales. Las diferencias en la respuesta al clima, podrían ser suficientes para identificar el origen racial de los árboles. Por ejemplo, solo la raza antillana se adapta al clima netamente tropical de las tierras bajas, mientras que los árboles de otras razas pueden no cuajar frutos o incluso no producir flores, bajo dichas condiciones (Serpa, 1968). Por el contrario en el clima Mediterráneo de California, los árboles de raza antillana cuajan muy poco o no cuajan frutos, aun cuando no hayan sido afectados por heladas.

En lugares fríos, donde frecuentemente hay temperaturas bajo cero, solo los árboles de raza mejicana, pueden sobrevivir (Kadman y BenYa`acov, 1976). A nivel mundial, los aguacates se cultivan en una gama muy amplia de temperaturas. Existen requerimientos térmicos distintos para los cultivares subtropicales (mexicanos, guatemaltecos e híbridos entre ambos) y para los cultivares tropicales (antillanos e híbridos de antillanos con guatemaltecos). Además, hay variaciones sustanciales en los climas subtropicales, con las consecuentes diferencias en las unidades de calor, que afectan el tiempo de floración y especialmente, el tiempo de madurez de los frutos de un determinado cultivar (Wolstenholme, 2007). En algunos casos se aprecian efectos globales que afectan a la maduración, inhibiéndola o acelerándola o incrementando la desecación por pérdida acelerada de agua, originando alteraciones externas e internas del fruto. Algunos de estos efectos pueden verse amplificados cuando las altas temperaturas están asociadas a una radiación solar intensa, que afectan no solo el color, sino también las propiedades organolépticas, debido a cambios en el contenido en sólidos solubles y acidez valorable (Romojaro *et al*., 2006). Existe amplia evidencia de que los factores de precosecha pueden afectar la calidad de poscosecha del aguacate.

La comprensión de los efectos del ambiente prevalente en la precosecha sobre los procesos de crecimiento y maduración y la susceptibilidad a desórdenes fisiológicos y patológicos, ayudará a explicar las inconsistencias observadas en la evolución del fruto en poscosecha. Típicamente, los agricultores no comprenden la fisiología de la poscosecha del fruto, ni tampoco le prestan importancia, ya que perciben que el manejo en poscosecha no es de su responsabilidad (Arpaia *et al*., 2004). Aunque en el cultivo en campo, la mayoría de los factores ambientales son difícilmente modulables, se ha comprobado que tienen una gran influencia en la calidad y valor nutricional de numerosos productos agrarios, tanto por efecto de la intensidad y calidad de la luz que reciben, como por las temperaturas a los que están expuestos, contenido de CO_2 en el ambiente, etc. (Romojaro *et al*., 2006).

Las propiedades químicas del fruto (componentes orgánicos y minerales) son más afectadas que la morfología (p. ej. tamaño de los frutos), por las diferencias en el ambiente dado por diversas microrregiones (Izhaki *et al*., 2002). La escasa disponibilidad de información actual de áreas ecológicamente óptimas para el cultivo del aguacate en Colombia, ha causado el incursionar en ambientes en donde se desconoce el comportamiento del cultivo, así como su producción y calidad del fruto. La composición nutrimental del fruto incide tanto en su calidad durante la cosecha como en poscosecha (Arpaia, 1994; Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 2001).

Existe una creciente preocupación acerca de las interacciones entre todos los elementos del sistema de producción y poscosecha, en relación con la calidad del fruto. En general, la máxima calidad del fruto se alcanza en la cosecha y los sistemas de poscosecha están diseñados para minimizar las pérdidas durante el manejo y la distribución. Un mayor conocimiento y comprensión de estas interacciones conduce a un mayor desarrollo en los sistemas de la cadena de distribución, para abarcar los complejos tópicos involucrados en la producción y comercialización hortícola (Hofman *et al*., 2007).

Cualquier actividad que se realice en el huerto antes y durante el desarrollo del fruto, influirá sobre el periodo poscosecha; sin embargo, la etapa con mayor repercusión comienza desde el momento que se corta el fruto de aguacate, ya que desde ahí hasta su presentación al consumidor final transcurre un periodo de tiempo considerable, durante el cual, el fruto puede sufrir diferentes tipos de daños mecánicos y fisiológicos que lo hacen susceptible al ataque de diferentes fitopatógenos (Nieto *et al*., 2007).

Al contrario que la mayoría de los frutos, el aguacate no alcanza su fase climatérica (esto es, no alcanza su madurez de consumo) mientras que permanece en el árbol. La mayoría de los cultivares comerciales de aguacate pueden permanecer en el árbol durante varios meses, salvo los de la raza Antillana, sin que se produzca la abscisión y correspondiente caída de los frutos. De hecho, y salvo para aquellos cultivares que cambian de color en la madurez, es difícil apreciar esta de forma visual.

Aunque esta particularidad es sin duda ventajosa, ya que se puede acomodar en gran parte la recolección a las necesidades del mercado, conlleva algunos riesgos tanto de recolección temprana (bajo contenido de aceite, presencia de fibras en la pulpa, fruto de aspecto arrugado) o demasiado tardía (corta vida en anaquel, maduración irregular y calidad gustativa mediocre, excesivo contenido de aceite, germinación de la semilla) (Galán-Sauco, 1990).

Para Colombia, la combinación de las diferentes variables climáticas que imperan en las áreas productoras de aguacate, propician la presencia de un periodo de floración bastante amplio, que para un mismo huerto puede ser de hasta cuatro meses y en consecuencia existe fruto con diferentes grados de madurez durante la mayor parte del año. Este periodo de floración tan amplio ocasiona que exista una gran variación en tamaño, edad y diferente grado de madurez del fruto; este fenómeno se complica si se considera que el periodo de floración presenta variaciones importantes, conforme se eleva la altitud del lugar donde está establecido el huerto y decrece la temperatura (Báez, 2005).

Existe una clasificación para el aguacate dependiendo del mercado al que el exportador se dirija. En el caso de Estado Unidos, los tamaños del fruto varían de 36 a 70 frutos por caja de 11,34 kg, con un rango que oscila entre 148 y 320 g. En el caso de Canadá y Japón, los tamaños fluctúan entre 14 a 22 frutos en cajas de 4 kg, con un rango que va de 171 a 305 g (Morales y Urquizo, 2008). Terravocado (2015) propone para Colombia, las siguientes categorías para la selección por calidad del aguacate cv. Hass: Canica, menos de 80 g, Industrial de 81 a 130 g, Primera de 131 a 180 g, Extra de 181 a 250 g, Jumbo más de 250 g y Descarte frutos con daños superficiales en la cáscara. Por su parte Aproare (2009) propone cuatro categorías para aguacate cv. Hass, así: Extra más de 180 g, Primera de 150 a 179 g, Industrial de 90 a 149 g y Descarte menos de 90 g.

El aguacate presenta una gran gama de colores en su cáscara. A medida que el fruto madura, el color cambia de acuerdo con las características de cada cultivar. Algunos cultivares presentan frutos con el mismo color, tanto maduros como inmaduros (Storey, 1973). La concentración de aceite en el aguacate aumenta durante su desarrollo y es significativamente determinante para su palatabilidad. Para el año 1983, la industria aguacatera de California, adoptó la técnica de determinación del contenido de materia seca (MS) como método para estimar la madurez del aguacate (Lee *et al*., 1983; Bergh *et al*., 1989) y continúa siendo el indicador más confiable (Kaiser, 1994). Pese a ello, su costo y la dificultad de su medición han hecho necesarias investigaciones en busca de alternativas. El porcentaje de MS está fuertemente relacionado con el contenido de aceite y la calidad (Lee *et al*., 1983; Brown, 1984; Ranney, 1991).

El contenido total de aceite y la humedad son recíprocos y, generalmente se suman a una constante para cualquier cultivar (Swarts, 1978). Por lo tanto, el porcentaje de MS es utilizado actualmente como un índice de madurez en Australia, Israel, Nueva Zelanda y Estados Unidos, entre otros. Para el cv. Hass, el índice de maduración mínimo estándar basado en el porcentaje de materia seca es el siguiente: Para California 21,6 % (Ranney, 1991) o 21,8 % (Lee *et al*., 1983), Australia 21 % (Brown, 1984), Sudáfrica 23 % (Milne, 1994), México 22 % (Sánchez, 1993), Chile 23 % (Waissbluth y Valenzuela, 2007), España 23 % (Galán-Sauco, 1990). Para Colombia no se tiene aún establecido este estándar y la cosecha se realiza solo con criterios subjetivos, basados en la experiencia de los cosechadores y en los que se tienen en cuenta aspectos como la época de año, cambios en el color y brillo del fruto, días entre floración a cosecha, presencia o ausencia de lenticelas, entre otros.

Los resultados de contenido de materia seca se obtienen en unas pocas horas por lo que se pueden utilizar para determinar si un lote de la plantación está listo para cosechar y para realizar análisis a los frutos cosechados en caso de duda sobre el grado de madurez; el corto tiempo permite dar información oportuna a los productores para modificar los criterios (afinar) de cosecha. El equipo requerido incluye un horno de microondas, una balanza analítica, un desecador y capsulas (tipo platos Petri o similar) para colocar las muestras. El método consiste en cortar aproximadamente 10 g de pulpa en rebanadas muy delgadas, cortarlas con un pelador de papas y colocarlas a secar en el horno de microondas hasta obtener peso constante, proceso que tarda entre 5 y 15 min (Yahia, 2001).

Uno de los aspectos de mayor incidencia en el proceso de selección del aguacate, lo constituye el porcentaje de pulpa o cantidad relativa al peso del fruto que es aprovechable. La mayoría de los materiales criollos se caracterizan por presentar una escasa porción de pulpa, por el gran tamaño de sus semillas (Avilán y Rodríguez, 1997). Camacho y Ríos (1972) propusieron una clasificación en los cuales consideraron como “Buenos” los que presentan valores iguales o superiores al 80 %. Sin embargo, dado que muy pocos materiales superan este valor, se modificó la misma considerando como Alto un contenido igual o superior al 75 %, Medio 70-75 % y Bajo inferior al 70 %; sin embargo Storey (1973) en California, considera que un aguacate “Normal” debe tener entre un 60-70 % de pulpa.

Entre las características que debe presentar un cultivar para ser considerado de buena calidad, la semilla juega un papel importante. La misma debe ser pequeña, pues su tamaño está en relación inversa con la porción comestible del fruto. Una semilla puede considerarse pequeña cuando representa menos del 12 % del peso del fruto. Además, debe estar presa o adherida a la cavidad, pues esta condición evita que en el manipuleo en la cosecha y durante el

transporte, golpee la pulpa y le cause lesiones (Avilán y Rodríguez, 1997). Por lo tanto, un índice de la calidad de fruto en aguacate se refiere a la relación que existe entre la semilla, la corteza y la pulpa. Esta relación se obtiene pesando el fruto completamente maduro y cada una de sus partes (Storey, 1973). Los frutos del cv. Hass, son de tamaño mediano, con un peso que va de 150 a 400 g (Newett *et al*., 2007) y de 8 a 10 cm de largo (Ríos-Castaño y Tafur, 2003); de forma ovoide a piriforme; la cáscara es mediana a gruesa, coriácea, rugosa, de textura rugosa y corchosa, de superficie áspera y granulosa. El contenido de grasa de la pulpa es del 17 % hasta el 21 % (Newett *et al*., 2007).

El tamaño de la semilla es mediano, de forma redonda; con una pulpa cremosa, amarilla, con un 66 a 70 % de aprovechamiento, de excelente calidad, con un rico sabor a nuez (nogado) (Newett *et al*., 2007). De acuerdo Bergh (1984), en California, se considera que el cv. Hass debe tener una relación semilla: cáscara: pulpa de 16:12:72 %, respectivamente.

Cada día se hace más evidente la necesidad de desarrollar tecnologías adecuadas al medio local, utilizando como sustento bases científicas y tecnológicas de la agricultura moderna, que han acusado exitosos cambios en los países desarrollados. En los últimos años se viene plantando el cv. Hass en Colombia y en especial en Antioquia, en diferentes ambientes, desde el trópico medio hasta el trópico alto, mostrándose, en algunos casos, fracasos por baja adaptación del cultivar, especialmente en ambientes de alta temperatura. Con este estudio se buscó obtener información de la influencia de siete condiciones climáticas, sobre el desarrollo, rendimiento y calidad del fruto, en huertos de aguacate cv. Hass, en el departamento de Antioquia.

Las zonas productoras de aguacate en Colombia presentan grandes variaciones en altitud, radiación solar, humedad relativa, temperatura y precipitación, entre otros factores. Esto proporciona gran variación en la respuestas de los cultivares en cuanto a comportamiento agronómico, productividad, rendimiento y calidad del fruto, sumado al hecho de que existe gran cantidad de genotipos criollos, que son producto del cruce entre las diferentes razas, lo cual hace que exista un suministro casi permanente de fruto y por lo cual la producción total del país es consumida internamente.

Pese a que la calidad, tanto externa como interna del fruto del aguacate, está íntimamente ligada al factor genético, no hay que desconocer el efecto que sobre esta ejerce el ambiente. Son poco los resultados que existen en Colombia al respecto, pues a nivel mundial, los estudios sobre calidad del fruto se han hecho en su mayoría, teniendo en cuenta la variación estacional, más no la variación altitudinal, que a la postre, lo que indica es una diferente oferta ambiental. Con este estudio se pretendió caracterizar la calidad de frutos obtenidos de árboles de aguacate cv. Hass en producción que busca acceder al mercado internacional.

5.3 Materiales y Métodos

5.3.1 Ubicación

El estudio se hizo durante los años 2011 y 2012, en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en el Oriente, altiplano Norte y Suroeste de Antioquia, Colombia (Tabla 5-1).

Tabla 5-1. Condiciones ambientales de los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass, utilizados para determinar la calidad de la pulpa.

Municipio	Finca	Altura (msnm)	Temp. (°C)	H.R. (%)	Precipitación promedio año (mm)	Brillo solar (horas año^{-1})	Zona de vida*
Támesis	La María	1.340	22,5	81,0	1.917	1.726	(bh-PM)
Venecia	Piedras Blancas	1.510	20,1	74,0	2.504	2.090	(bh-PM)
Venecia	Santa Cruz	1.770	19,5	75,0	2.300	2.164	(bh-PM)
Jericó	El Encanto	1.900	19,0	82,0	1.917	2.430	(bh-MB)
Marinilla	La Persea	2.087	17,0	81,5	1.800	1.876	(bh-MB)
Rionegro	La Escondida	2.140	17,0	78,0	1.900	1.861	(bh-MB)
Entrerríos	Guacamayas	2.420	14,7	82,7	1.917	1.684	(bh-MB)

* Holdridge, 1967.

5.3.2 Material biológico

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

5.3.3 Peso promedio frutos y categorías

Una vez por año (2011, 2012), en la cosecha principal de cada localidad, se seleccionaron cinco árboles a los cuales se les tomó al azar, un total de 60 frutos. Con esta población, se obtuvieron los pesos promedios de fruto y la clasificación de éste, en porcentaje, con base en peso, de acuerdo con las categorías establecidas para el mercado nacional y de exportación en el aguacate cv. Hass, así: Extra (+180 g), Primera (140 a 179 g), Industria (90 a 139 g) y Descarte (-89 g) (Tabla 5-2). En las mismas cosechas, se tomaron 10 frutos para evaluar la calidad externa e interna.

Tabla 5-2. Categorías evaluadas en los huertos de aguacate cv. Hass.

Categoría	Peso (g)
Extra	+180
Primera	+140 - 180
Industrial	+90 – 140
Descarte	-90

5.3.4 Evaluación de la calidad del fruto

Para la evaluación de calidad del fruto, en cada cosecha, se tomaron 4 frutos del estrato medio de cada uno de 5 árboles seleccionados en cada localidad, para un total de 20 frutos por lote experimental. Las variables medidas consistieron en longitud, diámetro y peso del fruto; peso y espesor de la cáscara y porcentaje del peso de la cáscara con respecto al peso del fruto; longitud, diámetro y peso de la semilla y porcentaje del peso de la semilla con respecto al peso del fruto; peso de la pulpa y porcentaje del peso de la pulpa con respecto al peso del fruto.

Como todos los huertos, en general, presentaban pendientes o estratos diferentes, dentro de la parcela se consideraron 3 niveles de muestreo: alto (S1), medio (S2) y bajo (S3). A su vez, para cada sector de muestreo se seleccionaron 3 árboles elegidos al azar, con un nivel de carga frutal normal a alta y que correspondieran a un sector o bloque homogéneo, además que no pertenecieran a hileras límites del huerto para evitar el "efecto de borde". De cada árbol, se tomaron 4 frutos, siempre a una misma altura. Éstos fueron cosechados de diferentes sectores del árbol, en la dirección de los cuatro puntos cardinales, prefiriendo los de tamaño medio. Se seleccionaron frutos de aguacate con madurez fisiológica (21,5 % de materia seca) y libre de daños físicos.

El criterio para la cosecha consistió en seleccionar frutos que presentaran, en su aspecto físico, pérdida de brillo en su parte externa (opaco) y todavía con algo de brillo hacia la parte interna del árbol. Los frutos se recolectaron con tijera podadora, dejando el pedúnculo a ras de la cáscara. Se evitó cosechar en días de lluvia o cuando el fruto estaba muy húmedo. Igualmente, de un solo árbol, al azar, se recolectaron frutos de todos los estados de madurez (desde el más inmaduro hasta el más maduro) para hacer una curva de maduración. En el laboratorio, se hicieron dos submuestras balanceadas (2 frutos de cada árbol) de 6 frutos por cada sector muestreado, uno se destinó a la caracterización de la calidad inicial (madurez fisiológica) del lote y el otro a la evaluación de la calidad comercial (madurez organoléptica).

Para el análisis de la calidad inicial, se tomó una submuestra de 6 frutos por sector, a la cual se le determinaron los siguientes parámetros para cada fruto de cada árbol:

Peso fresco: se midió cada fruto en una balanza digital y se registró el valor en gramos.
Diámetro polar y ecuatorial: medido con un pie de rey (nonio) manual y cuya medida fue expresada en mm.
Peso de cáscara, pulpa y semilla: Obtenido en una balanza digital expresada en porcentaje con respecto al peso total del fruto.
Materia seca: Se determinó según la metodología de Lee (1981). Las muestras se secaron en estufa a 60 °C, hasta alcanzar peso constante. Se registró el peso de cada muestra al sacarlas de la estufa. Con el cociente de estos pesos se calculó el porcentaje de materia seca.
Porcentaje de humedad: Obtenido de acuerdo con el método propuesto por A.O.A.C. (1980).
Porcentaje de aceite: Determinado por extracción con solvente por el método Soxhlet A.O.A.C. (1980) en el laboratorio de alimentos del C.I. Nataima de Corpoica.

5.3.5 Análisis de la calidad comercial

Para este análisis, se tomó un submuestra de 6 frutos por cada sector y posteriormente, se determinó en las siguientes 24 horas, los siguientes parámetros para cada fruto, por árbol: **Peso fresco, diámetro polar y ecuatorial.**

Una vez determinados los parámetros anteriores, los frutos se almacenaron a temperatura ambiente hasta que alcanzaron su madurez de consumo (ablandamiento).

Diariamente, se determinaron los siguientes parámetros para cada fruto, por árbol:

Pérdida de peso: Registrado periódicamente mediante el peso de cada fruto, hasta la madurez de consumo, mediante una balanza digital y expresada como porcentaje de peso promedio perdido en el período, con respecto al peso inicial.
Tiempo de maduración: Registrado como el período de tiempo (días) comprendido desde la cosecha hasta que la totalidad de frutos estuvieran en estado de madurez de consumo.
Cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo, se determinó: **Peso, tiempo de maduración y materia seca.**

5.3.6 Análisis Estadístico

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

5.4 Resultados y Discusión

5.4.1 Peso promedio del fruto

El peso promedio del fruto, obtenido de todas las cosechas de 15 árboles, en las diferentes localidades en 2011, fluctuó entre 133,57 a 206,91 g, encontrándose los frutos de mayor tamaño en las localidades por encima de los 1.900 msnm, con promedios de peso de fruto, correspondientes a calidad Extra (+180 g), aptos para el mercado de exportación; Venecia SC y PB, presentaron pesos promedios de fruto de 161,72 y 148,06 g, respectivamente, ubicados dentro de la categoria Primera (179-140 g); el peso promedio de fruto para Támesis apenas fue este año de 133,57 dentro de la categoría

industrial (Figura 5-1). En 2012, el peso promedio de los frutos en las diferentes localidades fluctuó entre 152,6 a 221,6 g, encontrándose los frutos de mayor tamaño en las localidades por encima de los 2.000 msnm, con promedios de peso correspondientes a calidad Extra (+180 g); las localidades por debajo de esta altura, presentaron peso promedio de fruto bajos (entre 152,6 a 159,5 g), considerándose de calidad Primera (Figura 5-1). Lo anterior se comprobó con la regresión simple que se muestra en la Figura 5-2, donde se observa que se presentó una asociación inversa y significativa (β= -8,53031; P= 0,0454; R^2= 58,43 %), entre el peso promedio del fruto en este año y la temperatura promedio. Los frutos procedentes de ambientes más frescos (localidades a mayor altura), presentaron mayor peso del fruto; es decir, que a medida que aumentó la temperatura promedio, se disminuyó el peso promedio en los frutos en la cosecha de 2012.

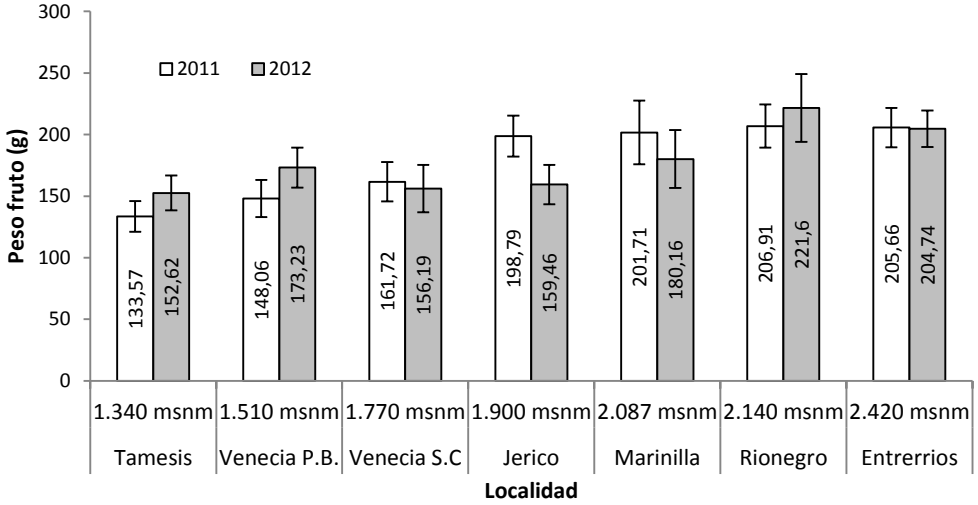


Figura 5-1. Peso del fruto en árboles de aguacate cv. Hass establecidos en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

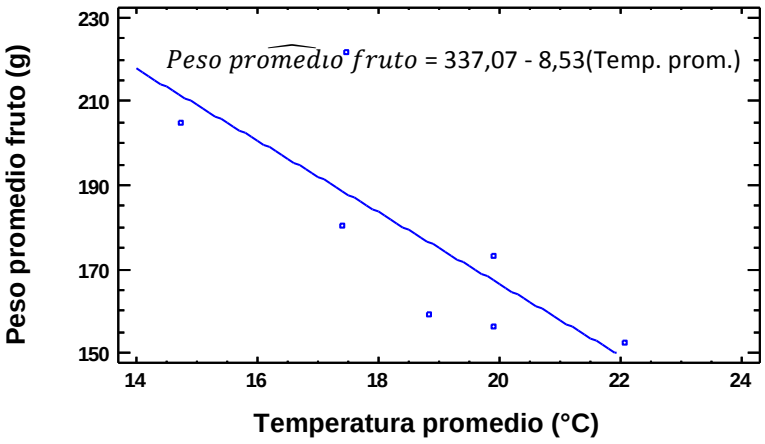


Figura 5-2. Modelo ajustado para el peso promedio del fruto, en función de la temperatura promedio, en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2012).

Los frutos cosechados en Jericó en 2012, presentaron pesos promedios más bajos que el año anterior, pasando de 193,2 a 159,5 g, debido a que la producción allí fue más alta en 2012, lo que supone mayor número de frutos de menor tamaño. Contrariamente, en la localidad Venecia PB, se obtuvo un promedio de peso de frutos en 2011 de 148,06 g, mientras que para 2012, este promedio fue de 173,23, debido a que la producción fue menor, presentando un menor número de frutos de mayor tamaño (Figura 5-1). Es de resaltar las cosechas de las localidades de Rionegro, Marinilla y Entrerríos que presentaron fruto en promedio de calidad Extra (+180 g), lo que sugiere que estos ambientes son suficientemente aptos para el establecimiento del cv. Hass, en cuanto a la obtención de fruto de óptima calidad. Sin embargo, la tendencia del cv. Hass a producir frutos de gran tamaño (< 200 g) y un alto porcentaje de fruto pequeño, se incrementa con la edad del árbol o cuando se enferma; los árboles que crecen en climas más fríos producen fruto de mayor tamaño (Newett, *et al.*, 2007), tal como se observó en este estudio. Uno de los factores más importantes en la determinación del calibre es la carga de cosecha.

En un año de baja cosecha se producirá un número reducido de frutos de gran calibre y en general de mala calidad comercial. Si la cosecha es abundante se tendrá un calibre reducido, produciéndose un agotamiento del árbol con la consiguiente reducción en la brotación y en la floración siguiente, perjudicando la cosecha del año posterior (Gambetta *et al*., 2005). El hecho de que el fruto presente diferencias en el peso promedio de un año a otro, muestra una respuesta selectiva del árbol a la producccion, de este modo cargas altas de fruto mostrarán pesos promedio de fruto menor y contrariamente cargas bajas mostrarán frutos de mayor tamaño, tal como se observa en la Figura 5-1, como respuesta a los rendimientos obtenidos en esos años (ver Capítulo 4). Whiley (2007) menciona que la remocion de la carga de fruto o la menor producción de éste, trae un beneficio en el fruto que permanece en el árbol, ya que éste tendra una mayor disponibilidad de fotoasimilados; además fortalecido por el hecho de que el árbol, tendrá mayores reservas y de esta forma se incrementará el tamaño individual del fruto. Un bajo número de frutos, resultará en un árbol con una carga razonable cada año, con la ventaja económica de obtener frutos de mayor tamaño, de mayor precio y con una mejor calidad interna.

En general, cuando se promediaron los dos años de evaluacion, se observó que el peso del fruto, está directamente relacionado con la altura en que están ubicados cada uno de los huertos, observándose que a mayor altura sobre el nivel del mar se registraron mayores pesos (Figura 5-3).

Las localidades en las cuales se observó fruto con peso promedio superior a los 200 g, fueron Rionegro con 214,6 g (el más alto) y Entrerríos con 205,2 g. La localidad que presentó frutos de menor peso fue Támesis, con un valor promedio de 143,09 g. Esto coincide con lo expuesto por Tapia-Vargas *et al.* (2007), los cuales exponen que los frutos tienden a obtener mayor peso fresco y mayor peso en pulpa en los climas templados sub-húmedos, características propias del sector de Entrerríos, así mismo concluyen que en climas semi-cálidos sub-húmedos los frutos presentaron menor peso fresco y menor peso en pulpa.

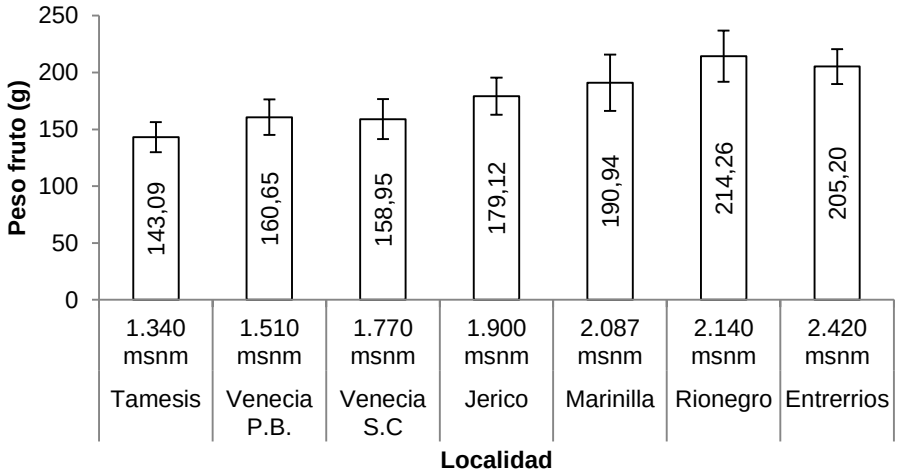


Figura 5-3. Peso del fruto, en dos años de evaluacion, en árboles de aguacate cv. Hass establecidos en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

5.4.2 Calidad del fruto en pulpa, cáscara y semilla

Con respecto a las características de los frutos, obtenidos en las localidades estudiadas, de una muestra de 120 frutos por localidad, en dos años consecutivos de muestreo, en la Figura 5-3 se observa que en los ambientes por encima de los 1.770 msnm, el porcentaje de pulpa, fluctuó entre 64 a 70 %, mientras que los ambientes por debajo de esta altitud, presentaron porcentajes de pulpa más bajos, aproximadamente 63 %; Newett *et al*. (2007) mencionan que el aguacate cv. Hass presenta entre un 66 a 70 % de pulpa aprovechable. Los porcentajes de semilla y cáscara, fueron mayores en los frutos donde el contenido de pulpa fue menor y viceversa. Esta característica también demuestra que no solamente se obtienen frutos de menor tamaño en ambientes por debajo de los 1.770 msnm, sino que también la calidad interna de éstos disminuye, pues presentan menores contenidos de pulpa aprovechable (Figura 5-4), tanto para consumo en fresco, como para la agroindustria.

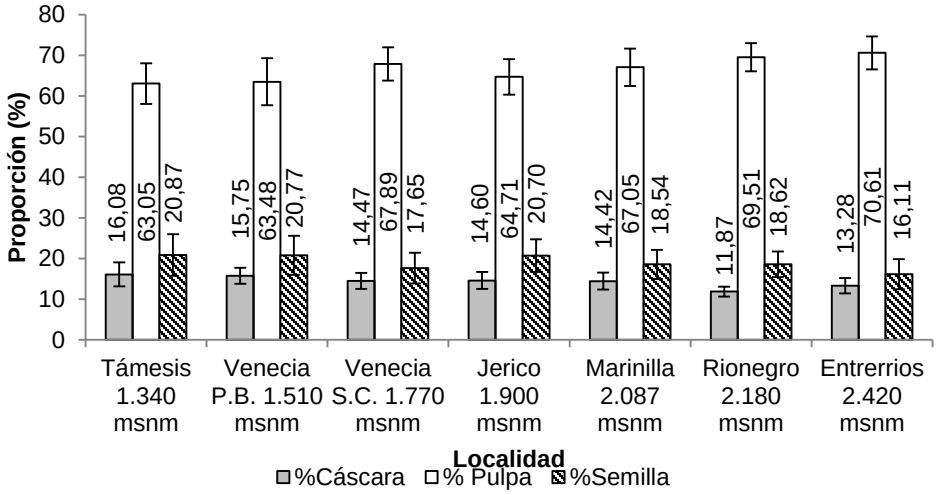


Figura 5-4. Proporción de cáscara, pulpa y semilla en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia. Promedio de dos cosechas (2011-2012).

Lo anterior se corroboró con la regresión simple que se muestra en la Figura 5-5, donde se observa que se presentó una asociación inversa y significativa (β= -0,79966; P= 0,0115; R^2= 75,14 %), entre el porcentaje de pulpa en frutos y la temperatura promedio. Lo anterior mostró que los frutos procedentes de ambientes más frescos (localidades a mayor altura), presentaron el mayor contenido de pulpa, en dos años de cosecha (2011-2012). Es decir a medida que aumentó la temperatura promedio, se disminuyó el porcentaje la pulpa en los frutos, información que no ha sido informada por otros autores para este cultivar; Izhaki *et al*. (2002) mencionan que las propiedades químicas del fruto (componentes orgánicos y minerales) son más afectadas que la morfología (p. ej. tamaño de los frutos), producto de las diferencias en el ambiente dado por diversas microrregiones.

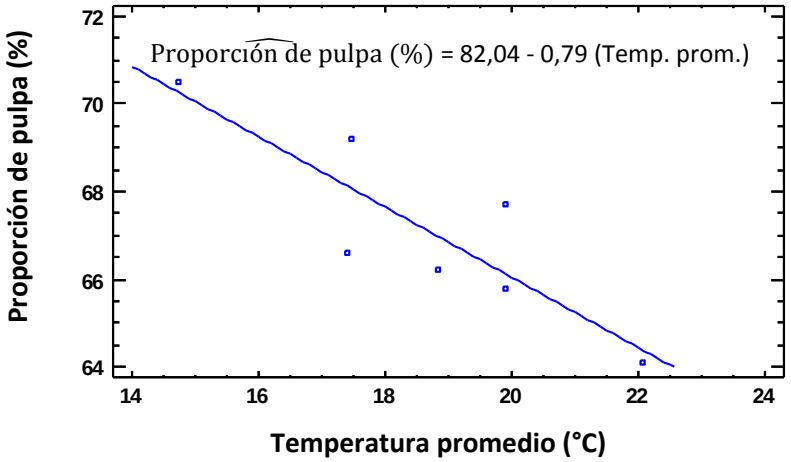


Figura 5-5. Modelo ajustado para el porcentaje de pulpa del fruto, en función de la temperatura promedio ambiental, en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

De acuerdo con Bergh (1984), en California, se considera que el cv. Hass debe tener una relación semilla: cáscara: pulpa de 16:12:72 %, respectivamente; en este caso, solo en Támesis se cosecharon frutos con proporción de semilla cercano al 16 %, en las demás localidades se presentaron valores inferiores, sugiriendo que este fruto en condiciones del trópico andino, es de semilla pequeña, caracteristica desable en un fruto; sin embargo, en todos los casos, a excepción de los frutos cosechados en Rionegro (11,87 %), el porcentaje de cáscara fue superior al reportado por Bergh (1984), del 12 %, ya que este valor fluctó entre un 13,28 % para los frutos cosechados en Entrerríos hasta un 16,08 % en los de Támesis, lo cual indica que este fruto en el trópico presenta cáscara más gruesa, condición que va en detrimento del porcentaje de pulpa, pero le confiere mayor resistencia al fruto en la cosecha y poscosecha (Lahav y Lavi, 2007).

De nuevo se observa que la altitud influyó sobre el grosor de la cáscara en el fruto, pues el menor porcentaje fue obtenido en una de las localidades más altas (Rionegro, 2.180 msnm) y contrariamente el mayor, se obtuvo en la localidad más baja (Támesis, 1.340 msnm) (Figura 5-6). Los frutos de Entrerríos mostraron el valor más alto en el porcentaje de pulpa con un 70,61 % y la localidad con frutos de menor valor fue Támesis con 63,05 % (Figura 5-6). Lo que se relaciona directamente con el peso de los frutos. Con respecto al porcentaje de semilla, en Entrerríos los frutos mostraron el menor porcentaje de peso en semilla con un 16,11 % y en Támesis el mayor con un 20,87 %, donde se obtuvieron

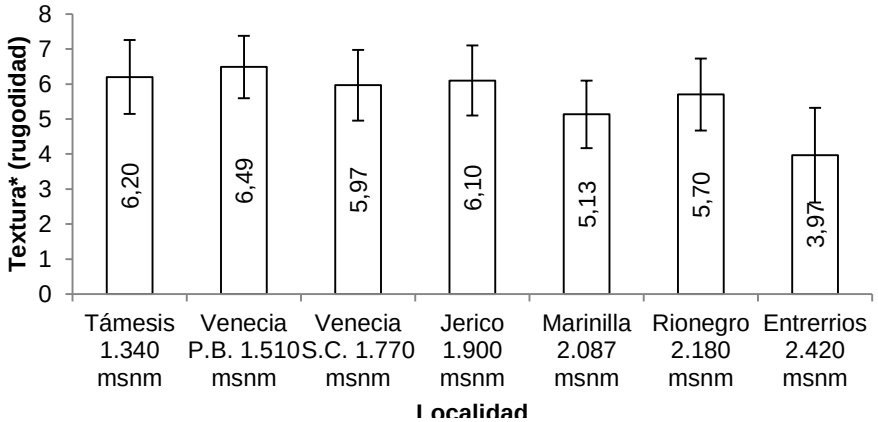
frutos de menor peso promedio, mostrando de nuevo en esta localidad, su baja respuesta en peso, producción y calidad del fruto. En Rionegro, se observaron frutos de menor porcentaje de cáscara, con un 11,87 % y en de Támesis los de mayor, con un 16,08 %, lo que también está relacionado con el peso del fruto (Figura 5-3). En general, se puede decir que en los huertos situados a mayor altitud, se presentan frutos de mayor tamaño, traducido en un mayor peso, diámetro, y porcentaje de pulpa y en un menor porcentaje de cáscara y semilla. Al respecto, hay que considerar que en la producción de aguacate, el tamaño del fruto tiene una enorme importancia económica y al mismo tiempo, si se considera la calidad interna de los mismos, el contenido de aceite, también tiene una marcada importancia. Es así como se ha determinado que el contenido de aceite en aguacate está fuertemente influenciado por la producción y el tamaño del fruto; de tal manera que a mayor tamaño, mayor es el contenido de aceite (Lahav y Whiley, 2007).

De acuerdo con este muestreo, el fruto presentó una masa que osciló entre 156,12 g hasta 215,18 g, con un valor promedio de 183,24 g. El valor medio del largo del fruto es de 8,66 cm, con un mínimo de 6,41 cm y un máximo de 9,04 cm, el valor promedio del diámetro fue de 6,81 cm, con valores de mínimo y máximo de 6,41 cm y 7,06 cm respectivamente. La relación largo/diámetro fue en promedio, de 1,27 y varió entre 1,25 y 1,30, de acuerdo con la altitud (Tabla 5-3). Esta característica coincide con lo encontrado por Bárcenas (2002) en Michoacán (México), ubicado en el semitrópico, entre los 17° 55' y los 20° 24' de latitud Norte, quien observó que el fruto del cv. Hass, es más redondo, cuando es cultivado en ambientes más frescos, en alturas comprendidas entre los 2.000 a 2.500 msnm, además presentan una mínima rugosidad de la cáscara. Al contrario, la forma del fruto se hace mucho más alargada cuando este cultivar se establece en ambientes más cálidos, entre 1.400 a 1.600 msnm. En ambientes intermedios, el fruto de este cultivar presenta una forma más alargada que globosa (como lágrima) e igualmente una rugosidad intermedia. El efecto ambiental sobre la forma del fruto es también evidente cuando se examina, para un cierto árbol, la forma del fruto en relación a la floración y cuajamiento. Los frutos provenientes de año de baja floración son más redondeados que aquellos que cuajaron durante la floración principal (Arpaia *et al*., 2004). Támesis presentó los frutos con menor Diámetro Ecuatorial y Polar (DE y DP) con un valor de 6,41 y 8,36 cm, respectivamente; mientras que Rionegro los más altos con 7,06 y 9,04 cm; de acuerdo a lo observado para peso (Tabla 5-3). Según Olaeta *et al*. (2007), el fruto en desarrollo aumenta su volumen, por lo cual también adquiere mayor diámetro y peso.

Tabla 5-3. Características del fruto de aguacate cv. Hass, en siete localidades del departamento de Antioquia.

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

De acuerdo con la escala propuesta por IPGRI (1995), para medir la textura de la cáscara del fruto, donde 3= Lisa, 5= Intermedia y 7=Rugosa y tomando un promedio de las lecturas, se observó que la rugosidad de la cáscara del fruto, en ambientes más cálidos, era mayor, mientras que en ambientes más frescos, éstos son de cáscara prácticamente lisa. La rugosidad del fruto en los ambientes por encima de los 2.000 msnm fue menor que en ambientes por debajo de esa altura. Es así como en Entrerríos a 2.420 msnm, se cosecharon frutos con una rugosidad de 3,97, mientras que en Venecia PB (1.550 msnm) y Támesis (1.340 msnm), los frutos presentaron los valores mayores, 6,49 y 6,20, respectivamente (Figura 5-6). Esta última condición puede llevar a equívocos, pues fácilmente se puede creer que se trata variabilidad genética, sin embargo, esta condición está en concordancia con lo que reporta Bárcenas (2002), quien asegura que en la medida en que se aumenta la altura sobre el nivel del mar, el fruto del cv. Hass, va perdiendo su rugosidad.



*Obtenida del promedio de los valores tomados de una escala donde 3=Lisa, 5=Intermedia 7=Rugosa. IPGRI (1995).

Figura 5-6. Textura de la cáscara en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Esta es una carcaterística tipica de plasticidad fenotípica, la cual, como la definen Pigliucci *et al*. (2006) y Whitman y Agrawal (2009), se refiere a cualquier cambio en las características de un organismo en respuesta a una señal ambiental. Es decir, la propiedad de un genotipo de producir más de un fenotipo cuando el organismo se halla en diferentes condiciones ambientales. Los cambios en los fenotipos dependen de factores como el pH del suelo, humedad, temperatura, fotoperiodo, estacionalidad, entre otros (Müller, 2007).

Además, el clima también tiene un efecto marcado en el tiempo que tarda el árbol desde la floración a la cosecha; en este sentido Bárcenas (2002), en México, encontró que este período fue de 8 meses en ambientes cálidos (1.400 a 1.600 msnm), mientras que en ambientes más fríos (2.000 a 2.500 msnm), fue mucho mayor, tardando alrededor de 12 a 14 meses; situación similar fue encontrada en este estudio y ya fue mencionda anterirormente en otro capitulo. En el Anexo 1, se puede observar un estudio detallado de las prinicipales caracteristicas del fruto procedente de siete localidades plantadas con aguacate cv. Hass en Antioquia.

5.4.3 Calidad del fruto por categorías

No solo los tamaños, pesos, producciones, rendimientos y porcentajes de cáscara, pulpa y semilla de los frutos fueron diferentes, de acuerdo con las localidades en evaluación, también el porcentaje de frutos obtenidos por categoría varió con la altura de los huertos y es así como para la cosecha de 2011, las localidades por encima de los 1.770 msnm presentaron más del 50 % de los frutos de categoría Extra, es decir con más de 180 g (Figura 5-7). Las localidades de Rionegro y Entrerríos, incluso presentaron más del 70 % de los frutos de esta categoría, lo cual representa una calidad excelente que en últimas representará mejores precios. Por el contrario, localidades como Támesis y Venecia PB, presentaron alrededor del 49,72 % y 39,07 %, de todos los frutos cosechados en las categorías Industrial y Descarte, respectivamente; allí solo un 19,32 y un 21,70 % de los frutos obtenidos son de calidad Extra, respectivamente, muy inferior a los cosechados en las localidades situadas a mayor altura (Figura 5-5).

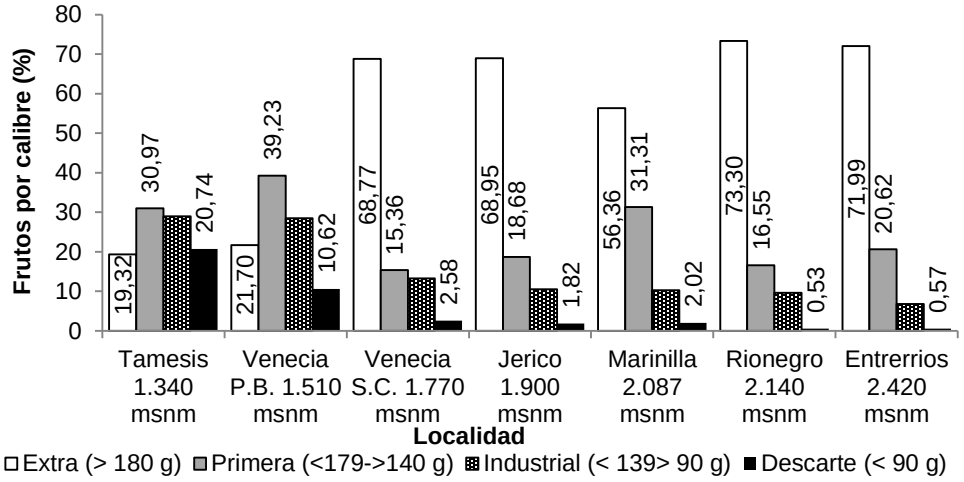


Figura 5-7. Porcentaje de frutos obtenidos por calibre (según normas de exportación), en aguacate cv. Hass, procedentes de siete ambientes del departamento de Antioquia (2011).

Para la cosecha de 2012, la tendencia fue similar aunque en Venecia SC ubicada a 1.770 msnm, bajó considerablemente el porcentaje de frutos de calidad Extra, pasando de un 69,67 % a un 43,71 %, aunque el porcentaje de los frutos de calidad Primera e Industrial fue de un 32,01 % y 20,05 %, respectivamente; mucho mayor que el obtenido en 2011 de un 15,36 % y 13,30 %, respectivamente; es decir que la calidad Extra se desplazó hacia la calidad Primera e Industrial (Figura 5-8). En Jericó y Rionegro, aumentó el porcentaje de fruto de calidad Extra, pasando de un 69 % en Jericó y de un 57 % en Rionegro, a un 78 % en la primera localidad y a un 86 % en la segunda. Contrariamente, en Marinilla y Entrerríos, los porcentajes de calidad Extra bajaron, siendo en 2011 del 74 % para Marinilla y del 77,25 % para Entrerríos, obteniéndose en 2012 porcentajes de 63 y 67 %, respetivamente. Estas fluctuaciones pueden explicarse por la alternancia, pues cuando se obtienen menores producciones o menor número de frutos, éstos son de mayor tamaño y por el contrario, a mayor número de frutos, significa un menor calibre de los mismos (Figuras 4-7 y 4-8).

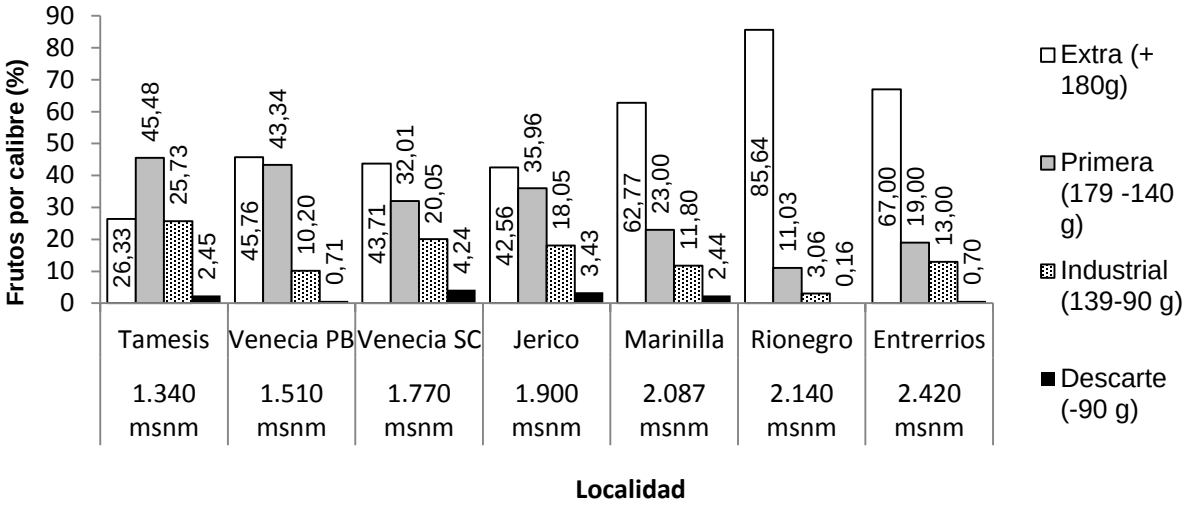


Figura 5-8. Porcentaje de frutos obtenidos por calibre (según normas de exportación), en aguacate cv. Hass, procedentes de siete ambientes del departamento de Antioquia (2012).

En el consolidado en dos años de evaluación (211-2012), los cuales se consignan en la Figura 5-7, se observa como las localidades por encima de los 1.700 msnm, mostraron que más del 55 % de la cosecha era fruto de calidad Extra, siendo Rionegro la que mejor calidad de fruto arrojó, con un 79,40 % en esta categoría, seguido por Entrerríos con un 69,50 %, Marinilla con un 59,56 %, Venecia SC con un 56,24 %, Jericó con 55,75 % y con los más bajos valores, Venecia PB con un 33,73 % de fruto en calidad Extra y finalmente, Támesis con tan solo un 22,83 %.

De acuerdo con la regresión simple mostrada en la Figura 5-9, se presentó una asociación inversa y significativa (β= -6,6252; P= 0,0342; R^2= 62,53 %), entre el porcentaje de frutos de calidad Extra y la temperatura promedio. Los frutos procedentes de ambientes más frescos (localidades a mayor altura), presentaron el mayor porcentaje de frutos de categoría Extra, en dos años de cosecha (2011-2012). Es decir a medida que aumentó temperatura promedio, se disminuyó el porcentaje de frutos de calidad Extra. Para los otros calibres (Primera, Industrial y Descarte), se presentó una asociación directa y significativa (β= 6,66408; P= 0,0335; R^2= 62,85 %), obervándose un comportamiento contario, tal como se relaciona en la regresión simple de la Figura 5-10. Una vez más se observa como las condiciones climáticas de los huertos donde se encontraba plantado el aguacate cv. Hass, influyó sobre la calidad del fruto.

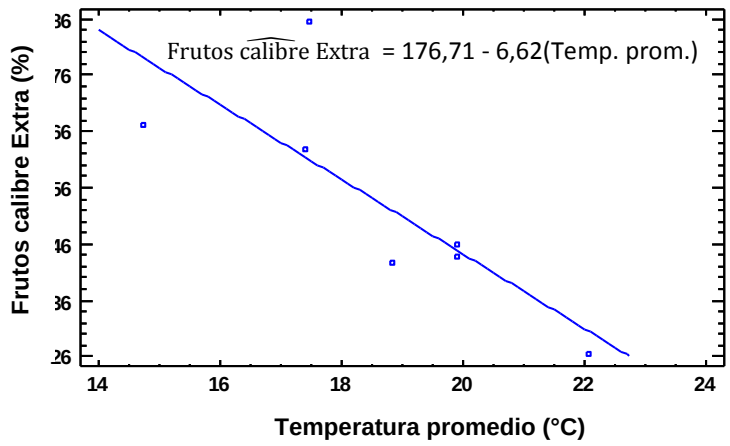


Figura 5-9. Modelo ajustado para frutos de calidad Extra en función de la temperatura promedio ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia.

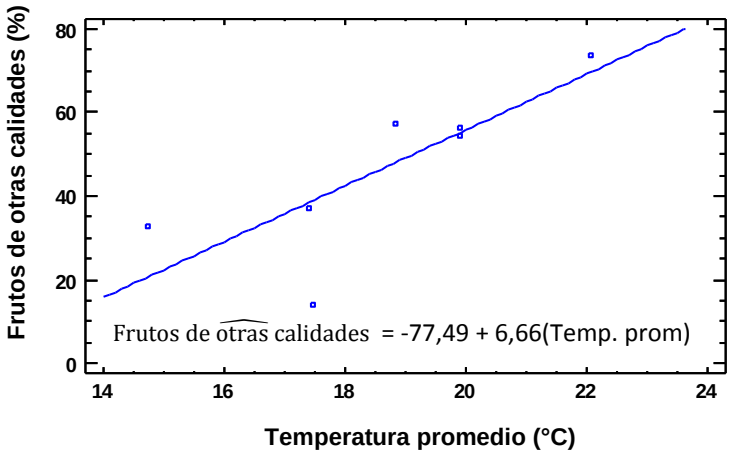


Figura 5-10. Modelo ajustado para frutos de otras calidades (Primera, Industrial y Descarte) en función de la temperatura promedio ambiental, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en cuatro localidades del departamento de Antioquia.

Es intresante mencionar que en la localidades ubicadas por encima de los 1.770 msnm, el porcentaje de descarte fue inferior al 3,5 %, mientras en las ubicadas por debajo de este rango los porcentajes fueron de 5,66 % en Venecia PB y 11,59 % en Támesis. Si se suman los procentajes de fruto de Descarte e Industrial, Támesis presentó un 38 % del fruto en estas dos categorías, lo cual significa que de toda la producción, solamente un 62 % pudo ser comercializada como fruto fresco, lo cual es sumamente desventajoso para los ingresos del productor. Venecia PB, presentó casi un 25 % del fruto entre Industrial y Descarte, mientras que en Venecia SC, este porcentaje fue del 20 %. De ahí hacia arriba estos porcentajes fueron disminuyendo, siendo en Jericó del 16,93 %, en Marinilla de 13,28 %, Entrerríos del 10,54 % y con apenas un 6,69 %, en Rionegro. Este último, presentó un 93,26 % de fruto, entre las calidades Extra y Primera, lo cual significa un buen ingreso para el agricultor en esta localidad (Figura 5-11), cumpliendo no solo con la necesidades del mercado nacional, sino tambien internacional.

Se debe considerar que el mercado del aguacate, permite fruto de todos los calibres, sin embargo a mayor calidad mejores precios. Por ejemplo, Terravocado (2015), en Colombia, en febrero de ese año, ofrecía al productor los siguientes precios para aguacate cv. Hass: JUMBO (más de 250 g), entre $ 1.100 y $ 1.400 (US $ 0,44 a US $ 0,56); EXTRA(entre 180 g y 249 g), de $ 900 y $ 1.100 (US $ 0,36 a US $ 0,44), PRIMERA (entre 130 g y 179 g), de $ 700 y $ 900 (US $ 0,28 a US $ 0,44); INDUSTRIAL (entre 80 g y 129 g), de $ 300 y $ 600 (US $ 0,12 a US $ 0,28); DESCARTE (fruto con daños superficiales que no afecten el buen desarrollo de la pulpa al madurar, mayor a 80 g), entre $ 300 y $ 600 (US $ 0,12 a US $ 0,28); FRUTO MALO (fruto con plagas, hongos o cortes que afecten la pulpa o inferior a 80 g) no se recibe ($ 0).

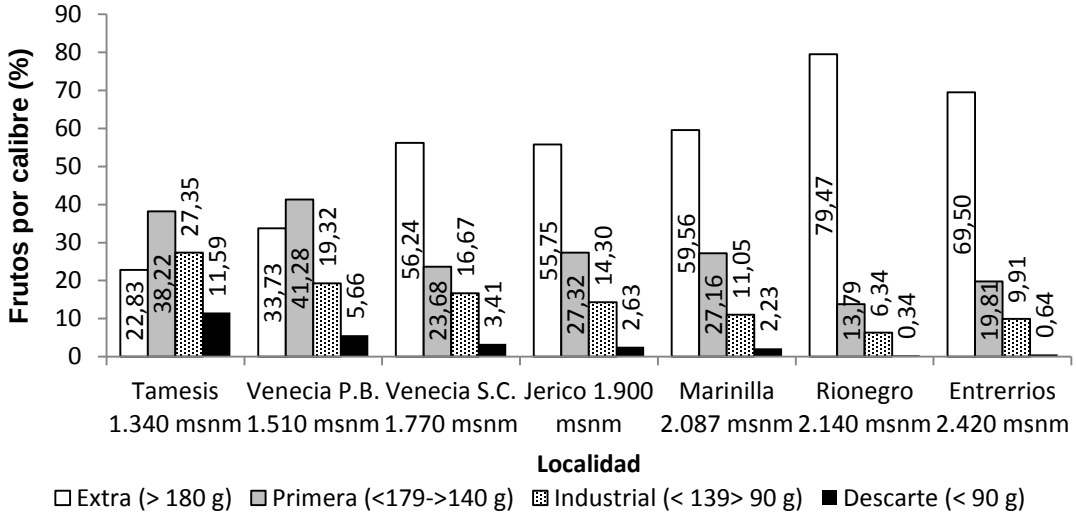


Figura 5-11. Porcentaje de frutos obtenidos por calibre (según normas de exportación), en aguacate cv. Hass, procedentes de siete ambientes del departamento de Antioquia (2011-2012).

5.4.4 Analisis de la calidad inicial

En la Tabla 5-4, se consignan los valores promedios de materia seca (MS), obtenidos en cada localidad (2011), en la cual se puede observar que en ninguna de los huertos, se logró el porcentaje mínimo establecido para cosechar frutos con madurez fisiológica (21 %). El porcentaje de MS obtenido en este estudio, fluctuó desde el 21,98 en Marinilla, hasta un 30,11 % en Entrerríos. Según Waissbluth y Valenzuela (2007), en Chile para aguacate cv. Hass, para que un fruto pueda ser cosechado comercialmente, debe de tener un mínimo del 23 % de MS; sin embargo, este índice de cosecha varía de acuerdo al país. Australia exige un 21 % (Brown, 1984), Estados Unidos 21,6 % (Ranney, 1991) y 21,8 % (Lee *et al.,*1983), Sudáfrica 23 % (Milne, 1994) y México 22 % (Sánchez, 1993). Para Colombia aún no se ha definido el valor mínimo de MS para cosecha en este cultivar. El porcentaje de MS en aguacate es de gran importancia ya que es un indicador del índice de madurez fisiológica de los frutos. Se ha encontrado que aquellos frutos cosechados sin su madurez completa en el árbol, presentan una maduración irregular en poscosecha, con sabores desagradables y desórdenes fisiológicos, siendo posteriormente frutos de mala calidad en el mercado (Ochoa, 2009; Olaeta *et al*., 2007). Esto no significa que en estas localidades no se alcance este índice de madurez, solamente que debido a la dificultad de reconocer visualmente en campo este estado de madurez en el fruto, añadido al hecho de que en el árbol se encuentran frutos con varios estados de desarrollo, muchas veces es difícil alcanzar este promedio en cosecha muestreada. Además depende del criterio del cosechador. El índice de

MS mínimo para cosechar también depende del mercado al que se destinan los frutos; si el destino es un mercado cercano, entonces los frutos se pueden recolectar con un índice de MS más elevado o sea más maduros, sin embargo si el destino es la exportación, el índice de MS debe ser más bajo, para que los frutos permanezcan un mayor período de tiempo.

Tabla 5-4. Características de peso, humedad y materia seca de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2011).

Localidad	Altura (msnm)	Peso fruto (g)	Humedad (%)	MS Inicial (%)	MS Final (%)
Támesis	1.340	156,11	76,19	21,88	35,15
Venecia PB	1.510	156,20	75,95	23,81	36,78
Venecia SC	1.770	190,49	74,02	25,98	35,93
Jericó	1.900	182,09	74,67	30,11	35,99
Marinilla	2.087	189,55	78,12	25,33	31,85
Rionegro	2.140	215,18	76,45	24,05	29,48
Entrerríos	2.420	193,05	69,89	23,55	28,4

5.4.5 Calidad comercial del fruto

Junto con las muestras cosechadas para la caracterización de la calidad inicial de cada huerto, se cosecharon frutos para dejar madurar a temperatura ambiente y evaluar la pérdida de peso diaria, tiempo de maduración y calidad sensorial. En la Tabla 5-5, se muestran los valores promedios, para cada uno de los parámetros evaluados, en los frutos destinados a análisis sensorial en los seis huertos, en las dos primeras cosechas.

Tabla 5-5. Caracterización inicial de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis ambientes del departamento de Antioquia (2011).

Localidad*	Altura (msnm)	Peso Fresco (g)	DL (cm)	DE (cm)
Támesis	1.340	126,6	71,2	58,6
Venecia PB	1.510	185,9	87,1	65,0
Venecia SC	1.770	193,8	85,5	66,9
Jericó	1.900	210,4	89,1	68,5
Rionegro	2.140	219,5	93,8	69,1
Entrerríos	2.240	239,7	92,7	71,4

*No se evaluó Marinilla por no poseer fruto en la fecha de evaluación.

Tal como lo observado en la Tabla 5-4, también aquí, en los huertos localizadas a mayor altitud se encontró fruto de mayor peso y diámetro (Entrerríos, seguida de Rionegro y Jericó) y, en las de menor altitud (Támesis), se registró el fruto de menor peso y diámetro. Para este fruto el contenido de humedad y materia seca solo se pudo realizar al final, en el momento del análisis sensorial cuando los frutos ya estaban listos para consumo, debido a que estos análisis son destructivos. En la Tabla 5-6, se exponen los valores promedio para los porcentajes de humedad y materia seca encontrados en los frutos empleados para análisis sensorial después de maduración. También aquí las diferencias en porcentaje de materia seca (% MS) entre huertos se deben a diferencias en el muestreo y no a diferencias entre contenidos atribuidos a las localidades.

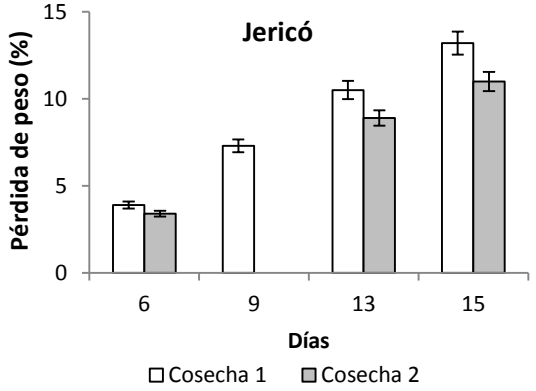
Tabla 5-6. Contenido de humedad y materia seca final en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis ambientes del departamento de Antioquia (2011)

Localidad*	Altura (msnm)	Humedad Final (%)	MS Final (%)
Támesis	1.340	70,0	30,0
Venecia Piedras Blancas	1.510	78,0	22,0
Venecia Santa Cruz	1.770	75,4	24,6
Jericó	1.900	71,3	28,7
Rionegro	2.140	71,8	28,2
Entrerríos	2.240	69,6	30,4

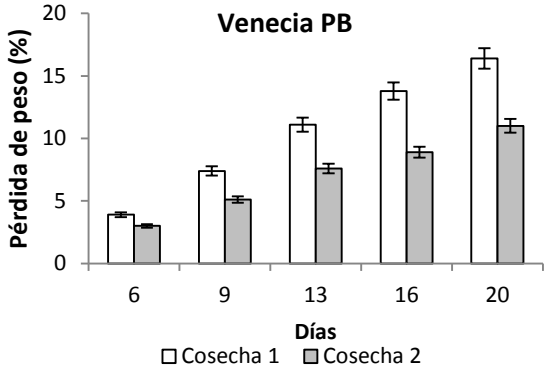
*No se evaluó Marinilla por no poseer fruto en la fecha de evaluación.

5.4.6 Pérdida de peso (PP)

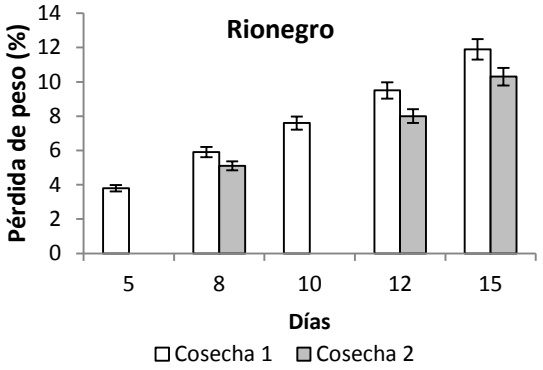
La pérdida de peso (Figura 5-12) en los frutos cosechados en todas las localidades, presentó una tendencia ascendente a través del tiempo. Comparando frutos en un mismo día de análisis (día 13), se observa que no se registraron diferencias relevantes entre localidades en PP, excepto para los frutos procedentes de Támesis, donde se alcanzó un promedio de 15,8 % de PP entre cosechas, para ese día. De acuerdo con la Figura 5-12, para mayores contenidos de materia seca, la pérdida de peso es relativamente menor, siendo de destacar el caso de Venecia PB, donde los frutos con un % MS inferior al 21 % tuvieron un % PP del 16,4 en 20 días, mientras que los frutos con % MS inicial del 22,8 % apenas alcanzaron un 11,0 % de PP en el mismo día. Esto parece indicar que la condición de maduración fisiológica es importante para la pérdida de peso durante el proceso de maduración, lo cual coincide con la investigación de Vakis *et al.* (1985), quienes afirman que en los frutos inmaduros se presenta un porcentaje de pérdida de peso mayor. Con respecto al efecto de la época de cosecha sobre este parámetro, se pudo observar que en Jericó donde el estado de madurez inicial de los frutos fue el mismo (MS 26,85 %), los frutos cosechados en agosto presentaron menor PP que los cosechados en junio. Sin embargo, se requieren más estudios para llegar a conclusiones contundentes. Igualmente, hay que tener en cuenta que este parámetro se puede manipular a través del uso de frigoconservación y de atmósferas modificadas.

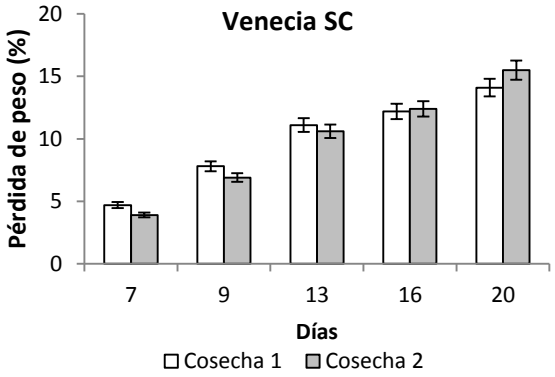


Cosecha 1 (22/06/2011): MS inicial= 26,8 %
Cosecha 2 (06/08/2011): MS inicial= 26,9 %



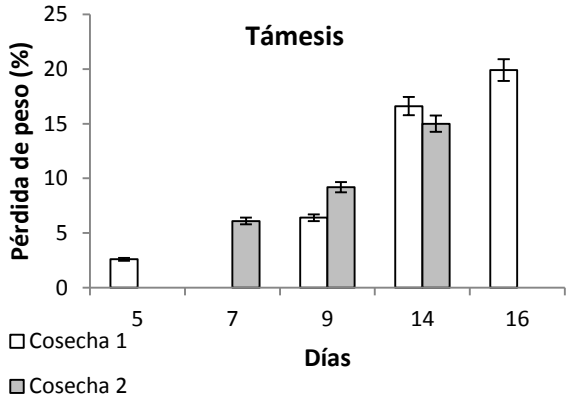
Cosecha 1 (23/07/2011): MS inicial= 19,0 %
Cosecha 2 (16/08/2011): MS inicial= 22,8 %

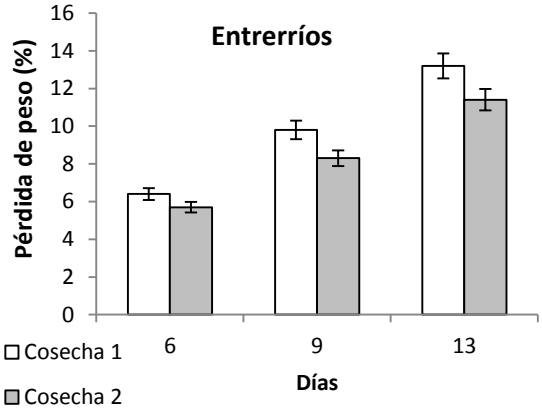




Cosecha 1 (25/06/2011): MS inicial= 26,5 %
Cosecha 2 (29/09/2011): MS inicial= 28,3 %

Cosecha 1 (29/06/2011): MS inicial = 28,2 %
Cosecha 2 (17/08/2011): MS inicial = 19,8 %





Cosecha 1 (11/07/2011): MS inicial = 25,6 %
Cosecha 2 (23/08/2011): MS inicial = 30,2 %

Cosecha 1 (07/07/2011): MS inicial = 22,3 %
Cosecha 2 (28/07/2011): MS inicial = 30,7 %

Figura 5-7. Pérdida de peso del fruto en poscosecha de aguacate cv. Hass, procedente de seis localidades del departamento de Antioquia (2011).

5.4.7 Tiempo de maduración

Con los frutos muestreados para análisis sensorial se calculó el tiempo necesario para alcanzar la madurez comercial a temperatura ambiente (23 °C) en el C.I. La Selva en Rionegro (Antioquia). Las diferencias presentadas entre cosechas se debieron al índice de madurez inicial de los frutos, así que se calculó el promedio para cada huerto. En la Tabla 5-8, se muestra el tiempo promedio de maduración para cada huerto y los respectivos valores de MS, a cosecha (inicial) y después de maduración (final). En ésta se observa que en general, el fruto con un % MS inicial más elevado tarda menos tiempo en madurar y que este parámetro aumenta durante el periodo de maduración. Este es un detalle a tener en cuenta a la hora de comercializar, considerando el mercado destino (tiempos de transporte), especialmente en el caso de exportación.Todos los huertos registraron valores superiores al 21 % MS, excepto la segunda cosecha de VeneciaSC y la primera cosecha de Venecia Piedras Blancas, presentando un valor de MS inferior del 21 %. De acuerdo con estos resultados se puede apreciar que los frutos no desarrollaron su madurez fisiológica ya que no hubo cambios significativos en el porcentaje de materia seca final (19,0 a 20,5 % en Venecia PB y 19,8 a 20,7 % en Venecia SC).

Tabla 5-7. Tiempo promedio de maduración de los frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis ambientes del departamento de Antioquia (2011).

Finca	Altura (msnm)	Días de Maduración	MS Inicial (%)	MS Final (%)
Támesis	1.340	15,5	26,9	28,7
Venecia PB	1.510	20,5	20,9	22,0
Venecia SC	1.770	15,0	27,4	28,2
Jericó	1.900	20,0	24,0	24,6
Rionegro	2.140	15,0	27,9	30,0
Entrerríos	2.240	12,5	26,5	30,5

Para la cosecha del aguacate se utilizan varios criterios indicadores para definir el momento de corte, entre ellos: el tamaño y forma de los frutos, el color interno de la pulpa, el desarrollo de la zona de abscisión, los días transcurridos después del amarre del fruto y otros que se basan en mediciones objetivas como la firmeza de la pulpa, el contenido de aceite y la tasa de respiración del fruto (Cerdas *et al*., 2006).

El contenido de grasa es un criterio de madurez confiable pero es difícil de determinar; sin embargo, existe un alto grado de correlación entre el contenido de grasa y el de materia seca en el aguacate, y este último se determina por un método simple, barato y rápido con un horno para secar. Lo anterior ha permitido que en California y en la mayoría de las áreas productoras de aguacate de otros países, se utilice el contenido de materia seca como índice de madurez para definir el momento de cosecha, el cual debe alcanzar de 19 a 25 %, dependiendo del cultivar (PROEXANT, 2002; Kader, 2002).

Si se considera un mercado de exportación y, si el fruto es cosechado con un alto % MS (superior al 28 %), éste llegaría a su destino con un contenido de MS aún más elevado y consecuentemente con altos contenidos de aceite. Lo anterior pone de relieve que los contenidos de aceite no son debidos a la característica intrínseca del fruto, sino a los altos porcentajes de materia seca con que es cosechado.

De tal forma que si ese mismo fruto es cosechado con % MS entre 21 y 23 % (como se exige en la mayoría de los países exportadores), obviamente el contenido de aceite va a ser inferior. Por lo anterior, es pertinente seguir haciendo evaluaciones en el país para determinar si realmente el aguacate cv. Hass producido en Colombia tiene un contenido de aceite superior al reportado en otros países.

De recalcar que los frutos del huerto de Entrerríos solo tardan 12,5 días en madurar con un % MS inicial de 26,5, mientras que los frutos de los huertos de Jericó, Rionegro y Támesis, con un % MS inicial similar tardaron alrededor de 15 días. Según Waissbluth y Valenzuela (2007), la maduración del aguacate cv. Hass está directamente relacionada con la altura en que están ubicadas las plantaciones. Sin embargo, hay que tener en cuenta que este parámetro se puede manipular a través del uso de frigoconservación y atmósferas modificadas. A medida que el fruto crece hay un aumento en la cantidad de aceite y una disminución en la humedad (López-López y Cajuste-Bontemps, 1999).

5.4.8 Análisis sensorial

Los frutos cosechados para análisis sensorial, fueron probados cuando alcanzaron la madurez comercial, por un panel no entrenado de 5 catadores. En los resultados obtenidos, se observa que hubo una mayor aceptación tanto en la apariencia de la pulpa como en la aceptación del sabor del fruto cosechado en los huertos de Entrerríos, Venecia SC y Rionegro (Figura 5-13). En cuanto a la apariencia del fruto, Jericó fue la localidad mejor calificada y los frutos de Támesis fueron los que peor apariencia exterior mostraron, pero con una aceptación agradable de sabor y pulpa. Los frutos del huerto de Venecia Piedras Blancas aunque obtuvieron una buena apariencia externa fueron los peor calificados en sabor y pulpa.

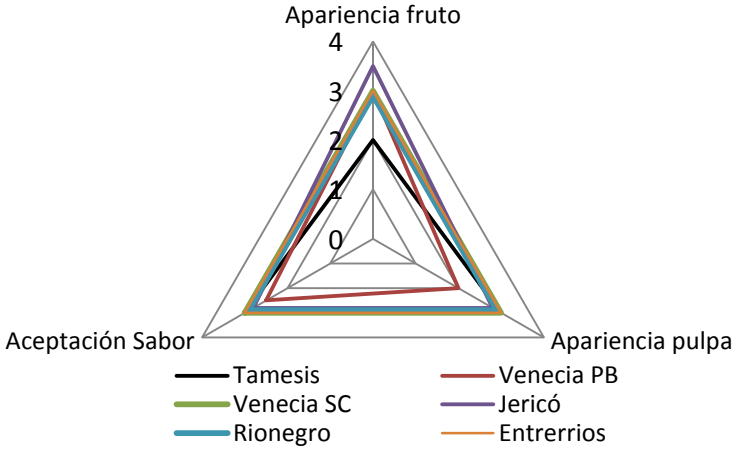


Figura 5-13. Análisis sensorial para los tres descriptores de aceptación general de los frutos de aguacate cv. Hass, cosechados en seis ambientes del departamento de Antioquia (2011). Para cada descriptor se usó una escala de 1 a 4 (1. Desagradable; 2. Indiferente; 3. Agradable; 4. Muy agradable).

En la Figura 5-14, se muestra la aceptación general de los frutos expresada como el porcentaje de catadores para cada categoría. Los frutos con mejor aceptación general, fueron los de Entrerríos y Rionegro, registrando una calificación de 28,6 % en la escala de aceptación de “muy agradable” y 71,3 % en “agradable”, que corresponden a huertos por encima de los 2.000 msnm, mientras que los frutos de Támesis tuvieron una menor aceptación general, ya que el 62,5 % de los catadores calificaron el fruto como “Indiferente”, huerto ubicado a 1.340 msnm. Lo anterior muestra que, como se ha mencionado anteriormente, el factor climático para este cultivar, influye tanto en la productividad, como en la calidad del fruto obtenido. Ninguna localidad presentó aceptación desagradable.

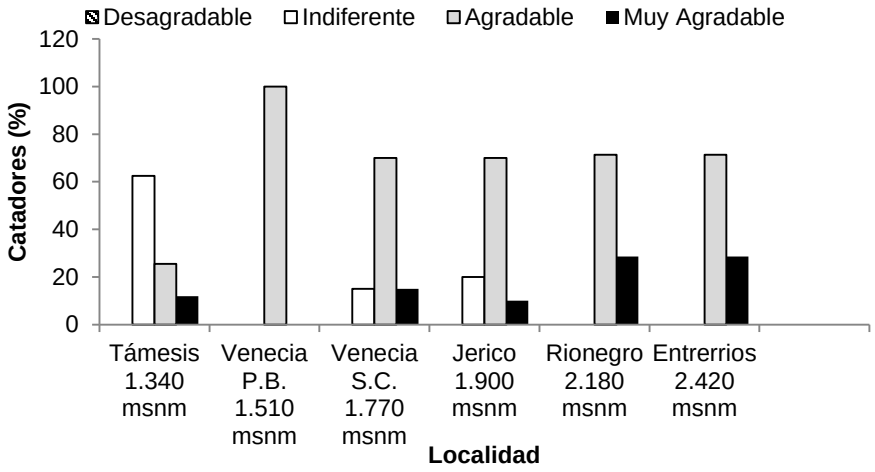


Figura 5-14. Aceptación general de frutos de aguacate cv. Hass, cosechados en seis ambientes del departamento de Antioquia (2011).

5.5 Conclusiones

El comportamiento del aguacate cv. Hass, híbrido de guatemalteco x mexicano, en condiciones del trópico andino colombiano, guarda una fuerte correlación con su origen evolutivo, por lo que la mayor respuesta en calidad de fruto cosechado (peso del fruto, % de pulpa, % de semilla, % de cáscara y aceptación por análisis sensorial), se presentó en ambientes de menor temperatura en las zonas altas tropicales y contrariamente, las más bajas calidades se encontraron en los ambientes de mayor temperatura en las zonas medias tropicales.

El peso promedio de los frutos, obtenidos en dos años de evaluación (2011, 2012), en las localidades por encima de los 2.000 msnm, fue superior a los 190 g, catalogado dentro de este estudio, como de categoría Extra (mayor de 180 g). Jericó ubicado a 1.900 msnm, mostró frutos con un peso cercano a este valor (179,12), pero se ubicó dentro de la categoría de Primera (mayor de 140 y menor de 180 g), al igual que los ambientes por debajo de los 1.700 msnm, Venecia PB (160,65 g), Venecia SC (158,95 g) y Támesis (143,09 g), pero con valores promedio muy inferiores a Jericó.

En los ambientes ubicados por encima de los 1.770 msnm, el porcentaje de pulpa, fluctuó entre 64 a 70 %, mientras que en los ambientes por debajo de esta altitud, se presentaron porcentajes de pulpa más bajos, aproximadamente 63 %. Los porcentajes de semilla y cáscara, fueron mayores en los ambientes donde el porcentaje de pulpa fue menor y viceversa. Esta característica también demuestra que no solamente se obtienen frutos de menor tamaño en ambientes por debajo de los 1.770 msnm, sino que también la calidad interna de éstos disminuye, pues presentan menores contenidos de pulpa aprovechable, tanto para consumo en fresco, como para la agroindustria.

La altitud influyó en la calidad del fruto, favoreciendo la mayor acumulación de materia seca en aquellos cosechados por encima de los 1.700 msnm, atributo que permite que un alto porcentaje de la producción se incluya en la categoría Extra.

Fue consistente en los frutos cosechados en todas las localidades, que a mayor contenido de materia seca, era menor el tiempo de maduración y la pérdida de peso.

Los frutos de las localidades con mejor calificación sensorial procedián de Rionegro y Entrerríos, que corresponden a ambientes más fríos y contrariamente los peor calificados fueron de la localidad más baja (Támesis).

5.6 Literatura citada

A.O.A.C. 1980. Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemist. 13th Ed. William Morwits Editor. Washington. D.C. 1.018 p.

Aproare-SAT. 2009. Línea base o diagnóstico de campo. Informativo El Aguacate 2(1):5-7.

Arpaia, M.L. 1994. Preharvest factors influencing postharvest quality of tropical and subtropical fruit. HortScience 29: 982-985.

Arpaia, M.L.; Van Rooyen, Z.; Bower, J.P.; Hofman, P.J. y Woolf, A.B. 2004. Las prácticas culturales influyen sobre la calidad del fruto en post cosecha. Seminario Internacional de Palto. Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile. 10 p.

Avilán R., L. y Rodríguez, M. 1997. Descripción y evaluación de la colección de aguacates (*Persea* spp.) del CENIAP. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias; Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias; IICA/CReA/PROCIANDINO/FRUTEX. 92 p.

Báez, A.J.M. 2005. Caracterización del ciclo de maduración de la fruta de aguacate por ambiente altitudinal en Michoacán. Tesis profesional. Facultad de Agrobiología“Pdte. Juárez”. UMSNH. Uruapan, Michoacán, México. 34 p.

Bárcenas O., A.E. 2002. Botánica y ecología del aguacate cv. Hass en Michoacán. En: El Cultivo del Aguacate en México. Universidad Michoacána de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". Volumen 1. 40 p.

Bergh, B.O. 1984. Avocado varieties for California. California Avocado Society Yearbook 68: 75-93.

Bergh, B.O.; Scora, R.W. and Storey, W. B. 1973. A comparition of leaf terpenes in *Persea* subgenus *Persea*. Bot. Gazette. 134: 130-134.

Bergh, B.O.; Kumamoto, J. and Chen, P. 1989. Determining maturity in whole avocados. Calif. Avocado Soc. Yearbook. 73: 173-176.

Brown, B.I. 1984. Market maturity indices and sensory properties of avocados grown in Queensland. Food Technology in Australia 37: 474–476.

Camacho, S. y Ríos, D. 1972. Factores de calidad de algunas frutas cultivadas en Colombia. Revista ICA 7(1): 11-32.

Cerdas, M.; Calderón, M. y Díaz, E. 2006. Manual de Manejo Pre y Poscosecha de Aguacate (*Persea americana*). MAG. San José, Costa Rica. 95p.

Galán-Sauco, V. 1990. Aguacate. En: Los frutales tropicales en los subtrópicos. Aguacate, mango, litchi y longan. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 50- 53.

Gambetta, G.; Espino, M.; Pardo, E.; Alberti, V. y Gravina, A. 2005. Comportamiento fenológico y mejora del tamaño en mandarina Montenegrina. En: Memorias II Simposio Investigación y Desarrollo Tecnológico en Citrus. Montevideo, Uruguay. CD, Nº 21:4 p.

Hofman, P.J.; Fuchs, Y. y Milne, D.L. 2007. Cosecha, embalaje, tecnología de pos cosecha, transporte y procesamiento. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.) El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 331-364.

Holdridge, L.R. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. 149 p.

Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs 54(2): 187-211.

IPGRI. 1995. Descriptores para aguacate (*Persea* spp.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Roma, Italia. 54 p.

Izhaki, I.; Tsahar, E.; Paluy, O. and Friedman, J. 2002. Within population variation and interrelationships between morphology, nutritional content, and secondary compounds of *Rhamnus alaternus* fruits. New Phythol. 156(2): 217-223.

Kader, A.A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. 3th Ed. University of California, Agriculture and Natural Resources. Publication 3311, 535 p.

Kadman, A. and Ben-Ya'acov, A. 1976. Selection of avocado rootstocks for saline conditions. Acta Horticulturae 57: 189–197.

Kaiser, C. 1994. Evaluation of maturity standards in avocado fruit. Subtropica 15: 18–20.

Lahav, E. and Lavi, U. 2007. Genética y mejormiento clásico. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 39-69.

Lahav, E. and Whiley, A.W. 2007. Riego y nutrición mineral. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 241-274.

Lee, S. 1981. A review and background of the avocado maturity standard. California Avocado Society Yearbook. 65: 101-109**.**

Lee, S.K.; Young, R.E.; Schiffman, P.M. and Coggins, C.W. 1983. Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. Journal of the American Society of Horticultural Science 108 (3): 390–394.

López-López, L. y Cajuste-Bontemps, J. 1996. Tratamientos precosecha con fuentes de calcio sobre la capacidad de almacenamiento de frutos de aguacate Fuerte. En: Memoria Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. Coatepec de Harinas Estado de México. México. pp. 141-148.

Milne, D.L. 1994. Postharvest handling of avocado, mango and lychee for export from South Africa. In: Champ, B.R., Highley, E. and Johnson, G.I. (eds) Postharvest Handling of Tropical Fruits. ACIAR. Canberra. Proceedings 50: 73–89.

Morales P., E. y Urquizo P., C. 2008. Cadena productiva de palta. Servicios de Asesoría Empresarial. Curso: Gestión Empresarial para el Desarrollo Rural. PROSAAMER. 30 p. http://es.slideshare.net/quescagusto/cadena-de-palta; consultado abril de 2014

Müller, G. B. 2007. Evo-devo: extending the evolutionary synthesis. Nature reviews. Genetics 8(12): 943-9.

Newett, S.; Crane, J.H. y Balerdi, C.F. 2007. Cultivares y portainjertos. En Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 155-175.

Nieto, A.D.; Acosta R., M. y Téliz O., D. 2007. El manejo pos cosecha en aguacate. En: El aguacate y su manejo integrado. Téliz, D. y Mora, A. (eds.) 2a edición, Mundi-Prensa, México. pp. 209-219.

Ochoa, S. 2009. Calidad y manejo poscosecha del fruto de aguacate. Facultad de Agrobiología. Universidad Michoacána de San Nicolás de Hidalgo. México. III Congreso Latinoamericano del Aguacate. 2009. Colombia. 18 p.

Olaeta, J.A.; Undurraga, P. y Espinosa, G. 2007. Evolución del contenido de aceite y compuestos no saponificables en paltas (*Persea americana* Mill.) cvs. Hass, Fuerte e Isabel. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. En: Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. Viña del Mar, Chile.

Pigliucci, M.; Murren, C.J. and Schlichting, C D. 2006. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation. The Journal of Experimental Biology, 209 (Pt 12): 2362-7.

PROEXANT. 2002. Aguacate (Avocado): proyectos exitosos para el sector agropecuario. PROEXANT. Quito, Ecuador. 10. p.

Ranney, C. 1991. Relationship between physiological maturity and percent dry matter of avocados. California Avocado Society Yearbook 75: 71–85.

Rios-Castaño, D. y Tafur-Reyes, R. 2003. Variedades de aguacate para el tropico: Caso Colombia. Actas del V Congreso Mundial de Aguacate. Malaga, Espana. pp. 143-147.

Romojaro, F.; Martínez-Madrid, M.C. y Pretel, M.T. 2006. Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios. Dpto. Tecnología de Alimentos, CEBAS-CSIC, Murcia. Escuela Politécnica Superior (UMH)-Orihuela, Alicante. pp. 91-96.

Salazar-García, S. and Lazcano-Ferrat, I. 2001. Identifying fruit mineral removal, differences in four avocado cultivars. Better Crops International 15(1): 28-31.

Sánchez, P.J. de la L. 1993. Índices de madurez en aguacate: Muestreo de frutos en campo y determinación de materia seca. SARH. INIFAP. CIRPAC. Folleto para Productores No. 20. Uruapan, Michoacán, México. 12 p.

Scora, R.W. and Bergh, B. 1990. The origins and taxonomy of avocado (*Persea americana* Mill.) Lauraceae. Acta Horticulturae 275: 387-394.

Serpa, D. 1968. Avocado culture en Venezuela. Avocado Yearbook. p. 153-168.

Storey, W.B. 1973. What kind of fruit is the avocado?. California Avocado Society 1973–74. Yearbook 57: 70–71.

Swarts, D.H. 1978. The no-nonsense determination of oil content for avocados. Citrus and Subtropical Fruit Research Institute Information Bulletin 42: 4.

Tapia-Vargas, L.M.; Vidales-Fernández, I. y Larios-Guzmán, A. 2007. Manejo del riego y el fertirriego en aguacate. En: El Aguacate y su Manejo Integrado. Téliz, D. (ed.). Ediciones Mundi-Prensa. México D. F., México. pp. 107-122.

Terravocado. 2015. Oferta de precio y compra. https://mail.google.com/mail/u/0/#search/terravocado/14bdf43f589fa8e6; consultado febrero de 2015.

Vakis, N.J.; Gregorion, C. and Pandemetrion, L. 1985. Maturity and picking data of avocado under Cyprus conditions. Calif. Avocado Society Yearbook 69: 81-87.

Waissbluth, R. y Valenzuela, J. 2007. Determinación del porcentaje mínimo de materia seca para autorizar la cosecha de paltas cv. Hass para ser exportadas. En: Proceedings VI World Avocado Congress. Viña del Mar, Chile. p. 12–16.

Whiley, A.W. 2007. Manejo del cultivo. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. p. 215-240.

Whitman, D.W. and Agrawal, A.A. 2009. What is Phenotypic Plasticity and Why is it Important? In: Phenotypic Plasticity of Insects: Mechanisms and Consequences. Ed. Whitman, D.W. y T.N. Ananthakrishnan. Science Publishers. pp. 1-63.

Wolstenholme, B.N. 2007. Ecología: El clima y el ambiente edáfico. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. p. 75-101.

Yahia, E.M. 2001. Manejo poscosecha del aguacate. En: Memorias del 1er Congreso Mexicano y Latinoamericano del Aguacate. Uruapan. Michoacán, México. pp. 295-304.

Anexo 1. Fichas técnicas de caracterización de fruto de aguacate cv. Hass, procedente de siete localidades de departamento de Antioquia.

No. Muestra: ANT01 **Propietario:** Rafael Moreno
Departamento: ANTIOQUIA **Municipio:** VENECIA **Vereda:** La Arabia
Finca: PIEDRAS BLANCAS **Altura (msnm):** 1.510
Latitud **Longitud**

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Forma del fruto: Obovado angosto	**Lenticelas corchosas:** Presentes
Base del fruto: Hundida	**Tamaño de las lenticelas:** Pequeñas
Forma del ápice de fruto: Redondeado	**Posición del ápice del fruto:** Asimétrico
Posición del pedicelo: Asimétrico	**Forma del pedicelo:** Redondeado
Densidad de las lenticelas: Númerosas	

CARACTERISTICAS FÍSICAS

Pérdida de peso hasta punto de consumo (%): 9,324

FRUTO VERDE	FRUTO MADURO
Largo del fruto (mm): 89,654	**Largo del fruto (mm):** 88,726
Ancho del fruto (mm): 62,119	**Ancho del fruto (mm):** 60,522
Relación largo-ancho de fruto: 1,443	**Relación largo-ancho de fruto:** 1,462
Peso del fruto (g): 176,320	**Peso del fruto (g):** 154,828
Cáscara (%): 2,,259	**Cáscara (%):** 17,840
Pulpa (%): 65,257	**Pulpa (%):** 67,085
Semilla (%): 10,229	**Semilla (%):** 12,751
Materia seca (%): 23,811	**Materia seca (%):** 36,785
Aceite (b.h.) (%): 22,088	**Aceite (b.h.) (%):**

	FRUTO VERDE		FRUTO MADURO
CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Moderada	CÁSCARA	**Brillantes de la cáscara:** Escasa
	Textura de la cáscara: Rugosa		**Textura de la cáscara:** Rugosa
	Grosor cáscara (mm):1,270		**Grosor cáscara (mm):** 1,090
	Flexibilidad de la cáscara: Quebradiza		**Flexibilidad de la cáscara:** Flexible
	Adherencia de la cáscara: Fuerte		**Adherencia de la cáscara:** Ligera
	Color cáscara del fruto:		**Color cáscara del fruto:**
PULPA	**Textura de la pulpa:** Pastosa	PULPA	**Textura de la pulpa:** Cremosa
	Dulzura de la pulpa: Ligeramente dulce		**Dulzura de la pulpa:** Moderadamente dulce
	Amargura de la pulpa: Amarga		**Amargura de la pulpa:** Ligeramente amarga
	Fibra de la pulpa: Poca		**Fibra de la pulpa:** Moderada
	Color pulpa cercana a la cáscara:		**Color pulpa cercana a la cáscara:**
	Color pulpa cercana a la semilla:		**Color pulpa cercana a la semilla:**
SEMILLA	**Forma de la semilla:** Ovada ancha	SEMILLA	**Forma de la semilla:** Esferoide
	Peso de la semilla (g): 17,964		**Peso de la semilla (g):** 18,828
	Longitud de la semilla (mm): 35,468		**Longitud de la semilla (mm):** 36,039
	Ancho de la semilla (mm): 29,036		**Ancho de la semilla (mm):** 26,972
	Cubierta de la semilla: Semilla adherida, cubierta adherida a la pulpa		**Cubierta de la semilla:** Semilla adherida, cubierta adherida a la pulpa
	Posición de la semilla: Central		**Posición de la semilla:** Central
	Espacio cavidad de semilla: Ninguno		**Espacio cavidad de semilla:** Ninguno
	Superficie del cotiledón: Lisa		**Superficie del cotiledón:** Lisa
	Color del cotiledón:		**Color del cotiledón:**

No. Muestra: ANT02 **Propietario:** Ricardo Uribe
Departamento: ANTIOQUIA **Municipio:** RIONEGRO **Vereda:** Varahonda
Finca: LA ESCONDIDA **Altura (msnm):** 2.147
Latitud: 06° 06' 07.2'' **Longitud: 75° 26' 33.4''**

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Forma del fruto: Obovado angosto	**Lenticelas corchosas:** Presentes
Base del fruto: Hundida	**Tamaño de las lenticelas:** Pequeñas
Forma del ápice de fruto: Aplanado	**Posición del ápice del fruto:** Asimétrico
Posición del pedicelo: Asimétrico	**Forma del pedicelo:** Aplanado
Densidad de las lenticelas: Númerosas	

CARACTERISTICAS FISICAS

Pérdida de peso hasta punto de consumo (%): 15,038

FRUTO VERDE	FRUTO MADURO
Largo del fruto (mm): 95,463	**Largo del fruto (mm):** 91,744
Ancho del fruto (mm): 68,730	**Ancho del fruto (mm):** 65,384
Relación largo-ancho de fruto: 1,389	**Relación largo-ancho de fruto:** 1,404
Peso del fruto (g): 221,328	**Peso del fruto (g):** 197,472
Cáscara (%): 13,668	**Cáscara (%):** 12,070
Pulpa (%): 67,565	**Pulpa (%):** 69,073
Semilla (%):17,011	**Semilla (%):** 15,717
Materia seca (%): 24,056	**Materia seca (%):** 19,486
Aceite (b.h.) (%): 28,855	**Aceite (b.h.) (%):**

	FRUTO VERDE	FRUTO MADURO
CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Notable	**Brillo de la cáscara:** Escaso
	Superficie de la cáscara: Intermedia	**Superficie de la cáscara:** Rugosa
	Grosor cáscara (mm): 1,220	**Grosor cáscara (mm):** 0,658
	Flexibilidad de la cáscara: Quebradiza	**Flexibilidad de la cáscara:** Flexible
	Adherencia de la cáscara: Fuerte	**Adherencia de la cáscara:** Ligera
	Color cáscara del fruto:	**Color cáscara del fruto:**
PULPA	**Textura de la pulpa:** Pastosa	**Textura de la pulpa:** Cremosa
	Dulzura de la pulpa: Ligeramente dulce	**Dulzura de la pulpa:** Dulce
	Amargura de la pulpa: Amarga	**Amargura de la pulpa:** Ligeramente amarga
	Fibra de la pulpa: Poca	**Fibra de la pulpa:** Poca
	Color pulpa cercana a la cáscara:	**Color pulpa cercana a la cáscara:**
	Color pulpa cercana a la semilla:	**Color pulpa cercana a la semilla:**
SEMILLA	**Forma de la semilla:** Esferoide	**Forma de la semilla:** Esferoide
	Peso de la semilla (g): 37,628	**Peso de la semilla (g):** 31,070
	Longitud de la semilla (mm): 41,833	**Longitud de la semilla (mm):** 38,006
	Ancho de la semilla (mm): 37,695	**Ancho de la semilla (mm):** 35,746
	Cubierta de la semilla: Semilla adherida, cubierta adherida a la pulpa	**Cubierta de la semilla:** Semilla libre, cubierta no adherida a la pulpa
	Posición de la semilla: Central	**Posición de la semilla:** Central
	Espacio cavidad de semilla: Ninguno	**Espacio cavidad de semilla:** Ninguno
	Superficie del cotiledón: Lisa	**Superficie del cotiledón:** Lisa
	Color del cotiledón:	**Color del cotiledón:**

No. Muestra: ANT03 **Propietario:** Juan Camilo Ruiz
Departamento: ANTIOQUIA **Municipio: ENTRERRÍOS** **Vereda:** La Tabla
Finca: GUACAMAYAS **Altura (msnm):** 2.420
Latitud: 05° 33' 50.3'' **Longitud: 75° 32' 26.6''**

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Forma del fruto: Obovado	**Lenticelas corchosas:** Presentes
Base del fruto: Aplanada	**Tamaño de las lenticelas:** Pequeñas
Forma del ápice del fruto: Redondeado	**Posición del ápice del fruto:** Asimétrico
Posición del pedicelo: Central	**Forma del pedicelo:** Redondeado
Densidad de las lenticelas: Números	

CARACTERISTICAS FISICAS

Pérdida de peso hasta punto de consumo (%): 15,699

FRUTO VERDE	FRUTO MADURO
Largo del fruto (mm): 96,772	**Largo del fruto (mm):** 87,808
Ancho del fruto (mm): 76,238	**Ancho del fruto (mm):** 67,458
Relación largo-ancho de fruto: 1,271	**Relación largo-ancho de fruto:** 1,301
Peso del fruto (g): 274,038	**Peso del fruto (g):** 154,828
Cáscara (%): 11,215	**Cáscara (%):** 17,840
Pulpa (%): 74,062	**Pulpa (%):** 67,085
Semilla: 13,330	**Semilla (%):** 12,751
Materia seca (%): 23,552	**Materia seca (%):** 28,400
Aceite (b.h.) (%):	**Aceite (b.h.) (%):** 39,633

	FRUTO VERDE		FRUTO MADURO
CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Escaso	CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Escaso
	Textura de la cáscara: Intermedia		**Textura de la cáscara:** Intermedia
	Grosor cáscara (mm): 0,814		**Grosor cáscara (mm):** 0,942
	Flexibilidad de la cáscara: Quebradiza		**Flexibilidad de la cáscara:** Flexible
	Adherencia de la cáscara: Fuerte		**Adherencia de la cáscara:** Ligera
	Color cáscara del fruto:		**Color cáscara del fruto:**
PULPA	**Textura de la pulpa:** Pastosa	PULPA	**Textura de la pulpa:** Cremosa
	Dulzura de la pulpa: Ligeramente dulce		**Dulzura de la pulpa:** Dulce
	Amargura de la pulpa: Amarga		**Amargura de la pulpa:** Ligeramente amarga
	Fibra de la pulpa: Poca		**Fibra de la pulpa:** Poca
	Color pulpa cercana a la cáscara:		**Color pulpa cercana a la cáscara:**
	Color pulpa cercana a la semilla:		**Color pulpa cercana a la semilla:**
SEMILLA	**Forma de la semilla:** Esferoide	SEMILLA	**Forma de la semilla:** Ovada ancha
	Peso de la semilla (g): 36,404		**Peso de la semilla (g):** 18,828
	Longitud de la semilla (mm): 39,842		**Longitud de la semilla (mm):** 36,039
	Ancho de la semilla (mm): 38,864		**Ancho de la semilla (mm):** 26,972
	Cubierta de la semilla: Semilla adherida, cubierta adherida a la pulpa		**Cubierta de la semilla:** Semilla libre, cubierta no adherida a la pulpa
	Posición de la semilla: Central		**Posición de la semilla:** Central
	Espacio cavidad de semilla: Ninguno		**Espacio cavidad de semilla:** Ninguno
	Superficie del cotiledón: Intermedia		**Superficie del cotiledón:** Lisa
	Color del cotiledón:		**Color del cotiledón:**

No. Muestra: ANT04 **Propietario:** Joaquín Cuervo Tafur

Departamento: ANTIOQUIA **Municipio: MARINILLA** **Vereda:** La Esperanza

Finca: LA PERSEA **Altura (msnm):** 2.087

Latitud: 06° 11' 44.2'' **Longitud: 75° 19' 49.7''**

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Forma del fruto: Obovado	**Lenticelas corchosas:** Presentes
Base del fruto: Inflada	**Tamaño de las lenticelas:** Pequeñas
Forma del ápice del fruto: Redondeado	**Posición del ápice del fruto:** Asimétrico
Posición del pedicelo: Central	**Forma del pedicelo:** Redondeado
Densidad de las lenticelas: Númerosas	

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Pérdida de peso hasta punto de consumo (%): 11,146

FRUTO VERDE	FRUTO MADURO
Largo del fruto (mm): 81,860	**Largo del fruto (mm):** 78,341
Ancho del fruto (mm): 66,320	**Ancho del fruto (mm):** 68,014
Relación largo-ancho de fruto: 1,233	**Relación largo-ancho de fruto:** 1.151
Peso del fruto (g): 186,414	**Peso del fruto (g):** 206,724
Cáscara (%): 11,870	**Cáscara (%):** 15,277
Pulpa (%): 67,210	**Pulpa (%):** 66,042
Semilla (%): 18,887	**Semilla (%):** 13,632
Materia seca (%): 25,336	**Materia seca:** 31,850
Aceite (b.h.) (%): 33,365	**Aceite (b.h.) (%):**

CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Moderado	CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:**
	Textura de la cáscara: Rugosa		**Textura de la cáscara:** Rugosa
	Grosor cáscara (mm): 0,984		**Grosor cáscara (mm):** 1,200
	Flexibilidad de la cáscara : Quebradiza		**Flexibilidad de la cáscara:** Flexible
	Adherencia de la cáscara : Fuerte		**Adherencia de la cáscara:** Ligera
	Color cáscara del fruto:		**Color cáscara del fruto:**
PULPA	**Textura de la pulpa:** Pastosa	PULPA	**Textura de la pulpa:** Cremosa
	Dulzura de la pulpa: Ligeramente dulce		**Dulzura de la pulpa:** Dulce
	Amargura de la pulpa: Amarga		**Amargura de la pulpa:** Ligeramente amarga
	Fibra de la pulpa: Poca		**Fibra de la pulpa:** Poca
	Color pulpa cercana a la cáscara:		**Color pulpa cercana a la cáscara:**
	Color pulpa cercana a la semilla:		**Color pulpa cercana a la semilla:**
SEMILLA	**Forma de la semilla:** Esferoide	SEMILLA	**Forma de la semilla:** Ovada ancha
	Peso de la semilla (g): 34,662		**Peso de la semilla (g):** 36,358
	Longitud de la semilla (mm): 36,144		**Longitud de la semilla (mm):** 37,255
	Ancho de la semilla (mm): 38,234		**Ancho de la semilla (mm):** 38,790
	Cubierta de la semilla: Semilla adherida, cubierta adherida a la pulpa		**Cubierta de la semilla:** Semilla libre, cubierta no adherida a la pulpa
	Posición de la semilla: Central		**Posición de la semilla:** Central
	Espacio cavidad de semilla: Ninguno		**Espacio cavidad de semilla:** Ninguno
	Textura del cotiledón: Intermedia		**Textura del cotiledón:** Lisa
	Color del cotiledón:		**Color del cotiledón:**

No. Muestra: ANT05 **Propietario:** Juan Fernando Mesa
Departamento: ANTIOQUIA **Municipio:** VENECIA **Vereda:** El Rincón
Finca: SANTA CRUZ **Altura (msnm):** 1.770
Latitud: 5° 57' 14,8'' **Longitud: 75° 42' 25,1''**

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Forma del fruto: Obovado	**Lenticelas corchosas:** Presentes
Base del fruto: Inflada	**Tamaño de las lenticelas:** Pequeñas
Forma del ápice del fruto: Redondeado	**Posición del ápice del fruto:** Asimétrico
Posición del pedicelo: Asimétrico	**Forma del pedicelo:** Redondeado
Densidad de las lenticelas: Númerosas	

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Pérdida de peso hasta punto de consumo (%): 11,679

FRUTO VERDE	FRUTO MADURO
Largo del fruto (mm): 88,750	**Largo del fruto (mm):** 86,314
Ancho del fruto (mm): 71,326	**Ancho del fruto (mm):** 69,475
Relación largo-ancho de fruto:1,248	**Relación largo-ancho de fruto:** 1,242
Peso del fruto (g): 229,238	**Peso del fruto (g):** 185,344
Cáscara (%): 14,695	**Cáscara (%):** 14,804
Pulpa (%): 66,541	**Pulpa (%):** 68,940
Semilla (%):17,821	**Semilla (%):** 15,358
Materia seca (%): 25,983	**Materia seca (%):** 35,935
Aceite (b.h.) (%): 35,078	**Aceite (b.h.) (%): 43,573**

	FRUTO VERDE		FRUTO MADURO
CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Escaso	CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Escaso
	Textura de la cáscara: Rugosa		**Textura de la cáscara:** Rugosa
	Grosor cáscara (mm): 1,154		**Grosor cáscara (mm):** 1,042
	Flexibilidad de la cáscara: Quebradiza		**Flexibilidad de la cáscara:** Flexible
	Adherencia de la cáscara: Fuerte		**Adherencia de la cáscara:** Ligera
	Color Cáscara del fruto:		**Color Cáscara del fruto:**
PULPA	**Textura de la pulpa:** Pastosa	PULPA	**Textura de la pulpa:** Cremosa
	Dulzura de la pulpa: Ligeramente dulce		**Dulzura de la pulpa:** Dulce
	Amargura de la pulpa: Amarga		**Amargura de la pulpa:** Ligeramente amarga
	Fibra de la pulpa: Intermedia		**Fibra de la pulpa:** Poca
	Color pulpa cercana a la cáscara:		**Color pulpa cercana a la cáscara:**
	Color pulpa cercana a la semilla:		**Color pulpa cercana a la semilla:**
SEMILLA	**Forma de la semilla:** Esferoide	SEMILLA	**Forma de la semilla:** Esferoide
	Peso de la semilla (g): 41,098]		**Peso de la semilla (g):** 29,236
	Longitud de la semilla (mm): 37,138		**Longitud de la semilla (mm):** 34,314
	Ancho de la semilla (mm): 41,490		**Ancho de la semilla (mm):** 35,608
	Cubierta de la semilla: Semilla adherida, cubierta adherida a la pulpa		**Cubierta de la semilla:** Semilla adherida, cubierta no adherida ala pulpa
	Posición de la semilla: Central		**Posición de la semilla:** Central
	Espacio cavidad de semilla: Ninguno		**Espacio cavidad de semilla:** Ninguno
	Textura del cotiledón: Intermedia		**Textura del cotiledón:** Lisa
	Color del cotiledón:		**Color del cotiledón:**

No. Muestra: ANT06 **Propietario:** Mauricio Aristizábal
Departamento: ANTIOQUIA **Municipio:** TÁMESIS **Vereda:** San Isidro
Finca: LA MARÍA **Altura (msnm):** 1.340
Latitud: 05° 41' 21.6'' **Longitud: 75° 42' 15'5''**

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Forma del fruto: Obovado	**Lenticelas corchosas:** Presentes
Base del fruto: Inflada	**Tamaño de las lenticelas:** Pequeñas
Forma del ápice del fruto: Redondeado	**Posición del ápice del fruto:** Central
Posición del pedicelo: Asimétrico	**Forma del pedicelo:** Redondeado
Densidad de las lenticelas: Númerosas	

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Pérdida de peso hasta punto de consumo (%): 33,619

FRUTO VERDE	FRUTO MADURO
Largo del fruto (mm): 65,004	**Largo del fruto (mm):** 65,522
Ancho del fruto (mm): 56,940	**Ancho del fruto (mm):** 53,710
Relación largo-ancho de fruto: 1,142	**Relación largo-ancho de fruto:** 1,220
Peso del fruto (g): 108,612	**Peso del fruto (g):** 83,840
Cáscara (%): 13,865	**Cáscara (%):** 14,798
Pulpa (%): 63,725	**Pulpa (%):** 51,286
Semilla (%): 22,014	**Semilla:** 33,552
Materia seca (%): 21,989	**Materia seca (%):** 35,157
Aceite (b.h.) (%):	**Aceite (b.h.) (%):**

	FRUTO VERDE		FRUTO MADURO
CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Notable	CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Escaso
	Textura de la cáscara: Intermedia		**Textura de la cáscara:** Intermedia
	Grosor cáscara (mm): 1,226		**Grosor cáscara (mm):** 0,846
	Flexibilidad de la cáscara: Quebradiza		**Flexibilidad de la cáscara:** Flexible
	Adherencia de la cáscara: Fuerte		**Adherencia de la cáscara:** Ligera
	Color cáscara del fruto:		**Color cáscara del fruto:**
PULPA	**Textura de la pulpa:** Pastosa	PULPA	**Textura de la pulpa:** Cremosa
	Dulzura de la pulpa: Ligeramente dulce		**Dulzura de la pulpa:** Dulce
	Amargura de la pulpa: Amarga		**Amargura de la pulpa:** Ligeramente amarga
	Fibra de la pulpa: Poca		**Fibra de la pulpa:** Poca
	Color pulpa cercana a la cáscara:		**Color pulpa cercana a la cáscara:**
	Color pulpa cercana a la semilla:		**Color pulpa cercana a la semilla:**
SEMILLA	**Forma de la semilla:** Esferoide	SEMILLA	**Forma de la semilla:** Esferoide
	Peso de la semilla (g): 23,750		**Peso de la semilla (g):** 27,494
	Longitud de la semilla (mm): 32,594		**Longitud de la semilla (mm):**34,538
	Ancho de la semilla (mm): 34,666		**Ancho de la semilla (mm):**35,290
	Cubierta de la semilla: Semilla adherida, cubierta adherida a la pulpa		**Cubierta de la semilla:** Semilla adherida, cubierta no adherida ala pulpa
	Posición de la semilla: Central		**Posición de la semilla:** Central
	Espacio cavidad de semilla: Ninguno		**Espacio cavidad de semilla:** Ninguno
	Textura del cotiledón: Intermedia		**Textura del cotiledón:** Lisa
	Color del cotiledón:		**Color del cotiledón:**

No. Muestra: ANT07 **Propietario:** José Bustamante
Departamento: ANTIOQUIA **Municipio:** JERICÓ **Vereda:** Palenquito
Finca: EL ENCANTO **Altura (msnm):** 1.900
Latitud: 05°47'49'' **Longitud: 75° 45' 45.3''**

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Forma del fruto: Obovado	**Lenticelas corchosas:** Presentes
Base del fruto: Inflada	**Tamaño de las lenticelas:** Pequeñas
Forma del ápice del fruto: Redondeado	**Posición del ápice del fruto:** Asimétrico
Posición del pedicelo: Asimétrico	**Forma del pedicelo:** Redondeado
Densidad de las lenticelas: Númerosas	

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Pérdida de peso hasta punto de consumo (%): 19,960

FRUTO VERDE	FRUTO MADURO
Largo del fruto (mm): 85,570	**Largo del fruto (mm):** 81,691
Ancho del fruto (mm): 67,911	**Ancho del fruto (mm):** 62,184
Relación largo-ancho de fruto: 1,257	**Relación largo-ancho de fruto:** 1,308
Peso del fruto (g): 203,926	**Peso del fruto (g):** 165,642
Cáscara (%): 13,063	**Cáscara (%):** 14,958
Pulpa (%): 67,821	**Pulpa (%):** 64,485
Semilla (%): 17,813	**Semilla (%):** 18,202
Materia seca (%): 30,112	**Materia seca (%):** 35,994
Aceite (b.h.) (%): 33,087	**Aceite (b.h.) (%):** 37,068

	FRUTO VERDE		FRUTO MADURO
CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Escaso	CÁSCARA	**Brillo de la cáscara:** Escaso
	Textura de la cáscara: Intermedia		**Textura de la cáscara:** Intermedia
	Grosor cáscara (mm): 1,080		**Grosor cáscara (mm):** 0,938
	Flexibilidad de la cáscara: Quebradiza		**Flexibilidad de la cáscara:** Flexible
	Adherencia de la cáscara: Fuerte		**Adherencia de la cáscara:** Ligera
	Color cáscara del fruto:		**Color cáscara del fruto:**
PULPA	**Textura de la pulpa:** Pastosa	PULPA	**Textura de la pulpa:** Cremosa
	Dulzura de la pulpa: Ligeramente dulce		**Dulzura de la pulpa:** Dulce
	Amargura de la pulpa: Amarga		**Amargura de la pulpa:** Ligeramente amarga
	Fibra de la pulpa: Poca		**Fibra de la pulpa:** Poca
	Color pulpa cercana a la cáscara:		**Color pulpa cercana a la cáscara:**
	Color pulpa cercana a la semilla:		**Color pulpa cercana a la semilla:**
SEMILLA	**Forma de la semilla:** Ovada ancha	SEMILLA	**Forma de la semilla:** Esferoide
	Peso de la semilla (g): 34,708		**Peso de la semilla (g):** 28,597
	Longitud de la semilla (mm): 37,510		**Longitud de la semilla (mm):** 36,030
	Ancho de la semilla (mm): 38,190		**Ancho de la semilla (mm):** 34,481
	Cubierta de la semilla: Semilla adherida, cubierta adherida a la pulpa		**Cubierta de la semilla:** Semilla adherida, cubierta no adherida ala pulpa
	Posición de la semilla: Central		**Posición de la semilla:** Central
	Espacio cavidad de semilla: Ninguno		**Espacio cavidad de semilla:** Ninguno
	Textura del cotiledón: Intermedia		**Textura del cotiledón:** Intermedia
	Color del cotiledón:		**Color del cotiledón:**

Capítulo 6

Contenido de macro y microelementos en frutos de aguacate cv. Hass cosechados en el trópico andino del departamento de Antioquia, Colombia

6.1 Resumen

El fruto del aguacate cv. Hass en la mayoría de las zonas productoras del país, procede de una diversidad de condiciones de cultivo y provienen de múltiples flujos vegetativos que resultan en varios flujos de floración y épocas de cosecha. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de las condiciones climáticas en siete localidades del departamento de Antioquia (Támesis a 1.340 msnm, Venecia PB a 1.510 msnm, Venecia SC a 1.770 msnm, Jericó a 1.900 msnm, Marinilla a 2.087 msnm, Rionegro a 2.140 msnm y Entrerríos a 2.420 msnm), sobre el contenido de macro y microelementos en frutos de aguacate cv. Hass. Se seleccionaron nueve árboles en cada uno de siete huertos comerciales y de cada árbol se tomaron 4 frutos (24 a 33,28 % materia seca de la pulpa), por época de cosecha. Extraída la pulpa del fruto, se le determinó el contenido de elementos mayores y menores presentes. En términos generales, el clima afectó la composición nutrimental del fruto; especialmente P, K, Mg, Na, S, Zn y B, aumentaron cuando la altura donde se encontraban los huertos era mayor; contrariamente Ca, Cu y Mn, disminuyeron; N no mostró una tendencia en particular. El fruto de este estudio mostró niveles bajos en N, P, K, Mn Zn y B; medios en Mg, Cu y Fe y altos en Ca, Na y S, comparados con estándares establecidos a nivel internacional.

Palabras clave: *Persea americana*, nutrición, pulpa, minerales, frutales.

6.2 Introducción

Según las proyecciones de la FAO (2013), la cosecha de aguacate ascenderá a 3,9 millones de toneladas en 2014 y se obtendrá más del 86 % en los países en desarrollo. América Latina y el Caribe será la principal región productora del mundo, puesto que México y Chile son dos de los mayores exportadores de aguacate y actualmente, Perú y Colombia vienen ascendiendo en este mercado. Para 2011, la producción de aguacate en el mundo llegó a 4,2 millones de toneladas, de las cuales Colombia aportó el 5,1 %, ocupando el 6º lugar, con aproximadamente 215.000 toneladas, lejos de México como primer productor, con un 30 % de la producción mundial, seguido por Chile con un 8,7 %. En la última década, según el Dane (2013) el cv. Hass ha venido teniendo un auge

importante, tanto para mercado nacional como para mercados internacionales. Para el año 2012, el área plantada de este cultivar en Colombia llegó aproximadamente a las 7.000 ha, presentando un incremento del 75 % frente a 2008. Los principales departamentos productores de aguacate cv. Hass son Antioquia con 3.000 ha, Tolima 2.000 ha, Caldas 800 ha, Eje Cafetero (Quindío y Risaralda) 700 ha, Cauca y Valle del Cauca 600 ha. Durante las dos últimas décadas, el cultivo del aguacate cv. Hass, en Colombia y en particular en el departamento de Antioquia, ha experimentado un espectacular crecimiento, aumentando los volúmenes de producción, su comercialización e industrialización (Mejía, 2011). Según el Dane (2013) el aguacate fue uno de las frutos con mayor crecimiento en área de la última década; actualmente ocupa el tercer lugar en importancia del sector frutícola nacional.

Las condiciones agroambientales prevalecientes en la región productora de aguacate de Colombia, como en México (Anguiano *et al*., 2007), propician un desarrollo del árbol y la obtención de fruto en prácticamente todo el año, así como un traslape continuo de las diferentes fases fenológicas del árbol, ello principalmente determinado por el estrato altitudinal así como el arreglo topológico de las plantaciones con respecto a su exposición al sol, la pendiente y la dirección prevaleciente del viento. La productividad del cultivo en esta amplia gama de ambientes, depende de un conjunto de factores, algunos más o menos ligados con las características agroambientales de los huertos.

La baja fertilidad natural de los suelos derivados de cenizas volcánicas en los cuales se desarrolla más del 85 % de los huertos de aguacate, se compensa con el uso constante y sistemático de fertilizantes químicos y orgánicos, los cuales proveen los nutrimentos esenciales para el frutal. Sin embargo, factores incontrolables del clima como heladas, granizo y vientos fuertes, pueden ser tan limitantes de la producción como factores de manejo controlables tan importantes como la nutrición y el agua. De manera paralela, la presencia de plagas están ligadas directamente a factores climáticos como precipitación, humedad relativa, temperatura y a la fenología del cultivo (Anguiano *et al*., 2007). En conjunto, estos factores bióticos y abióticos reducen la productividad de los huertos y la calidad del fruto, manteniendo los estándares actuales de rendimiento en Colombia, en un promedio de 9,26 t ha^{-1} de fruto (MADR, 2013).

La materia seca está formada de carbono y de todos los nutrimentos empleados durante el crecimiento y desarrollo del fruto. Así se forman las proteínas y aceites, ambos de alto contenido en los frutos de aguacate (Salazar-García, 2002). Los frutos con mayor contenido de materia seca y aceite utilizan mayor cantidad de nutrimentos. Para calcular la cantidad de nutrimentos que deben aplicarse a los huertos, ya sea en forma orgánica o inorgánica, es necesario conocer la cantidad de nutrimentos removidos por el fruto (Salazar-García, 2002). Estudios hechos por Maldonado *et al.* (2007) indicaron una acumulación diferencial de nutrimentos en el fruto, siendo el K el más concentrado, seguido de N, P, Mg, Ca, Fe, B, Zn, Cu y Mn.

Aun cuando los micronutrientes son acumulados en cantidades pequeñas en el fruto, a medida que se incrementa la producción la cantidad exportada mediante la cosecha, resulta significativa, necesitándose realizar suministros periódicos de estos elementos para mantenerlos en un balance adecuado en el follaje del árbol y en el fruto (Crowley *et al*., 1996). Según Lahav y Whiley (2002) la cosecha de los frutos impacta más que la abscisión natural de hojas, flores y frutos, pero es una cantidad muy pequeña (<8 %) respecto del total de nutrimentos del árbol entero (Lahav y Kadman, 1980).

El contenido de nutrientes, removidos por el fruto, puede ser distinta entre cultivares, aunque también es frecuente encontrar diferencias dentro de un mismo cultivar. Algunas razones que explican este comportamiento son: a) edad del árbol, b) estado de desarrollo del fruto, c) manejo del huerto, d) disponibilidad de nutrientes en el suelo (incluye la fertilización), e) diferente habilidad de los portainjertos para absorber los nutrimentos del suelo y traslocarlos a la parte aérea y f) metodología y procedimientos analíticos usados (Salazar-García, 2002). El fruto de aguacate sorprendentemente es bajo en N y muy alto en P y K. La cantidad de N, P (P_2O_5) y K (K_2O) extraídos por una tonelada de fruto de aguacate es de 0,83, 2,40 y 3,62 kg respectivamente (Chirinos, 1999).

La condición nutrimental, tanto del árbol como del fruto, es un aspecto clave para que el fruto cosechado sea de la máxima calidad comercial. Resulta claro que la calidad del fruto depende de las condiciones climáticas, manejo del huerto, cultivar, etc. Los árboles con deficiencias crónicas de B (Whiley *et al*., 1990) o de Zn, particularmente durante las etapas tempranas de crecimiento del fruto, pueden causar deformación y pueden resultar en una tasa elevada de rechazo al momento de la cosecha (Salazar-García, 2002). Wolstenholme (1987) indica que el fruto de aguacate es muy demandante de energía y tiene una gran dependencia de las reservas del árbol. Esto hace que la estrategia del árbol sea de alta eficiencia para captar, almacenar, conservar y reciclar carbohidratos y reservas minerales, haciéndolo parecer como un árbol cuya producción es barata en cuanto al gasto de nutrimentos.

La extracción de nutrientes en el fruto fresco del aguacate, en orden descendente sería la siguiente: K>N>P>Ca>Mg>S. Algunos autores han demostrado que es razonable esperar diferencias significativas en remoción de nutrientes entre cultivares de aguacate. En un estudio realizado en la Florida, se determinó que la aplicación de nitrógeno tenía gran influencia en el crecimiento del diámetro del tronco, de la producción, tamaño de los frutos, condición de la planta y en general, del tamaño del árbol (Lynch *et al*., 1954). Las cantidades de P y K a aplicar dependen de la cantidad de estos nutrientes presentes en el suelo, de acuerdo con el análisis y su porcentaje en las hojas, con base en el análisis foliar. Cuando el contenido es bajo, se utilizaran las dosis altas y viceversa (Tamayo y Osorio, 2014).

El aguacate es un fruto que cuenta con alta demanda debido a su sabor y múltiples usos, tanto en la industria alimenticia, como en la cosmética y farmacéutica, sin contar con sus cualidades nutracéuticas. El aguacate fresco es la forma preferida de consumo en Colombia, como acompañante de comidas o en ensaladas; se preparan también cocteles, bebidas y diversos sorbetes sin licor o con éste. Es un fruto versátil que se lleva bien con alimentos salados y dulces (Bernal y Díaz, 2014).

De acuerdo con Mejía (2013) (Información personal) citado por Bernal y Díaz (2014) se estima que para 2013 el consumo de aguacate en Colombia, el cual viene en aumento, es de 5,2 kg/persona/año, considerando una población de más de 47 millones de habitantes y una producción de 245.000 toneladas, de las cuales 230.000 es producción interna y 15.000 toneladas son importadas.

El aguacate es un fruto muy apreciado en el mercado mundial por su consistencia suave, similar a la de la mantequilla, por su exquisito sabor, su alto valor nutritivo y por sus amplias posibilidades de uso, no solo en la culinaria, sino en procesos industriales. Se estima que contiene un fuerte componente vitamínico (A, C y E), además de extraordinarias propiedades para reducir el colesterol, por contener lipoproteínas de baja

densidad. A su vez, su consumo evita el riesgo de desarrollar arteriosclerosis, siendo beneficioso para controlar el asma y la artritis reumatoide (Sandoval *et al*., 2014).A medida que aumenta el nivel de vida y el conocimiento de la importancia de alimentarse bien, el consumidor ha tomado conciencia de las bondades de incluir las frutas en su dieta diaria. La calidad nutricional de las frutas se refiere tanto al aporte de nutrientes básicos, como a su aporte terapéutico. En este sentido, las frutas se adaptan perfectamente a las exigencias del mercado, ya que no solo constituyen un delicioso alimento, sino que contribuyen a conservar la salud y el bienestar de los consumidores; de hecho se incluye el término "nutracéuticos", para describir los productos que reúnen tales características (Sandoval *et al*., 2014). De acuerdo con Hulme (1971), un fruto de aguacate cv. Hass de 200 g de peso posee en 100 g de pulpa, 75 g de porción comestible, 68,4 g de humedad, 1,51 g de proteína, 26,6 g de grasas, 4,62 g de carbohidratos y 1,6 g de cenizas.

El consumo de medio aguacate, provee una gran cantidad de nutrientes y fitoquímicos, consistente en niveles significantes de: fibra dietaria (4,6 g), azúcares totales (0,2 g), potasio (345 mg), sodio (5,5 mg), magnesio (19,5 mg), vitamina A (5 µg RAE), vitamina C (6,0 mg), vitamina E (1,3 mg), vitamina K_1 (14 µg), folato (60 mg), vitamina B-6 (0,2 mg), niacina (1,3 mg), ácido pantoténico (1,0 mg), riboflavina (0,1 mg), colina (10 mg), luteína/zeaxantina (185 µg), criptozantina (18,5 µg) fitosteroles (57 mg), aceites monoinsaturados (6,7 mg) y 114 kcal o 1,7 kcal g^{-1} (después de ajustar la fibra dietaria insoluble), la cual cubre una amplia gama de efectos potenciales saludables. Esta densidad calórica es relativamente baja, debido a que en el aguacate cerca del 80 % de su peso es agua (72 %) y la fibra dietaria corresponde al 6,8 % (ADA, 2009; USDA, 2011).

De acuerdo con Dreher y Davenport (2013), a diferencia de un fruto típico, los aguacates contienen un muy bajo contenido en azúcar con sólo alrededor de 0,2 g, en una porción media de fruto. Hay ocho estudios clínicos preliminares relacionados con la salud cardiovascular, que han demostrado consistentemente que el consumo de aguacate, tiene efectos positivos en la salud del corazón y en los perfiles de lípidos en la sangre. Esto es principalmente por el bajo contenido de ácidos grasos saturados y alto en ácidos grasos insaturados (mono y polinsaturados), pero sus fitosteroles naturales y el contenido de fibra dietética juegan un papel secundario en la reducción del colesterol. Este fruto además, posee un diverso rango de nutrientes y fitoquímicos que van más allá de los beneficios vasculares del colesterol. En particular, el potasio y luteína del aguacate ayudan a mantener la presión arterial en niveles normales y a controlar el estrés oxidativo y el estrés inflamatorio, respectivamente (Bergh, 1992; Gains, 1992, Dreher y Davenport, 2013).

El aguacate es considerado como una especie de baja demanda de nutrientes. Esto se demuestra por el bajo contenido total de nutrientes en la cosecha al comparar con otros árboles frutales y cultivos de campo. La capacidad del aguacate de extraer y utilizar los nutrientes minerales se refleja en la concentración de cada nutriente en los tejidos, por lo que el análisis químico de las hojas, proporciona una valiosa información acerca del estado nutricional del árbol (Gamalier *et al*., 2005). Los macro elementos son minerales esenciales con funciones biológicas conocidas.

Dentro de los principales macro elementos en el aguacate y sus principales funciones en el organismo están el calcio, fundamental para el desarrollo de los huesos y dientes (requerimiento de 800 a 1.200 mg $día^{-1}$) el fósforo, generalmente asociado con el calcio, ya que ambos, constituyen tres cuartas partes de los minerales presentes en el cuerpo humano, al igual que el calcio se encuentra en huesos y dientes, también desempeña un

importante papel en el metabolismo energético, ya que forma derivados del ácido fosfórico: ATP "moneda energética" en los, procesos corporales. Además, forma parte de otras estructuras como NADP, fosfolípidos (requerimiento de 800 a 1.200 mg día^{-1}); el sodio, es un electrolito que ayuda a mantener el balance de los líquidos en el cuerpo, interviniendo en el flujo de los mismos tanto en el interior como hacia el exterior de las células, (requerimiento 500 mg día^{-1}); potasio, también actúa como regulador en el balance del agua en el organismo e interviene en la contracción muscular (requerimiento 1.600 a 2.000 mg día^{-1}), magnesio, necesario en los procesos biológicos del organismo, asimilación de la vitamina C y fijación del calcio (requerimiento de 300 a 400 mg día^{-1}) (Ortega, 2003).

Los oligoelementos, llamados también elementos traza, deben de ser aportados por los alimentos, generalmente del orden de unos cuantos microgramos, pero sin embargo juegan un importante rol en el metabolismo y la carencias de estos, puede llegar a provocar trastornos en el sistema respiratorio, psiconeurológico, circulatorio, digestivo, osteoarticular y endocrino.

Los oligoelementos más representativos de este grupo y algunas de sus principales funciones son: Cobre, facilita la absorción del hierro de los alimentos, necesario para la construcción de los tejidos conjuntivos; Hierro, componente esencial de la hemoglobina, permite el transporte de oxígeno a las células y la evacuación del dióxido de carbono; Zinc, participa en todas la etapas metabólicas, en los procesos de cicatrización y como antioxidante; Cromo, regulador de los niveles de colesterol y azúcar en la sangre; Yodo, contribuye a la síntesis de hormonas producidas por la glándula tiroides; Manganeso, participa en el equilibrio de numerosas enzimas y metabolismo de glúcidos. Es importante mencionar que los oligoelementos pueden estar presentes en cantidades suficientes, pero pueden encontrarse inactivos por quelación, muchas de las veces ocasionada por la refinación de los alimentos (Ortega, 2003).

Existen varias referencias sobre la creciente preocupación acerca de la importancia de las interacciones pre y poscosecha en los productos hortícolas (Monselise y Goren, 1987; Beverly *et al*., 1993; Arpaia, 1994; Hofman y Smith, 1994). Dichas interacciones han sido estudiadas detalladamente para frutos de zonas templadas, pero solo recientemente han sido objeto de atención para los frutos tropicales y subtropicales (Hofman *et al*., 2007). No se dispone de resultados para Colombia relacionados con el contenido de macro y micro nutrientes en aguacate, producto de estar plantado en ambientes diversos. El objetivo de este estudio fue conocer la composición mineral de frutos de aguacate cv. Hass y determinar si hubo cambios en su contenido según el ambiente de donde proceden.

6.3 Materiales y Métodos

6.3.1 Ubicación

El estudio se hizo durante los años 2011 y 2012, en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en el oriente, altiplano norte y suroeste de Antioquia, Colombia (Tabla 6-1).

Tabla 6-1. Condiciones ambientales de los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass, utilizados para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa.

Municipio	Finca	Altura (msnm)	Temp. (°C)	H.R. (%)	Precipitación promedio año (mm)	Brillo solar (horas año^{-1})	Zona de vida*
Támesis	La María	1.340	22,5	81	1.917	1.726	(bh-PM)
Venecia	Piedras Blancas (PB)	1.510	20,1	74	2.504	2.090	(bh-PM)
Venecia	Santa Cruz (SC)	1.770	19,5	75	2.300	2.164	(bh-PM)
Jericó	El Encanto	1.900	19,0	82	1.917	2,430	(bh-MB)
Marinilla	La Persea	2.087	17,0	81	1.800	1.876	(bh-MB)
Rionegro	La Escondida	2.140	17,0	78	1.900	1.861	(bh-MB)
Entrerríos	Guacamayas	2.420	14,7	82,7	1.917	1.684	(bh-MB)

* Holdridge, 1967.

6.3.2 Material biológico

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

6.3.3 Procedimiento experimental

En cada huerto se realizaron dos cosechas, una al final de 2013 y otra al principio de 2014. Como todos los huertos, presentaban pendientes o estratos diferentes, dentro la parcela se consideraron 3 niveles de muestreo: alto (S1), medio (S2) y bajo (S3). A su vez, para cada sector de muestreo se seleccionaron 3 árboles elegidos al azar, con un nivel de carga frutal normal a alta y que correspondieran a un sector o bloque homogéneo además que no pertenecieran a hileras límites del huerto.

De cada árbol, se tomaron 4 frutos, siempre a una misma altura. Éstos fueron cosechados de diferentes sectores del árbol, en la dirección de los cuatro puntos cardinales, prefiriendo los de tamaño medio. Se seleccionaron frutos con madurez fisiológica (21,5 % de materia seca) y libres de daños físicos. El criterio para la cosecha consistió en seleccionar frutos que presentaran, en su aspecto físico, pérdida de brillo en su parte externa (opaco) y todavía con algo de brillo hacia la parte interna del árbol. Los frutos se recolectaron con tijera podadora, dejando el pedúnculo a ras de la cáscara. Se evitó cosechar en días de lluvia o cuando el fruto estaba muy húmedo. Cuando el fruto alcanzó la madurez de consumo, se tomó una submuestra de 200 g la cual, fue enviada al laboratorio para el análisis de minerales. Antes de realizar los análisis del contenido de minerales, se determinó la materia seca, mediante el secado de tajadas de pulpa de aguacate, en un horno de convección L-Coven M3516 M®, a 70 °C, hasta obtener peso constante. La diferencia entre el peso final y el peso inicial, fue usado para la determinan del porcentaje de materia seca. En la Tabla 6-2 se describe el método de extracción/cuantificación y la unidad de medida, utilizados para determinar el contenido de los diferentes macro y microelementos analizados.

Tabla 6-2. Método de extracción/cuantificación y unidades usadas para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa de aguacate cv. Hass cosechados en el departamento de Antioquia.

Elemento	Método (Extracción/Cuantificación)	Unidad
Nitrógeno (N)	EPA 351,3 modificado (O'Dell, J. W. 1993).	%
Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Sodio (Na)	Digestión cerrada Nítrico: Peróxido: Agua (5:1:2)/espectrometría de absorción atómica (A.O.A.C., 1990).	%
Azufre (S)	Digestión cerrada Nítrico: Peróxido: Agua (5:1:2)/Turdibimetría (A.O.A.C., 1990).	%
Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Cinc (Zn)	Digestión cerrada Nítrico:Peróxido:Agua (5:1:2)/espectrometría de absorción atómica (A.O.A.C., 1990)	mg kg^{-1}
Boro (B)	NTC 5404 modificado (ICONTEC, 2011)	mg kg^{-1}

6.3.4 Análisis Estadístico

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

6.4 Resultados y Discusión

6.4.1 Análisis de suelo y foliar

De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis de suelo y foliar (Tablas 6-3 y 6-4), se hicieron las siguientes observaciones y recomendaciones. Para el municipio de Entrerríos se tiene un suelo Andisol de topografía quebrada, a una altitud de 2.420 msnm, con contenidos altos de materia orgánica, altos en K, Mg y medios a bajos de Ca y P. En cuanto a los elementos mayores, en general, presentaron contenidos de medios a altos (Tabla 6-3). De acuerdo con el análisis de suelos, es un terreno de mediana fertilidad, que presenta una relación Ca:Mg invertida, por tal motivo se recomendó aplicar 450 g por árbol de una enmienda como el calfos para corregir este desbalance y que a su vez sirva para aumentar los contenidos de P en el suelo; para el caso del K, se sugirió fertilizar solo con las dosis de sostenimiento. En cuanto a los elementos menores, los contenidos son altos en todos los casos y no se recomienda fertilizar con ellos, para así evitar una toxicidad.

Tabla 6-3. Características químicas del suelo en los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass utilizados para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa.

Localidad	pH	MO	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	P	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
		%	cmol kg^{-1}						mg kg^{-1}						
Entrerríos	5,4	25,8	1,6	3,4	4,8	0,76	0,16	10,7	20	43	177	16	49	7	2,10
Marinilla	6,1	18		8,1	1,5	1,2	0,11	10,9	173		38	2	6	9	0,3
Rionegro	4,9	28,5	1,6	1,8	0,6	0,50	0,03	4,5	9	9	288	4	8	7	0,29
Jericó	5,0	13,2	1,7	2,4	0,9	0,37	0,01	5,4	13	43	115	2	6	4	0,14
Venecia SC	4,6	8,1	4,1	4,6	0,7	0,27	0,03	9,7	43	8	78	1	14	5	1,24
Venecia PB	4,9	7,3	5,0	0,5	0,2	0,36	0,06	6,1	10	5,0	179	13,0	1,0	2,0	0,5
Támesis	4,8	28,4	2,4	1,2	0,6	0,25	0,05	4,5	8	7	58	2	5	2,0	0,22

En el municipio de Marinilla, el cultivo de aguacate está localizado a 2.087 msnm, también en suelos de tipo Andisol, con pH ligeramente ácido, con contenidos altos de materia orgánica, Ca, K y P. Los contenidos de Mg, Cu y B eran bajos, mientras que el Fe y el Zn se encontraban en alta concentración (Tabla 6-3). En términos generales es un suelo de media a alta fertilidad. En esta localidad no se recomendó hacer aplicaciones con Fe, K y P. Se propuso aplicar 10 kg de materia orgánica bien descompuesta, sobre el abono químico y en la gotera del árbol.

En el municipio de Rionegro, el cultivo de aguacate está localizado a 2.140 msnm, también en suelos de tipo Andisol, con pH fuertemente ácidos, con contenidos altos de materia orgánica, K y Fe. Los contenidos de Ca, Mg y P son bajos, así como los elementos menores, a excepción del Fe. Tiene un 35 % de saturación de Al; sin embargo, no presentan problemas de toxicidad en la planta (Tabla 6-3).

Se recomendó hacer aplicaciones con N (4 a 5 kg planta^{-1} de materia orgánica, más 250 g de urea, cada seis meses), 200 a 250 g de DAP y 600 g de cal dolomítica, cada seis meses. En el municipio de Jericó, el cultivo está ubicado en un terreno ondulado a una altitud de 1900 msnm. De pH fuertemente ácido de contenidos medios a altos de materia orgánica, con saturación de Al del 31,5 %, los contenidos de Ca, Mg y P son bajos, los contenidos de K de medios a bajos y los elementos menores en general bajos (Tabla 6-3). En resumen es un suelo de baja fertilidad que requiere el suministro de todos los elementos nutritivos para obtener buenos rendimientos. Se recomendó aplicar cal dolomítica en mezcla de MgO 550 g por árbol, 250 g del fertilizante compuesto 10-30-10, para suministrar N, P y K. Adicionalmente se sugirió aplicar cinco kilogramos por árbol de materia orgánica.

Como en el caso anterior, en Venecia, Santa Cruz se tiene un suelo derivado de cenizas volcánicas, pero de clima medio a una altura de 1.770 msnm, de topografía plana, con pH fuertemente ácido, con saturación de Al del 42.26 %, con contenidos altos de materia orgánica y medios de Ca y K, pero muy bajos en Mg. Los contenidos de P se presentan altos (Tabla 6-3). Los elementos menores presentan valores altos en Fe, Mn y B, con contenidos bajos en Cu y Zn. Como el cultivo de aguacate es exigente en Ca se recomendó aplicar 400 g por árbol, de una mezcla de cal dolomítica y MgO , con el fin de evitar deficiencias de Mg. Para el caso del K, para no disminuir los contenidos en el suelo, se recomendó aplicar 200 g por árbol de KCl.

Venecia PB, está ubicado en clima medio, a una altura de 1.510 msnm, en un suelo derivado de cenizas volcánicas, escarpado, con pH fuertemente ácido, con saturación de Al del 82 %, con contenidos altos en Fe y Al y medios en K, pero muy bajos en Ca, Mg y P (Tabla 6-3). Con contenidos bajos de materia orgánica. Todos los elementos menores presentaron valores bajos a excepción del Fe. En general, es un suelo de baja fertilidad y se recomendó una fertilización general, con todos los elementos. Aplicar 1 kg de cal dolomítica y 10 kg de materia orgánica por árbol año^{-1}. En el caso de K para no disminuir los contenidos en el suelo, se recomendó aplicar 200 g por árbol de KCl y adicionalmente aplicar 250 g por árbol de DAP (fosfato diamónico). En el municipio de Támesis, el cultivo de aguacate está localizado a 1.340 msnm, también del género Andisol, con pH fuertemente ácido, con contenidos altos en materia orgánica, con saturación de Al del 53 %. Los contenidos de Ca, Mg, K y elementos menores son bajos, a excepción del Zn que es alto (Tabla 6-3).

En términos generales es un suelo de baja fertilidad. En esta localidad se recomendó hacer una mezcla de cal dolomítica, MgO y de esta mezcla aplicar 650 g por árbol (esta mezcla solo se hace en el momento de la aplicación), se suministraron luego de ocho días, 300 g por árbol del abono compuesto 10-30-10. Además se proporcionaron 10 kg de materia orgánica bien descompuesta, sobre el abono químico y en la zona de la gotera del árbol. De acuerdo a los estándares de diagnóstico del contenido foliar de Embleton y Jones (1964), Lahav y Kadman (1980) y Whiley *et al*. (1996) y teniendo en cuenta los contenidos encontrados en este estudio, se hicieron las respectivas comparaciones y se encontró que los niveles de N, P y K en Entrerríos, presentaron concentración normal, el Ca y Mg estaban dentro del rango aceptable, pero en el límite inferior. Para el caso del S se encontraba en niveles bajos (Tablas 5-4 y 5-5). En Marinilla se encontró que las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe y Mn, estaban dentro del rango normal. El Cu (31 mg kg^{-1}) estaba muy por encima del rango normal (5 a 15 mg kg^{-1}) y el B (11 mg kg^{-1}) muy por debajo del rango considerado normal (40 a 60 mg kg^{-1}) (Tabla 6-4 y 5-5). Por lo anterior, se considera que el cultivo presentaba buena nutrición, a excepción del B, que se encontraba en bajas concentraciones y por lo tanto se hicieron aplicaciones de una fuente de B; pudiéndose aplicar Bórax al suelo (100 a 200 g árbol^{-1}, cada seis meses) o aplicaciones foliares, con Klip boro®, trimestralmente. Los contenidos de N encontrados en Jericó y Rionegro fueron los adecuados, los de P, K y Ca de medios a bajos; los contenidos de Mg y S presentaron valores bajos, tanto en las hojas como en el suelo (Tabla 6-4 y 5-5).

Como en el caso anterior los contenidos en Venecia, Santa Cruz de N y P eran normales, tanto en el suelo como en las hojas, los niveles de S bajos; el Ca se presentaba normal pero en el límite inferior, en cambio el Mg era bajo, tanto en el suelo como en las hojas. Con respecto a los elementos menores, todos los niveles estaban adecuados, a excepción del Mn que se presentaba alto en las hojas (Tabla 6-4). En Venecia, Piedras Blancas los contenidos de N, P, Mg y K fueron normales, pero en el rango inferior. Los niveles de Ca, Zn y B estaban en niveles bajos (Tabla 6-4 y 5-5). Finalmente en Támesis, se encontró que la concentración de N y de los elementos menores era normal. Los niveles P, K y Mg estaban en el límite inferior del rango aceptable, se presentaron contenidos bajos en S. De acuerdo con lo anterior se corrobora con las recomendaciones dadas, a diferencia del Ca, que el suelo presentaba niveles bajos, pero en las hojas los niveles eran normales (Tabla 6-4).

Tabla 6-4. Análisis foliar de los árboles plantados en los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass utilizados para determinar el contenido de macro y microelementos en la pulpa.

Localidad	N	P	S	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	%							µg g^{-1}				
Entrerríos	2,55	0,17	0,14	2,70	0,36	0,93		135	488	25	25	16
Marinilla	2,19	0,17	0,14	2,46	0,32	1,06		98	137	31	20	11
Rionegro	2,78	0,16	0,14	1,53	0,40	1,07		2,57	2,17	37	36	32
Jericó	2,78	0,17	0,14	1,44	0,24	0,70		111	442	7	45	32
Venecia SC	2,33	0,17	0,17	2,46	0,32	0,88		151	732	8	39	41
Venecia PB	2,29	0,19	0,14	0,84	0,17	1,41		74	232	7	24	24
Támesis	2,63	0,16	0,11	1,58	0,33	0,89		98	284	8	24	18

Tabla 6-5. Niveles estándar para el diagnóstico de contenidos nutricionales, en hojas de aguacate* de árboles adultos.

	Deficiente	Adecuado	Excesivo
Macronutriente	%		
Nitrógeno	< 1,6	1,6 – 2,8	> 3,0
Fosforo	< 0,14	0,14 – 0,25	> 0,3
Potasio	< 0,9	0,9 – 2,0	> 3,0
Calcio	< 0,5	1,0 – 3,0	> 4,0
Magnesio	< 0,15	0,25 – 0,8	> 1,0
Azufre	< 0,05	0,2 – 0,6	> 1,0
Mocronutriente	µg kg^{-1}		
Manganeso	< 10 - 15	30 - 500	> 1000
Hierro	< 20 - 40	50 – 200	--
Zinc	< 10 - 20	40 - 80	> 300
Boro	< 10 - 20	40 - 60	> 100
Cobre	< 2 - 3	5 - 15	> 25
Molibdeno	< 0,01	0,05 – 1,0	---

*Los niveles nutricionales (con base en peso seco), fueron determinados en hojas completamente maduras (5 a 7 meses de edad), procedentes de terminales sin fruto y sin flujo vegetativo. Adaptado de Embleton y Jones (1964), Lahav y Kadman (1980) y Whiley *et al.* (1996).

6.4.2 Nutrientes analizados en la pulpa del fruto

La investigación en curso analizó el contenido de macro y micronutrientes en el fruto de siete localidades del departamento de Antioquia, con miras a determinar su calidad interna, luego de haber discutido sobre su calidad externa en capítulos anteriores. Entre los elementos mayores se analizaron los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Na y S y entre los elementos menores los de Fe, Cu, Mn, Zn y B (Tabla 6-6). Al respecto, la materia seca está formada de carbono y de todos los nutrimentos empleados durante el desarrollo y crecimiento del fruto. Así se forman las proteínas y aceites, ambos de alto contenido en los frutos de aguacate (Salazar-García, 2002).

Los frutos con mayor contenido de materia seca y aceite, como el aguacate, utilizan mayor cantidad de nutrimentos. Para calcular la cantidad de nutrimentos que deben aplicarse a los huertos, ya sea en forma orgánica o inorgánica, es necesario conocer la cantidad de nutrimentos removidos por el fruto (Salazar-García, 2002).

Estudios hechos por Maldonado *et al*. (2007) indicaron una acumulación diferencial de nutrimentos en el fruto, siendo el K el más concentrado, seguido de N, P, Mg, Ca, Fe, B, Zn, Cu y Mn. Estudios previos han sugerido que la calidad del fruto de aguacate, parece estar afectada, en primer lugar, por el Ca (Kremer-Köhne *et al*., 1993) y en segundo lugar, por el N (Arpaia *et al*., 1996), el B (Smith *et al*., 1997), el Mg, el K (Koen *et al*., 1990; Witney *et al*., 1990) y el Zn (Vorster y Bezuidenhout, 1988).

En la Tabla 6-6 se relaciona el resultado de los análisis de laboratorio sobre el contenido, en % y mg kg^{-1}, de los macro y micro elementos encontrados en pulpa de aguacate cv. Hass, procedente de siete localidades del departamento de Antioquia. En general, las necesidades de N y Ca en el aguacate son menores, mientras que las de P, K y Mg son mayores comparado con otros frutales como los cítricos (Chirinos, 1999).

Tabla 6-6. Contenido de macro y micro elementos encontrados en pulpa comestible, de aguacate cv. Hass, proveniente de distintas localidades del departamento de Antioquia.

Elemento	Unidad	Támesis	Ven PB	Ven SC	Jericó	Marinilla	Rionegro	Entrerríos
N	%	0,955	1,035	0,85	0,785	0,875	0,74	0,86
P	%	0,13	0,13	0,115	0,135	0,14	0,125	0,19
K	%	0,695	0,785	0,935	0,64	1,285	0,875	1,105
Ca	%	0,07	0,085	0,045	0,045	0,04	0,055	0,05
Mg	%	0,115	0,135	0,085	0,09	0,115	0,12	0,125
Na	%	0,045	0,05	0,04	0,05	0,095	0,07	0,08
S	%	0,265	0,62	1,465	1,225	0,92	2,115	0,39
Fe	mg kg^{-1}	97,135	67,275	44,88	28,15	30,625	49,195	31,735
Cu	mg kg^{-1}	14,75	9,525	12,41	8,66	6,875	8,83	9,49
Mn	mg kg^{-1}	7,505	5,91	4,82	4,185	3,51	5,185	4,285
Zn	mg kg^{-1}	7,195	8,975	14,04	10,135	10,49	11,415	16,02
B	mg kg^{-1}	10,73	8,205	30,125	14,665	25,845	11,55	38,805

La Tabla 6-7, resume los contenidos de macro y micro elementos (mg) encontrados en 100 g de pulpa comestible en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de distintas localidades del departamento de Antioquia, ubicadas en varias alturas sobre el nivel del mar, de acuerdo a los siguientes porcentajes de materia seca obtenidos: Támesis (27,70 %); Venecia PB (24,0 %); Venecia SC (24,67 %); Jericó (26,83 %); Marinilla (26,03 %); Rionegro (33,28 %) y Entrerríos (32,78 %)

Tabla 6-7. Contenido de macro y microelementos encontrados en pulpa comestible, de frutos de aguacate cv. Hass, proveniente de distintas localidades del departamento de Antioquia (24 a 32,78 % de ms).

Elemento	Támesis	Venecia PB	Venecia SC	Jericó	Marinilla	Rionegro	Entrerríos
	(mg/100 g)						
N	264,54	248,40	209,70	210,62	227,76	246,27	281,91
P	36,01	31,20	28,37	36,22	36,44	41,60	62,28
K	192,52	188,40	230,66	171,71	334,49	291,20	362,22
Ca	19,39	20,40	11,10	12,07	10,41	18,30	16,39
Mg	31,86	32,40	20,97	24,15	29,93	39,94	40,98
Na	12,47	12,00	9,87	13,42	24,73	23,30	26,22
S	73,41	148,80	361,42	328,67	239,48	703,87	127,84
Fe	2,69	1,61	1,11	0,76	0,80	1,64	1,04
Cu	0,41	0,23	0,31	0,23	0,18	0,29	0,31
Mn	0,21	0,14	0,12	0,11	0,09	0,17	0,14
Zn	0,20	0,22	0,35	0,27	0,27	0,38	0,53
B	0,30	0,20	0,74	0,39	0,67	0,38	1,27

6.4.3 Nitrógeno

El fruto de aguacate, rico en aceite, no solamente es un gran vertedero de C, sino también de N (Lovatt, 1996). Los aguacates contienen mayor concentración de proteínas que cualquier otro fruto comercial caducifolio, subtropical o tropical (Hall *et al*., 1980). Mientras que el contenido promedio de proteínas de cualquier fruto es de 0,8 con base en peso fresco, el aguacate comúnmente excede el 2,3 % de proteína por unidad de peso fresco (Slater *et al*., 1975; Hall *et al*., 1980). Uno de los mayores componentes de los tejidos vivos que contienen N, es proteína. El aguacate cv. Hass en California, contiene en promedio 2,4 g de proteína en 100 g de peso fresco (Slater *et al*., 1975).

Un fruto de aguacate típico en California, pesa entre 200 a 300 g (Slater *et al*., 1975). Esto significa 5,0 a 7,5 g de proteína por fruto, lo cual representa más de 1 g de N por fruto fresco (este cálculo es basado en dos factores comúnmente usados para calcular los g de proteína por 100 g de tejido, multiplicando Kjeldahl N por 6,25 o 5,7) (Hall *et al*., 1980). En el reporte de resultados de laboratorio de N encontrado en el fruto, están consignados en la Tabla 6-5, donde se observa que la localidad con frutos de mayor concentración de N en su pulpa, fue Venecia PB (1,035 %), seguido de Támesis (0,955 %) Marinilla (0,875 %) Entrerríos (0,86 %) Venecia SC (0,85 %) Jericó (0,785 %) y Rionegro (0,74 %) (Tabla 6-5); sin embargo, cuando se observan estos contenidos en 100 g de fruto comestible, los valores no siguen esta misma tendencia, debido a que los porcentajes de materia seca son variables, puesto que es en Entrerríos donde se obtienen frutos con los mayores contenidos de N, con 281,91 mg, seguido de Támesis con 264,54 mg, Venecia PB con 248,4 mg, Rionegro con 246,27 mg, Marinilla con 227,76, Jericó con 210,62 mg y finalmente Venecia SC con 209,7 mg (Figura 6-1).

Estos valores son bajos si se comparan con los porcentajes de N, encontrados por Granados (2013) en frutos de aguacate cv. Lorena, en la zona de Mariquita Tolima, con 1,11 % y por Bárcenas *et al.* (2003), en Uruapan, México en aguacate cv. Hass con 2,17 %; sin embargo, Herrera-Basurto *et al.* (2008) reportan concentraciones de N entre 0,95 a 1,07 % en pulpa de aguacate cv. Fuerte, en México, encontrándose en este estudio

valores similares en Venecia PB y Támesis. Los valores inferiores, probablemente se deben a que las condiciones de fertilidad del suelo no son las más adecuadas, por sus contenidos medios a bajos de N; además, por el hecho de que existen interacciones entre los nutrientes del suelo, propiciando o inhibiendo la disponibilidad entre éstos. Es necesario que no haya exceso ni deficiencia de N, P y K, porque un desequilibrio en estos elementos, reduce considerablemente el tamaño y calidad del fruto. Se sabe que un alto contenido de N, causa una disminución del contenido de Ca y se incrementa la sensibilidad a enfermedades y las paredes son más delgadas con lo que se aumenta la susceptibilidad a daños mecánicos (Cerdas *et al*., 2006).

El fruto de aguacate, sorprendentemente es bajo en N y muy alto en P y K. La cantidad de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) extraídos por una tonelada de fruto de aguacate es de 0,83, 2,40 y 3,62 kg, respectivamente (Chirinos, 1999). En este estudio el contenido de N mostró un comportamiento similar a lo encontrado por Salazar-García *et al.* (2011) donde los valores de N fueron en el clima semicálido subhúmedo (1.200 a 1.600 msnm), de 1,05 g 100 g^{-1} (1,05 %), el semicálido subhúmedo (1.600 a 1.800 msnm) de 0,98 g 100 g^{-1} (0,98 %), mientras que en el clima templado subhúmedo (1.900 a 2.300 msnm), este valor fue de 1,14 g 100 g^{-1} (1,14 %), es decir fueron altos en los extremos (bajas y altas elevaciones) y menores en las alturas medias. Sin embargo, estos contenidos corresponden a 1.050, 980 y 1.145 mg en 100 de pulpa comestible, respectivamente, los cuales son muy superiores a los obtenidos en este estudio (4 veces más en promedio), lo que supone valores muy bajos de N en el fruto de este estudio. El USDA (2011), puntualiza que los contenidos de proteína en 100 g de fruto comestible en aguacate cv. Hass es de 1,96 g, mientras que Téliz *et al*. (2000) y Calabrese (1992) mencionan que es de 1,8 g y Watt y Merrill (1975) en cv. Fuerte de 2,2 g.

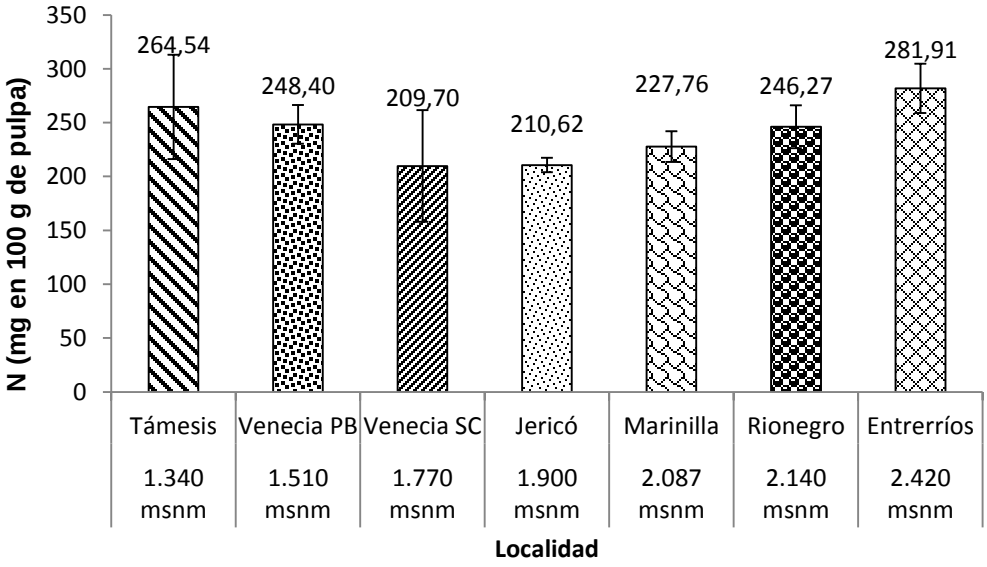


Figura 6-1. Contenido de Nitrógeno en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

6.4.4 Fósforo

En general, la tendencia observada con los contenidos de P, muestran que a medida que se asciende sobre el nivel del mar se aumenta el contenido de este elemento en el fruto (Figura 6-2). De acuerdo con el contenido nutricional del aguacate, propuesto por USDA (2011), lo aceptado para P en aguacate cv. Hass, es de 54 mg en 100 g de parte comestible; sin embargo, Ortega (2003), para el mismo cultivar reporta un contenido de 40 mg, similar a lo mencionado por Hulme (1971) de 41 mg, lo cual supondría que comparados con los valores encontrados en este estudio la mayoría de las localidades evaluadas tendrían valores muy bajos; sin embargo, Slater *et al*. (1975), menciona que los contenidos de P en pulpa de aguacate, presentan valores entre los 20 y los 80 mg por 100 g de fruto fresco, rango en el cual se encuentran los contenidos de P, en todas las localidades.

Es necesario mencionar que los suelos de todos los lotes donde se desarrolló este estudio, son similares a los utilizados en la zona de Michoacán (México), ubicado en el semitrópico, entre los 17° 55' y los 20° 24' de latitud Norte, presentando limitaciones químicas que se relacionan directamente con el pH y el contenido de alofana, que al ser de tendencia ácida, pueden fijar o inmovilizar hasta el 90 % del P contenido (Alcalá *et al*., 2002); presentan igualmente, baja capacidad de intercambio catiónico (<15 meq/100 g de suelo), además de bajos contenidos de N inorgánico, P, K y Ca aprovechable. Por lo anterior solo los frutos de Entrerríos con 62,28 mg, superaron los valores reportados por USDA (2011), mientras que lo de Rionegro tuvieron valores similares a los señalados por Ortega (2003) y Hulme (1971), suponiendo que enambas localidades los frutos presentan contenidos adecuados de este elemento; las demás localidades tuvieron valores por debajo de los mencionados por estos autores y su comportamiento fue muy similar. Los porcentajes de P en fruto de aguacate cv. Hass (Tabla 6-5), estuvieron cercanos a los encontrados por Granados (2013), en fruto de aguacate cv. Lorena, cosechado en la zona de Mariquita, Tolima, de 0,15 %; sin embargo fueron inferiores a los relacionados por Bárcenas *et al.* (2003) con valores de 0,359 %, debido a las mejores condiciones físicas de esos suelos; Alcántar y Aguilera (1997) señalan que en Michoacán, las plantaciones de aguacate se encuentran en suelos con texturas franco-arenosas o migajón arcillo-arenoso.

Las propiedades físicas de los suelos volcánicos donde se cultiva el aguacate, le confieren propiedades hidráulicas de 50 a 20 mm h^{-1} de conductividad hidráulica, esta propiedad al mismo tiempo que protege al sistema radical de enfermedades de la raíz al desalojar los grandes excedentes de agua de junio a octubre, también favorece la rápida desecación del suelo y la pérdida de nutrimentos y bases fuera de la superficie radical, y posibles efectos en los acuíferos, los cuales en algunas regiones productoras de aguacate, pueden llegar a 1,0 m de profundidad.

En este estudio, en general, el contenido de P mostró una tendencia ascendente a medida que el cultivo aumentaba en altura sobre el nivel del mar (Figura 6-2), diferente a lo mencionado por Salazar-García *et al*. (2011), donde los valores de P en la pulpa, no mostraron diferencias significativas entre cultivos ubicados en tres zonas productivas de Michoacán, México, desde los 1.200 hasta los 2.300 msnm.

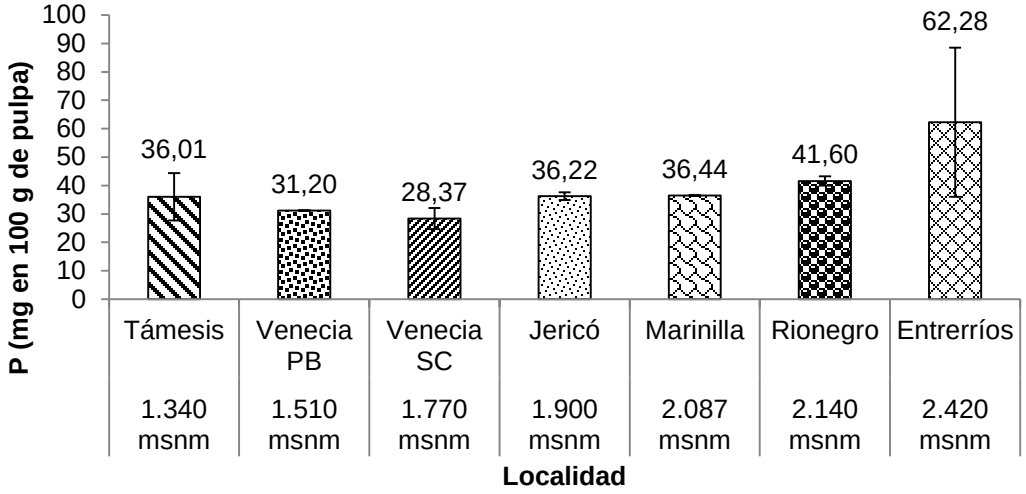


Figura 6-2. Contenido de P en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

De acuerdo con la regresión simple mostrada en la Figura 6-3, se observa que existió una asociación inversa y significativa (β= -3,77; P= 0,0329; R^2= 63,10 %) entre los contenidos de P en el fruto y la temperatura promedio ambiental; es decir que a medida que aumentó la temperatura, el contenido del fósforo diminuyó, lo cual se explica por el hecho de que este elemento es muy limitante en suelos tropicales, especialmente en zonas cálidas, donde por lo general, sus contenidos son muy bajos.

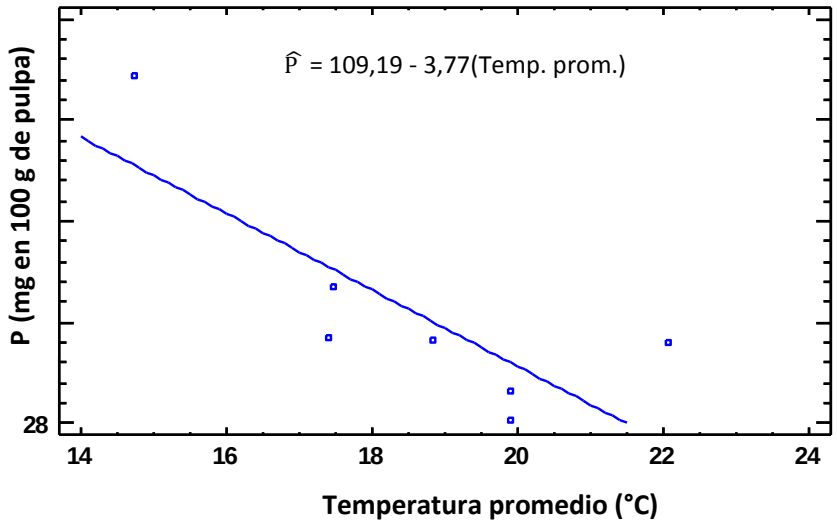


Figura 6-3. Modelo ajustado para el contenido de P en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en función de la temperatura promedio ambiental.

6.4.5 Potasio

De acuerdo con Dreher y Davenport (2013), el aguacate contiene cerca de 152 y 345 mg de K por 30 y 68 g (medio fruto), respectivamente; esto corresponde a 507 mg en 100 g de fruto comestible; de otra parte Hulme (1971) reporta para K en aguacate cv. Hass valores de 600 mg y Téliz *et al*. (2000) y Calabrese (1992), mencionan cantidades de 604 mg, mientras que Ortega (2003) para México indica 463 mg; Slater *et al*. (1975), señalan que los niveles deK en frutos de aguacate fluctúan entre los 340 a 723 mg. Lo anterior muestra que en este estudio los valores de K en todas las localidades (Figura 6-4), estuvieron por debajo de los reportes anteriores sugiriendo un déficit de este mineral con respecto a los estándares en otros países, lo que puede explicarse por el hecho de tener suelos con niveles medios a bajos de K y además por la baja disponibilidad de este macroelemento bajo las condiciones locales del suelo. Además, Ramos *et al.* (2006) mencionan que aunque este nutrimento está presente en altas cantidades en los suelos donde se cultiva aguacate, , usualmente más de 200 partes por millón (ppm), el K no está disponible para la planta en más del 85 %; además, la disponibilidad de Ko puede cambiar dependiendo aún de la humedad del suelo (Roldán *et al.*, 2004), lo cual es crítico en áreas sin riego, como es el caso de los lugares donde se hizo este estudio.

El K es un elemento nutritivo fundamental para el aguacate, cada tonelada de fruto extrae 4,5 kilogramos del nutriente, mientras que de N se extraen sólo 2,5 kg y de P 0,6 kg. Mientras que el N es un elemento indispensable en el crecimiento y desarrollo del árbol, el K es el activador de todos los procesos internos del frutal. En general, se observó que los contenidos de K en el fruto estuvieron influenciados por el clima, ya que los valores más altos obtenidos procedían de localidades ubicadas por encima de los 2.000 msnm (Rionegro con 291 mg, Marinilla con 334,48 mg y Entrerríos con 362,21 mg); Jericó con 171,71 mg presentó el menor contenido, seguido de Venecia PB con 188,40, Támesis con 192,51 y Venecia SC con 230,66 mg en 100 g de fruto comestible. Lo anterior coincide con Salazar-García *et al.* (2011), quienes encontraron que en zonas más bajas (1.200 a 1.800 msnm) de Michoacán (México), los valores de este elemento eran menores que en las zonas más altas (1.800 a 2.300 msnm).

De acuerdo con Salazar-García (2002), el K es el elemento más requerido por el fruto en la mayoría de las especies de frutales; el contenido de este elemento en el fruto de aguacate, siempre es mayor que en hojas, aunque no más que en las flores que siempre están por encima de ambas estructuras. Evidencias clínicas sugieren que un consumo adecuado de K promueve el control de la presión sanguínea en adultos (USDA y HHS, 2010).

El consumo promedio de K para un adulto en los Estados Unidos es de aproximadamente 3.200 mg diarios en hombres y 2.400 mg en mujeres, lo cual es más bajo que los 4.700 recomendados mundialmente (USDA y HHS, 2010; IOM, 2005). Una dieta saludable para mantener la presión sanguínea en óptimas condiciones es necesario identificar alimentos que contengan alrededor de 350 mg de K y menos de 140 mg de Na por porción (FDA, 2000).

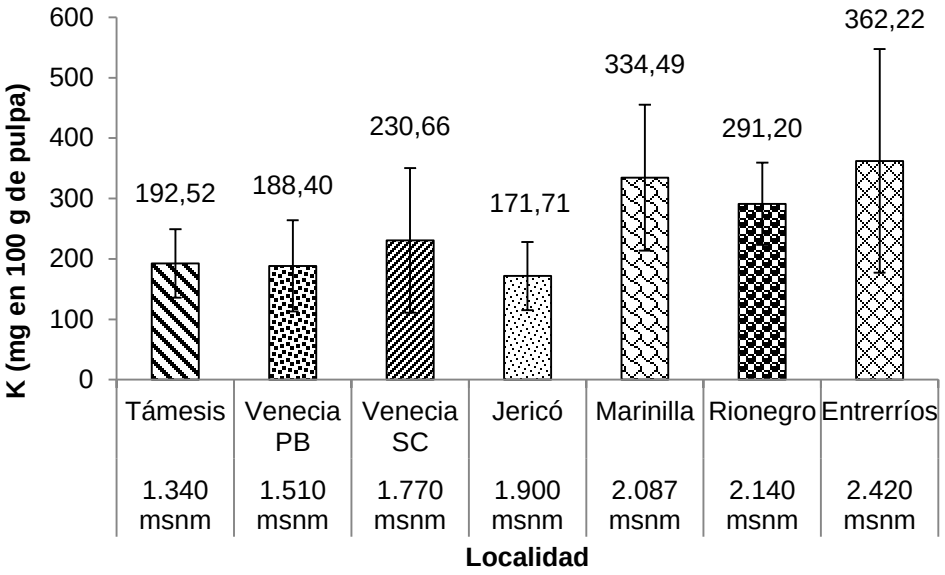


Figura 6-4. Contenido de K en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

De acuerdo con la regresión simple que se muestra en la Figura 6-5, se observa que existió una asociación inversa y significativa (β= -1,711 P= 0,0422; R^2= 59,53 %) entre los contenidos de K en el fruto y la precipitación, es decir que a medida que ésta aumentó, el contenido del K disminuyó, dado que por ser éste un elemento móvil en el suelo, puede ser fácilmente lixiviado, ocasionando bajos niveles traslocados al fruto, bajo tales condiciones.

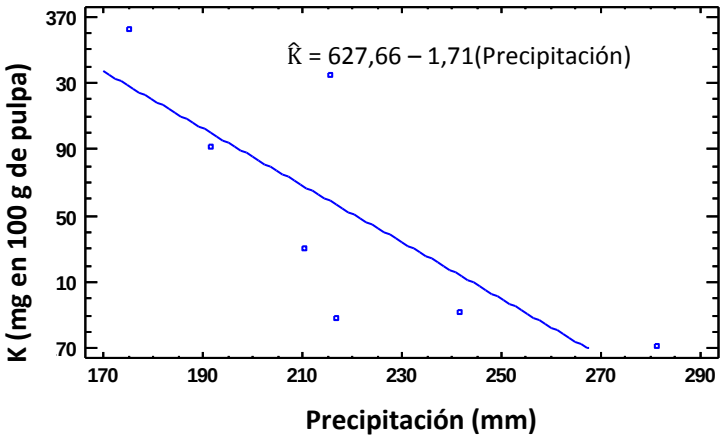


Figura 6-5. Modelo ajustado para el contenido de K en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en función de la precipitación.

Además, si se observa la regresión simple mostrada en la Figura 6-6, se confirma que además existió una asociación inversa y significativa (β= -27,3723; P= 0,0179; R^2= 70,65 %) entre los contenidos de K en el fruto y la temperatura promedio, es decir que a medida que ésta aumentó, el contenido del potasio disminuyó. Lo anterior, debido a que en las

condiciones de mayor temperatura en las localidades donde se realizó este estudio, el elemento estaba en una concentración baja en el suelo (Tabla 6-3), ocasionando una menor traslocación hacia el fruto.

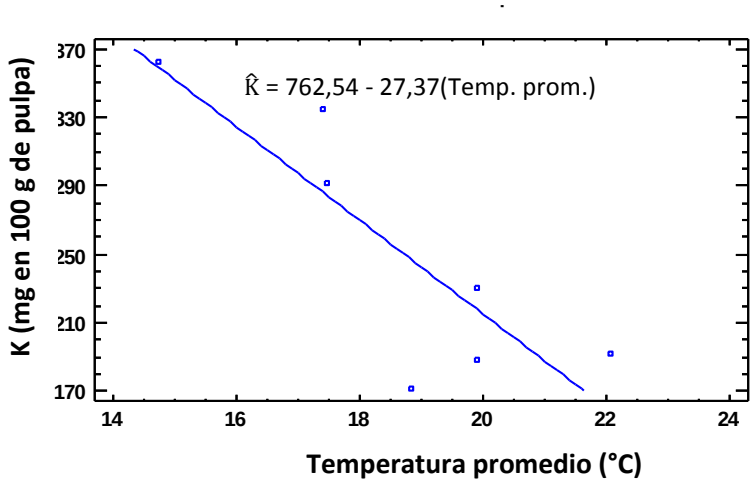


Figura 6-6. Modelo ajustado para el contenido de K en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en siete localidades del departamento de Antioquia en función de la temperatura promedio ambiental.

6.4.6 Calcio

En este estudio se encontraron valores de Ca en el fruto que variaron entre 10,41 a 20,4 mg en 100 mg de pulpa comestible (Figura 6-7), los cuales fueron similares a los reportados por Ortega (2003) con un valor de 10 mg, Hulme (1971) con 11 mg y el USDA (2011), quien menciona que este contenido es de 13 mg, en aguacate cv. Hass; sin embargo Téliz *et al*. (2000) y Calabrese (1992), en este mismo cultivar mencionan que éste, posee 24 mg en 100 g de fruto. Los resultados aquí obtenidos están dentro del rango reportado.

La localidad con frutos de mayor contenido de Ca fue Venecia PB, con 29,4 mg, seguido de Marinilla con 10,41 mg, Venecia SC 11,25 mg, Jericó con 12,07 mg, Rionegro con 18,30, Entrerríos 16,39 y Támesis, con 19,39 mg en 100 g de fruto comestible (Figura 6-4); en este caso, sucedió lo contrario a lo hallado en P, ya que las localidades ubicadas en las zonas más bajas presentaron los mayores valores de Ca. Sin embargo, estos valores son altos comparados con los de Slater *et al*. (1975), quienes mencionan un rango para este macroelemento de 10 a 15 mg, valores superados por las siete localidades en este estudio. Cabe destacar que la localidad donde se encontró el menor nivel de Ca en el suelo al inicio del estudio (Venecia PB), fue la de mayor contenido de este elemento en el fruto, debido a que a raíz del análisis inicial del suelo, la deficiencia fue corregida con la aplicación de Ca en forma de cal dolomítica, lo cual surtió algún efecto.

A pesar de que de todo el Ca absorbido por la planta, una gran proporción es utilizado en el crecimiento de brotes vegetativos y raíces (Barker y Pilbeam, 2007), en este estudio hubo una buena translocación hacia los frutos que se vio reflejada en los valores obtenidos. Estos contenidos, suponen que el fruto presenta un valor agregado, ya que

contenidos altos de Ca proporcionan una mayor resistencia del fruto a las pérdidas pos cosecha, relacionadas con la disminución en el desarrollo de desórdenes fisiológicos del fruto.

El Ca es el nutrimento implicado más frecuentemente y existen numerosos informes publicados, sobre reducción de fisiopatías en una gama de frutos después de mejorar la nutrición con Ca (Salazar-García, 2002). Witney *et al*. (1990) encontraron que frutos con alto contenido de Ca demoran más tiempo en madurar. De acuerdo con Bárcenas *et al*. (2003), el Ca y el Mg se comportan de manera similar, siendo más requeridos por las hojas y menos por flores y frutos (en ese orden).

El Ca y el Mg elevan sus concentraciones en las hojas, cuando se presenta crecimiento vegetativo, las mayores concentraciones coinciden también con la época en que las precipitaciones fueron más altas (agosto y septiembre), lo que parece corresponder con su mecanismo de flujo de masas empleado para llegar a las raíces (Salazar-García, 2000). El Ca eleva sus concentraciones en los primeros y en los últimos estadios de desarrollo de los frutos.

El hecho de encontrar los mayores valores de Ca en zonas bajas en este estudio (Támesis y Venecia SC), pueden deberse a la baja adaptación de este cultivar en esas condiciones, pues como se discutió en el Capítulo 3 de este estudio, ambas localidades fueron las de menor producción y calidad de fruto obtenidos; Witney *et al*. (1990) evaluaron los niveles de calcio durante el crecimiento de frutos provenientes de árboles vigorosos y no vigorosos, de los cvs. Hass y Fuerte. En ambos cultivares, los frutos provenientes de árboles no vigorosos tenían mayor contenido de Ca especialmente durante las primeras etapas de desarrollo del fruto.

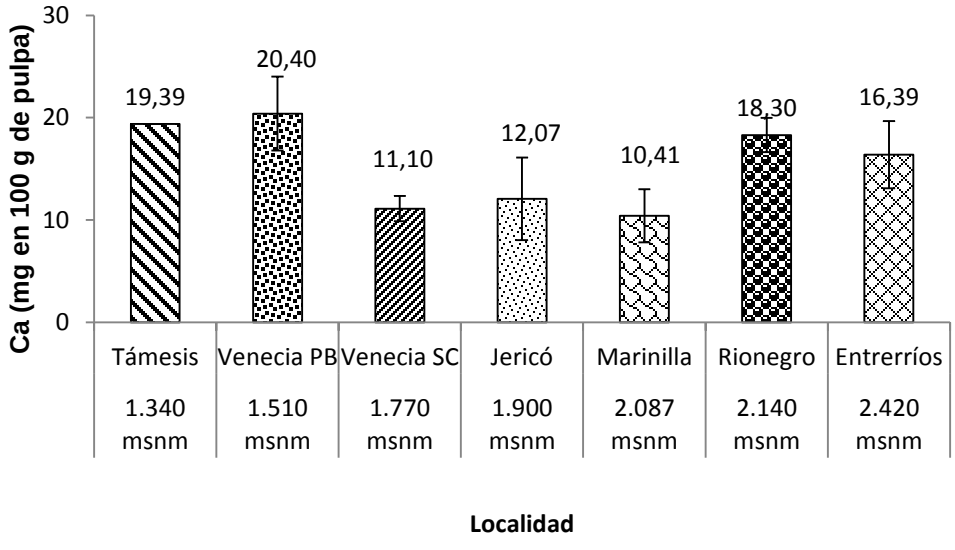


Figura 6-7. Contenido de Ca en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

6.4.7 Magnesio

Los contenidos de Mg encontrados en este estudio variaron entre los 20,97 a los 40,98 mg en 100 de pulpa comestible (Figura 6-5), valores similares a los mencionados por USDA (2011) de 29 mg; sin embargo, otros autores señalan valores más altos, Hulme (1971) de 39 mg, Ortega (2003) de 41 mg, Téliz *et al*. (2000); Calabrese (1992), 45 mg y Slater *et al*. (1975), 40 a 60 mg. En general, se observó un contenido de Mg en el fruto, acorde con lo reportado, excepto para Venecia SC (20,97 mg) y Jericó (14,15 mg); las localidades con mayores contenidos fueron Entrerríos (40,98 mg) y Rionegro (39,94 mg), las cuales tuvieron valores similares a los registrados por Hulme (1971) y Ortega (2003); los frutos de las demás localidades como Venecia PB (32,40 mg), Támesis (31,86 mg), Marinilla (29,93 mg), Jericó (24,15 mg) y Venecia SC (20,97 mg), fueron en su orden, inferiores (Figura 6-8). En general, aunque no se observó ninguna tendencia con respecto a la altitud de los huertos y el contenido de este mineral en el fruto, es destacable que los más altos valores se dieron las localidades ubicadas por encima de los 2.100 msnm. De acuerdo con los porcentajes de Mg en la pulpa (Figura 6-5), los valores obtenidos en esta investigación (Tabla5), estuvieron cercanos a los encontrados por Granados (2013), en pulpa de aguacate cv. Lorena, en la zona de Mariquita Tolima, con 0,1 %, pero muy inferiores a los de Bárcenas *et al.* (2003), en Uruapan, México en aguacate cv. Hass con 0,27 %, probablemente debido a las mejores condiciones físico-químicas de esos suelos, como fue discutido anteriormente.

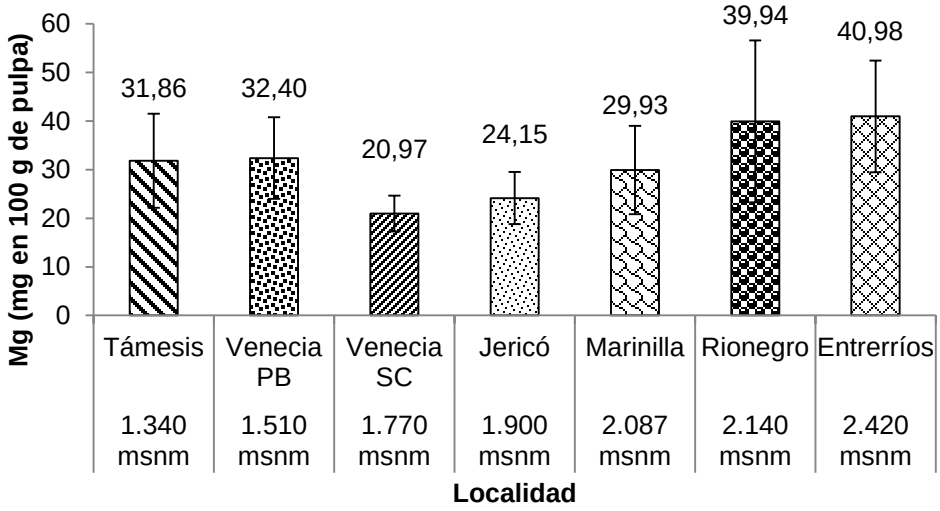


Figura 6-8. Contenido de Mg en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

6.4.8 Sodio

Teniendo en cuenta los reportes sobre los niveles medios de Na presentes en el fruto de aguacate, los resultados obtenidos en este estudio, revelan que la pulpa analizada presenta una cantidad alta de este elemento. Es así como USDA (2011) menciona valores de 8 mg, Hulme (1971) de 10 mg, Ortega (2003) de 4 mg, Téliz *et al.* (2000) y Calabrese (1992), 4 mg. Sin embargo, Slater *et al*. (1975) señalan que este elemento se encuentra en pulpa fresca de aguacate, en niveles que van desde los 5 a 15 mg, estando los frutos procedentes de las localidades de Rionegro, Marinilla y Entrerríos por encima de estos valores. De acuerdo con Ortega (2003), las necesidades diarias de Na son de aproximadamente 3.450 mg, lo que significa que 100 g de pulpa aguacate aportarían aproximadamente un 0,12 % de las necesidades diarias; en este caso el fruto aquí estudiado, tendría un aporte mayor al reportado por el autor mencionado, lo cual sería entre 2,5 a 6 veces mayor a este porcentaje, es decir 0,3 a 0,72 % de las necesidades diarias.

Existe un concepto equivocado de que el consumo de Na es nocivo para la salud; sin embargo, la IOM (2005) menciona que el Na es un elemento que el cuerpo necesita para funcionar correctamente, para controlar la presión arterial y el volumen sanguíneo y es necesario para que los músculos y los nervios funcionen apropiadamente. El Na es requerido para mantener el volumen extracelular y la osmolaridad del plasma. El Na se presenta de manera natural en la mayoría de los alimentos. La forma más común de Na es NaCl , que corresponde a la sal de cocina, distinto del sodio (Na) o sodio de constitución que forma parte de manera natural en los alimentos que lo contienen. 1 g de cloruro sódico (sal común) equivale a 390 mg de Nao. Demasiado Na en la dieta puede llevar a una hipertensión arterial o a una acumulación grave de líquido en personas con insuficiencia cardíaca congestiva, cirrosis del hígado o nefropatía. Los adultos sanos deben limitar la ingesta de Na a 2,300 mg por día y los adultos que sufran de hipertensión arterial no deben consumir más de 1,500 mg por día. En general se observó una tendencia ascendente entre el valor del Na y la altura sobre el nivel del mar, siendo las localidades por encima de los 2.000 msnm, las de mayores contenidos y contrariamente las ubicadas debajo de este límite, las de menores contendidos (Figura 6-9).

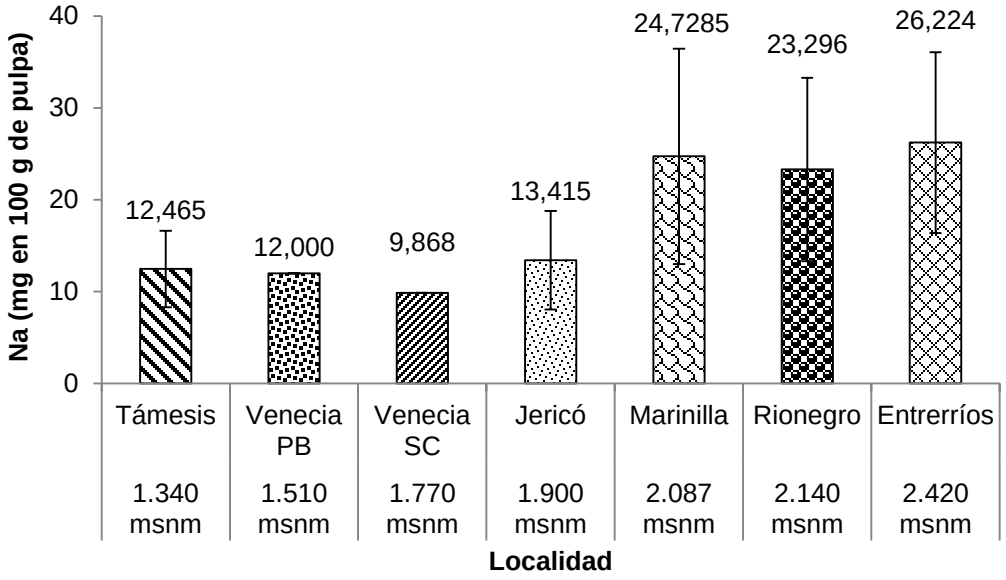


Figura 6-9. Contenido de Na en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

Al igual que lo sucedido con el K, existió una asociación inversa y significativa (β= -2,553; P= 0,0136; R^2= 73,52 %) entre los contendios de Na en el fruto y la temperatura promedio, es decir que a medida que ésta aumentó, el contenido del Na diminuyó, tal como se observa en la regresión simple mostrada en la Figura 6-10. Al igual que en K, la concentración de Na en el suelo era inferior en las zonas mas cálidas (Tabla 6-3), que el encontrado en las zonas mas frias, lo cual representó un menor contenido de este elemento en los frutos, bajo tales condiciones.

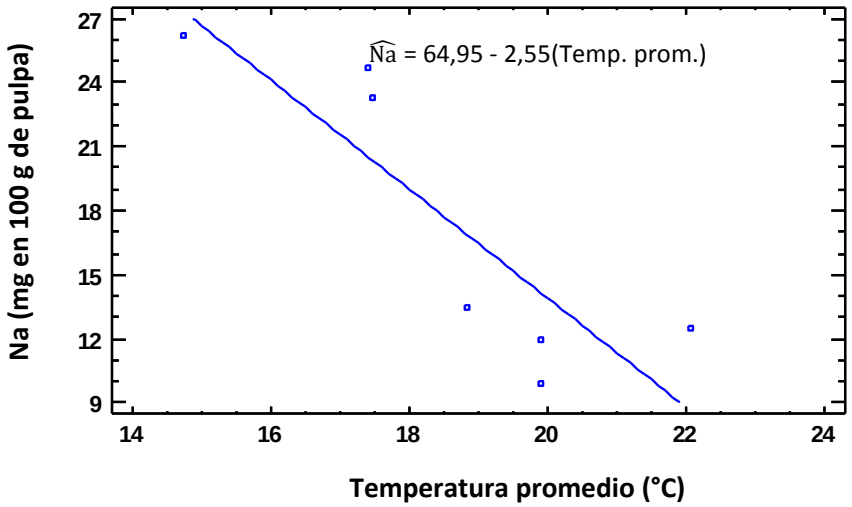


Figura 6-10. Modelo ajustado para el contenido de Na en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en función de la temperatura promedio ambiental.

6.4.9 Azufre

Bárcenas *et al*. (2003) en un estudio realizado en Michoacán, México encontró que frutos de cv. Hass con un 21,5 % de materia seca, aptos para ser cosechados, tenían un porcentaje de S de 0,359 %, lo que equivaldría a 90 mg por 100 g de pulpa comestible. En este estudio, cinco de las siete localidades evaluadas presentaron frutos con niveles mayores a los reportados por Bárcenas *et al*. (2003), lo que podría significar un valor agregado del fruto con estos contenidos. Niveles como los del fruto de Rionegro con contenidos de hasta casi ocho veces más de los reportados por Bárcenas *et al*. (2003), dan cuenta de la potencialidad de éste; similarmente el fruto de todas las localidades, se destaca por sus contenidos en este elemento, superior al contenido en ajo (70 mg), vegetal que se caracteriza por su alto valor en este micronutriente. Parcell (2002) asegura que este macromineral es un importante componente de tres aminoácidos (metionina, cisteína y taurina), que se ocupan de formar proteínas, así como de la tiamina, conocida como vitamina B1.

La dosis diaria recomendada no está estipulada, por tanto una dieta regulada es lo único seguro de su correcta dosis. Si bien la incorporación excesiva del S contenido en los alimentos no es considerada tóxica, si es peligrosa la ingestión de S inorgánico a través de productos no recomendados por profesionales de la medicina. El clima donde se plantaron los árboles, modificó la composición nutrimental del S en el fruto, ya que las

localidades ubicadas por encima de los 1.510 msnm mostraron mayores contenidos de este elemento en el fruto, que los de Támesis, a 1.340 msnm (Figura 6-11). Llama la atención los valores bajos de Entrerríos (127,84 mg), lo que muestra valores muy disímiles en todos los ambientes estudiados.

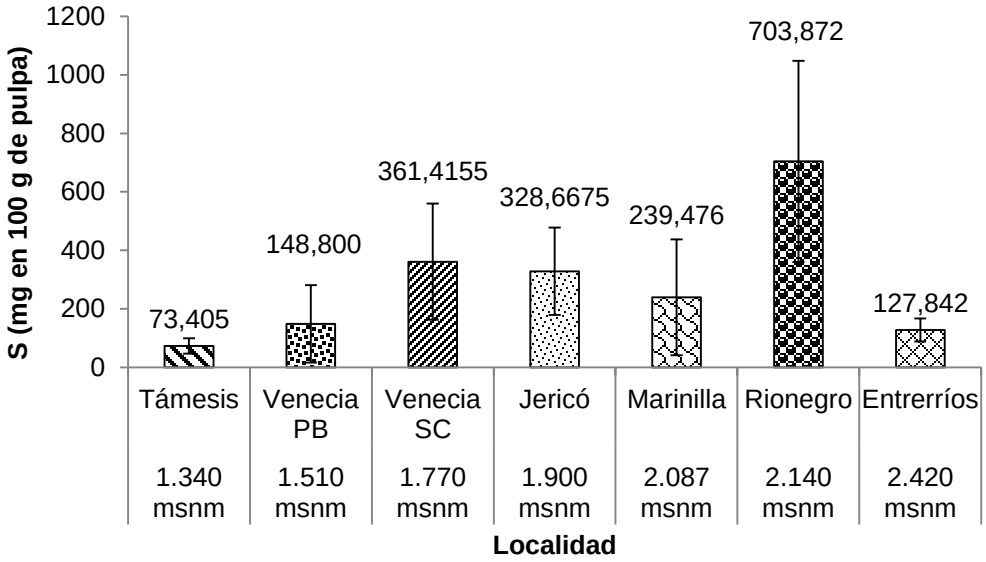


Figura 6-11. Contenido de S en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

6.4.10 Oligoelementos

Llamados también elementos traza, deben de ser aportados por los alimentos, las cantidades necesarias son generalmente del orden de unos cuantos microgramos, sin embargo, juegan un importante rol en el metabolismo y la carencias de estos, puede llegar a provocar trastornos en el sistema respiratorio, psiconeurológico, circulatorio, digestivo, osteoarticular y endocrino (Ortega, 2003).

Excepto el Cl y el B, los micronutrientes se encuentran asociados a enzimas que regulan distintos procesos metabólicos, principalmente la respiración (Cu, Fe, Mn, Zn), la fotosíntesis (Cu, Mn) y la síntesis de clorofila (Cu, Fe, Zn). El Fe, Mn, Cu y Mo forman parte de grupos prostéticos que catalizan reacciones de óxido-reducción, el Fe y Zn forman complejos enzima-sustrato, y el Zn cataliza ciertas reacciones enzimáticas. El Mn interviene, además, en el proceso de regulación enzimático y la permeabilidad de la membrana celular. El Mo es un componente de la nitrato reductasa, además de intervenir, junto con el Zn, en la síntesis de proteínas. Por otro lado, el Cl está involucrado en el transporte de cationes, regulando la apertura y cierre de las células estomáticas, mientras que el B se asocia al metabolismo de azúcares y a la formación del tubo polínico (Römheld y Marschner, 1986).

6.4.11 Hierro

En este estudio, en términos generales, se encontró que los contenidos de Fe en el fruto, disminuyeron a medida que se ascendió sobre el nivel del mar (Figura 6-12), mostrando una influencia del clima en la concentración de este micronutriente en el fruto. Los niveles de Fe encontrados en la pulpa estuvieron en Jericó en 0,75 mg, seguido de Marinilla con 0,79 mg, Entrerríos con 1,040 mg, Venecia SC con 1,107 mg, Venecia PB con 1,61 mg, Rionegro con 1,637 mg y Támesis con 2,691 mg y en 100 g de fruto comestible. Al respecto Hulme (1971), Téliz *et al*. (2000), Calabrese (1992) y USDA (2011) mencionan que los contenidos de este elemento en aguacate cv. Hass varían entre 0,4, y 0,61 mg; mientras que Ortega (2003) reporta valores de 1,06 mg. Al respecto, los frutos de Jericó, Marinilla y Entrerríos se mantuvieron dentro de este rango, mientras que Venecia SC y Venecia PB, Rionegro, Támesis, estuvieron por encima de dichos niveles, lo que muestra la gran potencialidad de este fruto, por sus altos contenidos de este micronutriente. Si se tienen en cuenta los trabajos de Slater *et al*. (1975), cuyos valores para este elemento presentan un rango entre los 0,5 a 2 mg de fruto freso, todas las localidades tuvieron valores dentro de este rango, sugiriendo que poseen valores normales sobre el contenido de Fe en pulpa de aguacate. Cabe mencionar que el Fe es un componente esencial de la hemoglobina, permite el transporte de oxígeno a las células y la evacuación del dióxido de carbono (Ortega, 2003), por lo que fruto con altos contenidos de este oligoelemento favorecería estas propiedades.

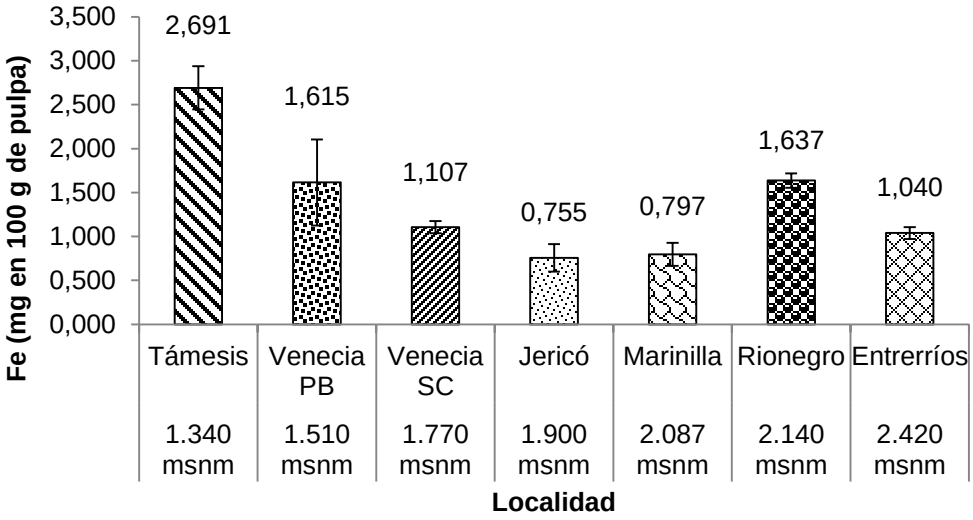


Figura 6-12. Contenido de Fe en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

6.4.12 Cobre

El Cobre facilita la absorción del Hierro de los alimentos y es necesario para la construcción de los tejidos conjuntivos (Ortega, 2003). Fueron encontrados en este estudio, en pulpa de aguacate cv. Hass, contenidos de Cu desde 0,17 a 0,40 mg (Figura 6-9). El USDA (2011) indica que el contenido de este oligoelemento en fruto de aguacate

cv. Hass es de 0,17 mg en 100 g de fruto comestible, Hulme (1971) revela que son 0,26 mg y Ortega (2003) menciona que son 0,35 mg. En una investigación realizada por Jiménez-Vieyra y Zambrano-Zaragoza (2011), se encontró que el aguacate poseía un contenido de 0,292±0,030 mg de Cobre en 100 g, mayor que el contenido en otros frutos como ciruela (0,119±0,020 mg), fresa (0,094±0,010 mg), kiwi (0,130±0,030 mg), mamey (0,038±0,019 mg), mango (0,191±0,030 mg), manzana (0,072±0,020 mg), pera (0,186±0,030 mg) y banano (0,139±0,35 mg), lo cual explica porque el aguacate presenta mayor pardeamiento que los demás frutos analizados en ese estudio. Un fruto que contiene polifenoles y la enzima de PFO está destinado a presentar oscurecimiento, pero un fruto que además tiene un alto contenido de cobre anuncia un oscurecimiento acelerado (Es-Safi *et al*., 2003), como es el caso del aguacate.

El aguacate y el mango muestran una relación directa entre la cantidad de Cobre en extracto y la velocidad de obscurecimiento debido a su pH neutro. En este estudio se encontró que seis de las localidades evaluadas tuvieron valores dentro del rango mencionado por los estudios referenciados, solo en Támesis con un contenido de 0,409 mg, fue superior a estos valores, lo que le permitiría a este fruto destacarse como una buena fuente de este oligoelemento, pero con una desventaja por su mayor pardeamiento. El cuerpo humano requiere el consumo de 1,0 mg de Cobre al día para alcanzar un efecto protector contra algunas enfermedades (Joo y Betts, 1996); el aguacate apenas contribuye en un 30 % del consumo sugerido. En general, se observó que a medida que se ascendía sobre el nivel del mar, los niveles de cobre disminuían (Figura 6-13), observándose un efecto ambiental, diferente a lo señalado Salazar-García *et al.* (2011), quienes no encontraron diferencias significativas en fruto de aguacate cv. Hass, procedente de huertos plantados desde los 1.200 hasta los 2.300 msnm, en Uruapan, México.

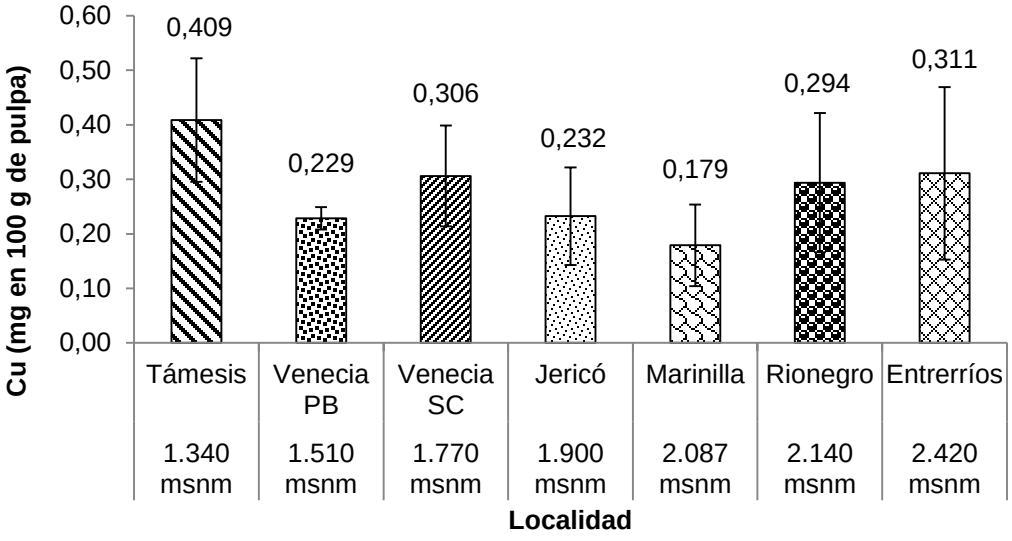


Figura 6-13. Contenido de Cu en 100 g pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

6.4.13 Manganeso

De acuerdo con el USDA (2011), los valores medios de Mn encontrados en pulpa de aguacate cv. Hass son de aproximadamente 0,15 mg en 100 g de pulpa comestible; sin embargo, Ortega (2003) menciona que esos niveles son de 2,3 mg. En general, se observó que el clima donde se desarrollaron los árboles, modificó la composición del Mn del fruto, ya que a medida que los huertos se ubicaban a mayor altitud, los contenidos en el fruto disminuyeron (Figura 6-14). Salazar-García *et al.* (2011), encontraron que los niveles de este elemento estuvieron entre 0,5, 0,51 y 0,58 mg 100 g^{-1} de pulpa, en climas semicálido subhúmedo (1.200 a 1.600 msnm), semicálido húmedo (1.600 a 1.800 msnm) y templando subhúmedo (1.900 a 2.300 msnm), respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas entre las zonas climáticas. En este estudio, solo los frutos de Támesis, con 0,208 mg y Rionegro con 0,173 mg, estuvieron dentro de los valores referenciados por el USDA (2011); las demás localidades estuvieron por debajo de estas cantidades y todas las localidades mostraron valores inferiores a los indicados por Ortega (2003) y Salazar-García *et al.* (2011), sugiriendo contenidos bajos de este oligoelemento. El ambiente más cálido de Támesis mostró los niveles más altos de Mn, superiores a las demás localidades; por encima de los 1.510 msnm, los valores fueron muy similares, siendo Rionegro la localidad con los frutos de mayore contenido de Mn con 0,173 mg (Figura 6-10). Cabe recordar que el Mn, participa en el equilibrio de numerosas enzimas y metabolismo de glúcidos (Ortega, 2003).

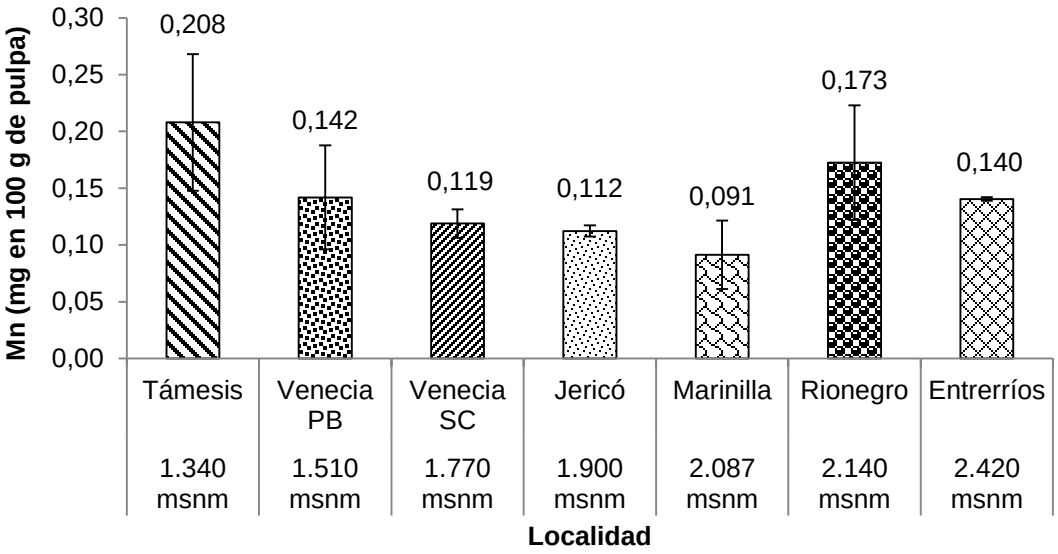


Figura 6-14. Contenido de Mn en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

6.4.14 Zinc

En este estudio se encontró que los valores para Zn fueron los siguientes Támesis (0,199 mg), Venecia PB (0,225 mg), Jericó (0,272 mg), Marinilla (0,273 mg), Venecia SC (0,346 mg), Rionegro (0,38 mg), y Entrerríos (0,525 mg) (Figura 6-15); a excepción de Entrerríos,

estos valores son inferiores a los reportados por Téliz *et al*. (2000) y Calabrese (1992), quienes mencionan que los contenidos están por el orden de los 0,4 mg; USDA (2011), indica valores de 0,68 mg y Hulme (1971) de 1 mg; Salazar-García *et al.* (2011) por su parte, en México, registra valores mayores, de 1,74 a 1,82 mg.

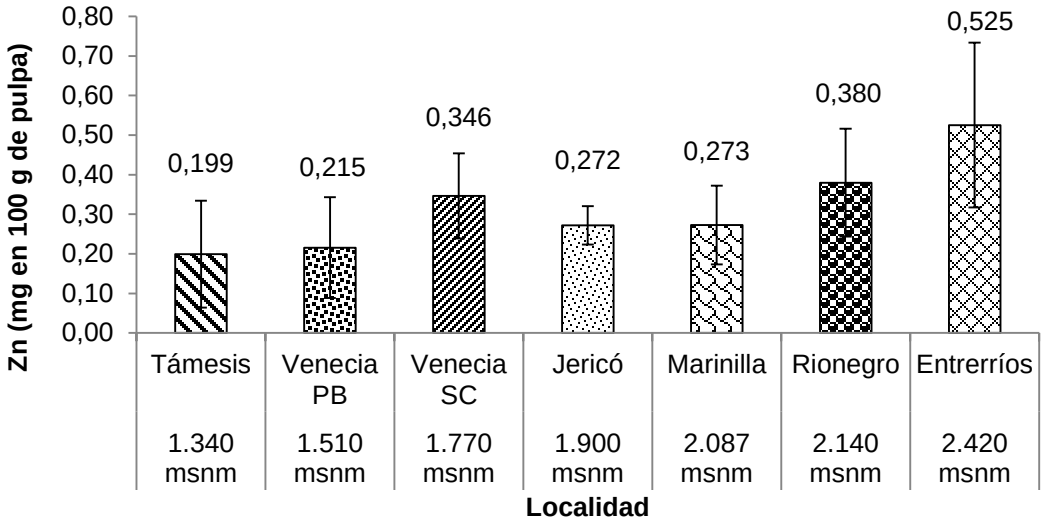


Figura 6-15. Contenido de Zn en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

Por lo anterior, se estima que las cantidades aquí encontradas son bajas, probablemente debido a lo mencionado por Salazar-García *et al.* (2011), quien asegura que la deficiencia de Zn está presente en la mayoría de las regiones productoras del mundo, en los diferentes rangos de pH del suelo en los que se cultiva el aguacate. La importancia de eliminar esta deficiencia radica en que de presistir, no sólo se reduce la cantidad de fruto cosechado, sino que es una de las principales razones para que los cultivares de aguacate produzcan fruto pequeño, deforme y redondeada (Salazar-García, 2002). La no corrección conduce al decaimiento total del árbol (Gamalier *et al.,* 2005).

En este estudio se observó una influencia del clima sobre los contenidos de Zn en el fruto, ya que el fruto de los huertos ubicados por encima de los 1.770 msnm presentaron más altos contenidos que aquellos localizados por debajo de este límite (Figura 6-11); además, el valor más alto fue conseguido en la localidad ubicada a mayor altura (Entrerríos, 2.420 msnm con 0,525 mg).

Al igual que lo sucedido con el K y el Na, con el Zn existió una asociación inversa y significativa (β= -0,04046; P= 0,0202; R^2= 69,27 %) entre los contendios de Zn en el fruto y la temperatura promedio, es decir que a medida que ésta aumentó, el contenido del elemento diminuyó, tal como se observa en la regresión simple mostrada en la Figura 6-16. Al igual que en K y Na, las concentraciones del Zn, de acuerdo con el análisis del suelo, eran inferiores en las zonas de mayor temperatura (Tabla 6-3), que los encontrados en las de menor temperatura, lo cual influyó para que presentaran menores contenidos en los frutos, en esas condiciones.

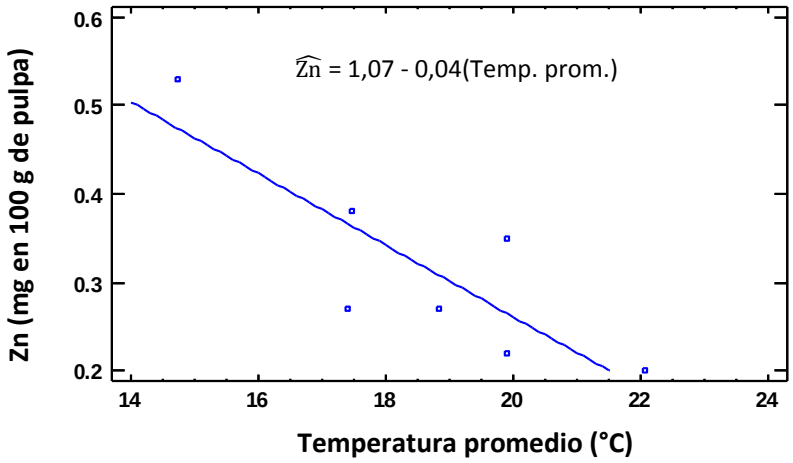


Figura 6-16. Modelo ajustado para el contenido de Zn en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en función de la temperatura promedio ambiental.

Salazar-García *et al.* (2011) en México, no encontraron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de Zn en fruto procedente de tres diferentes climas, semicálido subhúmedo, con 1,8 mg; semicálido húmedo con 1,82 mg y templado subhúmedo con 1,74 mg, ni tampoco en huertos con y sin riego (1,81 y 1,74 mg, respectivamente), siendo estos valores superiores a los hallados en este estudio. Entre los frutos con mayor cantidad de Zinc se incluye al aguacate con 1,3 mg, las moras con 0,8 mg, el dátil con 0,4 mg y las frambuesas con 0,5 mg (Ortega, 2003). El Zn está envuelto en numerosos aspectos del metabolismo celular. Es requerido para la actividad catalítica de aproximadamente 100 enzimas (Sandstead, 1994; IOM, 2002) y juega un papel importante en la función inmune (Prasad, 1995; Solomons, 1998), la cicatrización (Heyneman, 1996), la síntesis de DNA (Prasad, 1995; IOM, 2002) y la división celular (Prasad, 1995).

6.4.15 Boro

Slater *et al*. (1975) mencionan que los contenidos de B en 100 g de pulpa de aguacate, se encuentran en niveles de 1 a 3 mg; sin embargo Salazar-García *et al.* (2011) encontró valores entre 2,62 a 2,84 mg. Si se consideran estos valores como referencia, solo Entrerríos estaría dentro del rango propuesto por Slater *et al.* (1975), pero comparado con Salazar-García *et al.* (2011), todos los valores hallados en este estudio se consideran de bajo a muy bajos (entre 0,2 a 1,272), debido a que los suelos exhiben gran deficiencia de este elemento y además, el B es otro de los nutrientes que se presenta como un problema de ocurrencia común en todas las áreas en que se cultiva aguacate en el mundo (Cerdas *et al.,* 2006).

Antaño muchos nutricionistas consideraban al B como un mineral que sólo resultaba útil o esencial para las plantas, ya que está estrechamente asociado con la división celular y la actividad meristemática (responsable del crecimiento), siendo particularmente importante durante la polinización y el desarrollo temprano del fruto. Tal es así que en árboles severamente deficientes, se producen deformaciones del fruto y de los brotes

(Gardiazabal, 2004). Sin embargo, recientemente se ha podido constatar que en realidad se trata de un nutriente que, al igual que otros minerales más conocidos, juega un papel ciertamente fundamental en la alimentación humana. El B es capaz de formar compuestos con sustancias hidroxiladas como adenosina-5-P, piridoxina, riboflavina, ácido dehidroascórbico y nucleótidos de piridina. Sus funciones fundamentales en el organismo humano están relacionadas con la formación ósea y las funciones encefálicas y con el desarrollo adecuado de la actividad eléctrica cerebral (Ziegler y Filer, 1997). Solo dos estudios de privación del B de la dieta, realizados en seres humanos, han mostrado que los requerimientos de este elemento quizás pudiesen encontrarse alrededor de 1 mg día^{-1}.

En el año 2002, el Consejo de Alimentación y Nutrición de EE. UU., estableció un nivel máximo de ingestión tolerable para el B de 3 mg día^{-1} para niños de 1 a 3 años, 6 mg día^{-1} para niños de 4 a 8 años, 11 mg día^{-1} para niños de 9 a 13 años, 17 mg día^{-1} entre 14 y 18 años de edad y 20 mg día^{-1} para adultos (IOM, 2002). En este estudio se observó una influencia marcada del clima sobre el contenido del B en la pulpa de aguacate, ya que los frutos procedentes de los huertos plantados por encima de los 1.770 msnm, presentaron mayores contenidos de este elemento, que aquellos por debajo de esta altura; Salazar-García *et al.* (2011) en México no reporta influencia del clima sobre el contenido del B en el fruto de aguacate cv. Hass (Figura 6-17).

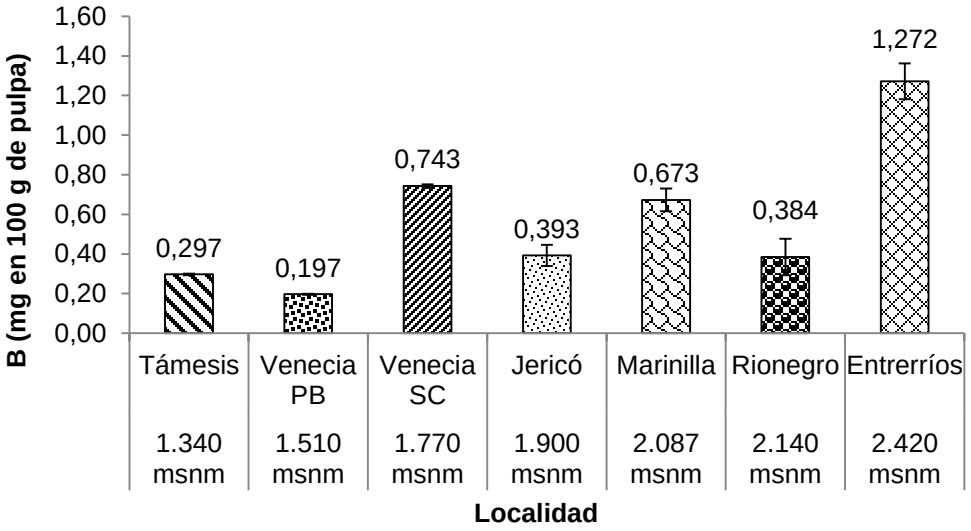


Figura 6-17. Contenido de B en 100 g de pulpa comestible, en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2013-2014).

6.5 Conclusiones

El clima afectó el contenido de algunos elementos en la pulpa de aguacate cv. Hass procedente de siete localidades del departamento de Antioquia (desde los 1.340 a 2.420 msnm). El P, el K, el Mg, el Na, el S, el Zn y el B, aumentaron sus valores cuando el fruto procedía de huertos ubicados a mayores alturas; en algunos casos por encima de los 1.770 msnm y en otros, de los 2.000 msnm. El Ca, el Fe, el Mn y el Cu aumentaron sus contenidos cuando la altura era menor, el N no mostró ninguna influencia por las condiciones climáticas (Tabla 6-3).

El fruto de la mayoría de las localidades, presentó diferencias en sus contenidos, con respecto a los contenidos nutricionales consultados; es así como el N P, K, Mn, Zn y B, en general, presentaron valores inferiores, el Mg, el Fe y el Cu mostraron valores iguales o ligeramente inferiores, mientras que los contenidos de Ca, Na y S revelaron mayores cantidades que aquellos analizados a nivel internacional.

Por localidades, en Támesis a 1.340 msnm, se presentaron los frutos con la mayor cantidad de Fe, Cu y Mn y los valores más bajos de Zn y S; los frutos de Venecia PB a 1.510 msnm, mostraron los mayores valores en Ca y los más bajos de B; los frutos de Venecia SC registraron los menores valores de P, Mg y Na; los frutos de Jericó no mostraron valores superiores en ningún elemento y por el contrario tuvo las menores cantidades de K y Fe; los frutos de Marinilla a 2.087 msnm los niveles menores de Ca, Cu y Mn, Rionegro a 2.147 msnm, los mayores de S y Entrerríos a 2.420, las más altas cantidades de N, K, P, Mg, Zn y B.

Esta es la primera vez que se obtienen contenidos de minerales en pulpa de aguacate cv. Hass, en diferentes climas y condiciones de cultivo en Antioquia y en Colombia. Esta información será de utilidad para planear investigaciones, con el objetivo de desarrollar tecnología basada en contenidos de nutrientes en el fruto y la extracción de los mismos, lo cual permitirá conocer la calidad de fruto, con miras a enfrentar los mercados nacionales e internacionales.

6.6 Literatura citada

ADA-American Dietetic Association. 2009. Position of the American Dietetic Association: Functional foods. J. Am. Diet. Assoc. 109:735–746.

Alcalá M.J., Ortiz S., C. y Gutiérrez C., M.C. 2002. Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. Terra. 19: 227-239.

Alcántar R., J.J. y Aguilera M., J.L. 1997. Balance hídrico del suelo en el área productora de aguacate de Uruapan, Mich. XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco. México.

Anguiano, C.J.; Alcántar, J.J.; Toledo, B.R.; Tapia, L.M. y Vidales-Fernández, J.A. 2007. Caracterización edafoclimática del área productora de Aguacate de Michoacán, México. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate, Viña Del Mar, Chile. 11 p.

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**.** 15th Ed. Kenneth Helrich Editor. Arlington, Virginia. USA. 771 p.

Arpaia, M.L. 1994. Preharvest factors influencing postharvest quality of tropical and subtropical fruit. HortScience 29: 982–985.

Arpaia, M.; Meyer, J.; Witney, G.; Bender, G.; Stottlemyer, D. and Robinson, P. 1996. The Cashin Creek nitrogen fertilizer trial – what did we learn? California Avocado Society Yearbook. 80:85-98.

Bárcenas O., A.E.; Molina, E.J.; Huanosto, M.F. y Aguirre, P.S. 2003. Contenido de macro y microelementos en hojas, flor y fruto de aguacate "Hass" en la región de Uruapan Michoacán. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. Granada-Málaga, España. pp. 365-371.

Barker, A.V. and Pilbeam, D.J. (eds). 2007. Handbook of Plant Nutrition. Taylor & Francis. C.R.C. Press. Boca Raton, Florida. pp. 120-124.

Bergh, B. 1992. Nutritious value of avocado. California Avocado Society Book. p. 123-135.

Bernal E., J.A. y Díaz D., C. 2014. Manejo del cultivo. En: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica; Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia. Actualización Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el Cultivo de Aguacate. 2ª. Edición. Medellín, Colombia. pp. 10-151.

Beverly, R.B.; Latimer, J.G. and Smittle, D.A. 1993. Preharvest physiological and cultural effects on postharvest quality. In: Shewfelt, R.L. and Prussia, S.E. (eds) Postharvest Handling: A Systems Approach. Academic Press. San Diego. pp. 74–98.

Calabrese, F. 1992. El aguacate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 249 p.

Cerdas, M.; Calderón, M. y Díaz, E. 2006. Manual de Manejo Pre y Poscosecha de Aguacate (*Persea americana*). MAG. San José, Costa Rica. 95 p.

Crowley, D.; Smith, W.; Faber, B. and Manthey, J. 1996. Zinc fertilization of avocado trees. Horticultural Science 31(2): 224-229.

Chirinos, H. 1999. Fertilización del Aguacate. Informaciones Agronómicas. Instituto de la Potasa y el Fósforo 3(6): 11-12.

DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2013. Sistema Estadístico Nacional. Boletín de prensa IV trimestre de 2013. https://www.Dane.gov.co/index.php/es/sala-de-prensa/comunicados-y-boletines/154-boletines/2726-sala-de-prensa-gropecuario; consultado: junio 2104.

Dreher, M.L. and Davenport, A.J. 2013. Hass avocado composition and potential health effects. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 53:738–750.

Embleton, T.W. and Jones, W.W. 1964. Avocado nutrition in California. Proc. Fla. State Hort. Soc. 77:401-405.

Es-Safi, N.E; Cheynier, V. and Moutounet, M. 2003. Effect of copper on oxidation of (+)-catechin in a model solution system, Journal of Food Science and Technology: 38: 153-163.

FAO. 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor; consultado: noviembre 30 de 2014.

FDA (Food and Drug Administration). 2000. Potassium and the risk of high blood pressure and stroke. Docket No 2000-1582. www.FDA.gov/Food/LabelingNutrition/Label Claims/FDAModernizationActFDAMAClaims/ucm073606.htm; consultado: enero 2015.

Gains, A. 1992. Avocados will lower your cholesterol. Here's Health (April) 36–37.

Gamalier, S.; Ferreyra, R.; Gil, P.; Maldonado, P.; Toledo, C.; Barrera, C. y Celedón, J. 2005. El Cultivo del Palto. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA Nº 129. 76 p.

Gardiazabal, F. 2004. Riego y nutrición en paltos. Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. 2º Seminario internacional de paltos. Quillota, Chile. pp. 1-21.

Granados H., A.M. 2013. Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín. 142 p.

Hall H.T., Smoot J.M., Knight R.J., Nagy S., 1980. Protein and aminoacid composition of ten tropical fruits by gas-liquid chromatography. J. Agr. Food Chem. 28: 1217-1221.

Herrera-Basurto, J.; Martínez-Damián, M.T.; Castillo-González, A.M.; Barrientos-Priego, A.F.; Colinas-León, M.T.; Pérez-Mercado, C.A. y Aguilar-Melchor, J.J. 2008. Concentración nutrimental en hoja, cáscara y pulpa de aguacate cv. 'Fuerte' por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio. Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. Agricultura Técnica en México 34 (3): 289-295

Heyneman, C.A. 1996. Zinc deficiency and taste disorders. Ann Pharmacother 30: 186-187.

Hofman, P.J. and Smith, L.G. 1994. Preharvest effects on postharvest quality of subtropical and tropical fruit. In: Champ, B.R., Highley, E. and Johnson, G.I. (eds) Postharvest Handling of Tropical Fruits. ACIAR, Canberra, Proceedings No. 50, pp. 261–268.

Hofman, P.J.; Fuchs, Y. y Milne, D.L. 2007. Cosecha, embalaje, tecnología de pos cosecha, transporte y procesamiento. En: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (Eds.) El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. pp. 331-364.

Holdridge, L.R. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. 149 p. http://www.nap.edu/openbook/0309062794/html; consultado: enero 2015.

Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs 54(2): 187-211.

Hulme, A. C. 1971. The Biochemistry of Fruits and their Products. Academic Press. New York, USA. 763 p.

ICONTEC. 2011. Norma técnica colombiana 5404. Calidad del suelo. Determinación de boro. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) Bogotá, D.C. 8 p.

IOM (Institute of Medicine/Food and Nutrition Board). 2002. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington, DC: National Academy Press, 797 p.

IOM (Institute of Medicine). 2005. Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate. Chapter 5. Potassium. National Academies Press, Washington, DC. pp. 186-255.

Jiménez-Vieyra, M.E. y Zambrano-Zaragoza, M.L. 2011. Cuantificación de cobre en polifenoloxidasa de futas tropicales por espectrofotometría de absorción atómica. Información Tecnológica 22 (2): 2011-2015.

Joo, S.J. and Betts, N.M. 1996. Copper intakes and consumption patterns of chocolate foods as sources of copper for individuals in the 1987-1988 nationwide food consumption survey. Nutrition Research: 16(1): 41-52.

Koen, T.J.; Du Plessis, S.F. and Terblanche, J.H. 1990. Nutritional factors involved in physiological postharvest fruit disorders of avocados (cv. Fuerte). Acta Horticulturae 275: 543-550.

Kremer-Köhne, S.; Köhne, J.S. and Schutte, J.M. 1993. Effect of potassium, magnesium and nitrogen soil applications on Fuerte avocado fruit quality. South African Avocado Growers' Association Yearbook 16: 33–36.

Lahav, E. and Kadman, A. 1980. Avocado fertilization. Bull. Iníern. Potash Inst. No. 6 Worblaufen-Bern, Switzerland. 123 p.

Lahav, E and Whiley, A. 2002. Irrigation and mineral nutrition, pp. 259-297. In: The Avocado: Botany, Production and Uses. Whiley, A. W.; Schafferand, D, B. N. (eds.). Walstenholme. CAB International, CABI-Publishing. London, UK.

Lovatt, C.J. 1996. Nitrogen allocation within the 'Hass' avocado. California Avocado Society Yearbook 80: 75–83.

Lynch, S.J.; Goldweber, S. and Rich, C.E. 1954. Some effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield, tree growth, and leaf analysis of avocados. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 67: 220–224.

MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2013. Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero 2012. Dirección de Política Sectorial - Grupo Sistemas de Información. http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/Anuario/Anuario_ Estadistico2012.pdf; consultado: noviembre de 2014.

Maldonado, R.; Álvarez, M.; Almaguer, G.; Barrientos, A. y García, R. 2007. Estándares nutrimentales para aguacatero Hass. Revista Chapingo Serie Horticultura 13(1): 103-108.

Mejía H., A.E. 2011. Consejo nacional del aguacate. Informe de Gestión Secretaria Técnica, Abril a Junio de 2011.

Monselise, S.P. and Goren, R. 1987. Preharvest growing conditions and postharvest behaviour of subtropical and temperate-zone fruits. HortScience 22: 1185–1189.

O'Dell, J. W. 1993. Method 351.2 Determination of Total Kjeldahl Nitrogen by Semiautomated Colorimetry. Inorganic Chemistry Branch Chemistry Research Division Environmental Monitoring Systems Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio. USA. 15 p.

Ortega T., M.A. 2003. Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. Actas V Congreso Mundial del Aguacate, Granada -Málaga, España. pp. 741-748.

Parcell, S. 2002. Sulfur in Human Nutrition and Applications in Medicine. Alternative Medicine Review 7(1): 22-44. http://www.altmedrev.com/publications/7/1/22.pdf; consultado: enero 2015.

Prasad, A.S. 1995. Zinc: an overview. Nutrition 11:93-9.

Ramos, A.; Durango, J.; Grandet, G.; Díaz, B. y Barrera, J.L. 2006. Evaluación de las diferentes formas de potasio en suelos de la zona platanera de Córdoba (Colombia). Agronomía Colombiana 24(2): 334-339.

Roldán, M.F.; Venialgo, C.A. y Gutiérrez, N.C. 2004. Potasio disponible, de reserva y energía de remplazamiento en suelos y el nivel foliar en rye-grass. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste (Argentina). pp. 1-3.

Salazar-García, S. 2002. Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) e Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Querétaro, México. 165 p.

Salazar-García, S.; González-Durán, I.J.L. y Tapia-Vargas, L.M. 2011. Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutrimental de frutos de aguacate Hass en Michoacán, México. Revista Chapingo Serie Horticultura 17(2): 183-194.

Sandoval A., A; Forero L., F.; García L., J. y Londoño B., M. 2014. Cosecha, manejo poscosecha y agroindustria. En: Corp. Col. de Inv. Agrop.–Corpoica; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia. Actualización Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el Cultivo de Aguacate. 2ª. Edición. Medellín, Colombia. pp. 314-357.

Sandstead, H.H. 1994. Understanding zinc: recent observations and interpretations. J Lab Clin Med 124:322-7.

Slater, G.G.; Shankman, S.; Shepherd, J.S. and Alfin-Slater, R.B. 1975. Seasonal variation in the composition of California avocado. Journal of Agricultural and Food Chemistry 23: 468–474.

Smith, T.E.; Asher, C.J.; Stephenson, R.A. and Hetherinton, S.E. 1997. Boron deficiency of avocado. Effects on fruit size and ripening. In: Boron in soils and plants. Bell, R. W.; Rerkasem, B. (eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. pp. 135-137.

Solomons, N.W. 1998. Mild human zinc deficiency produces an imbalance between cell-mediated and humoral immunity. Nutr Rev 56:27-8.

Tamayo, A. y Osorio V., W. 2014. Nutrición y fertilización. En: Corpoica; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia. Actualización Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas en el Cultivo de Aguacate. 2ª. Edición. Medellín, Colombia. pp. 182-212.

Téliz O., D.; Mora A., G. y Morales G., L. 2000. Importancia Histórica y Socioeconómica del Aguacate. En: D. Téliz (ed). El Aguacate y su Manejo Integrado. Editorial Mundi Prensa. México D.F., México. pp 3-16

USDA and HHS. 2010. Report of the Dietary Guidelines Advisory Committee on the Dietary Guidelines for Americans (Sodium, Potassium, and Water Report. D6:6-25). U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. Washington, DC. 453 p.

USDA-U.S. Department of Agriculture. 2011. Avocado, almond, pistachio and walnut composition. Nutrient Data Laboratory. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 24. Washington, DC.

Vorster, L.L. and Bezuidenhout, J.J. 1988. Does zinc play a role in reducing pulp spot? South African Avocado Growers' Association Yearbook 11: 60.

Watt, B.K. and Merrill, A.L. 1975. Composition of Foods, Agriculture Handbook no. 8, United States Department of Agriculture, Washington, D.C.

Witney, G.W.; Hofman, P.J. and Wolstenholme, B.N. 1990. Effect of cultivar, tree vigour and fruit position on calcium accumulation in avocado fruits. Scientia Horticulturae 44: 269–278.

Whiley, A.W.; Wolstenholme, B.N.; Saranah, J.B. and Anderson, P.A. 1990. Effect of root temperature on growth of two avocado rootstocks cultivars. Acta Hort. 275: 153-160.

Whiley, A.W.; Smith, T.E.; Wolstenholme, B.N. and Saranah, J.B. 1996. Boron nutrition of avocado. South African Avocado Growers' Association Yearbook 19: 1–7.

Wolstenholme, B.N. 1987. Theoretical and applied aspects of avocado yield as affected by energy budgets and carbon partitioning. South African Avocado Growers' Association Yearbook 10: 58-61.

Ziegler, E.E. y Filer, L.J. 1997. Conocimientos actuales sobre nutrición. 7ª. Ed. Washington DC: OMS; ILSI Pub Cientif No. 565. 2,29.

Anexos

Composición mineral en aguacate cv. Hass en parte comestible (USDA, 2011)*

Minerales	Valor por 100 g	1 fruto (136 g)	½ fruto (68 g)**	1 porción (30 g)***
Calcio (mg)	13,0	18,0	9,0	4,0
Hierro (mg)	0,61	0,83	0,42	0,18
Magnesio (mg)	29,0	39,0	19,5	9,0
Fósforo (mg)	54,0	73,0	36,5	16,0
Potasio (mg)	507	690	345	152
Sodio (mg)	8,0	11,0	5,5	2,0
Zinc (mg)	0,68	0,92	0,46	0,20
Cobre (mg)	0,17	0,23	0,12	0,05
Manganeso (mg)	0,15	0,20	0,10	0,05
Selenio (µg)	0,40	0,50	0,25	0,10

*Fuente: USDA-U.S. Department of Agriculture. 2011. Avocado, almond, pistachio and walnut composition. Nutrient Data Laboratory. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 24. Washington, DC.
**Fuente: National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES, 2001-2006)
***Fuente: U.S. Nutrition Labeling and Education Act (NLEA, 1990).

Composición mineral del aguacate cv. Hass, en 100 gramos de pulpa (Téliz *et al*., 2000; Calabrese, 1992).

Elemento	Cantidad (mg)	Elemento	Cantidad (mg)
Calcio	24	Potasio	604
Hierro	0,5	Fibra	0,4
Zinc	0,4	Carbohidratos	5,9
Magnesio	45	Proteínas	1,8
Sodio	4	Grasa total	18,4

Composición mineral en pulpa de aguacate cv. Hass (Ortega, 2003).

Minerales	Contenido en 100 g de pulpa de aguacate	Necesidades diarias	% de necesidad cubiertas por 100 g de fruto
Calcio (mg)	10	800	1,25
Hierro (mg)	1,06	15	7,06
Fósforo (mg)	40	800	5
Cobre (mg)	0,35	1,7	20,58
Magnesio (mg)	41	300	13,66
Manganeso (mg)	2,3	3,5	65,71
Sodio (mg)	4	3.450	0,12
Potasio (mg)	463	4.900	0,12

Fuente: Ortega T., M.A. 2003. Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate) 2003. pp. 741-748.

Composición mineral del aguacate cv. Hass, en 100 gramos de pulpa (Hulme, 1971).

Elemento	Cantidad (mg)
Potasio	600 mg
Sodio	10 mg
Fósforo	41 mg
Calcio	11mg
Potasio	600 mg
Magnesio	39 mg
Cobre	0,26 mg
Hierro	0,40 mg
Zinc	1 mg

Capítulo 7

Contenido de lípidos y composición relativa de los ácidos grasos en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass cosechados en el trópico andino del departamento de Antioquia

7.1 Resumen

Se realizó un perfil de lípidos en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos comerciales plantados en siete localidades del departamento de Antioquia. El aceite se extrajo por el método Soxhlet y para caracterizarlo se utilizó el método CG-FID. El análisis permitió establecer que el contenido total de aceite variaba entre 9,57 % y 16,5 % base húmeda y que el 96 % de los ácidos grasos identificados, corresponden a los ácidos insaturados oleico, linoléico y palmitoleíco y al ácido saturado palmítico. La diferencia estuvo representada por los ácidos mirístico, palmitoléico esteárico, linolénico, eicosanóico y eicosenóico. El clima influyó en la cantidad total de lípidos y en la composición relativa de los ácidos grasos, destacándose que el contenido de ácido oléico se incrementa a medida que los huertos se encuentran a mayor altura, lo contrario ocurre con el ácido linolénico. En los demás ácidos grasos no se evidenciaron cambios en su contenido, atribuibles a la temperatura del lugar. El contenido y composición de los lípidos en la pulpa, indica que los frutos tienen valores de materia seca acordes a las exigencias del mercado y ácidos grasos en concentraciones suficientes, para favorecer la salud del consumidor.

Palabras clave: *Persea americana*, ácido oleico, grasa dietética, alimentación saludable, análisis cromatográfico.

7.2 Introducción

A nivel mundial, el aguacate se cultiva en una gama muy amplia de pisos térmicos. Existen requerimientos ecológicos distintos para los cultivares subtropicales (mexicanos, guatemaltecos e híbridos entre ambos) y para los cultivares tropicales (antillanos e híbridos de antillanos con guatemaltecos) (Wolstenholme, 2007). En algunos casos se aprecian efectos globales que afectan a la maduración, inhibiéndola o acelerándola o incrementando la deshidratación por pérdida rápida de agua, originando alteraciones externas e internas del fruto. Algunos de estos efectos pueden verse amplificados cuando las altas temperaturas están asociadas a una radiación solar intensa, que afectan no solo

el color, sino también las propiedades organolépticas, debido a cambios en el contenido en sólidos solubles y acidez valorable (Romojaro *et al*., 2006). Los aceites vegetales son la mayor parte de los lípidos comestibles que son consumidos en el mundo. Estos son extraídos, ya sea del endospermo de las semillas (palma de aceite) o del mesocarpio de frutos (olivo); otro importante fruto oleoso es el aguacate (Ozdemir y Topuz, 2004). Desde el punto de vista nutricional, el aguacate es un importante fruto calórico; de hecho, su alto contenido de ácidos grasos insaturados es uno de sus principales atributos. Además, al aguacate es rico en vitamina E, ácido ascórbico, vitamina B6, β-caroteno y K (Bergh, 1992; Dreher y Davenport, 2013).

La concentración de aceite en el aguacate aumenta durante el desarrollo del fruto y es determinante para su palatabilidad; por esta razón, fue uno de los primeros índices de madurez desarrollados (Lee *et al*., 1983) y continúa siendo el indicador más confiable (Kaiser, 1994). El contenido de aceite en el aguacate varía según la raza, parámetro en el que difieren notablemente. Con base en el peso fresco, las razas antillanas tienen el nivel más bajo, en cual fluctúa entre 4 a 7 %; las razas guatemaltecas alcanzan un grado entre 14 a 18 % y las razas mexicanas registran entre 10 a 19 % en México y 15 a 25 % en California (Biale y Young, 1971).

El contenido de lípidos de la pulpa aumenta rápidamente durante el desarrollo de los frutos y lentamente una vez alcanzada la madurez (Kikuta y Erickson, 1968).La biosíntesis de los lípidos es influenciada por factores ambientales. Las categorías generales de factores ambientales que afectan los niveles de lípidos y su metabolismo son la luz, la temperatura, el estrés hídrico, los constituyentes del suelo y de la atmósfera y otros factores como los daños físicos y el ataque de plagas y enfermedades (Salas *et al*., 2000). El aceite de aguacate es rico en oleato, el cual tiene un bajo contenido de ácidos grasos saturados que lo hacen apropiado para el directo consumo humano, además, es una excelente grasa para dietas diseñadas para la reducción de enfermedades cardiovasculares (Gurr, 1992).

En algunos países se le da importancia a la información nutricional a la hora de promocionar el consumo de aguacate. La composición de ácidos grasos de los lípidos contenidos en el aguacate varía según el cultivar, entre otros factores, siendo el ácido oléico el más abundante, seguido de los ácidos palmítico y linoléico (Knight, 2007). Existe una creciente preocupación acerca de la importancia de las interacciones pre y poscosecha en los productos hortícolas y hay varias reseñas sobre ello (Monselise y Goren, 1987; Beverly *et al*., 1993; Arpaia, 1994; Hofman y Smith, 1994).

Dichas interacciones han sido estudiadas detalladamente para frutos de zonas templadas, pero solo recientemente han sido objeto de atención para los frutos tropicales y subtropicales (Hofman *et al*., 2007). No se dispone de resultados para Colombia relacionados con el contenido de ácidos grasos en aguacate, producto de estar plantado en ambientes diversos. El objetivo de este estudio fue conocer el contenido total de lípidos y la composición relativa de los ácidos grasos en frutos de aguacate cv. Hass y determinar si hay cambios en la cantidad y proporción de los aceites, según el ambiente de donde proceden.

7.3 Materiales y métodos

7.3.1 Ubicación

El estudio se hizo durante los años 2011 y 2012, en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en el oriente, altiplano norte y suroeste de Antioquia, Colombia (Tabla 7-1).

Tabla 7-1. Condiciones ambientales de los sitios de procedencia en el departamento de Antioquia, de los frutos de aguacate cv. Hass utilizados para determinar la composición de los ácidos grasos en la pulpa.

Municipio	Huerto	Altura (msnm)	Temp (°C)	H.R. (%)	Precipitación anual (mm)	Brillo solar (horas año^{-1})	Zona de vida*
Támesis	La María	1.340	22,5	81,0	1.917	1.726	(bh-PM)
Venecia	Piedras Blancas (PB)	1.510	20,1	74,0	2.504	2.090	(bh-PM)
Venecia	Santa Cruz (SC)	1.770	19,5	75,0	2.300	2.164	(bh-PM)
Jericó	El Encanto	1.900	19,0	82,0	1.917	2,430	(bh-MB)
Rionegro	La Escondida	2.140	17,0	78,0	1.900	1.861	(bh-MB)
Entrerríos	Guacamayas	2.420	14,7	82,7	1.917	1.684	(bh-MB)

* Holdridge, 1967.

7.3.2 Material biológico

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

7.3.3 Procedimiento experimental

En cada huerto se realizaron dos cosechas durante un período de 12 meses, entre junio de 2011 y diciembre de 2012. Como todos los huertos, presentaban pendientes o estratos diferentes, dentro la parcela se consideraron 3 niveles de muestreo: alto (S1), medio (S2) y bajo (S3). A su vez, para cada sector de muestreo se seleccionaron 3 árboles elegidos al azar, con un nivel de carga frutal normal a alta y que correspondieran a un estrato homogéneo, además que no pertenecieran a hileras límites del huerto. De cada árbol, se tomaron 4 frutos, siempre a una misma altura. Éstos fueron cosechados de diferentes sectores del árbol, en la dirección de los cuatro puntos cardinales, prefiriendo los de tamaño medio. Se seleccionaron frutos con madurez fisiológica (mayor a 21,5 % de materia seca) y libres de daños físicos. El criterio para la cosecha consistió en seleccionar frutos que presentaran, en su aspecto físico, pérdida de brillo en su parte externa (opaco) y todavía con algo de brillo en la superficie que da hacia la parte interna del árbol. Los frutos se recolectaron con tijera podadora, dejando el pedúnculo a ras de la cáscara. Se evitó cosechar en días de lluvia o cuando el fruto estaba muy húmedo.

De los frutos cosechados se tomó una submuestra de 200 g de pulpa, la cual luego de deshidratarse se utilizó para determinar el contenido de aceite y el análisis del perfil lipídico. El aceite se extrajo de la pulpa deshidratada por el método Soxhlet empleando hexano como solvente, la extracción se realizó durante 12 h a 70 °C; posteriormente, el solvente se rotaevaporó hasta sequedad y el aceite obtenido se llevó a la estufa a una temperatura de 105 ± 2 °C durante 2 h (NTC 669, 1989). La composición de los ácidos grasos fue determinada mediante cromatografía de gases con detector FID. Previamente, el extracto lipídico fue saponificado y metilado (MeOH/NaOH) para obtener los metilestéres de los ácidos grasos (FAME). A 20 mg de muestra se adicionó 1 mL de metil heptadecanoato (10 mg mL^{-1} como estándar interno), adicionalmente se emplearon estándares de diferentes FAMEs. Se utilizó un cromatógrafo Agilent 7890A acoplado a un detector FID bajo las siguientes condiciones cromatográficas: columna capilar de 30 metros (HP INNOWAX) con un flujo de 1,5 mL min^{-1}; la temperatura inicial fue de en 80 ºC y se incrementó hasta 280º C a una rata de 10º C min^{-1}. Se empleó el modo de inyección splitless y un detector FID a una temperatura de 280 °C. La cuantificación de los acido grasos se realizó en porcentajes relativos de acuerdo con el área de integración (UNE-EN ISO 5508, 1996).

Los promedios de las dos cosechas por localidad de las variables que conforman el perfil lipídico se organizaron en tablas. En algunos casos, se construyeron gráficos, ordenando las localidades por altitud en la abscisa, de manera que se facilitara la visualización de las correspondientes tendencias.

7.3.4 Análisis Estadístico

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

7.4 Resultados y discusión

En la Figura 7-1 se observan la cantidad porcentual de la materia seca y de aceite base húmeda en los frutos de aguacate cv. Hass cosechados en las distintas localidades. En aguacate, la madurez del fruto y la época de cosecha están determinadas por aspectos externos (color y tamaño) o por el contenido de aceite en la pulpa (Werman y Neeman, 1987). En este estudio se cosechó el fruto utilizando el criterio descrito en la metodología (pérdida de brillo en su parte externa y todavía con algo de brillo en la superficie que da hacia la parte interna del árbol).

El contenido de materia seca varió a pesar de que los frutos poseían, aparentemente similares condiciones en su aspecto físico, situación anunciada por Martínez y Moreno (1995), quienes indican que la madurez comercial del aguacate es difícil de estandarizar, debido a que el comienzo de la maduración no está acompañado de cambios externos visibles. Ochoa (2009) menciona que los frutos de aguacate se cosechan en un estado firme cuando han alcanzado un contenido de materia seca suficiente para que puedan madurar de manera normal. Una vez removido del árbol, el fruto inicia el proceso de maduración experimentando diversos cambios fisiológicos, expresados en pérdida de agua y firmeza y cambios en el color de la cáscara, hasta alcanzar en pocos días su estado óptimo de consumo. Como se observa en la Figura 7-1, los valores en el porcentaje de materia seca (MS), variaron entre un 21 % (el más bajo) en Venecia- PB, hasta un 27,85 % (el más alto) en Entrerríos. El porcentaje de MS está fuertemente relacionado con el contenido de aceite y la calidad (Lee *et al*., 1983; Brown, 1984; Ranney, 1991). En este caso el contenido de aceite aumentó con el incremento en el contenido de materia seca. Cabe anotar que a medida que el fruto madura se incrementa el contenido de aceite y el de materia seca y disminuye del contenido de humedad en el fruto (Mazliak, 1971; Slater *et al*., 1975; Lee, 1981; Ramila, 1994). De acuerdo con Razeto (2008), existe una equivalencia aproximada entre el porcentaje de materia seca y el porcentaje de aceite en la pulpa de aguacate cv. Hass recién cosechado. En este estudio se encontró que en fruos cosechados en Támesis el contenido de aceite para un 27,85 % de MS, fue de 15,32 %; en Venecia-PB el contenido de aceite para un 21 % de MS fue del 9,57 %; en Venecia-SC el contenido de aceite para un 26,45 % de MS fue de 11,88 %; en Jericó el contenido de aceite para un 24,85 % de MS fue de 12,89 %; en Rionegro el contenido de aceite para un 27,35 % de MS fue 16,09 % y finalmente en Entrerríos el contenido de aceite para un 26,25 % de MS fue de 16,5 %. Estos valores en todos los casos, fueron superiores a los expuestos por Razeto (2008), quien con totales de MS de 28; 21; 26,5; 25; 27,5 y 26,5 %, señala contenidos de aceite de 11,96; 7,92; 11,10; 10,23; 11,67 y 11,10 %, respectivamente; además son cercanos a lo expresado por Waissbluth y Valenzuela (2007) que consideran que el fruto debe alcanzar un 23 % de MS para cosecharlo. En el mismo sentido, Cerdas *et al*. (2014) en Costa Rica, encontraron que frutos de aguacate cv. Hass con 28 % de MS, contenían un 14,7 % de aceite cifra inferior a la observada en tres de las localidades en estudio.

De otra parte Olaeta y Undurraga (1995) determinaron que para el aguacate cv. Hass producido en Valparaíso, Chile, el mínimo contenido de aceite, requerido para asegurar que el fruto madure adecuadamente es de 10,9 %, cantidad que es menor a la medida en la pulpa de los frutos cosechados en cinco de las seis localidades consideradas en este estudio. Lo anterior demuestra que la calidad interna del fruto procedente del trópico andino antioqueño, sobresale por el alto contenido en aceite, lo cual puede significar un atributo importante para comercializarlo en los mercados internacionales. La variación percibida en los contenidos de MS y aceite en las muestras de pulpa de aguacate cv. Hass, procedentes de las localidades en estudio, se explica con la influencia que puedan tener en las características de calidad de los frutos, las condiciones climáticas y geográficas de los lugares, en particular la temperatura y la pluviometría, factores abióticos muy relacionados con la acumulación de aceite (Kruger *et al.,* 1999). Por la razón expuesta, los índices de madurez fundamentados en el contenido de MS cambian de país a país; por ejemplo, en México (22 %) (Sánchez, 1993), Australia (21 %) (Brown, 1984), Sudáfrica (23 %) (Milne, 1994), Chile (23 %) (Waissbluth y Valenzuela, 2007; Razeto, 2008), España (23 %) (Galán-Sauco, 1990) y Estados Unidos (21,6 %) (Ranney, 1991) y (21,8 %) (Lee *et al.,* 1983), entre otros. Estas diferencias también son de interés para Olaeta *et al*. (1999), que establecen para el cv. Hass concentraciones de aceite, al

llegar a la madurez, que oscilan entre 12,9 y 14,6 %, para Biale y Young (1971), que informan sobre las grandes fluctuaciones en los contenidos de aceite en los cvs. de aguacate plantados en California, que van desde el 8 % hasta un 31,6 % y para Jaubert (1970), que obtuvo en distintos cvs. de aguacate cultivados de América Central, contenidos de aceite (base peso fresco) que alternaron entre 2,8 % y 20 %.

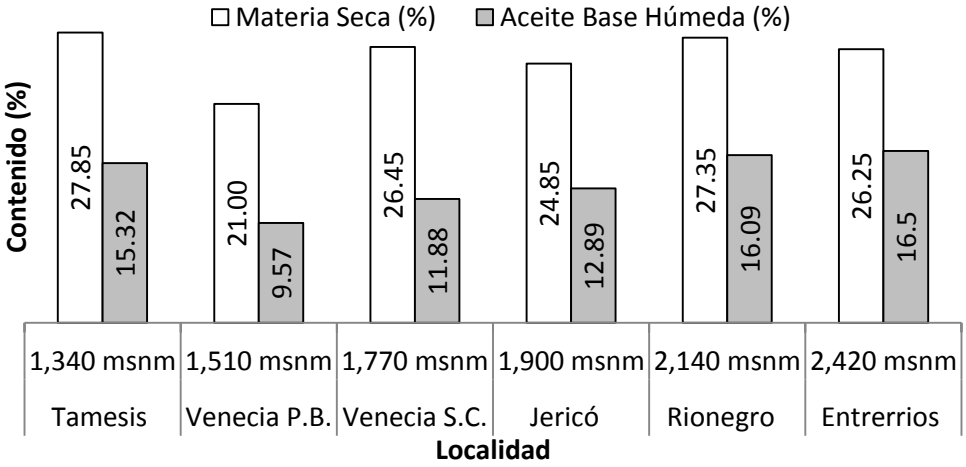


Figura 7-1. Contenido de materia seca y de aceite base húmeda en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en seis localidades del departamento de Antioquia.

En la Tabla 7-2 se detalla la composición relativa de los ácidos grasos en los frutos cosechados en los huertos en estudio. Es evidente que se presentan diferencias entre las localidades, las cuales también han sido registradas en aguacate cultivado en ambientes de clima templado (Olaeta *et al.*, 1999; Costa, 2000; Parra, 2005) y ecuatorial (Romero, 2011). Se destaca que aproximadamente el 96 % de los ácidos grasos, correspondió al oléico (49,55 %), el palmítico (19,68 %), el linoléico (14,01 %) y el palmitoléico (13,49 %). Estos hallazgos coinciden con los de Ozdemir y Topuz (2004) y Ramos-Jerz (2007), que mencionan que el ácido graso dominante en la pulpa del aguacate es el oléico y que otros ácidos grasos que se forman con el desarrollo del fruto, si bien en proporciones muy inferiores al oleico, son el linoléico y el palmítico. También aparecen trazas de los ácidos esteárico, mirístico, linolénico y araquídico (eicosanóico).

Tabla 7-2. Composición relativa (%) de los ácidos grasos presentes en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis localidades del departamento de Antioquia.

Municipio	Mir	Pal	Palm	Est	Ole	Lino	Lilen	Eicosa	Eicose
Támesis	0,15	21,45	17,05	1,91	42,14	15,14	1,53	0,19	0,49
Venecia PB	0,17	20,54	15,56	1,62	43,23	16,58	1,62	0,18	0,50
Venecia SC	0,14	20,17	15,83	1,67	46,76	13,29	1,18	0,21	0,65
Jericó	0,10	19,63	13,19	1,38	50,63	13,28	1,08	0,17	0,55
Rionegro	0,15	18,21	8,45	0,99	59,19	11,99	0,99	0,15	0,27
Entrerríos	0,04	18,14	10,84	1,52	55,38	13,80	1,16	0,15	0,46
Promedio	0,12	19,68	13,49	1,51	49,55	14,01	1,26	0,17	0,49

Mir: Mirístico; Pal: Palmítico; Palm: Palmitoléico; Est: Esteárico; Ole:Oléico; Lino: Linoléico; Lilen: Linolénico; Eicose: Eicosanóico.

El valor promedio del ácido oleico (49,55 %), estuvo dentro del rango reportado para aguacate por Mazliak (1965) y Takenaga *et al*. (2008), que aseguran que el ácido oléico constituye entre un 42 y un 81 % del total; sin embargo, al comparar el registro obtenido con los de otros autores, se aprecia que es inferior al mencionado por Swisher (1988), que logró cuantificar un rango comprendido entre 69-74 %, algo muy parecido a los resultados de Jaubert (1970), que lo ubicó entre 62-77 %. Se acentúa que en ambos estudios se presentaron porcentajes similares para el resto de los ácidos grasos. Por su parte, Campos *et al.* (2011) determinaron que en aguacate cv. Hass Méndez, el principal ácido graso en pulpa es el oléico con un 63,5 %. En tanto que para el cv. Hass Ozdemir y Topuz (2004) establecieron un 59,5 % y Requejo-Tapia *et al.* (1999) un 71 %.

De otro lado, los ácidos palmítico y linoleico, cuyos valores, en promedio para todas las localidades fueron de 19,68 y 14,01 %, respectivamente, estuvieron dentro de los rangos mencionados por Mazliak (1965), del 7,2 al 25 % para el palmítico y del 6 al 18,5 %, para el linoléico; en contraste, el ácido graso palmitoléico, tuvo en este estudio un promedio de 13,48 %, superior al valor más alto reportado por Mazliak (1965), que lo sitúa entre 0 y 8,3 %. Este hallazgo podría significar un valor agregado del aguacate cv. Hass por este contenido, en estas localidades.

Cabe anotar que en investigaciones realizadas Power *et al.* (1997), se sugiere que el ácido palmitoléico es posiblemente una molécula de señalización que puede ayudar a evitar el aumento de peso, al ser parte de una gama de diversos ácidos grasos utilizados por las enzimas que controlan la oxidación de la grasa, con índices extraordinariamente elevados. Ese estudio condujo a los autores a concluir que los tipos de aceites manufacturados que contienen una elevada cantidad de ácido palmitoléico, podrían ser útiles para evitar la obesidad, descubrimiento que recibió atención de los medios de comunicación nacionales de Australia en 1995.

El contenido de ácidos grasos saturados, no presentó diferencias entre las localidades (Tabla 7-3), esto indica que no hubo un efecto del ambiente sobre su síntesis. La mayor concentración la obtuvo el ácido palmítico (19,69 %), seguido por los ácidos esteárico (1,52 %), eicosanóico (0,18 %) y mirístico (0,13 %). Al respecto Costa (2000) encontró en aguacate cv. Fuerte proporciones de 0,70 % de ácido estérico, 0,03 % de ácido mirístico y 0,06 de ácido araquídico; mientras que Campos *et al.* (2011) determinaron una proporción del 1,83 % de ácido estérico en el cv. Hass Méndez y Ozdemir y Topuz (2004) reportan para el cv. Hass 0,2 % de ácido estérico y 0,7 % de ácido araquídico, un rango entre 5,0 % y 25 % para ácido palmítico y un máximo de 3,0 % para ácido esteárico. Se destaca que los valores encontrados en este estudio, para los ácidos palmítico, esteárico, mirístico, y eicosanóico fueron superiores en todas las localidades a los referidos por Parra (2005), para frutos del cv. Hass cosechados en Chile, que contenían entre 9,5 a 13,5 % de ácido palmítico, 0,46 a 0,6 % de ácido esteárico, 0,06 % de ácido mirístico, y 0,06 de ácido ácido eicosanóico.

Lo anterior podría significar que bajo las condiciones tropicales, incluso en zonas frías en alturas cercanas a los 2.450 msnm, el aguacate cv. Hass, presenta contenidos de grasas saturadas superiores a los registrados en latitudes subtropicales, donde el cultivar muestra una mejor respuesta dado su origen.

Tabla 7-3. Composición relativa (%) de los ácidos grasos saturados presentes en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis localidades del departamento de Antioquia.

Municipio	Mirístico (14:0)	Palmítico (16:0)	Esteárico (18:0)	Eicosanóico (20:0)
Támesis	0,15	21,45	1,91	0,19
Venecia PB	0,17	20,54	1,62	0,18
Venecia SC	0,14	20,17	1,67	0,21
Jericó	0,10	19,63	1,38	0,17
Rionegro	0,15	18,21	0,99	0,15
Entrerríos	0,04	18,14	1,52	0,15
Promedio	0,13	19,69	1,52	0,18

En este estudio el ácido monoinsaturado oléico, presentó diferencias entre localidades (Tabla 7-4), obteniéndose los mayores porcentajes en los frutos provenientes de los huertos plantados en las localidades de Rionegro y Entrerríos (59,19 % y 55,38 %, respectivamente). Otros investigadores (Dreher y Davenport, 2013) también han reportado al ácido oleico como el mayor ácido graso presente en el cv. Hass. Se apreció que el contenido de este ácido aumentaba en la medida en que los cultivos se encontraban establecidos a mayor altura, siendo el menor valor (42,14 %) para Támesis a 1.340 msnm y el más alto (59,19 %) para Rionegro a 2.147 msnm. No obstante, el ácido palmitoléico presentó un comportamiento inverso al mostrado por el ácido oléico, ya que a la menor altura, de Támesis, se obtuvo el mayor contenido (17,05 %), mientras que a la mayor altura de Entrerríos (2.420 msnm), se consiguió el menor valor (10,84 %) (Tabla 7-4).

Por su parte, los ácidos grasos polinsaturados (linóleico y linolénico), no mostraron diferencias entre las localidades, lo que indica que el ambiente no influyó sobre la cantidad acumulada en el fruto de aguacate.

Tabla 7-4. Ácidos grasos mono y polinsaturados presentes en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis localidades del departamento de Antioquia.

Municipio	Monoinsaturados			Polinsaturados	
	Palmitoléico (16:1)	Oléico (18:1)	Eicosenóico (20:1)	Linoléico (18:3)	Linolénico (18:3)
Támesis	17,05	42,14	0,49	15,14	1,53
Venecia PB	15,56	43,23	0,50	16,58	1,62
Venecia SC	15,83	46,76	0,65	13,29	1,18
Jericó	13,19	50,63	0,55	13,28	1,08
Rionegro	8,45	59,19	0,27	11,99	0,99
Entrerríos	10,84	55,38	0,46	13,80	1,16
Promedio	13,49	49,55	0,49	14,01	1,26

El aceite de aguacate, está constituido principalmente por ácidos grasos insaturados con un alto porcentaje de monoinsaturados (Pérez *et al*., 2005). Los resultados cromatográficos de este estudio corroboran esta información, obteniéndose para el cv. Hass en las seis localidades evaluadas, un contenido de ácidos grasos insaturados, que fluctúa entre 76,33 y 81,63 %, con un promedio del 78,24 % contra un 21,50 % de ácidos

grasos saturados (Tabla 7-5). En esta investigación los ácidos grasos saturados (palmítico, esteárico, mirístico y eicosanóico) (Tabla 7-5) representaron, en promedio para todas las localidades, un 21,51 %, siendo el más bajo 19,50 % y el más alto 23,70 %, situándose el promedio mencionado, dentro del rango propuesto por Ortiz *et al.* (2003), quienes afirman que el contenido de ácidos grasos saturados en aguacate se sitúa entre un 16 y 22 %. Sin embargo, las especificaciones señaladas para aceite de aguacate comercial en California, indican que debe presentar un porcentaje máximo de ácidos grasos saturados del 16,0 % (Campos *et al*., 2011). Aunque no existe un índice para Colombia al respecto, lo anterior supone una desventaja para los frutos de aguacate cv. Hass considerados en este estudio, ya que en todas las localidades el valor obtenido fue superior al requerido en California y en ese sentido, los altos contenidos de ácidos grasos saturados, representan moléculas precursoras de lipoproteínas de baja densidad o "colesterol malo".

Tabla 7-5. Ácidos grasos saturados e insaturados presentes en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de seis localidades del departamento de Antioquia.

Municipio	Ácidos Grasos (%)			
	Total saturados	Total insaturados	Mono insaturados	Polinsaturados
Támesis	23,70	76,35	59,68	16,67
Venecia PB	22,51	77,49	59,29	18,20
Venecia SC	22,19	77,71	63,24	14,47
Jericó	21,28	78,73	64,37	14,36
Rionegro	19,50	80,89	67,91	12,98
Entrerríos	19,85	81,64	66,68	14,96
Promedio	21,51	78,80	63,53	15,27

El porcentaje total de ácidos grasos insaturados fluctuó, entre 76,35 % y 81,64 %, con un promedio de 78,80 %, valores inferiores a lo señalado por Olaeta (1990) quien menciona que el aceite crudo de aguacate cv. Hass contiene alrededor de 80 a 85 % de ácidos grasos insaturados.

El contenido promedio de los ácidos grasos monoinsaturados (oléico, eicosenóico y palmitoéico), medidos en este estudio fue del 63,53 % y los polinsaturados (linoléico y linolénico) del 15,27 %, siendo el mayor porcentaje de 18,20 % (Venecia-PB), lo cual difiere con lo señalado por Ortiz *et al.* (2003), que los sitúan en un rango entre 66 a 72 % los monoinsaturados y entre un 8 y 11 % los polinstaurados. En este caso, ese mayor contenido de ácidos grasos polinsaturados, en todas las localidades evaluadas, le confiere a los frutos del aguacate cv. Hass un valor agregado por contener ácidos grasos ω-3 y ω-6, representados por los ácidos linoléico (C18:2ω6 y linolénico (C18:3 ω3) que el cuerpo humano no puede producir, es decir son grasas esenciales, por lo que deben ser suplementados en la dieta alimenticia en proporciones bien determinadas ya que su carencia o desbalance, produce serias alteraciones metabólicas (Valenzuela y Nieto, 2003; De Sousa *et al*., 2014).

Bergh (1992) señala que aunque los ácidos monoinsaturados y poliinsaturados están relacionados con la disminución del colesterol en la sangre, sólo los monoinsaturados influyen en la reducción de la presión sanguínea. Cuando se compara el comportamiento general del contenido de ácidos grasos insaturados y saturados estimado en la pulpa de aguacate cv. Hass en todas las localidades, se observa una tendencia inversa.

En la Figura 7-2 se nota como los ácidos grasos insaturados aumentan a medida que los cultivos se plantan a alturas mayores sobre el nivel del mar, lo cual demuestra un efecto positivo de los ambientes más frescos sobre la cantidad de ácidos grasos insaturados presentes en la pulpa de aguacate cv. Hass. Por el contrario, los ácidos grasos saturados se reducen a medida que los cultivos se plantan en cotas más altas, lo cual coincide con lo indicado o por White y Weber (2003) quienes aseguran que dentro de los factores ambientales que tienen mayor influencia sobre el perfil de ácidos grasos está la temperatura ambiental, la cual al aumentar incrementa la proporción de ácidos grasos saturados a expensas de los insaturados.

Las altas temperaturas para las condiciones tropicales de Colombia, a diferencia de las de los climas templados, probablemente afectan negativamente la actividad de las enzimas responsables de la insaturación durante la síntesis de los ácidos grasos (Harwood, 1998).

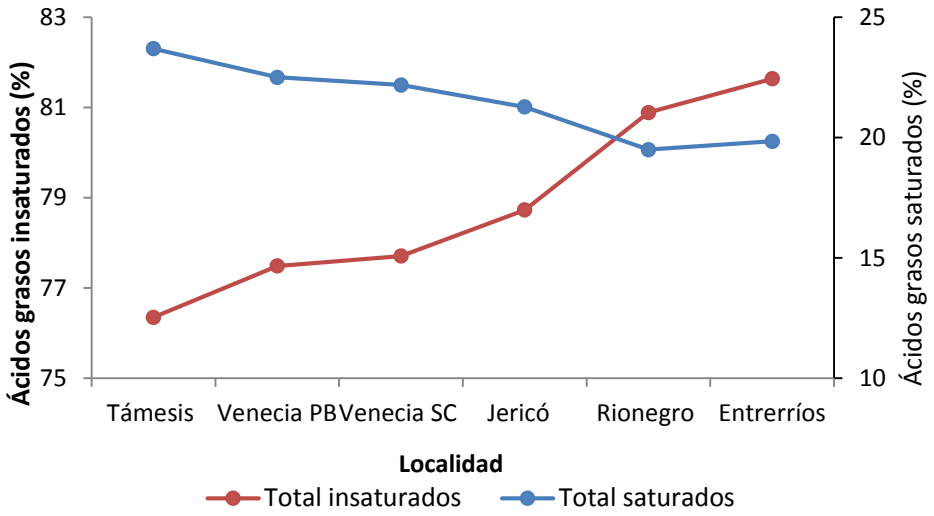


Figura 7-2. Contenido relativo de ácidos grasos insaturados y saturados en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en diferentes ambientes del departamento de Antioquia.

En ese sentido, en la regresión simple mostrada en la Figura 7-3, se puede observar como se presentó una asociación directa y significativa (β= 0,587624; P= 0,0125; R^2= 82,33 %), entre el contenido de los ácidos grasos saturados y la temperatura promedio ambiental, ya que a medida que ésta aumentó (ambientes más cálidos), los ácidos grasos saturados aumentaron. Situación contraria se observó con los ácidos grasos insaturados, los cuales presentaron una asociación inversa y significativa (β= -0,7969; P= 0,0019; R^2= 92,98 %), ya que aumentaron con el descenso en la temperatura promedio ambiental (Figura 7-4).

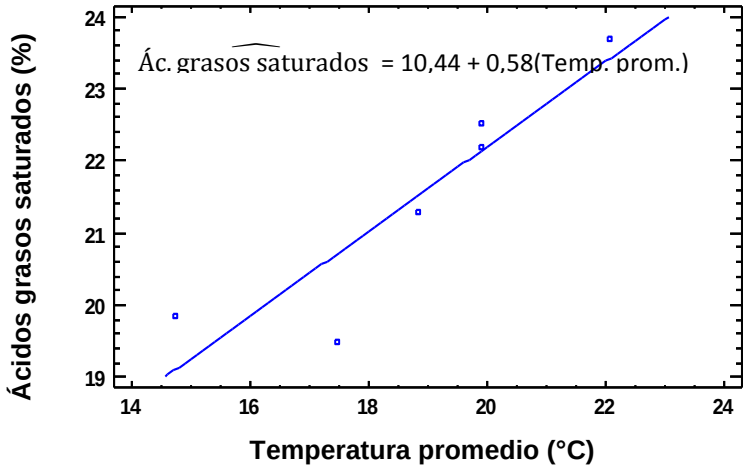


Figura 7-3. Modelo ajustado para el contenido de ácidos grasos saturados en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en seis localidades del departamento de Antioquia, en función de la temperatura promedio ambiental.

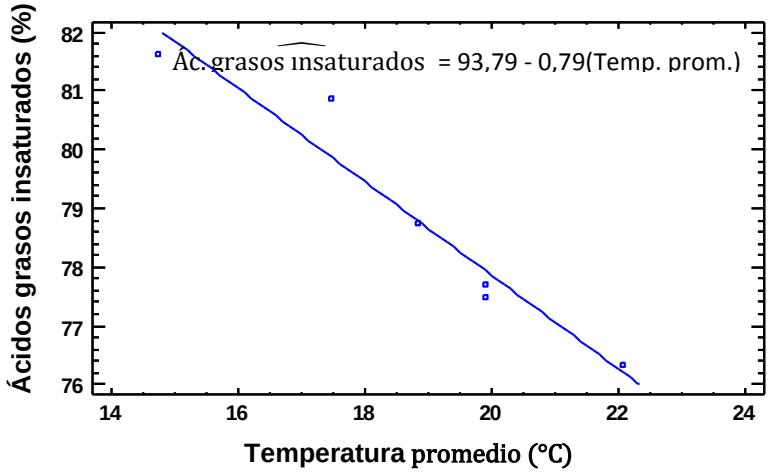


Figura 7-4. Modelo ajustado para el contenido de ácidos grasos insaturados en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de huertos plantados en seis localidades del departamento de Antioquia, en función de la temperatura promedio ambiental.

Los niveles del ácido monoinsaturado oleico, responsable de reducir el colesterol, fue un 23,9 % más bajo en los frutos colectados en la localidad de Támesis que en la localidad de Entrerríos. Además, el ácido saturado palmítico, fue 15,4 % mayor en Támesis que en Entrerríos. En promedio, la suma de los ácidos grasos beneficiosos monoinstaurados (oleico y palmitoleico) encontrados en este estudio, fueron un 10,6 % mayores en Entrerríos (66,22 %) que en Támesis (59,19 %). Efectos comparables del clima sobre los ácidos grasos fueron documentados por Kaiser y Wolstenholme (1994), quienes determinaron que el ácido oleico era aproximadamente un 20 % más bajo en las zonas cálidas que en las zonas frías del subtrópico y que el ácido palmítico era un 16 % mayor en las zonas más cálidas que en las zonas frías y que la suma de los ácidos grasos mono insaturados era cerca del 10 % mayor en las zonas frías que en las zonas cálidas.

La relación de los ácidos grasos poliinsaturados: saturados (P:S), ha sido sugerida como un indicador o medida de si una determinada dieta promueve enfermedades coronarias o no (conocido como Índice de Aterogenicidad) (Castro-Bolaños *et al.,* 2005). En este estudio, la relación P:S en las localidades más bajas fue de 0,70 mientras que en las localidades más altas fue del 0,75, siendo el promedio general 0,71 (datos no mostrados). En California, Slater *et al.* (1975) reportaron para aguacate cv. Hass un promedio de P:S de 0,75 en los frutos cosechados de septiembre a noviembre. Las proporciones P:S especificadas están dentro de los límites 0,14 a 1,19 propuestos por Kiritsakis (1990), las cuales varían dependiendo de la región donde se encuentre el cultivo. Sin embargo, recientes desarrollos en nutrición indican que es más beneficioso para la salud, considerar en una dieta diaria la relación de ácidos monoinstaurados (especialmente ácido oleico): ácidos grasos saturados (M:S), que la relación P:S (Requejo-Tapia *et al*., 1999). Por ejemplo, para el aceite de oliva la relación M:S está en el rango de 3,1 a 9,2 dependiendo de la región (Requejo-Tapia *et al*., 1999); en este estudio, esa relación fue en promedio para todas las localidades de 2,90, solo las de los frutos originados en los huertos plantados en Rionegro y Entrerríos, están dentro de los niveles establecidos para la oleácea.

7.5 Conclusiones

Los valores de materia seca y cantidad total de aceite registrados al momento de la cosecha, en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass cultivado en el trópico andino del departamento de Antioquia (Colombia), permiten que los frutos maduren de manera adecuada y sean apetecibles para atender la demanda que se presenta en los mercados nacional y mundial.

Se destacaron los ácidos grasos oléico, palmítico, linoléico y palmitoléico como los de mayor concentración, con un 96 %. La fracción restante correspondió a los ácidos grasos mirístico, palmitoléico esteárico, linolénico, eicosanóico y eicosenóico.

El contenido relativo de ácido oleico fue mayor en la pulpa de los frutos procedentes de los huertos ubicados a mayor altura que en aquellos frutos cosechados en huertos localizados a menor altura. Lo contario fue evidente para el contenido de ácido linolénico. Esto sugiere que puede haber un efecto de la temperatura prevalente en las regiones consideradas, sobre la síntesis y composición de los lípidos en el fruto.

Los niveles en los ácidos grasos saturados míristico, palmítico, esteárico, eicosanóico, así como los pólinsaturados linoléico y linolenico y el monoinsaturado eicosenóico, registrados en la pulpa, no presentaron diferencias atribuibles a su origen, lo que indica que el clima no influyó sobre su acumulación.

La constitución de los lípidos en la pulpa expresada en 63,5 % de ácidos grasos moniinsaturados, 15,27 % de ácidos grasos polinsaturados y 21,51 % de ácidos grasos saturados, confirman que los frutos de aguacate cv. Hass cosechados en los huertos antiqueños, incluyen nutrientes esenciales que promueven en el consumidor beneficios para su salud.

7.6 Literatura citada

Arpaia, M.L. 1994. Preharvest factors influencing postharvest quality of tropical and subtropical fruit. HortScience 29: 982–985.

Bergh, B. 1992. Nutritious value of avocado CA: California Avocado Society Book. p. 123-135.

Beverly, R.B.; Latimer, J.G. and Smittle, D.A. 1993. Preharvest physiological and cultural effects on postharvest quality. In: Shewfelt, R.L. and Prussia, S.E. (eds). Postharvest Handling: A Systems Approach. Academic Press. San Diego, CA. p. 74–98.

Biale, J. and Young, R. 1971. The avocado pear. pp. 16-24. In: Hulme, A.C. (ed). The Biochemistry of Fruit and their Products. Acad. Press. London, U.K. 123 p.

Brown, B.I. 1984. Market maturity indices and sensory properties of avocados grown in Queensland. Food Technology in Australia 37: 474–476.

Campos, R.E.; Santa Cruz, U.E.; Flórez, M.A.J.; Rivera, G.M. y Rodríguez-Pérez, J.E. 2011. Dinámica de la acumulación de ácidos grasos en aguacate (*Persea americana* Mill.) selección 'Méndez'. Proceedings VII World Avocado Congress. Cairns, Australia. p. 538-545.

Castro-Bolaños, M.; Herrera-Ramírez, C. y Lutz-Cruz, G. 2005. Composición, caracterización y potencial aterogénico de aceites, grasas y otros derivados producidos o comercializados en Costa Rica. Acta Médica Costarricense 4: 1.

Cerdas A., M. del M.; Montero C., M. y Somarribas J., O. 2014. Verificación del contenido de materia seca como indicador de cosecha para aguacate (*Persea americana*) cultivar Hass en zona intermedia de producción de Los Santos, Costa Rica. Agronomía Costarricense 38(1): 207-214.

Costa, V. 2000. Obtención y caracterización de aceite de palta (*Persea americana* Mill.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago de Chile, Chile. 20 p.

De Sousa, M.; Narain N. and Nigan, N. 2014. Influence of different cultivars on oil quality and chemical characterisctics of avocado fruit. Food Science and Technology (Campinas) 34(3): 539-546.

Dreher, M.L. and Davenport, A.J. 2013. Hass avocado composition and potential health effects. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 53(7): 738-750.

Galán-Sauco, V. 1990. Aguacate. En: Los frutales tropicales en los subtrópicos. aguacate, mango, litchi y longan. Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. p. 50- 53.

Gurr, M.I. 1992. Dietary lipids and coronary heart disease: Old evidence, new perspective. Progress in Lipid Research 31(3): 195–243.

Harwood, J. 1998. Environmental effects on plant lipid biochemistry. In: Harwood J, (ed). Plant lipid biosynthesis. Series: Society for Experimental Biology. Seminar Series No. 67. Cambridge University Press. pp. 305-363.

Hofman, P.J. and Smith, L.G. 1994. Preharvest effects on postharvest quality of subtropical and tropical fruit. In: Champ, B.R., Highley, E. and Johnson, G.I. (eds). Postharvest Handling of Tropical Fruits. ACIAR, Canberra. Proceedings No. 50 pp. 261–268.

Hofman, P.J.; Fuchs, Y. y Milne, D.L. 2007. Cosecha, embalaje, tecnología de poscosecha, transporte y procesamiento. En: Whiley A.W., Schaffer B., Wolstenholme B.N. (Eds.) El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaiso. Valparaíso, Chile. pp. 331-364.

Holdridge, L.R. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0001-60022005000100006&lng=en&nrm=iso; consulta: enero 2015.

Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs 54(2): 187-211.

Jaubert, J. 1970. L'huile d'avocat: propriétès – technologie. Industries Alimentaries et Agricoles 87(11): 1411-1416.

Kaiser, C. 1994. Evaluation of maturity standards in avocado fruit. Subtropica 15: 18–20.

Kaiser, C. and Wolstenholme, B.N. 1994. Aspects of delayed harvest of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) fruit in cool subtropical climate. I. Fruit lipid and fatty acid accumulation. Journal of Horticultural Science 69(3): 437-445.

Kikuta, Y. and L.C. Erickson. 1968. Seasonal changes of avocado lipids during development and storage. California Avocado Society. Yearbookk. 52:102–108.

Kiritsakis, A.K. 1990. Olive Oil. American Oil Chemists' Society. Champaign, IL. 192 p.

Knight, R. 2007. History, Distribution and Uses. In: Whiley, A., Schaffer, B.; Wolstenholme, B. (eds). The Avocado: Botany, Production and Uses. CABI Publishing. Walllingford, U.K. pp. 1-14.

Kruger, F.J.; Claassens, N.J.F.; Kritzinger, M.Y. and Claassens, V.E. 1999. A short review of recent research of the impact of climatic conditions on the postharvest quality of South African export avocados. Revista Chapingo. Serie Horticultura 58(5): 339-345.

Lee, S. 1981. A review and background of avocado maturity standard. California Avocado Society Yearbook. 65: 101-109.

Lee, S.K.; Young, R.E.; Schiffman, P.M. and Coggins, C.W. 1983. Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. Journal of the American Society of Horticultural Science 108: 390–394.

Martínez, N.L. and Moreno, R.V. 1995. Parameters for determining the maturity of avocados. Industries – Alimentaires et Agricoles 112(4), 200–203.

Mazliak, P. 1965. Les lipides de l' avocat. I. Composition en acides gras des diverses parties du fruit. Fruits 20: 49-57.

Mazliak, P. 1971. Avocado lipid constituents. Fruits 26: 615-623.

Milne, D.L. 1994. Postharvest handling of avocado, mango and lychee for export from South Africa. In: Champ, B.R., Highley, E. and Johnson, G.I. (eds). Postharvest Handling of Tropical Fruits. ACIAR, Canberra, Australia. Proceedings No. 50. pp. 73–89.

Monselise, S.P. and Goren, R. 1987. Preharvest growing conditions and postharvest behaviour of subtropical and temperate-zone fruits. HortScience 22: 1185–1189.

NTC 669, 1989. Industrias Agrícolas. Oleaginosas. Determinación del contenido de aceite e índice de acidez. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá, D.C.

Ochoa A., S. 2009. Calidad y manejo poscosecha del fruto de aguacate. Memorias Simposio Poscosecha e Industrialización. III Congreso Latinoamericano del Aguacate. Consejo Nacional del Aguacate, Aguacates de Colombia, Corporación Antioqueña del Aguacate. Medellín, Colombia. 48 p.

Olaeta, J. 1990. Industrialización de aguacate. En: Producción, postcosecha y comercialización de aguacates. Red de cooperación técnica en procesamiento de frutos tropicales. Viña del Mar, Chile. 1-6 p.

Olaeta, J.A. y Undurraga, P. 1995. Estimación del índice de madurez en paltos. En: L. Kushwaha, R. Serwatowski and R. Brook (eds). Tecnologías de cosecha y poscosecha de frutas y hortalizas. ASAE. St. Joseph, MI. pp. 421-426.

Olaeta, J.; Undurraga, P. y Schwartz, O. 1999. Determinación de la evolución y caracterización de los aceites en aguacates (*Persea americana* mill.) cvs. Fuerte y Hass cultivados en Chile. Revista Chapingo, Serie Horticultura 5: 117-122.

Ortiz, A.; Dorantes, L.; Galíndez, J. and Guzmán, R. 2003. Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51(8): 2216-2221.

Ozdemir, F. and Topuz, A. 2004. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. Food Chemistry 86: 79–83.

Parra, J.C. 2005. Rendimiento y calidad de pulpa y aceite en nueve selecciones de palto (Persea americana Mill.) en Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas Escuela de Agronomía. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo Mención: Fruticultura. 49 p.

Pérez, R.; Villanueva, S. y Cosio, R. 2005. El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. e-Gnosis 3(10): 1-11.

Power, G.W.; Cake, M.H. and Newsholme, E.A. 1997. The influence of diet on the activity of carnitine palmitoyltransferase 1 toward a range of acyl CoA esters. Lipids 32: 31-37.

Ramila, C.A. 1994. Variación estacional en el porcentaje de aceite y de humedad, relacionado con aceptabilidad y calidad en frutos de palto (*Persea americana* Mill.) cvs. Hass y Gwen. Tesis Ing. Agr, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales. Santiago, Chile. 61 p.

Ramos-Jerz, M.R. 2007. Phytochemical analysis of avocado seeds (*Persea americana* Mill., cv. Hass). 275 Cuvilier Gottingen. Berlin, Germany. 318 p.

Ranney, C. 1991. Relationship between physiological maturity and percent dry matter of avocados. California Avocado Society Yearbook 75: 71–85.

Razeto, B. 2008. El Palto (Aguacate). Edición y Comercialización de Libros. Santiago, Chile. p. 196.

Requejo-Tapia, L.E.; Woolf, B.A.; Roughan, G.R.; Schroeder, H. and White, A. 1999. Avocado postharvest research: seasonal changes in lipid content and fatty acid composition of 'Hass' avocados. The Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Ltd. 27 p.

Romero, M.A. 2011. Comportamiento fisiológico del aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, Área Fisiología de Cultivos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, Bogotá, Colombia. 118 p.

Romojaro, F.; Martínez-Madrid, M.C. y Pretel, M.T. 2006. Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios. Dpto. Tecnología de Alimentos, CEBAS-CSIC. Escuela Politécnica Superior (UMH)-Orihuela, Alicante, España. p. 91-96.

Salas, J.J.; Sanchez, J.; Ramli, U.S.; Manaf, A.M.; Williams, M. and Harwood, J.L. 2000. Biochemistry of lipid metabolism in olive and other oil fruits. Progress in Lipid Research 39: 151–180.

Sánchez, P.J. de la L. 1993. Índices de madurez en aguacate: Muestreo de frutos en campo y determinación de materia seca. SARH. INIFAP. CIRPAC. Folleto para Productores No. 20. Uruapan, Michoacán, México. 12 p.

Slater, G.G.; Shankman, S.; Shepherd, J.S. and Alphin-Slater, R.B. 1975. Seasonal variation in the composition of California avocados. Journal Agricultural Food Chemistry 23 (3): 468-474.

Swisher, H. 1988. Avocado oil: from food use to skin care. Journal of the American Oil Chemists' Society 65(11): 1764-1768.

Takenaga, F.; Matsuyama, K.; Abe, S.; Torii, Y. and Itoh, S. 2008. Lipid and fatty composition of mesocarp and seed of avocado fruits harvested at northern range in Japan. Journal of Oleo Science 57(11): 591-597.

UNE–EN ISO 5508. 1996. Aceites y grasas de orígen animal y vegetal. Análisis por cromatografía en fase gaseosa de los ésteres metílicos de ácidos grasos. AENOR. Madrid, España. 14 p.

Valenzuela, A. y Nieto, S. 2003. Ácidos grasos omega-6 y omega-6 en la nutrición perinatal: su importancia en el desarrollo del sistema nervioso y visual. Revista Chilena de Pediatría 74(2): 149-157.

Waissbluth, R. y Valenzuela, J. 2007. Determinación del porcentaje mínimo de materia seca para autorizar la cosecha de paltas cv. Hass para ser exportadas. En: Proceedings VI World Avocado Congress. Viña del Mar, Chile.

Werman, M.J. and Neeman, I. 1987. Avocado oil production and chemical characteristics. JAOCS 64(2): 229–232.

White, P. and Weber, E. 2003. Lipids of the kernel. In: White PJ, Johnson LA, editors. Corn Chemistry and Technology. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc. 2nd. Edition. CPL Press. pp. 355-405.

Wolstenholme, B.N. 2007. Ecología: El clima y el ambiente edáfico. En: Whiley A.W., Schaffer B., Wolstenholme B.N. (eds). El Palto. Botánica, Producción y Usos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile. p. 75-101.

Capítulo 8

Conclusiones generales

- El comportamiento del aguacate cv. Hass originado de un híbrido entre Mexicano x Guatemanteco, en la oferta ambiental del trópico andino colombiano, guarda una fuerte correlación con su origen evolutivo, por lo que las condiciones ambientales contempladas en este estudio, donde se encuentra plantado, influyeron de diversas maneras, tanto en la expresión fenológica, la actividad fotosintética y el desarrollo de los árboles, como en la cantidad y calidad interna y externa del fruto producido.

- La fenología del aguacate cv. Hass, evaluada en cuatro ambientes (Támesis a 1.340, Jericó a 1.900, Rionegro a 2.147 y Entrerríos a 2.420 msnm) del departamento de Antioquia, evidenció la ausencia de un periodo de reposo en los árboles. La intensidad y la duración de los flujos vegetativos fueron variables en todas las localidades y no tuvieron una periodicidad cíclica, tal como se presentó con la floración. Durante el período de evaluación (18 meses), tres de las localidades presentaron al menos dos flujos marcados de crecimiento vegetativo anual (mayor al 75 %), a excepción de Támesis que en el año 2012 mostró apenas un flujo no mayor al 20 %, lo que señala el escaso desarrollo vegetativo en esta localidad, insuficiente para el llenado de frutos. Este comportamiento coincide con los dos flujos vegetativos anuales que normalmente ocurren en otras regiones productoras de aguacate, aunque difiere a lo ocurrido en Michoacán (México), donde se presentan tres flujos vegetativos.

- El desarrollo floral del aguacate cv. Hass en las localidades estudiadas fue cíclico, el cual se observó en los primeros tres meses del año, con variaciones en intensidad y duración. Los áboles plantados en Entrerríos fueron los únicos que registraron tres flujos florales durante el período de estudio, siendo la máxima intensidad en una época en las que las demás localidades no presentaban floración; sin embargo, esa situación no implicó una cosecha adicional.

- El crecimiento de raíces tuvo un comportamiento variable en todas las localidades presentándose distintos flujos en intensidad y duración.

- El período de fructificación varió entre las localidades, demostrándose el efecto ambiental y particularmente la temperatura sobre el tiempo que transcurre entre la floración y la cosecha, siendo las zonas más cálidas donde el fruto tardó menos tiempo a diferencia de las zonas más altas, donde ocurrió lo contrario. Tanto las temperaturas promedio, como las máximas y mínimas registradas en todas las localidades tuvieron un comportamiento poco variable, característica normal dentro de las condiciones del trópico, lo cual indica que no es la temperatura el inductor de la floración o de otros fenómenos fenológicos.

- Las precipitaciones en todas las localidades correspondieron a un régimen bimodal con dos períodos de lluvia entre marzo-mayo y octubre-noviembre y días de sequía entre diciembre a febrero y junio a septiembre. Todas las localidades tuvieron alta precipitación (más de 1.990 mm año^{-1}) y un comportamiento similar en los años de evaluación, que se consideran óptimas para el cultivo, lo cual demuestra que hubo un suministro adecuado de agua en el suelo y que el comportamiento fenológico registrado, es el que se esperaría en un año normal. Se observó que periodos de baja y alta precipitación, influyeron para que ocurrieran cambios fenológicos, induciendo la floración, estimulando el crecimiento de raíces o favoreciendo los flujos vegetativos.

- Durante el transcurso de las observaciones fueron evidentes traslapes o superposiciones en períodos y eventos, lo cual supone encontrar en los árboles, simultáneamente, flujos de crecimiento vegetativo, fruto en crecimiento, floraciones y frutos para cosechar. Esta situación obliga a realizar un seguimiento más sistemático y durante mayor tiempo a la fenología del aguacate cv. Hass, en las diferentes zonas de cultivo, con el fin de definir con más precisión, las fechas de ocurrencia y duración de cada evento, con el fin de optimizar las prácticas de manejo del huerto.

- Las tasas de fotosíntesis en aguacate cv. Hass guardaron similar comportamiento en las cuatro localidades evaluadas, presentando amplias variaciones, determinadas principalmente por la radiación fotosintéticamente activa incidente sobre la fronda del árbol y la temperatura. Las curvas de actividad fotosintética de los árboles, fueron distintas, de acuerdo con el estado fenológico encontrado al momento de las lecturas. Además, éstas disminuyeron en las épocas secas, por la menor disponibilidad de agua en el suelo.

- Las tasas de fotosíntesis registradas fueron muy bajas en comparación con las reportadas en otras latitudes para el mismo cultivar, aun cuando los valores de RFA fueron adecuados. El bajo índice estomático registrado, pudo contribuir a esa disminución. Los estratos del árbol no presentaron diferencia en índice estomático, lo cual corrobora la información que al respecto, existe en la literatura.

- Cuando se realizó una evaluación más amplia, considerando siete localidades (Támesis a 1.340, Venecia PB a 1.510, Venecia PB a 1.770, Jericó a 1.900, Marinilla a 2.087, Rionegro a 2.147 y Entrerríos 2.420 msnm), se observó asimetría en el crecimiento entre el portainjerto y la copa, lo cual sugiere que hay incompatibilidad entre los componentes en contacto, debida posiblemente a las diferencias asociadas a su centro de origen.

- Las mas altas producciones se obtuvieron en ambientes por encima de los 1.700 msnm. El rendimiento de fruto por árbol y por hectárea, en dos años de evaluación, no fueron consistes en el tiempo (altas en un año, seguidas de bajas en el siguiente y viceversa), lo que implica la existencia de alternancia productiva en este cultivar.

- La mejor respuesta en calidad de fruto cosechado (peso del fruto, % de pulpa, % de semilla, % de cáscara y aceptación por análisis sensorial), se presentó en ambientes frescos de las zonas altas tropicales y contrariamente, las más bajas

calidades se encontraron en los ambientes con mayor temperatura media del tropico medio. Las huertos donde los frutos se cosecharon con mayor porcentaje de materia seca tenían un mayor contenido de aceite, sin embargo, esto es simplemente porque los frutos no están en el mismo estado de madurez.

- El clima también afectó el contenido de algunos elementos en la pulpa de aguacate cv. Hass procedente de siete localidades del departamento de Antioquia. El P, el K, el Mg, el Na, el S, el Zn y el B, aumentaron sus valores cuando el fruto procedía de huertos ubicados a mayores alturas; en algunos casos por encima de los 1.770 msnm y en otros, de los 2.000 msnm. El Ca, el Fe, el Mn y el Cu aumentaron sus contenidos cuando la altura era menor, el N no mostró ser influenciado por las condiciones climáticas. El fruto de la mayoría de las localidades, presentó diferencias en sus contenidos, con respecto a los valores nutricionales consultados; es así como el N, P, K, Mn, Zn y B, en general, presentaron valores inferiores, el Mg, el Fe y el Cu mostraron valores iguales o ligeramente inferiores, mientras que los contenidos de Ca, Na y S revelaron mayores cantidades que aquellos analizados a nivel internacional. Por localidades, en Támesis a 1.340 msnm, se presentaron los frutos con la mayor cantidad de Fe, Cu y Mn y los valores más bajos de Zn y S; en Venecia PB a 1.510 msnm, los frutos mostraron los mayores valores en Ca y los más bajos de B; en Venecia SC se cosecharon los frutos con los menores valores de P, Mg y Na; los frutos procedentes de Jericó no mostraron valores superiores en ningún elemento y por el contrario tuvo las menores cantidades de K y Fe; los frutos de Marinilla a 2.087 msnm tuvieron los niveles menores de Ca, Cu y Mn, los frutos de Rionegro a 2.147 msnm, registraronlos mayores de S y los frutos de Entrerríos a 2.420 msnm, evidenciaron las más altas cantidades de N, K, P, Mg, Zn y B.

- Los valores de materia seca y cantidad total de aceite registrados al momento de la cosecha, en la pulpa de frutos de aguacate cv. Hass, permiten que los frutos maduren de manera adecuada y sean apetecibles para atender la demanda que se presenta en los mercados nacional y mundial.

- Dentro de los ácidos grasos encontrados en este estudio, se destacaron el oléico, palmítico, linoléico y palmitoléico como los de mayor concentración, con un 96 %. La fracción restante correspondió a los ácidos grasos mirístico, palmitoléico esteárico, linolénico, eicosanóico y eicosenóico. El contenido relativo de ácido oleico fue mayor en la pulpa de los frutos procedentes de los huertos ubicados a mayor altura que en aquellos frutos cosechados en huertos localizados a menor altura. Lo contario fue evidente para el contenido de ácido linolénico. Esto sugiere que puede haber un efecto de la temperatura prevalente en las regiones consideradas, sobre la síntesis y composición de los lípidos en el fruto. Los niveles en los ácidos grasos saturados míristico, palmítico, esteárico, eicosanóico, así como los pólinsaturados linoléico y linolenico y el monoinsaturado eicosenóico, registrados en la pulpa, no presentaron diferencias atribuibles a su origen, lo que indica que el clima no influyó sobre su acumulación. La constitución de los lípidos en la pulpa expresada en 63,5 % de ácidos grasos moniinsaturados, 15,27 % de ácidos grasos polinsaturados y 21,51 % de ácidos grasos saturados, confirman que los frutos de aguacate cv. Hass cosechados en los huertos antiqueños, incluyen nutrientes esenciales que promueven en el consumidor beneficios para su salud.

- Los ácidos grasos insaturados aumentan a medida que los cultivos se plantan a alturas mayores sobre el nivel del mar, lo cual demuestra un efecto positivo de los ambientes más frescos sobre la cantidad de ácidos grasos insaturados presentes en la pulpa de aguacate cv. Hass. Por el contrario, los ácidos grasos saturados se reducen a medida que los cultivos se plantan en cotas más altas

- Esta es la primera vez que se obtienen diagramas fenológicos, así como el registro de la actividad fotosintética, número de estomas, compatibilidad portainjerto/copa, productividad de los árboles y calidad externa e interna del fruto, además del contenido de minerales y ácidos grasos para aguacate cv. Hass en diferentes climas y condiciones de cultivo en Antioquia. Esta información será de utilidad para planear investigaciones con el objetivo de desarrollar tecnología basada en eventos fenológicos y no en días calendario, como usualmente sucede. Adicionalmente, permite adecuar las diversas prácticas de manejo del huerto a la época en que ocurren las diversas fases fenológicas y la interrelación entre ellas, además de conocer la calidad del fruto, con miras a enfrentar los mercados nacionales e internacionales. Estos resultados podrían usarse para una correcta elección de los sitios de plantación en diferentes zonas potenciales del país, con el aguacate cv. Hass.

8.1 Modelo Conceptual

El objetivo general de este estudio fue comprender el comportamiento ecofisiológico y productivo del aguacate cv. Hass en Antioquia, para apoyar su desarrollo en Colombia. De acuerdo con los resultados obtenidos, se logró un acercamiento a este conocimiento, que da elementos para calificar las áreas existentes y direccionar las áreas de plantación futuras, a aquellas zonas que ofrezcan ventajas por su rendimiento y calidad.

El hecho de entender y esquematizar los estados fenológicos por los que atraviesa este cultivar bajo diferentes ambientes, proporciona una representación de su comportamiento, el cual en algunos casos es cíclico y en otros irregular; sin embargo, llama la atención que los períodos florales siempre ocurrieron en las mismas épocas secas, lo que demuestra una respuesta muy similar del cultivo bajo diferentes ambientes. La información obtenida producto de este conocimiento permitirá programar las labores de cultivo, ya que entender la respuesta fenológica de los arboles a las condiciones climáticas de la zona, ya sea creciendo, floreciendo, fructificando o sus combinaciones, en ciertas épocas del año, permitirá la optimización en el manejo agronómico. A pesar de lo anterior, es necesario continuar con investigaciones a mas largo plazo, con el fin de lograr un conocimiento mas preciso del comportamiento fenológico del cultivar bajo condiciones del trópico alto colombiano, dado que 18 meses, no es suficiente para comprender estas respuestas, teniendo en cuenta además que el fenómeno del niño y la niña hacen que éstas sean disímiles de un año a otro.

De otro lado, la circunstancia de que este cultivar bajo las condiciones del estudio, presentara menores tasas de asimilación respecto a lo reportado en la mayoría de las zonas productoras, demuestra mayor eficiencia fotosintética, ya que con esas tasas, se alcanzan incluso rendimientos por encima del promedio mundial. De otra parte, el menor número de estomas por mm^2, registrados, en comparación con los mencionados en otras latitudes, pudo contribuir a la disminución de esas tasas. Se estableció que la temperatura promedio tuvo una alta asociación con la tasa fotosintética, observándose que en ambientes más frescos y con menor radiación, las tasas fueron mayores y viceversa, lo cual se vio reflejado en última instancia, en mayores rendimientos por unidad de área y con frutos de mejor calidad externa e interna en esos ambientes, que en los ubicados en zonas más cálidas. Lo anterior ratifica el hecho de que, los cambios en el ambiente tienen un impacto importante en la eficiencia del aparato fotosintético, ya que no solo éste es la fuente de energía de la planta y el sitio de fijación del carbono, sino también el lugar donde se presenta el mayor daño bajo condiciones de estrés, en este caso la temperatura y radiación solar altas. Lecturas más rigurosas y con la utilización de equipos de mayor precisión donde se involucren mayores parámetros y considerando la fenología del árbol, deben ser adelantados para conocer con mayor exactitud el comportamiento fotosintético del cultivar en el trópico andino colombiano.

Por las situaciones asociadas a los cambios climáticos año a año, como fue referido anteriormente, se observó en todos los ambientes, la presencia de alternancia o vecería, situación similar a la ocurrida en todas las zonas productoras a nivel mundial. Son pocos

los estudios que sobre este fenómeno se han hecho en el país y es sabido que conocer el momento en que los arboles están en un año “on” y en uno “off”, permite mediante algunas prácticas, como remoción de flores y frutos, por ejemplo, reducir el impacto de este fenómeno. Esta situación fue detectada en este estudio y su comprensión puede ayudar a regular mediante prácticas de cultivo, la producción anual, de tal manera que no sea demasiado alta un año y baja en el siguiente.

De otra parte, dado que la duración del período entre floración y cosecha varió con la altitud y por ende con la temperatura promedio del lugar donde se encontraba el cultivo, esta condición puede representar una ventaja para algunas zonas, por la variación en las épocas de cosecha, ya que éstas podrían programarse y de esta manera se lograría una ampliación en la oferta de fruto para mercados nacionales e internacionales y obtener por parte de los cultivadores, mejores precios al adelantarse o atrasarse estos períodos.

Las incompatibilidades entre el portainjerto y la copa, encontradas en los árboles objeto de estudio, da cuenta de la falta de información que sobre esta anomalía existe en este cultivar en el país, puesto que en todas las zonas donde se adelantó la investigación, se observó esta condición. No existen antecedentes ni registro técnico, que documenten el efecto que este fenómeno tiene sobre la productividad y vida útil de los árboles en Colombia; por lo tanto, es necesario profundizar al respecto, ya que tales anormalidades en las tasas de crecimiento han sido probadas y presentan efectos negativos a largo plazo en distintas especies frutales.

Se puede decir que con los resultados obtenidos se alcanzó una aproximación sobre las zonas potenciales para la plantación de este cultivar en Colombia y que lo hallado puede extrapolarse a zonas agroecológicamente similares en el país. Se logró establecer que a menores altitudes (ambientes medios), se obtienen frutos de un tamaño y peso menor, con bajos rendimientos, con porcentajes más altos de semilla y cáscara, con reducidos porcentajes de pulpa y más escaso porcentaje de fruto exportable, que los cosechados en ambientes más frescos (por encima de los 1.700 msnm). Disminuciones en el tamaño y peso de los frutos, influenciadas por condiciones ambientales indican un efecto negativo en la calidad externa de estos, por no cumplir con los calibres exigidos por el mercado, lo cual es más grave si se trata de fruto para el mercado externo. Si a lo anterior se le suma el hecho de que los contenidos de aceite no saturados aumentaron con la altura de los huertos, mientras los saturados fueron mayores en zonas más bajas, una vez más se comprueba el efecto positivo de las zonas altas del trópico sobre la calidad interna de los frutos. En ese orden de ideas, se pudo establecer que para catadores no especializados, los frutos de esos ambientes también mostraron los mejores puntajes en cuanto a condiciones organolépticas.

Con respecto a los contenidos de minerales, los resultados no fueron consistentes, lo que sugiere que es necesario realizar estudios más detallados y de mayor duración, teniendo en cuenta las condiciones climáticas de los sitios de evaluación, haciendo énfasis en las variaciones de precipitación, año a año.

Son muchos los resultados encontrados en este estudio que ratifican el hecho de que el aguacate cv. Hass en Colombia, debe ser establecido en zonas de climas por encima desde los 1.700 hasta los 2.400 msnm, para obtener mejores rendimientos, con frutos de mayor tamaño y de mejor calidad interna. Con esta información es posible dar luces sobre las zonas aptas y potenciales para el establecimiento de este cultivar en el trópico andino colombiano, con lo cual se puede decir que se logró el objetivo del proyecto.