

Capítulo IX

Perspectiva del ordenamiento productivo del aguacate cv. Hass en Antioquia

Tatiana Mallanín Rondón Salas

Silvana Builes Gaitán

María Casamitjana Causa

Marcela Duque Ríos

Adriana Katerine Rodríguez-León

Cristian Alexander Vega Marín

Daniel Ruiz

Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo

Introducción

Con la finalidad de orientar una visión sobre el territorio enfocada en los sistemas productivos, en este capítulo se da a conocer la distribución en Antioquia del sistema productivo del aguacate cv. Hass a nivel semidetallado.

El conocimiento del uso de los recursos naturales en una región es de vital importancia para la gestión del territorio, debido a que los sistemas productivos no se encuentran aislados y la dinámica de la población está determinada por la adopción de determinados sistemas agronómicos. En este sentido, se puede decir que existen regiones o zonas que adoptan una identidad vinculada a un cultivo, como es el caso de Medellín y el cultivo de las flores.

La producción del aguacate cv. Hass ha comenzado desde hace algunos años a proyectarse en el departamento antioqueño como un sistema altamente promisorio; sin embargo, el conocimiento de este cultivo para su establecimiento se ha centrado en la adopción de manejos productivos de tendencia generalizada, propios de otros países donde se produce esta variedad.

Es oportuno señalar que la intención de este capítulo no es cuestionar la adopción de tecnologías extranjeras, sino generar conocimiento acerca de los recursos con los que cuenta la región para comprender las posibles situaciones o escenarios en los cuales se presenta o se puede presentar el sistema productivo. Con esto, se busca ubicar los cultivos en zonas dentro del territorio que puedan ser altamente sostenibles y sustentables a través de manejos agronómicos propios de las condiciones colombianas.

En este sentido, resulta relevante efectuar un levantamiento agroclimático que tiene como finalidad presentar el conocimiento sobre un territorio a una escala determinada. Para el caso de este estudio, el levantamiento se efectuó a nivel semidetallado, escala 1:25.000, tomando como base el *Estudio general de suelos y zonificación de tierras, departamento de Antioquia*, presentado por la Gobernación de Antioquia en convenio con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007), que presenta una actualización a escala general 1:100.000 y un estudio de suelos semidetallado a escala 1:25.000.

Este capítulo tiene como enfoque la búsqueda y cuantificación de áreas bajo el sistema productivo de aguacate cv. Hass, así como de aquellas que presentan potencialidades para su producción, donde no solo convergen cualidades idóneas para el desarrollo del cultivo desde el punto de vista edáfico y climático, sino también cualidades ambientales, sociales y económicas. Esto es importante, dado que, por lo general, las zonificaciones son efectuadas contemplando únicamente el componente edáfico y, en el mejor de los casos, su combinación con componentes climáticos. Por ello, este trabajo abarca otras áreas para efectuar la zonificación, como la socioeconomía, pues el sistema productivo se entiende como un ente que interactúa y se desarrolla por la acción de varios factores. Con este propósito, se utilizan variables y referentes recomendados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1997) y la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2014).

Los levantamientos realizados fueron ejecutados a través de técnicas convencionales de zonificación (Comerma & Arias, 1971; FAO, 1997) y de técnicas innovadoras, como los índices de vegetación, utilizando como referencia el índice de vegetación diferencial normalizado (*normalized difference vegetation index*, NDVI). Debido a la combinación de estas técnicas, fue posible abarcar una gran cantidad de áreas en un menor tiempo, las cuales fueron utilizadas en la cuantificación bajo uso actual y bajo uso potencial para establecer el sistema productivo. Para las variables económicas y sociales también se utilizaron métodos convencionales como la elaboración de un análisis multivariado, que se valió de información colectada a través de encuestas socioeconómicas a productores en zonas donde actualmente se encuentra el cultivo, combinadas con técnicas de geomática con redes neuronales, categorización y jerarquización de variables, entre otras.

Los estudios contemplados en esta publicación contribuyen al enriquecimiento de la información sobre el territorio desde la perspectiva de un sistema productivo, en este caso, del aguacate cv. Hass. Se impulsa así la elaboración de estudios similares sobre otros sistemas de producción agrícola de interés para la región e incluso para la nación, con el ánimo de analizar no solo grandes producciones agrícolas o pecuarias cuantificables en términos de t/ha, sino de que dicha producción se efectúe con responsabilidad ambiental para con las generaciones futuras, de forma que se garantice para estas la seguridad alimentaria en un ambiente con la menor intervención posible.

El aguacate cv. Hass en el mundo

Según los datos reportados por la FAO (2018), la producción mundial de aguacate ha mostrado, en los últimos años, una tendencia al alza. Como se observa en la figura 9.1, en 2014 había en el mundo 519.660 ha de aguacate cultivadas, área que aumentó en un 76 % para el 2018, con un total de 918.531 ha. El crecimiento anual del área cosechada para el período 2014- 2018 fue de un 12 %. Del mismo modo, la producción mundial, que para 2014 alcanzaba los 5 millones de toneladas, para el 2018 alcanzó más de 6 millones de toneladas, con un aumento del 21,3 %. Si bien las áreas cosechadas han aumentado a una tasa mayor que la producción, dicho aumento aún no se traduce en mayores rendimientos (t/ha), los cuales oscilan en torno a las 9 t/ha, sin un marcado aumento anual.

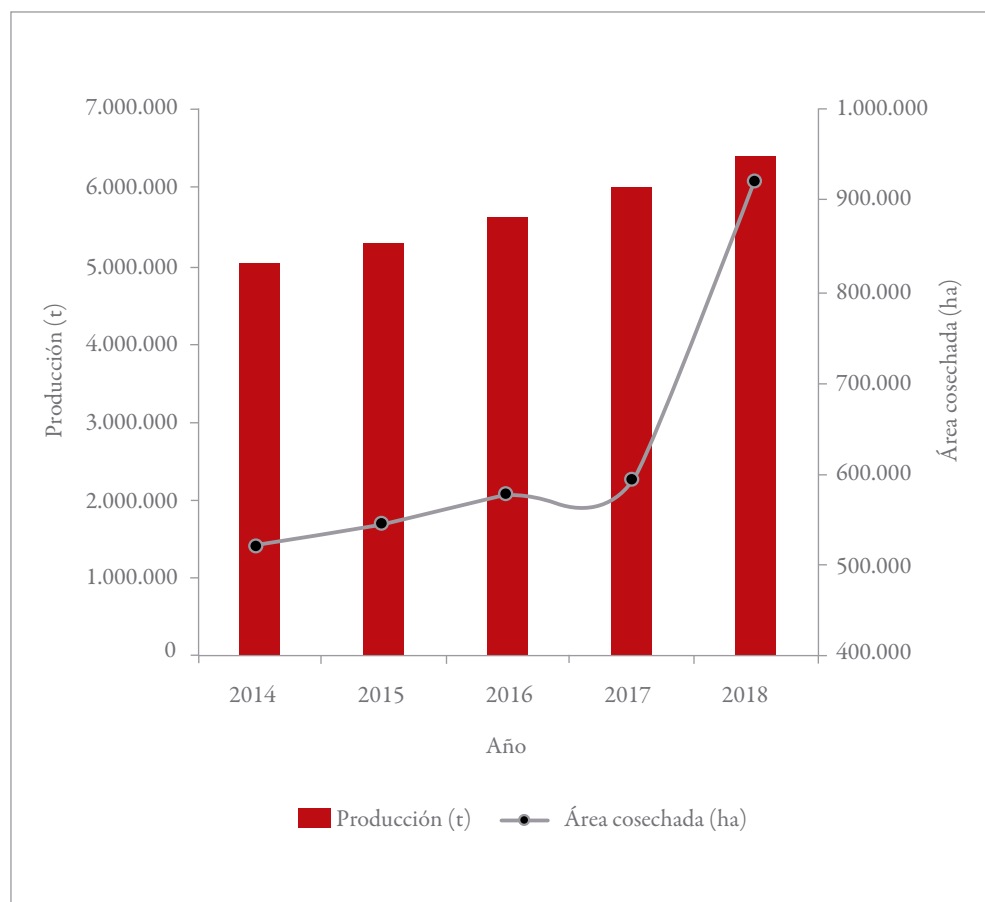


Figura 9.1. Producción y área cosechada de aguacate en el mundo (2018).

Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de FAO (2018)

La figura 9.2 muestra los principales países productores de aguacate en 2018, donde México aparece como el más importante, seguido por Perú, Indonesia, Colombia y Estados Unidos. Por otra parte, países como China, Sudáfrica, Chile, Haití y Camerún, presentan las producciones y los rendimientos más bajos en la lista. En el mismo año, México reportó una producción superior a 2.000.000 t y Perú e Indonesia reportaron alrededor de 504.517 t y 410.094 t, respectivamente. Para el mismo año, Colombia tuvo una producción total de 326.666 t (FAO, 2018).

Es importante señalar que la producción reportada por México resulta seis veces mayor que la producción reportada para Colombia. En tal sentido, a pesar de que Colombia, a la fecha, se encuentra en la lista de países con importancia en la producción mundial de aguacate, en términos de exportaciones, se considera un país emergente debido, principalmente, a que se está abriendo paso en producción y abastecimiento hacia mercados internacionales (Díaz, Ardila, & Guerra, 2019).

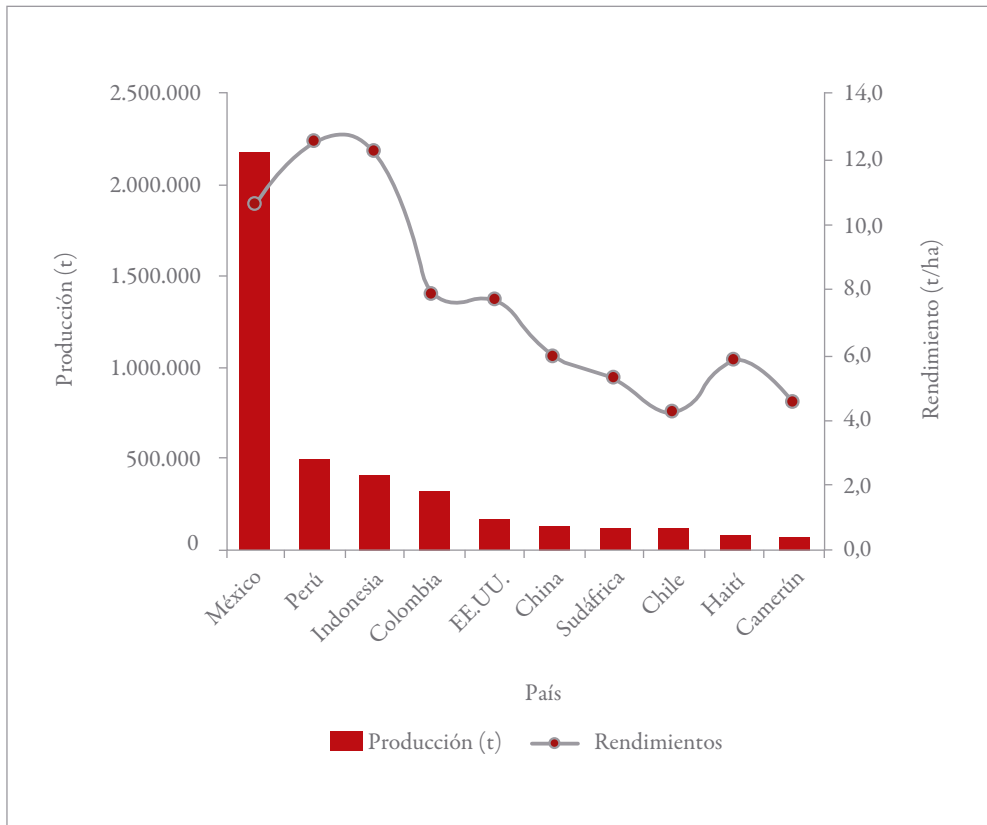


Figura 9.2. Producción y rendimiento mundial de aguacate para el 2018.

Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de FAO (2018)

En cuanto a las exportaciones (figura 9.3), México mantiene el protagonismo en el mercado internacional, seguido por Holanda, Perú, España y Chile. Valga decir al respecto que el papel que desempeña Holanda es de índole comercial debido a que no figura como país productor del fruto; el comercio efectuado por los Países Bajos es principalmente hacia el mercado internacional con miras al consumo interno (Cámara de Comercio de Medellín, 2012).

En 2018, México reportó ventas por USD 2.391.963.000 (figura 9.3), lo que representa casi el 42 % del mercado mundial del frutal, que se ubicó en USD 5.709.115.000. Dentro del mercado, Chile y Perú representan el 6 % y el 13 %, respectivamente. En la actualidad la tasa anual promedio de crecimiento de exportaciones mundiales de aguacate es 24,5 %. Colombia aún no tiene una participación significativa en las exportaciones y ocupa el décimo lugar (en 2018), incluso después de países como Estados Unidos, Kenia, Sudáfrica y Nueva Zelanda. Su participación se limita a un 1,1 % del valor total de las exportaciones mundiales y un 1,19 % de las cantidades de fruta exportada (FAO, 2018).

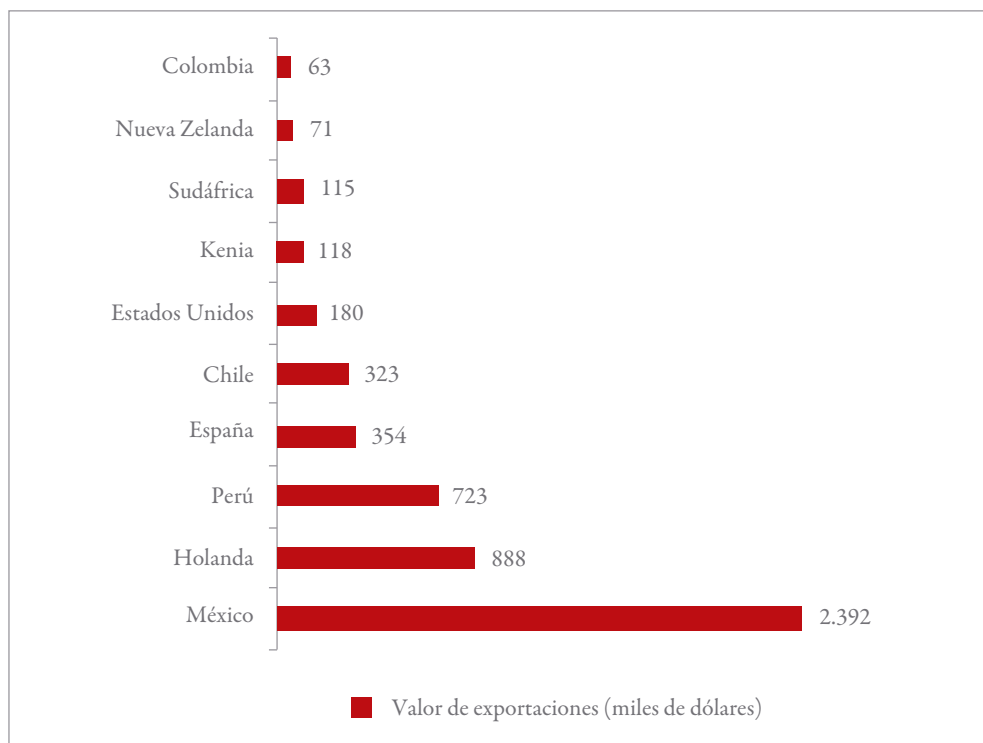


Figura 9.3. Principales países exportadores de aguacate en el mundo para el 2018.

Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de FAO (2018)

El aguacate Hass de Colombia para el mundo

Al hablar de aguacate Hass, inmediatamente se relaciona con guacamole y, casi de manera directa, con México como país productor y consumidor; sin embargo, hay otros países productores de aguacate, como Colombia. Las primeras exportaciones de frutales en Colombia datan del año 2010 (Centro de Comercio e Inversión de AmCham Colombia, 2015), sin embargo, el auge se da partir del 2012, cuando algunos productores comienzan a posicionar la fruta en territorios como el Reino Unido, Países Bajos y España. Según datos de FAO (2018), las exportaciones colombianas pasaron de unos 11.000 dólares en el 2012 a más de 60 millones en 2018. Parte de esta situación está motivada por la inversión extranjera, que ha jugado un papel determinante en la dinamización de las exportaciones en el país al permitir hacer uso del *know-how* en técnicas de producción y comercialización, especialmente de empresas chilenas y sudafricanas. En la figura 9.4 se observa el crecimiento exponencial en términos de cantidad y valor de las exportaciones del aguacate colombiano.

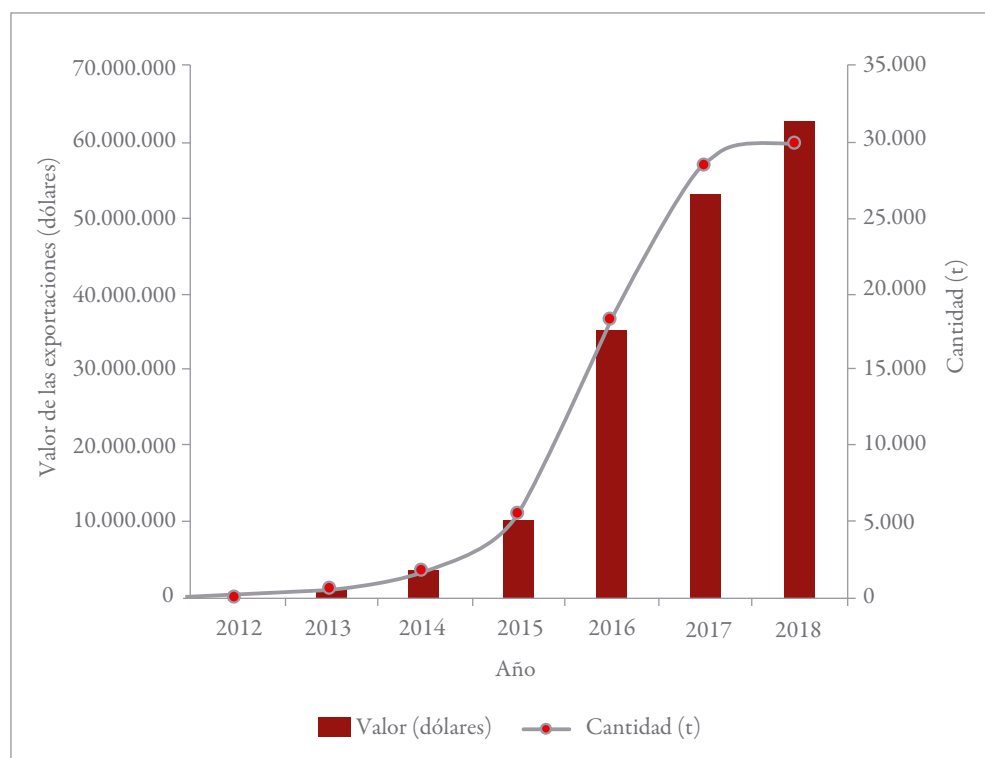


Figura 9.4. Valor y cantidad de las exportaciones de aguacate en Colombia (2012-2018).

Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de FAO (2018)

Tal y como se detalla en la figura 9.5, la mayor proporción de las exportaciones de aguacate Hass efectuadas por Colombia son destinadas a Holanda, un país que cumple una función netamente comercial para la variedad Hass dentro del mercado europeo.

De igual modo se puede destacar la presencia de otros países dentro del mercado de exportaciones de Colombia para esta fruta, como Reino Unido, España, Bélgica y Francia, en este orden de importancia. Las exportaciones hacia Estados Unidos solo toman lugar en noviembre de 2017, después de la aprobación de la entrada de este cultivar en el mercado americano el 15 de agosto de ese año.

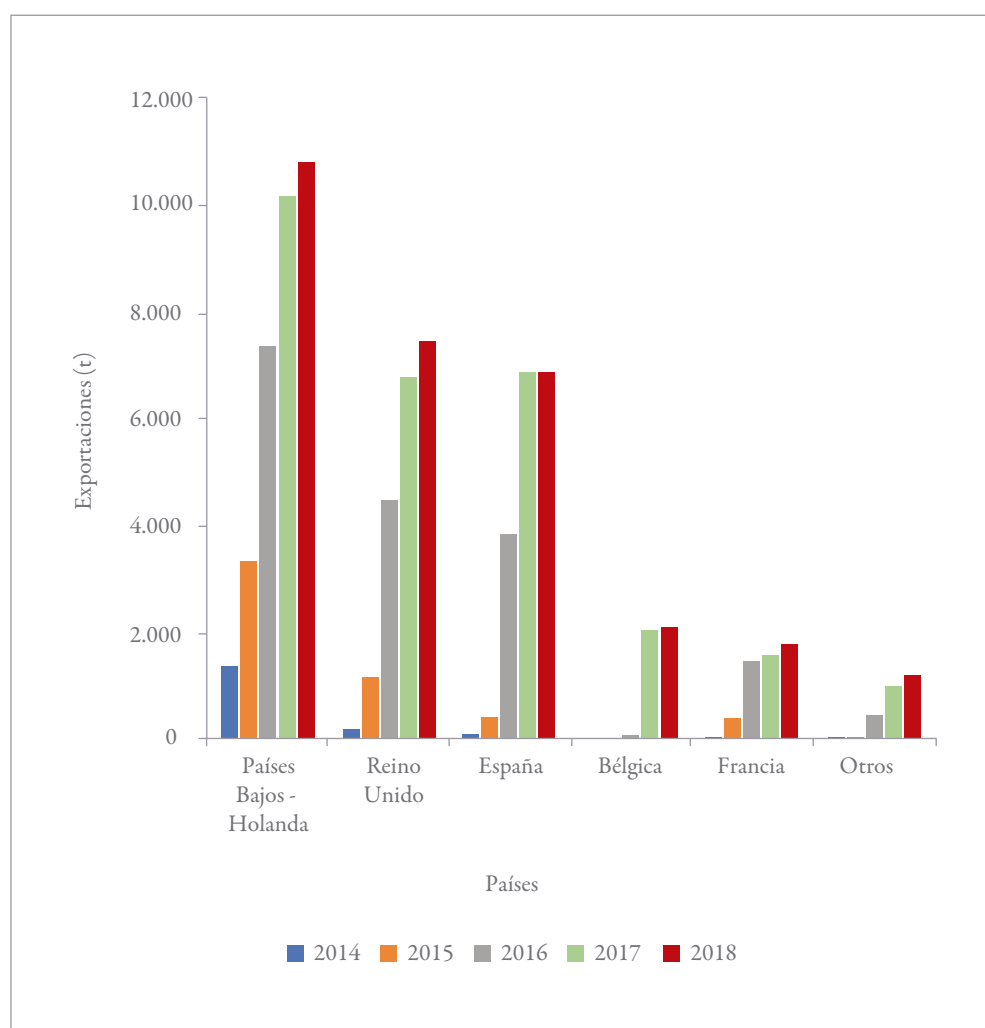


Figura 9.5. Destino de las exportaciones colombianas de aguacate (t) (2014-2018).

Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de SICEX (2018, agosto) y Analdex (2018)

Desarrollo del sector aguacatero en Antioquia

En Colombia, la génesis de producción del aguacate Hass se da en el municipio de El Retiro, ubicado en la zona conocida como oriente antioqueño. De ahí se empezó a propagar hacia otros municipios de la misma subregión, como La Ceja, Guarne, San Vicente, Rionegro, Marinilla, Sonsón y Abejorral. Esta zona, junto con el departamento del Tolima, reúne la mayor cantidad de hectáreas destinadas a la producción de la variedad Hass en Colombia. Para 2018, en el departamento de Antioquia, había 13.734 ha sembradas de aguacate Hass y 6.608 ha en producción (Gobernación de Antioquia, 2018). En la figura 9.6 se presentan los principales departamentos productores de aguacate en Colombia (Antioquia, Caldas, Tolima, Valle del Cauca, Risaralda y Quindío) con sus correspondientes producciones y rendimientos para 2019 (Agronet, 2019).

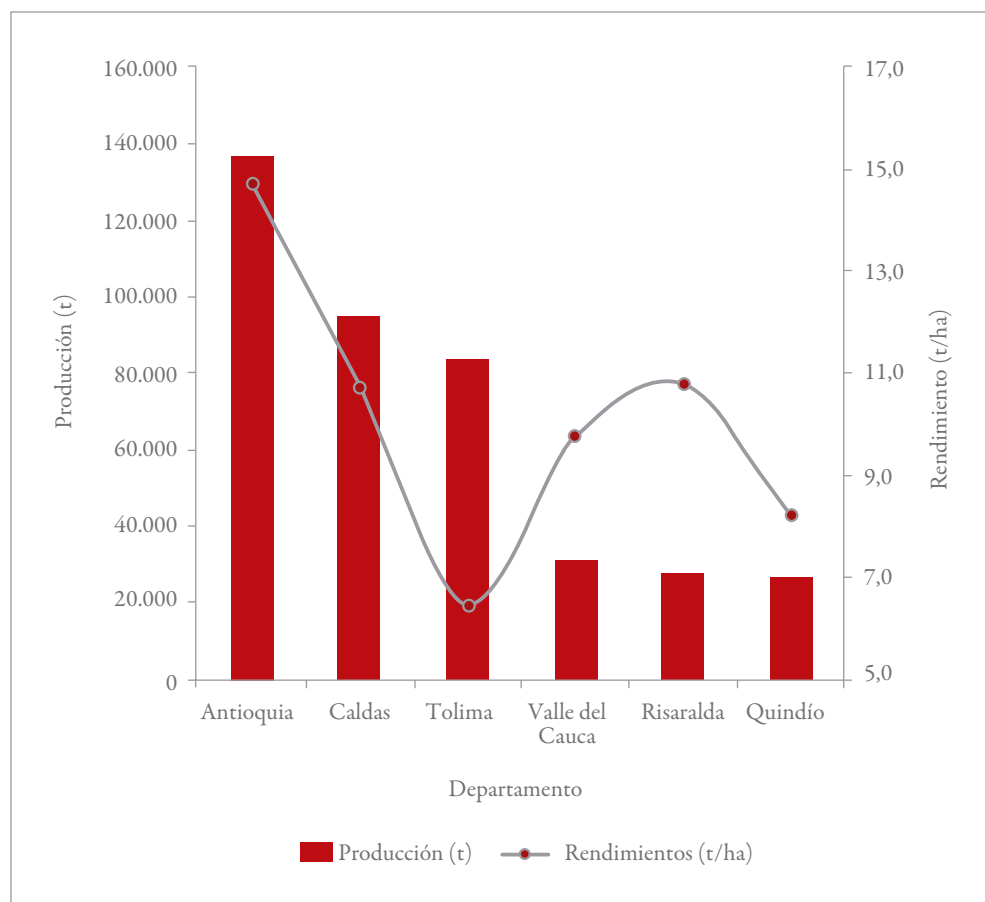


Figura 9.6. Producción y rendimiento de los departamentos productores de aguacate en Colombia en 2019. Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de Agronet (2019)

Cabe señalar que las mayores tasas anuales de crecimiento en áreas cosechadas de aguacate Hass se concentran en la zona del Eje Cafetero, especialmente en los departamentos de Caldas y Risaralda, con un promedio del 55 y el 44 % respectivamente. Es importante anotar que para estos departamentos no existe discriminación al momento de reportar valores de producción por variedad de aguacate.

El departamento del Valle del Cauca no es la excepción al momento de reportar su producción para este fruto. Entre los departamentos donde se encuentra ampliamente establecido el cultivo están Tolima, Caldas y Antioquia, y es en este último que se evidencian las más altas producciones (137.179 t) y los más altos rendimientos (14,74 t/ha). Es particular el caso de Tolima, que presenta una producción relativamente alta, con 83.110 toneladas, pero con bajos rendimientos, de 6,46 t/ha. Estas particularidades dentro de los departamentos muy posiblemente se encuentran asociadas a varios factores, entre los que se pueden mencionar el manejo del cultivo, las condiciones agroclimáticas favorables o desfavorables, las condiciones edáficas y el material genético, entre otras.

El cultivo de aguacate en Colombia se encuentra ampliamente difundido, sin embargo, el aguacate cv. Hass, en particular, es de reciente adopción en la nación. Este cultivo presenta ciertos condicionantes ambientales para su producción exitosa y, como cualquier otro, no escapa a la necesidad de requerimientos mínimos desde el punto de vista fisiológico, edáfico, hídrico y climático para lograr no solo su establecimiento en un área determinada, sino la mayor expresión de su vigor, lo cual se traduce en rendimientos aceptables y competitivos a nivel de mercado, tanto en cantidad (t/ha) como en calidad de fruta.

En las últimas décadas algunos productores con tradición en la ganadería y en otros cultivos como el café y la granadilla, e incluso productores de aguacate de otros cultivares, decidieron emprender un cambio en el uso de sus tierras y enfocarse en la producción de aguacate cv. Hass. Muchos establecieron sus plantaciones de manera conjunta con los cultivos que por tradición tenían sobre sus tierras. La adopción de este nuevo cultivo vino enlazada a muchos retos, como la adopción de técnicas de manejo de un cultivo proveniente de países con condiciones edáficas y climáticas distintas a las que se presentan en Colombia y el desconocimiento de los requerimientos del cultivo para esta región. Este esfuerzo, en la actualidad, ha brindado grandes satisfacciones, pero también algunos tropiezos en el día a día de los productores.

A partir de la necesidad manifestada por los productores de mitigar los tropiezos que enfrentan en el día a día, unieron esfuerzos con las asociaciones, el gobierno y algunas entidades dedicadas a la investigación científica para caracterizar, identificar y tratar de ofrecer soluciones a las dificultades que aquejan a este sistema productivo en la región antioqueña, con miras a resolverlos y prevenir situaciones futuras en el establecimiento de nuevos huertos comerciales.

Ante ello, se elaboró un macroproyecto en el cual convergen diferentes entidades y se enmarca un componente denominado *zonificación*, que fue liderado desde la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). El objetivo de este macroproyecto fue caracterizar el sistema productivo del aguacate desde un punto de vista edáfico, climático y socioeconómico a través de la identificación y la caracterización de zonas bajo uso actual, con miras a establecer o determinar zonas de uso potencial dentro del territorio antioqueño. Cabe destacar que el alcance de este proyecto y el uso de los resultados obtenidos no se encuentran limitados a la región antioqueña; por el contrario, la información generada desde los cultivos, la mayoría establecidos para exportación, sirve como marco para conocer sectores dentro de otras regiones del territorio colombiano con potencialidad para el establecimiento de este sistema productivo.

Para saber la potencialidad de una zona geográfica se deben conocer los requerimientos mínimos para el establecimiento y la producción exitosa del aguacate Hass. A través de la investigación documental de experiencias sobre este cultivo en otros países, se procedió a elaborar una tabla de requerimientos, que se encuentra adaptada a las condiciones del territorio antioqueño, debido a que mucha de la información que contiene procede de estudios efectuados en la región y a que los datos fueron validados por expertos en diversas áreas del conocimiento involucrados con el cultivo de aguacate. En la tabla 9.1 se presentan los requerimientos ecofisiológicos, edafoclimáticos y las limitantes fitosanitarias para el cultivo del aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia.

Tabla 9.1. Requerimientos ecofisiológicos, edafoclimáticos y limitantes fitosanitarias para el cultivo de aguacate en el departamento de Antioquia

Variable	Altitud (m s. n. m.)
Rango	Óptima: ≥ 1.770 a ≤ 2.200
Descripción del efecto	<ul style="list-style-type: none"> • ≥ 1.700: favorecen los rendimientos. • ≥ 1.900: se ha encontrado incremento del contenido de la pulpa del 64 al 67% y menores proporciones de semilla y cáscara; frutos de mejor calidad. • ≥ 2.000: hay aumento del peso de los frutos, en promedio 190 g (Bernal, 2016). • ≥ 2.100: hay presencia de granizadas. Especialmente si son zonas de alta precipitación y si las granizadas son históricamente frecuentes, no se recomienda la siembra (Bernal & Díaz, 2008). En altitud óptima, hay incremento en el contenido de ácido graso oleico (insaturado). • ≤ 1.700: disminución del ácido linoleico (saturado) (Bernal, 2016; FAO, 1997).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	<p>En Antioquia, la calidad organoléptica de la fruta de los árboles sometidos a altitudes ≥ 2.200 m s. n. m. no es conocida de manera oficial; sin embargo, en el territorio existen huertos para exportación establecidos a ≥ 2.400 m s. n. m.</p> <p>En los sistemas productivos ubicados por encima del nivel óptimo se evidencian problemas asociados a granizadas, las cuales pueden causar desde caída significativa de los frutos hasta daños estéticos.</p>

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Radiación solar (horas/día)
Rango	$\geq 4 \leq 5,5$ Óptima: 4
Descripción del efecto	<ul style="list-style-type: none"> • < 4: reduce el crecimiento vegetativo, el número y la longitud de los brotes, el área foliar y la actividad fotosintética (“Teledetección”, s. f.; Bernal, 2016). • 5,5: promueve quemaduras en el fruto y las ramas (golpe de sol) (Galán-Sauco, 1990; Salazar-García, Cossio-Vargas, & González-Durán, 2008; Sánchez, 1981). • El punto de saturación lumínica para una hoja de aguacate Hass en campo es de $1.110 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de PPF (“Teledetección”, s. f.). • La tasa máxima neta fotosintética (A_{max}) es $23 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (“Teledetección”, s. f.). • El punto de compensación de luz de PPF es $10 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ para plantas en campo (“Teledetección”, s. f.).
Variable	Precipitación (mm/año)
Rango	$\geq 665 \text{ a } \leq 2.000$ Óptimas: ≤ 2.200
Descripción del efecto	<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 1.500 provocan caída de las hojas. • ≥ 2.200 reducen los rendimientos al provocar la caída de los frutos (Benacchio, 1982; Bernal & Díaz, 2008; Galán-Sauco, 1990; Gandolfo, 2008; Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981). • El déficit hídrico promueve la aparición de desórdenes fisiológicos en el almacenaje y la madurez del fruto. • La adecuada suplencia hídrica aumenta la vida poscosecha y ayuda a mitigar los bajos niveles de O_2, los altos niveles de CO_2 y promueve el menor contenido de Ca en la pulpa (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012; Saavedra, Vásquez, & Mejía, 2012).

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

**Descripción
de la variable
en zonas
bajo estudio**

La distribución de las precipitaciones en las zonas de producción no muestra un comportamiento similar: hacia el oriente son de tipo bimodal, más bajas en los períodos de diciembre a mayo y de junio a agosto; sin embargo, casi siempre cubren el requerimiento del cultivo. En el suroeste, la distribución de la precipitación es de tipo modal, sin picos máximos bien definidos; generalmente inicia el período marcado de fuertes precipitaciones entre los meses de marzo a noviembre, en el cual son cubiertos los requerimientos del cultivo. Sin embargo, en ocasiones, en junio y julio la precipitación sobrepasa el óptimo requerido por el cultivo, mientras que en los meses de diciembre a febrero no se cubre el requerimiento hídrico, por lo cual algunos productores que cuentan con suelos con baja capacidad de retención deben hacer prácticas de riego. Una situación similar ocurre hacia el norte del departamento, cuya distribución de precipitaciones es modal, aunque es poco frecuente el uso de prácticas de riego en esta zona. Esto concuerda con lo expuesto por Jaramillo y Chaves (2000).

Es importante destacar que las floraciones son promovidas por los meses de altas precipitaciones y se desarrollan en la época seca. En el departamento, en la mayoría de los casos, se presentan dos flujos florales, con algunas excepciones de hasta tres (Bernal, 2016).

El flujo de crecimiento de las raíces durante el período prolongado de lluvias alcanza su máximo inicio en la época seca, y existe una correlación negativa entre los períodos de crecimiento vegetativo y de crecimiento del sistema radical (Cuesta, 1994; Ávilan, Rojas, Suárez, & Miranda, 2014; Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012; USAID, 2014). Las raíces crecen cuando el primer ciclo vegetativo comienza a declinar. Luego viene un segundo período de crecimiento vegetativo y hay equilibrio entre el crecimiento radical y el vegetativo (Cámara de Comercio de Medellín, 2012).

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

	<p>Otro factor relevante es la alternancia en la producción o vecería (años <i>on</i> y <i>off</i>). Este factor es de origen genético y se encuentra mayormente asociado al nivel de carbohidratos (CHO) acumulados en el tronco del árbol. La fructificación demanda alto contenido de CHO, por lo cual, en años de alta producción, las reservas bajan y para el año siguiente la producción de brotes florales es menor (Sánchez et al., 2001).</p>
<p>Variable</p>	<p>Temperatura atmosférica (°C)</p>
<p>Rango</p>	<p>Diurnas: 25 a 30. Nocturnas: 15 a 20. Óptimas: $\geq 14 \leq 27$ entre diurnas y nocturnas</p>
<p>Descripción del efecto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 10 °C reducen la Φ (productividad cuántica) de $0,055 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ fotones a $0,034 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ fotones; en períodos cortos de tiempo a esta temperatura se estimula la inducción floral cuando han existido períodos de temperaturas ≥ 36 °C; F_v/F_m (eficiencia cuántica máxima del fotosistema II): los valores varían entre 0,79-0,81 en temperaturas mínimas de 12,9 °C; por debajo de ≤ 10 °C se encuentra alrededor de 0,41, lo que induce daños en el PSII; por encima de 37 °C hay daño irreversible al PSII (Gobernación de Antioquia, 2016). • ≤ 10 °C provocan daños por frío en distintos órganos de la planta cuando esta temperatura se da en forma recurrente. • ≤ 15 °C o ≥ 40 °C provocan el decrecimiento de hasta un 33 % de la tasa fotosintética en comparación a la tasa que se presenta en la temperatura óptima (Gobernación de Antioquia, 2016). • ≥ 36 °C causan daños en la fecundación y el cuajado del fruto (Gobernación de Antioquia, 2016).
<p>Descripción de la variable en zonas bajo estudio</p>	<p>Las variaciones de temperaturas para la región de Antioquia en cuanto a la temperatura atmosférica no muestran variaciones superiores a 5 °C, mientras que la temperatura del suelo no registra variaciones que superen los 10 °C (Bernal, 2016).</p>

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Temperatura del suelo (°C)
Rango	$\geq 13 \leq 30$. Óptimas: $\geq 14 \leq 18$. Isotérmica
Descripción del efecto	Por encima o por debajo de este rango de temperatura se ve afectado el desarrollo del sistema radical. Para el caso de Antioquia, el suelo presenta una condición <i>buffer</i> , con tendencia a que, a temperaturas altas en el ambiente, el suelo se mantiene a temperaturas bajas y viceversa (Bernal, 2016; FAO, 1999; Salazar-García et al., 2008).
Variable	Humedad relativa (%)
Rango	Óptima: $\geq 50 \leq 80$
Descripción del efecto	<ul style="list-style-type: none"> • $\leq 50\%$ provoca la muerte por desecación del polen. • $\geq 80\%$ aumenta la incidencia de enfermedades, principalmente fúngicas (Bernal & Díaz, 2008; Galán-Sauco, 1990; Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	En la mayoría de las zonas de producción ubicadas desde el norte hasta el suroeste del departamento, se encuentran porcentajes de humedad relativa que oscilan entre el 72% hasta valores superiores al 90%. Es importante puntualizar que los cambios más bruscos en los porcentajes de HR ocurren hacia el suroeste, con variaciones de hasta un 23% entre los meses de mayo y noviembre, mientras que hacia el norte las variaciones en el porcentaje de HR en los mismos meses no superan el 6%.

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Regímenes de humedad del suelo (%)
Rango	Óptima: ústico y údico
Descripción del efecto	En suelos con estos regímenes de humedad y con buen drenaje promueven de forma favorable el desarrollo radical (FAO, 1999; Salazar-García et al., 2008)
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	El régimen predominante en la región es údico, pero en dos de los seis órdenes de suelo donde se presenta el cultivo, como el Inceptisol y el Alfisol, este último con inclusión en algunos municipios, presentan, como características propias, un mal drenaje subsuperficial que hace que los productores efectúen zanjas de drenaje en el terreno para evitar el exceso de agua y el daño a las raíces.
Variable	Textura
Rango	Franca, franco-arenosa, franco-limosa
Descripción del efecto	No son deseables las clases texturales con altos contenidos de arcilla, como las franco-arcillosas y las franco-arcillo-limosas (Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981).

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

**Descripción
de la variable
en zonas
bajo estudio**

En las zonas de producción dentro del departamento, la mayoría de los suelos presenta profundidades efectivas muy superiores a las óptimas que permiten un buen desarrollo y anclaje del sistema radical del cultivo. Sin embargo, la exploración que pueda efectuar el sistema radical del cultivo en algunos suelos como el Alfisol se ve principalmente limitada por otros factores, entre los que se pueden mencionar: el uso del suelo en sistemas de producción que anteceden al cultivo; las clases texturales, específicamente la distribución del tamaño de partículas; la susceptibilidad a la erosión laminar o por remoción. En relación con el primer factor, por lo general se trata de suelos que en la actualidad están bajo cultivo de aguacate y que antes se encontraban bajo producción de café, pastos y ganadería. Algunos cuentan con moderada susceptibilidad a la compactación, especialmente dentro de los primeros 50 cm, con lo cual impiden, por resistencia, la penetración de gran parte del sistema radical y limitan, de esta manera, su desarrollo a esta profundidad. El segundo factor tiene que ver con la manera en que se encuentran distribuidas las fracciones de partículas en la clase textural. En el territorio se encuentran texturas óptimas, pero con predominio de fracciones finas o muy finas, lo que acarrea problemas de asfixia radical y drenaje, dada la alta capacidad de retención de humedad característica de dichas fracciones. Esto hace que el productor deba incurrir en prácticas para el manejo del agua, como zanjas de drenaje. Los contenidos de fracciones finas, como las arcillas, son $\geq 40\%$, y las arenas finas y muy finas superan el 50 %, en la mayoría, con una estabilidad estructural moderada, que presenta un porcentaje de agregados de < 250 mm en cerca del 20 % de los suelos. El último factor se observa en plantaciones sobre suelos muy jóvenes donde, por remoción, ya no existe presencia del horizonte A u horizonte orgánico o se observa, por las altas pendientes, material grueso proveniente de posiciones superiores en la ladera, en partes más bajas, sea por acción antrópica o por factores de tipo ambiental que reflejan la baja estabilidad estructural de algunos suelos bajo este sistema productivo.

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Profundidad efectiva (cm)
Rango	≥ 30 cm Óptima: ≥ 50 cm
Descripción del efecto	<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 30 cm causa poco desarrollo del sistema radical (Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	Aplica la misma “Descripción de la variable en zonas bajo estudio” de la página anterior
Variable	Pendiente (%)
Rango	≤ 1 % a ≤ 20 %. Óptima: ≤ 12 %
Descripción del efecto	≥ 20 %: prevalecen suelos poco profundos que provocan poco desarrollo radical y proporcionan poco sostén a la planta.
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	El cultivar Hass se encuentra en pendientes muy superiores a las reportadas como óptimas (>40 %). En dichos sistemas la susceptibilidad a la erosión laminar y por remoción se incrementa considerablemente, lo cual pone en riesgo la sostenibilidad y la sustentabilidad de los sistemas productivos de aguacate. Sin embargo, muchas plantaciones efectúan prácticas de manejo sobre las terrazas.

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Drenaje
Rango	Bien drenados a moderadamente bien drenados
Descripción del efecto	Suelos en condiciones de anegación por períodos superiores a 24 h provocan asfixia radical (FAO, 1999, 2017).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	Los suelos donde se encuentran los cultivos de aguacate son, por lo general, moderadamente bien drenados en todo el perfil. Sin embargo, existen suelos que cuentan con esta condición en horizontes hasta los 60 cm y luego pasan a moderadamente mal drenados en horizontes más profundos, donde se evidencian elementos precipitados como el calcio, el hierro y el azufre; este último elemento se evidencia por la presencia de moteados y desprendimiento de olor a esas profundidades. Los productores hacen uso de zanjas de drenaje para sacar el exceso de agua de sus cultivos.
Variable	Contenidos de materia orgánica (MO) (%)
Rango	≥ 2 %. <i>Óptimo:</i> ≥ 6 %
Descripción del efecto	<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 2%: no deseado, dada la función de la MO como fuente y sumidero de nutrientes (Bernal & Díaz, 2008; Calabrese, 1992; Jaramillo & Chaves, 2000; FAO, 2017).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	Los contenidos de MO (%) oscilan entre el 10 y el 22% y disminuyen a medida que se profundiza el perfil.

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Acidez (pH)
Rango	<p>≥ 5,5 a ≤ 7,5. <i>Óptimo:</i> ≥ 6</p>
Descripción del efecto	<ul style="list-style-type: none"> • ≥ 7,5 produce clorosis en las hojas dada la limitada absorción de elementos como el Fe, poco disponible en este pH. • ≤ 5,0 efectos tóxicos por alta saturación con Al ≥ 1,1 meq/100 g. • ≥ 7,7 la planta es sensible al Na, se presentan problemas por salinidad con valores de CE ≥ 2,0 ds.m⁻¹ (Calabrese, 1992; Jaramillo & Chaves, 2000; FAO, 1997, 1999, 2017; Salazar-García et al., 2008).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	<p>Algunos suelos donde se produce aguacate en la actualidad cuentan con un pH cercano a 5,3 que está por debajo del valor mínimo. Para esta condición particular, los productores recurren a prácticas de encalado y logran mejoras momentáneas, dada la condición <i>buffer</i> de algunos suelos. Esta práctica debe ser efectuada con especial cuidado en suelos pertenecientes al orden Andisol, dada la presencia de elementos abundantes como el aluminio y el sílice, que se ocupan del complejo intercambio; esto, aunado a la capacidad de retener elementos como el fósforo puede llegar a causar desequilibrios importantes en la nutrición del aguacate que podrían afectar la fijación de otros elementos importantes que son adsorbidos a pH cercanos a la neutralidad 7 y, por encima de esta, a > 7, como el potasio, el calcio y el hierro (Casanova, 1994). En pH mayores a 7 se comienzan a evidenciar problemas de salinidad que son poco tolerados por el cultivo (Calabrese, 1992; Jaramillo & Chaves, 2000; FAO, 1997, 1999, 2017; Salazar-García et al., 2008). Esto por mencionar algunos de los factores esenciales para las funciones metabólicas que permiten el desarrollo vegetativo y del fruto y que incluso llegan a afectar su calidad en la poscosecha.</p>

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Porosidad total (PT) (%)
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	Se encontró que los sistemas productivos cuentan con una PT $\geq 50\%$; sin embargo, la mayor proporción de poros es atribuida a microporos, situación que, asociada a otras variables como la considerable presencia de fracciones finas de partículas, agudiza los problemas asociados al mal drenaje, lo que podría llegar a provocar problemas asociados al sistema radical.

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes citadas y de datos obtenidos de las evaluaciones de algunas variables en campo

Es importante señalar que los rangos asociados a las variables presentes en la tabla 9.1 no deben ser considerados como absolutos, es decir, muchas de las variables presentadas no limitan de forma independiente el cultivo, ya que el conjunto o la interacción de muchas de estas variables son las causantes del éxito o del fracaso de las plantaciones comerciales. También es cierto que algunas de las variables presentes tienen mayor incidencia que otras sobre el cultivo y otras tantas logran mejorarse con planes de manejo agronómico acertados para solventar el problema inicial. Por ejemplo, la variable *pendiente*, por sí sola, puede llegar a tener efectos múltiples sobre otras, como *fertilidad*, *drenaje* y *erosión*, por mencionar algunos de los aspectos involucrados; pero la pendiente puede ser manejada con siembra sobre sistemas de terrazas, la erosión se reduce con el uso de coberturas y el drenaje mejora con zanjas de escorrentía o de infiltración. Así, lo que se quiere evidenciar es que se trata de variables que, de algún modo, el hombre puede controlar (cosa que no sucede, por ejemplo, con la temperatura y la radiación solar o la radiación PAR).

El número de áreas potenciales que puedan darse dentro de la región aumenta o disminuye debido a la variable que se considere limitante; siendo esto así, existirán áreas categorizadas como *altamente potenciales*, donde el número de variables limitantes sea prácticamente cero, o áreas con *potencial limitado* por más de un número significativo de variables; estas últimas son las que requieren de mayor inversión financiera inicial o de establecimiento, así como de mantenimiento para el manejo y la producción exitosa del cultivo.

Debido a esto, la zonificación efectuada en este estudio cobra sentido, ya que no solo fueron identificadas, sino caracterizadas, las demandas o requerimientos del cultivo a nivel fisiológico, edáfico y climático, así como los riesgos sanitarios para su establecimiento y su producción exitosa. Adicionalmente, la evaluación del sistema se efectuó con proyección de sostenibilidad y sustentabilidad, contemplando criterios de salud y de calidad de los suelos, así como riesgos ecológicos, ambientales y condiciones sociales y económicas.

Muchos estudios de zonificación enfocan sus avances en la visualización del cultivo en el territorio solo desde las necesidades edáficas y climáticas. En muchos casos, estas prácticas conllevan que las zonas sugeridas resulten *inviabiles* o, en el peor de los casos, que no logren cuantificarse las áreas como *potenciales* debido a que las variables limitantes se consideran como factores limitantes únicos, sin evaluar la posibilidad del control agronómico sobre estos. En el primer caso (áreas inviables), existen muchas razones que explican estos resultados, como la existencia de centros poblados o de otros cultivos, pero casi nunca se efectúan estudios de mercado o sociales como base para adoptar un sistema productivo. En este sentido, la sociedad juega un papel fundamental en el cambio de uso de la tierra debido a que es ella quien decide si, por tradición, necesidad, mercado, moda, etc., se adopta o cambia de sistema productivo; por lo tanto, es importante tener en cuenta que la dinámica dentro de las sociedades es compleja y parte de la multifuncionalidad que presente el territorio.

El estudio efectuado dentro del proyecto de zonificación contempló una serie de mapas elaborados a través de diferentes técnicas de geomática: conjuntos borrosos, interpolación Kriging, uso de imágenes de teledetección e índices de vegetación, como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por su sigla en inglés). Este conjunto de técnicas, así como la validación de la presencia de las unidades de producción en campo y la toma de información primaria de suelos, registros climáticos, información fisiológica y de limitantes fitosanitarias, sirvieron de marco para la cuantificación de las áreas en uso actual y la determinación de las áreas con potencial para el cultivo de aguacate Hass en la región.

Antes de continuar, es necesario definir el concepto de NDVI o índice de vegetación, el cual se entiende como un parámetro que se calcula a partir de los valores de reflectancia a distintas longitudes de onda y es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilabert, González-Piqueras, & García-Haro, 1997). El NDVI o índice de vegetación de diferencia normalizada es usado para estimar la cantidad, la calidad

y el desarrollo de la vegetación con base en la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente en una plataforma espacial, que permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial, así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Esto está determinado fundamentalmente por las condiciones climáticas. Así mismo, en la interpretación del índice se deben considerar los ciclos fenológicos y de desarrollo durante un año, para distinguir las oscilaciones naturales de la vegetación, así como los cambios en la distribución temporal y espacial causados por otros factores. El NDVI permite generar una imagen que muestra el verdor (la biomasa relativa), con la ventaja, respecto a otros índices, de tener sencillez de cálculo y facilitar la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación (Departamento Provincial de Aguas, 2017; Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2017).

El NDVI se calcula con la siguiente ecuación:

$$NDVI = ((IR - R) / (IR + R))$$

Donde:

IR = valores de pixel de la banda infrarroja

R = valores de pixel de la banda roja

Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un *dataset* ráster multiespectral: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR). El rango de valores de las reflectancias espectrales oscila entre -1 y +1 (Departamento Provincial de Aguas, 2017). A partir de esto, se clasificarían de la siguiente manera:

- El agua tiene reflectancia $R > IRC$ y, por lo tanto, valores negativos de NDVI.
- Las nubes presentan valores similares de R e IRC, por lo que su NDVI es cercano a 0.
- El suelo descubierto y con vegetación rala presenta valores positivos, aunque no muy elevados.
- La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta los mayores valores de NDVI (ESRI, 2017).

Los valores de este índice fluctúan entre -1 y 1. Diversos estudios y publicaciones señalan que los valores por encima de 0,1 indican presencia de vegetación, y cuanto más alto sea el valor de este índice, las condiciones de vigor son mejores.

De acuerdo con esto, en las imágenes el NDVI presenta color marrón para las zonas con escasa vegetación, hasta verde oscuro en las zonas con vegetación densa; el valor

puede variar dependiendo de la función del uso del suelo, la estación fenológica y la situación hídrica climática de la zona. Este índice permite detectar en qué partes la cobertura vegetal se encuentra en sequía o cuándo la plantación está lista para cosechar (“Teledetección”, s. f.).

A continuación se presenta una serie de mapas a escala semidetallada del departamento de Antioquia que lo caracterizan de manera general. Sobre estos, una vez identificadas las zonas con producción de aguacate (mediante el programa ArcGIS), se efectuaron los algoritmos para determinar las áreas potenciales según los rangos óptimos de las variables presentes en la tabla 9.1.

La figura 9.7 corresponde a un mapa construido a partir de la información oficial obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. En esta figura se evidencian cuatro tipos de climas delimitados por el factor temperatura en el departamento de Antioquia: cálido, templado, frío y muy frío.

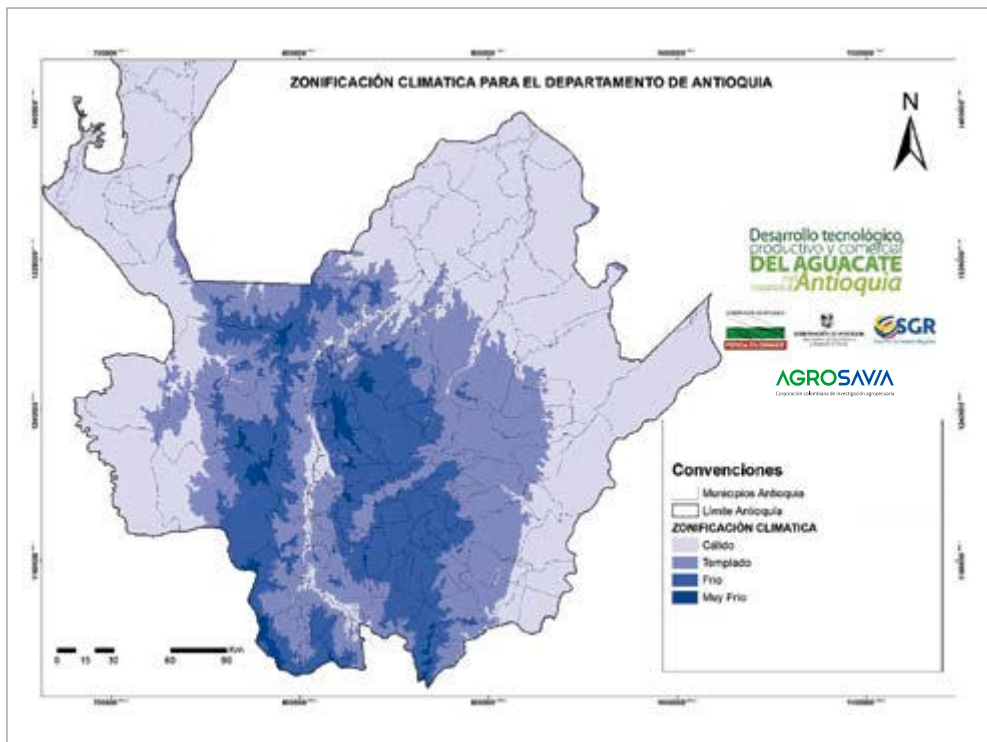


Figura 9.7. Mapa del clima en el departamento de Antioquia.

Fuente: Elaboración propia a partir de IGAC (2007) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam] (2017)

Las zonas productoras de aguacate cultivar Hass a nivel comercial se encuentran principalmente en zonas de clima frío a templado, como se evidencia en la figura 9.8.

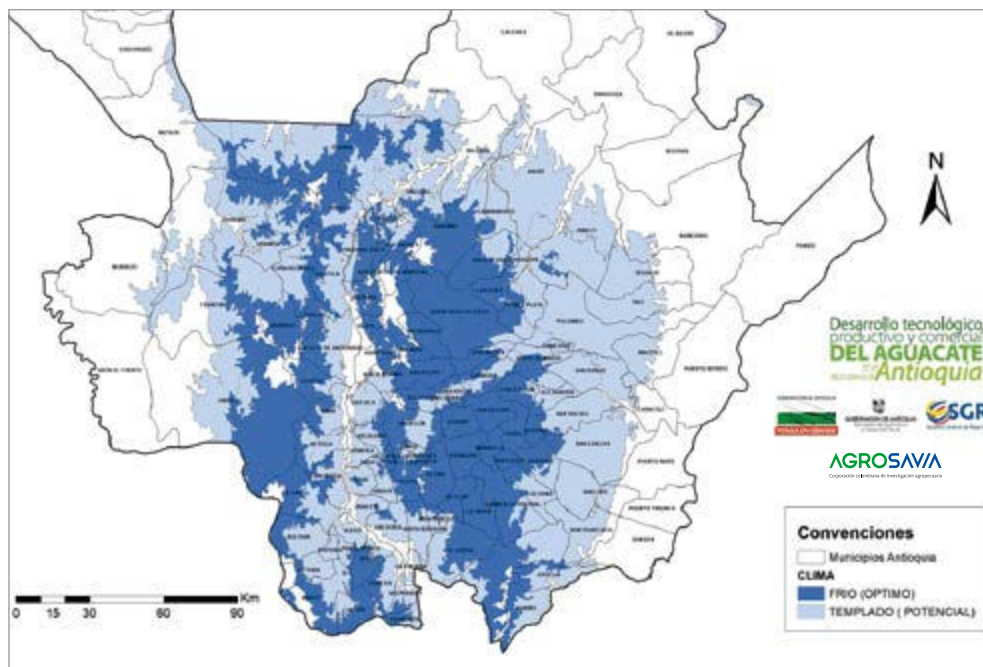


Figura 9.8. Mapa de clima óptimo y potencial para el cultivo de aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia.

Fuente: Elaboración propia

El mapa del promedio anual de precipitación fue elaborado a partir de información del IGAC (2007) y del Ideam (2017), así como con la información proveniente de la serie de datos históricos pertenecientes al proyecto Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA) (Corpoica & Fondo de Adaptación, 2016), ejecutado por Corpoica. Del mismo modo, se consideró información climática obtenida a través de estaciones establecidas por el proyecto financiado por el Sistema General de Regalías (SGR), SGR-Aguacate, para el monitoreo de variables climáticas en áreas con cultivos comerciales (figura 9.9).

En el mapa se presentan tres rangos: el primero abarca desde los 1.001 hasta los 2.000 mm/año; el segundo va desde los 2.001 hasta los 3.000 mm/año, y el tercero desde los 3.000 a los 7.000 mm/año. Estos rangos son los que se observan en Antioquia, aunque no son los que la literatura reporta como óptimos para el aguacate cv. Hass.

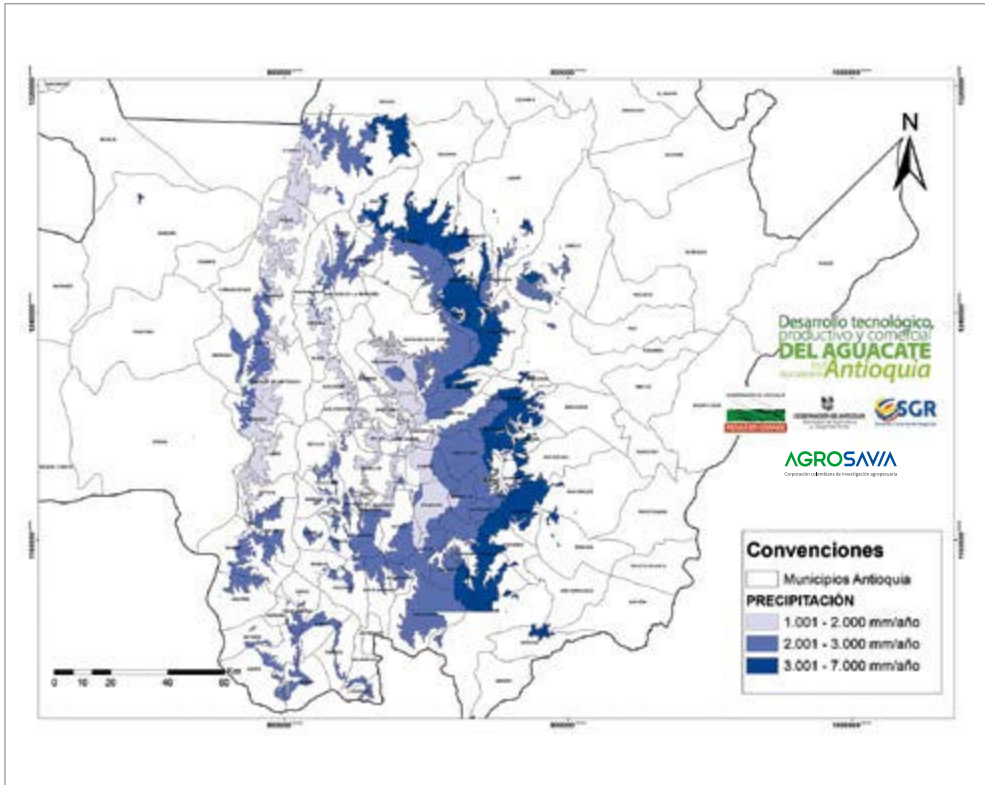


Figura 9.9. Mapa de precipitación promedio anual del departamento de Antioquia (mm/año).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGAC (2007), Ideam (2017) y Corpoica y Fondo de Adaptación (2016)

Es importante señalar que los datos presentes en la tabla 9.1 corresponden a la precipitación acumulada para los municipios donde el proyecto logró establecer las estaciones climáticas. Dicha información fue corroborada con datos de las estaciones cercanas a los sitios de muestreo establecidas por el Ideam, por lo cual se considera información primaria.

El mapa de la figura 9.10 fue construido con base en la información del Estudio General de Suelos elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2007) y el estudio de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare [Cornare] (1995). Según el estudio a escala semidetallada, en Antioquia hay tres asociaciones de suelos: la primera, en color verde, señala cinco órdenes predominantes: Entisol, Inceptisol, Mollisol, Andisol y Alfisol; la segunda cuenta con el agrupamiento de dos órdenes de suelos principales, Entisol e Inceptisol; y la tercera agrupa tres: Histosol, Entisol e Inceptisol.

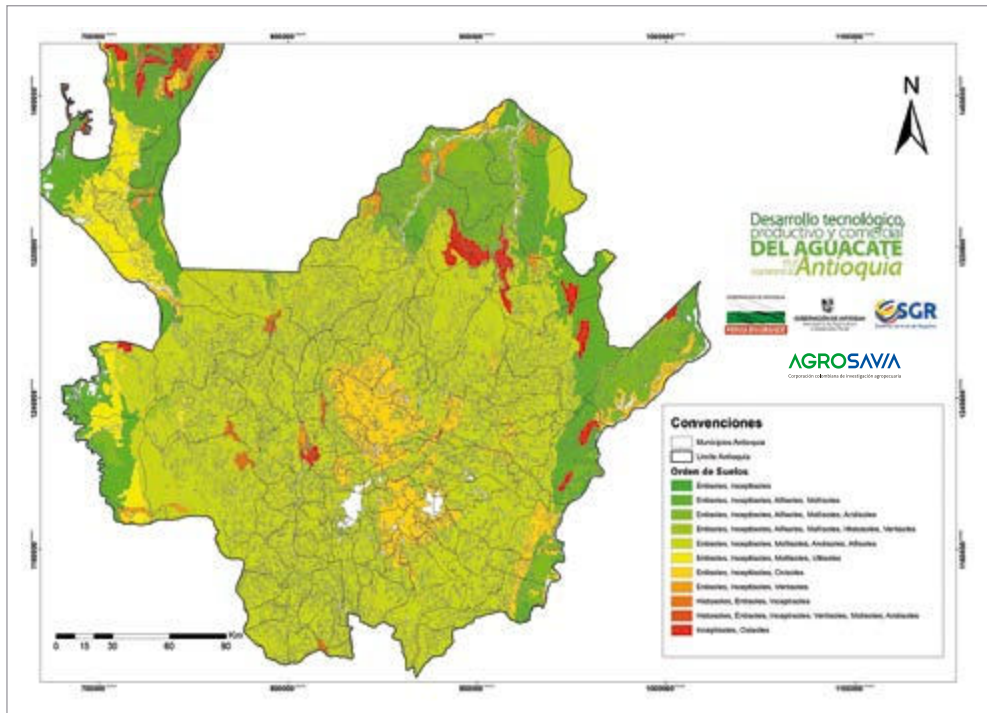


Figura 9.10. Mapa de órdenes de suelos presentes en el departamento de Antioquia.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGAC (2017)

Al momento de validar la presencia de las unidades productivas y de caracterizarlas a través de la evaluación de diferentes variables para determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos, se procedió a efectuar una serie de perfiles modales con el fin de validar la información presente en el mapa y, a la vez, caracterizar las variables pertinentes sobre dichos perfiles. De igual modo, se usaron perfiles ubicados en taludes de carreteras para la clasificación de estos órdenes de suelos.

Dentro de estas asociaciones de suelos, los aguacates cultivados comercialmente se encuentran principalmente en los órdenes Inceptisol, Andisol, Entisol, Molisol y Oxisol. El orden Inceptisol se encontró en muchas de las unidades productivas visitadas, con presencia en el norte, el suroeste y el oriente del departamento (figuras 9.11 y 9.12).

Andisol es el segundo orden que se presenta en las zonas del departamento donde hay cultivares de aguacate Hass y en algunas plantaciones se encuentra en compañía de Entisol.



Fotos: Tatiana Mallanin Rondon Salas

Figura 9.11. Perfiles modales en fincas productoras de aguacate. a. Inceptisol; b. Andisol.



Foto: Katherine Rodríguez

Figura 9.12. Perfil de suelo Oxisol, encontrado en menor proporción dentro de los sistemas productivos de aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia.

El establecimiento de unidades comerciales sobre suelos de los órdenes Entisol, Mollisol, Oxisol y Alfisol tiene una menor proporción que el establecimiento sobre el resto de los órdenes mencionados. Al observar la variabilidad de órdenes presentes, es posible pensar que el cultivar Hass es flexible ante diferentes condiciones de suelos; sin embargo, este cultivar está sobre un portainjerto o patrón, el cual es el que verdaderamente se adapta a una determinada condición del suelo según su rusticidad. En la actualidad, algunos productores están intentando establecer el cultivar Hass con un patrón o portainjerto de la misma variedad, tal y como se hace en países como Chile, donde ha resultado ser una buena estrategia para reducir problemas de incompatibilidad con el patrón, aunque se trata de una técnica de manejo que debe ser comprobada para su implementación dentro de las unidades de producción ubicadas en el departamento, dado que las condiciones edafoclimáticas son distintas.

Dentro de los órdenes de suelos encontrados, las principales limitantes son el drenaje, las pendientes, la estructura y los niveles de pH ácidos y extremadamente ácidos. Los suelos recomendados para el cultivo de aguacate respecto a la variable *textura* son de tipo franco, en especial cuando tienen tendencia a presentar partículas medias y gruesas. Al validar esta información en campo, se encontró que la mayoría de los cultivares comerciales están ubicados en suelos con las texturas siguientes: franca (F), pero con tendencia a presentar partículas finas, como franco-arenosas (Fa) con predominio de arenas finas y muy finas en un porcentaje >50%; franco-arcillo-limosas (FAL), franco-arcillo-arenosa (FAa) y, solo en algunos, casos areno-francosa (aF). Esto genera problemas de drenaje superficial y subsuperficial debido a que, a pesar de contar con un suelo franco a nivel textural, el predominio de las partículas finas (como arenas muy finas cuyo diámetro es similar al de las partículas de limo) genera un comportamiento en campo semejante al de un suelo con condiciones asociadas a la textura de tipo fina, como suelos arcillo-limosos (AL) o franco-limosos (FL), por lo cual se presenta una condición de drenaje deficiente.

En vista de ello, los productores se ven en la necesidad de implementar zanjas de escorrentía dentro de los huertos, algunas muy profundas, con la idea de eliminar el exceso o la acumulación de agua para evitar problemas de tipo sanitario o de asfixia radical. Para algunos productores, estas técnicas de manejo han funcionado cuando el problema de texturas mixtas se encuentra a partir de los 80 cm de profundidad; para otros el problema es más complejo de manejar, ya que si se encuentra a los 60 cm o antes se hace difícil la exploración de las raíces y, en algunos casos, se presentan enfermedades relacionadas con el sistema radical debido al exceso de humedad. Algunos de los suelos estudiados presentan texturas mixtas, lo cual hace difícil el manejo del drenaje.

Otro problema es la variable *pendiente*, ya que los suelos donde se encuentra sembrado el aguacate, en su mayoría, alcanzan pendientes superiores al 30 %, lo cual trae consigo problemas potenciales de erosión elevada y, por ende, de degradación física de los suelos. Si bien el aguacate Hass ha logrado establecerse en estas condiciones, la sostenibilidad y, en algunos casos, la sustentabilidad del sistema productivo se ven comprometidas debido a que existe una alta probabilidad de lavado o arrastre de nutrientes provenientes de la escorrentía superficial. Esto puede traducirse en la necesidad de mayor aplicación de nutrientes por parte del productor, que incurriría en un incremento de sus costos operativos y, lo que es más delicado, podría contaminar las aguas superficiales y generar problemas de acidificación del suelo por la mayor aplicación de fertilizantes (Cuesta, 1994; Day, Hughes, & Butcher, 1992; Dumsday & Seitz, 1985). El aguacate Hass, en muchos huertos, se encuentra en pendientes superiores a las recomendadas, y aunque algunos productores efectúan la siembra sobre terrazas, en la mayoría de las plantaciones esta práctica no es usada.

El mapa de uso potencial basado en la variable *pendiente* (figura 9.13) fue elaborado considerando tres rangos, que incluyen el rango óptimo recomendado por los estudios previos y la literatura; sin embargo, también se consideraron valores de pendientes en las cuales se encuentran actualmente cultivos de aguacate y que presentan un potencial variable según el manejo agronómico que se haga en estos sistemas productivos. Esto es importante porque dicho mapa fue elaborado contemplando la realidad de los sistemas productivos en el departamento y no únicamente los valores recomendados en la literatura (tabla 9.1). Los rangos de la variable *pendiente* establecidos fueron los siguientes: 0-12 %, 12,1-20 % y 20,1-30 %. Las áreas potenciales en Antioquia, para los rangos de pendientes establecidos, son las siguientes: 1.747.736,8; 1.029.808,62 y 1.059.197,86 ha, respectivamente. Sin embargo, estas áreas solo consideran como limitante la variable *pendiente* dentro del territorio.

La figura 9.14 muestra un mapa elaborado con diversas técnicas, pero la base es el índice de vegetación NDVI. Para su construcción, se trazaron polígonos sobre plantaciones comerciales en campo utilizando un GPS. Con la herramienta de teledetección se encontró un valor promedio para todos los polígonos trazados donde existe el cultivo Hass. Estos polígonos fueron trazados y diferenciados en plantaciones con distintas edades, con el propósito de detectar dónde se encontraba aguacate Hass en el territorio. Con un promedio de 5 en el rango de NDVI, toda el área en color azul oscuro es donde se encuentra actualmente establecido el cultivo de aguacate Hass.

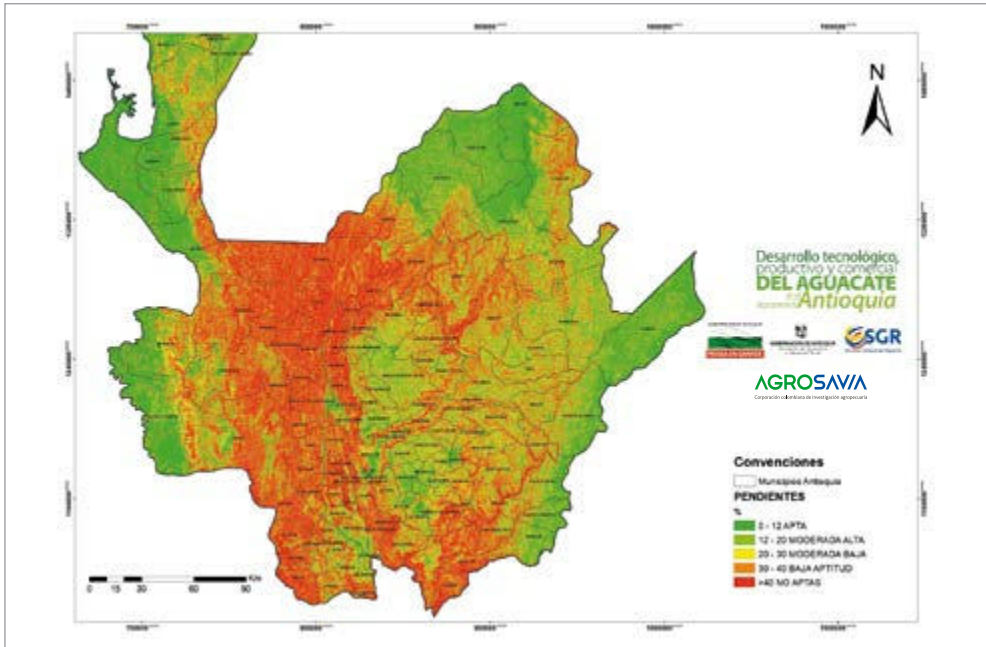


Figura 9.13. Mapa de zonas aptas para aguacate cv. Hass en Antioquia delimitado por pendientes.

Fuente: Elaboración propia

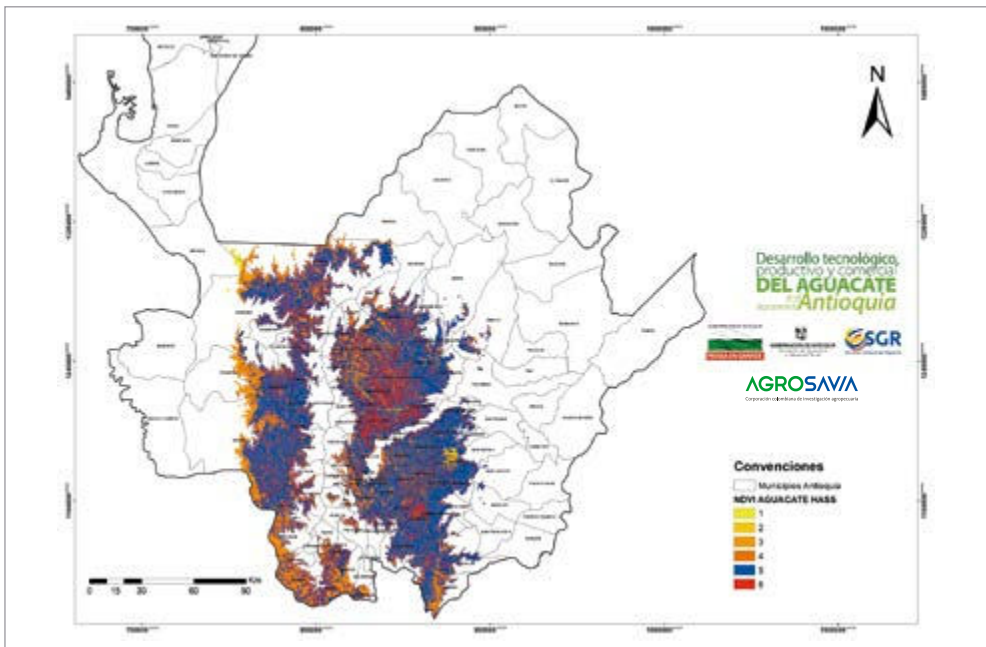


Figura 9.14. Mapa de cultivo actual de aguacate Hass en el departamento de Antioquia.

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que, al no existir la huella espectral de este cultivo, debido al alto costo de su determinación (que no es objeto de este estudio), la probabilidad de acierto del cultivo con las metodologías utilizadas es del 70 %, ya que pueden estar siendo cuantificadas zonas *buffer* o de algún otro cultivar cuya reflectancia sea muy similar al cultivar Hass. El total estimado de hectáreas con presencia de aguacate Hass dentro del departamento es de 303.903,63, lo cual representa el 0,48 % de Antioquia. Es necesario señalar que el nivel de probabilidad puede aumentar considerablemente si se efectúan estudios específicos para establecer la huella espectral de este cultivar.

Por último, se puede mencionar que dentro de las limitantes importantes para el aguacate Hass se encuentra la altitud, dado que los rangos son muy amplios: desde los 1.100 hasta los 2.200 m s. n. m.; con base en ello, se consideraron los rangos máximos y mínimos como criterio respecto a la altitud en la cual se debe establecer el cultivar para lograr producciones exitosas. En Antioquia existen huertos comerciales ubicados por encima de la altitud óptima recomendada cuya producción de fruta va hacia el comercio internacional. Sin embargo, dichas plantaciones sufren los embates de las bajas temperaturas o la presencia de granizadas que dañan la fruta o provocan su caída en etapas tempranas, lo cual acarrea pérdidas económicas para los productores. Estos riesgos se acentúan a medida que las plantaciones comerciales son establecidas cerca a los extremos del rango de altitud recomendado.

Descripción de la tipología de sistemas productivos de aguacate cv. Hass en Antioquia

La caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas productivos de aguacate cv. Hass en Antioquia tomó como insumo base las encuestas realizadas dentro del componente socioeconómico del proyecto “Zonificación del cultivo de aguacate Hass con base en criterios de sostenibilidad y competitividad”. Dichas encuestas incluyeron preguntas socioeconómicas, pero se enfocaron especialmente en identificar el nivel tecnológico de las fincas consideradas. El análisis estadístico utilizado para procesar la información fue multivariado y permitió identificar cuatro grupos homogéneos de sistemas productivos en Antioquia, numerados de 1 a 4 en función del nivel tecnológico. Los grupos 1 y 2 se describieron de manera conjunta debido a que el resultado de la mayoría de variables utilizadas en el análisis reportaron resultados similares. Igualmente, se realizó una descripción conjunta de los grupos 3 y 4.

Grupos 1 y 2: El 44% de las fincas de la muestra total se encuentran en estos dos grupos. Estas fincas tienen un tamaño que oscila entre 5 y 8 ha. Más del 60% de las fincas de estos dos grupos tiene un acceso principal a una red vial terciaria y más del 60% se encuentra a una distancia de la cabecera municipal de entre 1 y 10 km. Más del 95% de los productores de estos grupos se declaran propietarios de los predios donde se encuentra establecido el cultivo de aguacate.

Alrededor del 60% de los productores de ambos grupos declaró no tener acceso a asistencia técnica, y aquellos que la tienen optan, en su mayoría, por los servicios de un asistente técnico particular. La preparación del suelo para el establecimiento de aguacate se hace de manera manual en más del 90% de los predios de ambos grupos, y en poco más del 50% se encuentra asociado a otro tipo de cultivo, principalmente frijol, maíz y arveja. La fertilización predominante para ambos grupos es de tipo integral, que combina fertilizantes químicos y abonos orgánicos. Con respecto al manejo de plagas y enfermedades, predomina el uso de sustancias químicas, con más de un 70% de predios en cada grupo que reportó esta práctica. En más del 80% de los predios de cada grupo se producen alimentos para el autoconsumo de las familias de los productores. En poco más del 10% de ambos grupos, los cultivos cuentan con certificado de exportación del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

El número aproximado de árboles de aguacate Hass establecidos en los predios es de 450, con distancias que varían entre 6×6 , 7×7 y 8×8 . Las áreas sembradas están alrededor de las dos hectáreas y solo la mitad de estas se encuentra en producción. Los cultivos del grupo 1 son los más jóvenes, con menos de cinco años. Para el grupo 2, la edad de los huertos alcanza los cinco años. Los rendimientos por hectárea para ambos grupos están alrededor de las 4,5 t/ha.

Los productores de ambos grupos reciben por cada kilo vendido de aguacate un poco más de \$1.500 y comercializan o el producto a través de intermediarios en plazas de mercado o almacenes de cadena.

Un poco más del 20% de los predios en ambos grupos lleva algún tipo de contabilidad de costos de producción. Más del 8% de los productores declara tener algún tipo de acuerdo comercial de tipo formal, la mayoría de veces con comercializadoras nacionales e internacionales. Con el fin de financiar la actividad del cultivo de aguacate Hass, el 33% de los productores de ambos grupos solicitaron créditos a la banca el año anterior a la encuesta, y a más del 60% de ellos les fue concedido. Aproximadamente el 80% de los productores en ambos grupos ha recibido apoyo estatal o de otra fuente para el desarrollo de la actividad aguacatera. Más del 40% de los productores

reportan estar organizados bajo algún tipo de asociación de productores, y más del 70 % de ellos dice haber percibido algún beneficio de dicho ejercicio.

Grupos 3 y 4: Estos dos grupos representan el 56 % de las fincas de la muestra total. Los predios del tercer grupo tienen un tamaño de entre 10 y 60 ha, mientras que en el grupo 4 los predios tienen más de 60 ha. Más del 60 % de las fincas en ambos grupos se encuentran ubicadas a una distancia de entre 1 y 10 km de las cabeceras municipales. Más del 80 % de los productores de estos dos grupos se declaran propietarios de los predios donde se encuentran establecidos los huertos de aguacate Hass. Más del 95 % de los productores en estos dos grupos acceden a servicios de asistencia técnica, y poco más del 70 % de ellos reporta hacer uso de los servicios de un asistente técnico particular. La preparación del suelo para establecer el cultivar se hace de manera manual en más del 90 % de los predios y en más del 15 % el aguacate Hass se establece como sistema de monocultivo.

El tipo de fertilización predominante en el grupo 3 es de tipo integral, combinando fertilizantes químicos y abonos orgánicos, mientras que en los predios del grupo 4 se realiza preferentemente con fertilizantes químicos. Con respecto al manejo de plagas y enfermedades, en el grupo 3 predomina el uso de un control fitosanitario integral, pero también existen fincas que reportan hacer uso únicamente de remedios biológicos, orgánicos o químicos. En el grupo 4 predomina la aplicación de un manejo fitosanitario integral. Más del 70 % de las fincas cuenta con certificado de predio exportador ICA y poco más del 40 % con la certificación de buenas prácticas agrícolas de GlobalGap.

El número aproximado de árboles de aguacate Hass establecidos para ambos grupos es de más de 700. Las distancias de siembra predominantes para ambos grupos son de 6×6 y 7×7 . Las áreas sembradas para el grupo 3 y 4 son de más de 3 y 10 ha respectivamente. Los huertos de ambos grupos tienen en promedio un poco más de 6 años y los rendimientos son aproximadamente de un poco más de 9 t/ha. Menos de la mitad de los predios en ambos grupos producen alimentos para el autoconsumo. Los productores de ambos grupos reciben un precio por kilo vendido de aguacate de más de \$2.500 y comercializan el producto a través de intermediarios a nivel nacional e internacional.

Con respecto al registro de costos de producción, en el grupo 3 menos del 50 % de los productores reportan esta actividad, mientras que en el grupo 4 menos del 10 % de los productores la lleva a cabo. Más del 70 % de los productores en estos dos grupos declara tener algún tipo formal de acuerdo con comercializadoras o

exportadoras. Más del 50 % de los productores declara estar asociado bajo algún tipo de organización de productores y más del 85 % de ellos dice haber percibido algún beneficio de dicho ejercicio.

El número aproximado de árboles establecidos de aguacate Hass para el grupo 3 es de 800 plantas por predio, mientras que en el grupo 4 los predios tienen establecidos alrededor de 4.000 árboles. Las distancias de siembra predominantes para ambos grupos son de 6×6 y 7×7 . Las áreas sembradas rondan las 4 ha en el grupo 3, mientras que en el grupo 4 alcanzan las 13 ha. Los cultivos de ambos grupos tienen en promedio 6 años y los rendimientos están alrededor de las 6 t/ha. Tan solo en el 34 % de los predios de estos dos grupos se producen alimentos para el autoconsumo.

Los productores de ambos grupos reciben un precio por kilo vendido de aguacate de alrededor de \$2.500 y comercializan el producto a través de intermediarios a nivel nacional e internacional.

Durante todo este análisis se procedió a efectuar la cartografía de los grupos socioeconómicamente homogéneos, especialmente en cuanto al nivel tecnológico. El mapa fue elaborado empleando la interpolación de Kriging (figura 9.15).

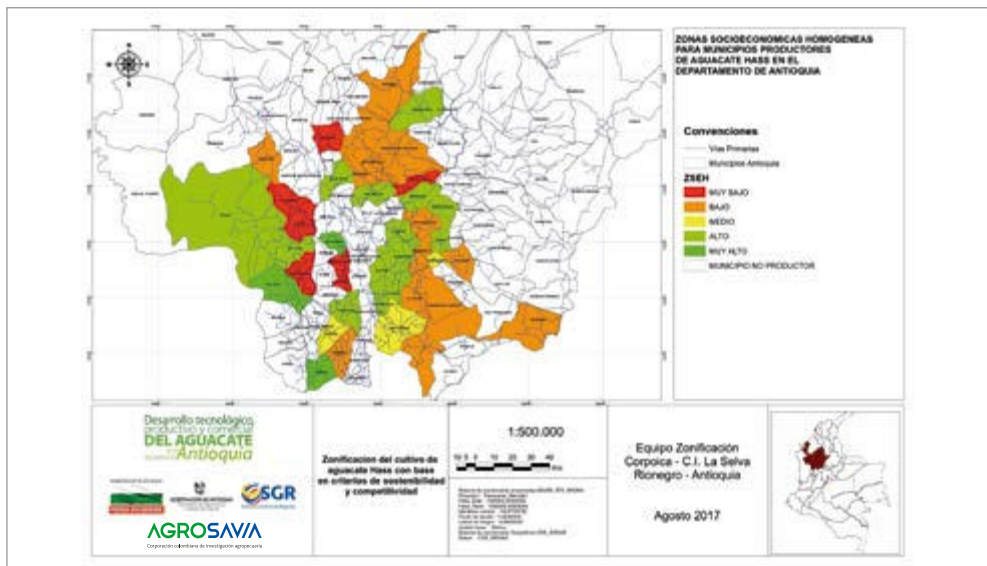


Figura 9.15. Mapa de zonas socioeconómicamente homogéneas para municipios productores de aguacate Hass en el departamento de Antioquia.

Nota: Este mapa se realizó para poder mostrar las zonas mencionadas a nivel departamental. El mapa original se encuentra dividido por municipios, a una escala 1:25.000.

Fuente: Elaboración propia

Zonas aptas y competitivas para el aguacate cv. Hass en Antioquia

Para determinar las zonas aptas y competitivas para el aguacate Hass, se elaboró un mapa (figura 9.16) que contempla las diferentes variables obtenidas mediante información primaria y secundaria con la metodología propuesta por Comerma y Arias (1971) y FAO (2017), y con ajustes de la metodología de la UPRA (2014). Para esto, se categorizaron 31 variables dentro de cuatro dimensiones: biofísica, económica, social y tecnológica; a cada una de estas dimensiones y variables les fue asignado un peso porcentual y como resultado se obtuvo un mapa de zonas aptas y competitivas para el aguacate Hass en Antioquia.

En la figura 9.16 se aprecia que las zonas dentro de los municipios que presentan mayor aptitud y competitividad son aquellas de color verde oscuro. La distribución de esta categoría se aprecia fácilmente, en mayor proporción, en los municipios de San Pedro de los Milagros, Belmira, Entreríos, Santa Rosa, Guatapé, El Peñol, Rionegro, Guarne, Marinilla, La Unión y La ceja, y en algunas zonas de Urrao y Sonsón, con un área aproximada de 152.110 ha.

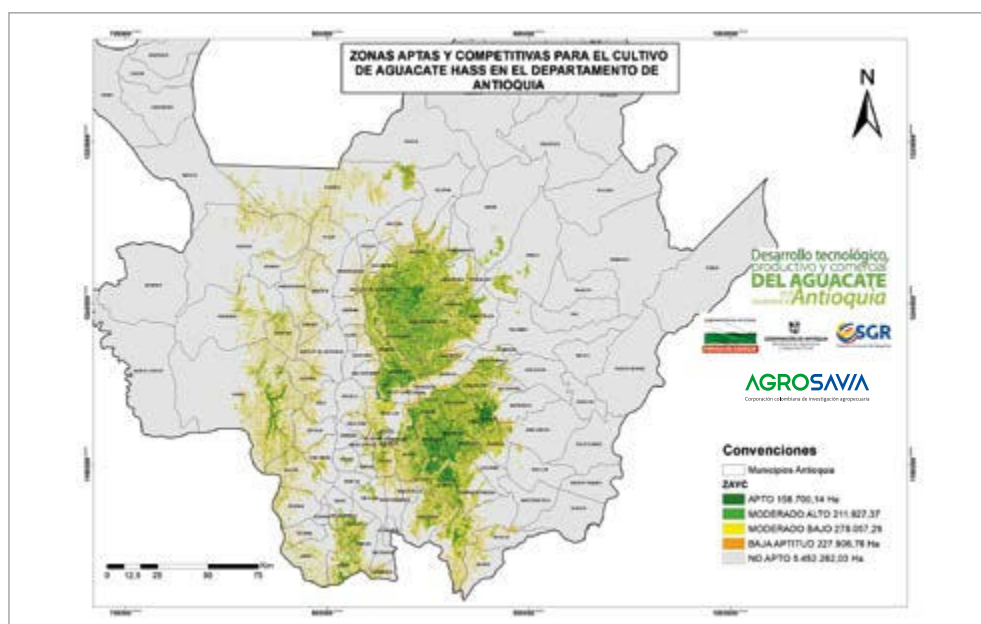


Figura 9.16. Mapa de zonas aptas y competitivas para aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia.

Nota: La escala del mapa original es 1:25.000; esta es una muestra para poder visualizarlo en su totalidad.

Fuente: Elaboración propia

Las zonas de moderada a alta potencialidad y competitividad están señaladas en color verde claro. Esta categoría se identifica en algunas áreas de los municipios mencionados, pero cobran importancia nuevas zonas ubicadas en otros municipios como Jericó, Támesis, Jardín, Angostura, Carolina del Príncipe, Yarumal, Abejorral; el oeste de Gómez Plata; el noreste de los municipios de Frontino, Abriaquí y Liborina; el norte de Medellín y Fredonia; y el sur de Angelópolis, Concordia y Salgar, con un área aproximada de 202.110,5 ha.

La distribución de las zonas con moderada a baja aptitud y competitividad está señalada en amarillo y tiene un área aproximada de 263.525,86 ha. El área con baja aptitud y competitividad se encuentra señalada con color naranja, la cual abarca aproximadamente 214.325,46 ha. Ambas categorías se aprecian hacia el noroeste de los municipios de Bolívar, Salgar, Caicedo, Urrao e Ituango y hacia el centro-oeste de Dabeiba, así como al este del departamento, en Alejandría, Granada, San Luis y Argelia.

Se puede apreciar un descenso en la aptitud y competitividad hacia el centro del departamento: municipios como Barbosa, Girardota, Copacabana, Medellín y parte de Itagüí resultan no aptos ni competitivos para el cultivo de aguacate Hass. Así mismo, el color gris que representa esta categoría se expande por el resto del territorio hacia los bordes del departamento donde las condiciones climáticas, ambientales y sociales no son favorables para el desarrollo de este cultivar.

Es evidente que en el mapa se forma lo que se puede denominar *eje aguacatero* casi en el centro del territorio, ya que abarca el mayor porcentaje para las dos primeras categorías: aptas y competitivas a moderadamente aptas y competitivas. El resto de categorías se distribuyen de manera atomizada por el territorio, aunque es importante señalar que la menor aptitud es sinónimo, en este caso particular, de la necesidad de mayor inversión, al igual que, posiblemente, de menor sustentabilidad y sostenibilidad del sistema productivo. Por ello estas zonas son las menos favorecidas cuando se conjugan no solo variables biofísicas, sino también económicas, sociales y tecnológicas.

Este estudio permitirá, tanto a los entes gubernamentales como a los posibles inversionistas, tomar decisiones respecto a la selección de zonas para establecer huertos comerciales con un mayor porcentaje de acierto, procurando así que los próximos huertos comerciales de aguacate Hass sean establecidos en áreas que apoyen sistemas productivos sostenibles y sustentables.

Referencias

- Agronet. (2019). *Base de datos online*. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>.
- Ávilan, D., Rojas, J., Suárez, J., & Miranda, D. (2014). *Criterios para el establecimiento de un proyecto productivo de aguacate en el departamento del Tolima; municipio de Mariquita* (tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Bogotá, Colombia.
- Benacchio, S. (1982). *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivos con potencial de producción en el Trópico Americano*. Maracay, Venezuela: Fonaiap - Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura y Cría.
- Bernal, J. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia* (tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Medellín, Colombia.
- Bernal, J., & Díaz, C. (Comps.) (2008). *Tecnología para el cultivo del aguacate*. Rionegro, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Recuperado de <http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/tecnologacultivoaguacate.pdf>.
- Calabrese, F. (1992). *El aguacate*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Cámara de Comercio de Medellín. (2012). *Cadena del aguacate en Antioquia*. [Informes Estudios Económicos]. Recuperado de http://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2017/Publicaciones%20regionales/1%20Aguacates_Oct19.pdf.
- Casanova, E. (1994). *Introducción a la ciencia del suelo*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía.
- Centro de Comercio e Inversión de AmCham Colombia. (2015). *Aguacate Hass: una oportunidad cercana para los exportadores colombianos*. Recuperado de <https://amchamedellin.com/imagenes/articulo/archivo/aguacate-hass1442.pdf>.
- Comerma, J., & Arias, L. (1971). *Un sistema para evaluar las capacidades de uso agropecuario de los terrenos en Venezuela*. Maracay, Venezuela: Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo.

- Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare). (1995). *Uso potencial del suelo en los municipios del Altiplano del Oriente Antioqueño (Rionegro, Marinilla, San Vicente, El Carmen de Viboral, Guarne, El Retiro, La Ceja, El Santuario y La Unión)*. Rionegro, Colombia: Cornare.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) & Fondo de Adaptación. (2016). *Modelos de adaptación y prevención agroclimática (MAPA)*. Recuperado de <http://www.corpoica.org.co/site-mapa/mapa/>.
- Cuesta, M. D. (1994). Economic analysis of soil conservation projects in Costa Rica. En E. Lutz, S. Pagiola, & C. Reiche (eds.), *Economic and institutional analyses of soil conservation projects in Central America and the Caribbean* (pp. 40-52). Washington DC, EE. UU.: World Bank.
- Day, J. C., Hughes, D. W., & Butcher, W. R. (1992). Soil, water and crop management alternatives in rainfed agriculture in the Shael: an economic analysis. *Agricultural Economics*, 7(3-4) 267-287. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0169-5150\(92\)90053-2](https://doi.org/10.1016/0169-5150(92)90053-2).
- Departamento Provincial de Aguas. (2017). *Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)*. Recuperado de: <http://www.dpa.gov.ar/clima/informes/NDVI.pdf>.
- Díaz, J. C., Ardila, C., & Guerra, M. A. (2019). Estudio de caso sobre la admisibilidad del aguacate Hass colombiano en el mercado estadounidense: oportunidades en el Este de Asia. *Revista Mundo Asia Pacífico*, 8(145), 5-27. <https://doi.org/10.17230//map.v8.i14.01>
- Dumsday, R., & Seitz, W. (1985). A model for quantifying incentive payments for soil conservation in cropping regions subject to water erosion. En S. A. El-Swaify, W. C. Moldenhauer, & A. Lo (eds.), *Soil erosion and conservation* (pp. 296-305). Ankeny, EE. UU.: Soil Conservation Society of America.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2017). *Función NDVI*. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>.
- Fischer, G., & Orduz-Rodríguez, J. (2012). Ecofisiología en frutales. En G. Fischer (ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 54-72). Bogotá, Colombia: Produmedios.
- Galán-Sauco, V. (1990). Aguacate. En *Los frutales tropicales en los subtrópicos* (Vol. 1). *Aguacate, mango, litchi y longan* (pp. 50-53). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Gandolfo, S. (2008). *Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Producción Vegetal, Valencia, España.
- Gilabert, M., J. González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, 8, 1-10.

- Gobernación de Antioquia. (2016). *Anuario estadístico de Antioquia 2016*. Recuperado de <http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/anuario-estadistico-de-antioquia-2016>.
- Gobernación de Antioquia. (2018). *Anuario Estadístico de Antioquia: evaluaciones agropecuarias* [Documento interno]. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia (SADRA).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2017). *Tiempo y clima. Atlas climatológico, de radiación y de viento*. Recuperado en <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2007). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras, departamento de Antioquia*. Bogotá: autor.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2017). *Datos abiertos agrología – Mapas de suelos del territorio colombiano a escala 1:100.000. Departamento: Antioquia* [Shapefile]. Recuperado de <https://geoportal.igac.gov.co/es/contenido/datos-abiertos-agrologia>.
- International Trade Centre (ITC). (2017). *Trade Map, datos para análisis e investigación de mercados*. Recuperado de <http://www.trademap.org/Index.aspx>.
- Jaramillo, A., & Chaves, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé*, 51(2), 102-113. Recuperado de [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051\(02\)102-113.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051(02)102-113.pdf).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1997). *Zonificación agroecológica. Guía general*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/W2962S/W2962S00.htm>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1999). *Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas*. Recuperado de <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/manejoefi%20nuti.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2017). *Faostat, datos sobre alimentación y agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2018). *Faostat, datos sobre alimentación y agricultura*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/TP>
- Saavedra, R., Vásquez, H., & Mejía, E. (2012). Aguacate (*Persea americana* Mill.). En G. Fischer (ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 319-348). Bogotá, Colombia: Produmedios.

- Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L., & González-Durán, I. (2008). Corrección de la deficiencia crónica de zinc en aguacate 'Hass'. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 14(2), 153-159. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v14n2/v14n2a8.pdf>.
- Sánchez, J. L., Alcántar, J. J., Coria, V. M., Anguiano, J., Vidales, I., Tapia, L. M., ... Vidales, J. A. (2001). *Tecnología para producir aguacate en México*. [Libro técnico N° 1]. Michoacán, México: Sagarpa-Inifap, Campo Experimental Uruapan.
- Sánchez, P. (1981). *Suelos del trópico: características y manejo*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- “Teledetección”. (s. f.). *Teledetección y estudio de la vegetación*. Recuperado de http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad2/td_ndvi.htm.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2014). *Consolidación de la metodología de evaluación de tierras para zonificación con fines agropecuarios a escala semidetallada (1:25.000)*. Bogotá, Colombia: autor.