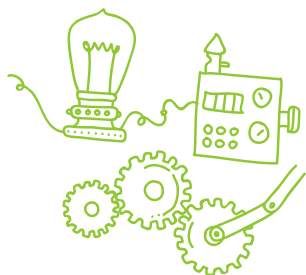


Opciones tecnológicas para mejorar las prácticas agronómicas en el cultivo de aguacate Hass en zona de ladera, Colombia

Parcela demostrativa de aguacate Hass establecida en zona de ladera



Herney Darío Vásquez Amariles
Raúl Saavedra Ospina
Deisy Johanna Guerrero Cobos
Elida Patricia Marín Beitia
Gustavo Escobar Hernández



Financian



Apoyan

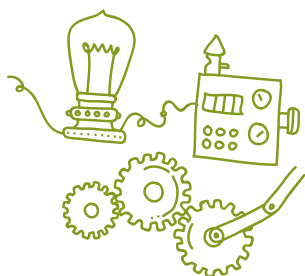


Organiza



Opciones tecnológicas para mejorar las prácticas agronómicas en el cultivo de aguacate Hass en zona de ladera, Colombia

Parcela demostrativa de aguacate Hass establecida en zona de ladera



Herney Darío Vásquez Amariles
Raúl Saavedra Ospina
Deisy Johanna Guerrero Cobos
Elida Patricia Marín Beitia
Gustavo Escobar Hernández

Opciones tecnológicas para mejorar las prácticas agronómicas en el cultivo de aguacate Hass en zona de ladera, Colombia

Parcela demostrativa de aguacate Hass establecida en zona de ladera

Financian



Apoyan



Organiza



Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Vásquez Amariles, Herney Darío, 1957-

Opciones tecnológicas para mejorar las prácticas agronómicas en el cultivo de aguacate Hass en zona de ladera, Colombia : parcela demostrativa de aguacate Hass establecida en zona de ladera / Herney Darío Vásquez Amariles [y otros cuatro] ; colaboradores, Carlos Arturo Cifuentes Gutiérrez [y otros tres]. — Primera edición. — Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. Editorial

Universidad Nacional de Colombia, 2022

130 páginas : ilustraciones (principalmente a color), diagramas, fotografías
Incluye referencias bibliográficas
ISBN 978-958-794-926-1 (impreso). — ISBN 978-958-794-927-8 (e-pub)

1. Aguacate — Abonos y fertilizantes — Valle del Cauca — Colombia 2. Persea americana 3. Parcelas de tierra 4. Buenas prácticas agrícolas 5. Fertirrigación 6. Zona de montaña 7. Agricultura de montaña 8. Fruticultura I. Saavedra Ospina, Raúl II. Guerrero Cobos, Johana III. Marín Beitia, Elida Patricia IV. Escobar Hernández, Gustavo Orlando V. Cifuentes Gutiérrez, Carlos Arturo, colaborador VI. Caicedo Vallejo, Ana Milena, colaborador VII. Mosquera Escobar, Leslie Estefany, colaborador VIII. Delgado Muñoz, Luis Fernando, colaborador IX. Título

CDD-23 634.6538916 / 2022

© Universidad Nacional de Colombia

© Proyecto Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente

Primera edición, junio del 2022

ISBN impreso: 978-958-794-926-1
ISBN digital: ISBN 978-958-794-927-8

Preparación editorial
Editorial Universidad Nacional de Colombia
Av. El Dorado # 44A-40
Hemeroteca Nacional Universitaria
Bogotá D. C., Colombia
(+57 1) 316 5000 Ext. 20040
direditorial@unal.edu.co

Coordinación editorial
Angélica María Olaya Murillo
Corrección de estilo
Hernán Rojas Rodríguez
Diseño de la colección
Andrea Kratzer
Diseño de cubierta
Juan Carlos Villamil N.
Maquetación
Carlos Contreras

Colaboradores:

Carlos Arturo Cifuentes Gutiérrez
Ana Milena Caicedo Vallejo
Leslie Estefany Mosquera Escobar
Luis Fernando Delgado Muñoz

Proyecto Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente. Código BPIN 2014000100 010, financiado por el Sistema General de Regalías (SGR) y coordinado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Cra 32 # 12-00 vía Candelaria Teléfono: (+602) 286 88 88 Punto focal: Profesor Herney Darío Vásquez Amariles Correo electrónico: ladera_pal@unal.edu.co Página web: <https://ladera.palmira.unal.edu.co/>

Este documento hace parte de una serie de volúmenes estratégicos desarrollados en el marco de proyecto “Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente”, financiado por el Sistema General de Regalías (SGR) y coordinado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Fotografías de cubierta Pedro José Arango Dussan

Viñeta de cubierta diseñada por ikatod / rawpixel / Freepik, tomada de: www.freepik.es

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en Bogotá, D. C., Colombia



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual
CC BY-NC-SA

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	11
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
ANTECEDENTES	15
OBJETIVOS	17
General	17
Específicos	17
PRODUCTO MGA E INDICADOR	17
1. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE AGUACATE HASS	18
1.1 Origen	18
1.2 Zonas productoras en Colombia.....	18
1.3 Condiciones biofísicas	19
1.4 Condiciones técnicas de la producción.....	19
1.4.1 Sistemas de plantación y preparación del suelo	19
1.4.2 Nutrición de las plantas.....	20
1.4.3 Riego	20
1.4.4 Fertirriego	21
1.4.5 Podas.....	21
1.4.6 Manejo de plagas y enfermedades.....	22
2. IDENTIFICACIÓN DE AGRICULTORES INTERESADOS.....	23
2.1 Materiales y métodos	23
2.1.1 Identificación de asociaciones y productores de aguacate en el Valle del Cauca	23
2.1.2 Reconocimiento de la zona productora de aguacate Hass en el departamento	23
2.1.3 Metodología empleada para la selección de los productores.....	24
2.2 Resultados y discusión	24
2.2.1 Identificación de productores de aguacate Hass en el Valle del Cauca.....	24
2.2.2 Caracterización de los productores.....	26
2.2.3 Selección del productor	29
2.2.4 Formalización de la parcela demostrativa.....	30
2.3 Conclusiones.....	30

3. DESARROLLO DE LA PARCELA DEMOSTRATIVA Y ACOMPAÑAMIENTO TÉCNICO.....	32
3.1 Materiales y métodos	32
3.1.1 Localización de la parcela demostrativa	32
3.1.2 Implementación de las tecnologías de innovación	32
3.1.3 Establecimiento de las subparcelas.....	39
3.1.4 Análisis de propiedades fisicoquímicas de los frutos.....	51
3.1.5 Análisis de la información.....	51
3.2 Resultados y discusión	53
3.2.1 Propiedades físicas del suelo.....	53
3.2.2 Agua de riego y disponibilidad de nutrientes.....	53
3.2.3 Solución nutritiva y plan de fertirriego	55
3.2.4 Aplicación del fertirriego en aguacate Hass.....	57
3.2.5 Cambios en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y contenido nutricional en los árboles de aguacate Hass después de iniciar el fertirriego	62
3.2.6 Producción de aguacate Hass en la parcela demostrativa	68
3.2.7 Propiedades fisicoquímicas de los frutos.....	79
3.3 Conclusiones	85
4. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA PARCELA DEMOSTRATIVA DE AGUACATE HASS	87
4.1 Análisis beneficio-costo de la producción de aguacate Hass	87
4.1.1 Costos de producción de la primera cosecha o cosecha traviesa.....	88
4.1.2 Costos de producción de la cosecha principal (2021).....	94
4.1.3 Costos de producción asociados con el estudio	98
4.2 Análisis diagnóstico del cable vía en la cosecha de aguacate Hass.....	100
4.2.1 Eficiencia del cable vía en la cosecha de aguacate Hass.....	100
4.2.2 Costo de instalación del cable vía	102
4.2.3 Beneficio-costo del cable vía	103
4.3 Conclusiones.....	104

5. CONCLUSIONES GENERALES	105
ANEXOS	106
Anexo A	106
Anexo B.....	108
Anexo C	110
Anexo D	111
Anexo E.....	117
Anexo F.....	122
Anexo G	123
Anexo H.....	124
REFERENCIAS	125

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo de Ciencia Tecnología e Innovación (FCTeI) del Sistema General de Regalías (SGR) por la financiación del proyecto *Incremento de la competitividad sostenible de la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente*.

A la entidad ejecutora, la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Al señor Carlos A. Cifuentes Gutiérrez y familia por permitir el desarrollo de la investigación enfocada en la evaluación de la parcela demostrativa establecida en la finca de su propiedad, El Encanto.

RESUMEN

Con el objetivo de generar una opción tecnológica en la etapa de producción del cultivo de aguacate Hass que respondiera a las mejores prácticas internacionales para reducir las brechas tecnológicas y favorecer la participación en los mercados nacionales e internacionales, se desarrolló la parcela demostrativa con tecnología de fertirriego, como herramienta para aumentar la eficiencia en el uso agua y fertilizantes para mejorar el estado nutricional de los árboles e incrementar la producción y rendimiento del cultivo. Para la selección de la parcela, se identificaron 33 productores de aguacate Hass en zona de ladera de 9 municipios del Valle del Cauca, de los cuales 24 se caracterizaron haciendo uso de fichas de caracterización y visitas a fincas. Posteriormente, se preseleccionaron 4 fincas bajo criterios de selección establecidos en la propuesta técnica del proyecto. De estas, fue seleccionada la finca El Encanto del productor Carlos Cifuentes, que está ubicada en la vereda El Retiro del municipio de Roldanillo, a 1790 m s. n. m. Sus coordenadas son 4°24'19" de latitud norte y 76°13'45" de longitud oeste y tiene un área sembrada en aguacate Hass de 2,5 hectáreas y 480 árboles, con edad promedio de 8 años.

Para evaluar las ventajas del fertirriego se estableció la parcela demostrativa con 2 subparcelas: una con fertilización convencional realizada por el productor (SP1) y la otra con fertirriego (SP2). El plan de fertirriego se diseñó con base en requerimientos nutricionales del cultivo y resultados obtenidos en análisis de agua, suelo y tejido foliar. Para el balance hídrico y cálculo de la lámina de agua y tiempo de riego, se registraron diariamente las variables climáticas reportadas por la estación meteorológica y las tensiones del suelo. La producción obtenida en la subparcela con fertirriego de 0,4 ha en el 2021 fue 12.388 kg de fruta, superando en 1154 kg a la subparcela con fertilización granular. Asimismo, los rendimientos promedio por árbol estuvieron en 151,8 y 138,5 kg en subparcelas con fertirriego y sin fertirriego, respectivamente. No obstante, el análisis beneficio-costó mostró que las 2 subparcelas representan una buena inversión al registrar un margen de ganancia de 80 y 85 % en las subparcelas con y sin fertirriego, respectivamente. Se considera que la tecnología del fertirriego representa una opción viable para incrementar la productividad y rentabilidad del cultivo de aguacate Hass en zona de ladera del Valle del Cauca, lo que permite, a la vez, realizar un manejo racional del recurso hídrico y edáfico.

INTRODUCCIÓN

En Colombia se ha incrementado en los últimos años la superficie sembrada y la producción de variedades de aguacate con alto potencial de consumo y comercialización, tanto a nivel interno como externo. Sin embargo, los medianos y pequeños productores, especialmente, deben sortear muchas limitaciones en todo el sistema de producción, debido a factores ambientales, edáficos, económicos, sociales y de manejo, entre otros. Estas dificultades se traducen, al final del proceso, en baja rentabilidad y sostenibilidad del sistema y en menor competitividad de los productos, especialmente en el mercado internacional.

Sobre esta base, se desarrolló el objetivo: generación de opciones tecnológicas en la etapa de producción que respondieran a las mejores prácticas internacionales para los cultivos seleccionados, reducir las brechas tecnológicas y favorecer la participación en los mercados nacionales e internacionales con elevados estándares de calidad y sostenibilidad. Este se enmarcó dentro del proyecto de regalías “Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente”, y tuvo dentro de sus iniciativas el generar e intercambiar conocimientos entre productores de aguacate a partir del aprendizaje participativo y colaborativo.

En una primera fase, se consideraron 7 especies de interés para el departamento del Valle del Cauca, las cuales fueron seleccionadas de acuerdo con información secundaria que provenía de la Agenda Interna para la Productividad y Competitividad del Valle del Cauca, Plan Frutícola Nacional Valle del Cauca, Tierra de Frutas y el Plan estratégico de Ciencia Tecnología e Innovación Agropecuario (Pectia Corpoica).

Posteriormente, se realizó una matriz de priorización en la que se emplearon 14 criterios para la selección de las especies por trabajar en el proyecto: cultivo de ladera, vulnerabilidad de agricultura familiar, adaptabilidad a diferentes climas, retorno a la inversión, susceptibilidad ante el déficit hídrico, impacto ambiental, participación a nivel nacional, impacto socioeconómico, potencial para el proceso, susceptibilidad a plagas y enfermedades, mercado internacional, rendimiento, costo de producción y tiempo de producción. Estos criterios fueron seleccionados con base en el Plan Frutícola Nacional, área, producción y rendimiento de 33 especies de frutales del Valle del Cauca, y su representación departamental y nacional para el año 2004 (Proyecto BPIN 2014000100010, 2017).

A partir de este estudio, se priorizaron 3 cultivares para la zona de ladera del Valle del Cauca: piña, mora y aguacate Hass (cultivo de interés en este documento). Estas, además de proyectarse como cultivos altamente promisorios para el país, son especies que contribuyen al crecimiento económico y representan modelos de negocio inclusivo, al permitir que productores a pequeña escala sean involucrados como proveedores y porque representan oportunidades de desarrollo económico y social, tanto para los productores como para los actores privados o compradores (Proyecto BPIN 2014000100010, 2017).



De igual manera, en etapas posteriores a la descrita, se identificaron los productores y las organizaciones de productores de aguacate Hass de toda la zona que tenían interés en desarrollar la parcela demostrativa, en la cual se proyectó como tecnología de innovación la implementación de un sistema de fertirriego buscando incrementar la competitividad del producto en los mercados locales y externos, así como la sostenibilidad del sistema productivo, al mejorar el estado nutricional y fitosanitario de los árboles, la producción del cultivo, la calidad de la fruta y los ingresos del productor. Esta tecnología incluyó, además, la instalación de equipos, como la estación meteorológica, tensiómetros y lisímetros para la captura de información ambiental y edáfica, así como la realización de análisis de suelo y foliares.

Se documenta toda la información correspondiente a la etapa de identificación de los productores interesados y del acompañamiento de la parcela demostrativa de aguacate Hass, que comprendió el establecimiento del cultivo, adopción y desarrollo de la tecnología de innovación, y el registro de datos del cultivo, ambientales y edáficos. Se considera que esta información se convierte en insumo importante para pequeños y medianos productores de aguacate Hass en Colombia, pues aborda una de las limitantes que presentan para incrementar la rentabilidad del cultivo: el respaldo de tecnologías para el manejo de este.

ANTECEDENTES

El cultivo de aguacate ocupa un renglón importante en la economía mundial y, actualmente, se produce tanto en países tropicales como subtropicales (Bernal y Díaz, 2020), por el alto valor nutricional de la fruta y la preferencia a nivel de la industria (Silber *et al.*, 2012; Ortega, 2015). Según datos registrados por la Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) (2021), la producción mundial de aguacate se ha incrementado significativamente en los últimos años. No obstante, el aumento de áreas cosechadas no se traduce en incremento de los rendimientos, los cuales giran alrededor de 9 t/ha (Rondón *et al.*, 2020).

En Colombia, la superficie sembrada en aguacate supera las 93 000 ha y el área en producción se registra en 67 859 ha (Ministerio de Agricultura y Desarrollo [MADR], 2020, 2021), lo que muestra la importancia que ha alcanzado este cultivo en los últimos años en el país (Rondón *et al.*, 2020). Según la FAO (2021), Colombia es el cuarto país en el mundo en producción de aguacate y el segundo en términos de área cosechada.

Si bien existen variedades de aguacate con alto potencial de producción y consumo a nivel local y externo, la variedad Hass es la que posiciona a Colombia, tanto en producción como en área sembrada, y la que domina la industria mundial del aguacate y concentra las compras del mercado internacional (Acosta *et al.*, 2021; Sánchez, 2021). En Latinoamérica, los otros países que se destacan como mayores productores de Hass son México (primer producto mundial), Perú, República Dominicana, Brasil y Chile. En Colombia, el cultivar Hass corresponde al 26 % del total del área sembrada (MADR, 2020) y, al ser un país que posee diversidad de pisos térmicos, amplía su producción a muchas áreas geográficas, lo que permite el registro de una variación en los rendimientos y las respuestas del cultivo.

De acuerdo con Bernal (2016), el país registra alta producción en esta variedad, los rendimientos por hectárea se encuentran entre 12,4 y 18,8 t/ha en árboles de 8 y 9 años con promedio general de 10,8 t/ha, superando a países como Israel, México y Perú, lo cual representa una ventaja competitiva en el mercado nacional e internacional. Durante los últimos años se ha registrado un crecimiento significativo en todo el sistema de producción de aguacate Hass, por la oportunidad económica del mercado de exportación. Los mayores rendimientos del cultivo permiten suplir la demanda interna del producto no satisfecha (FAO, 2017; Ramírez *et al.*, 2018).

Sin embargo, a pesar del crecimiento en área sembrada, el sistema de producción presenta muchas limitaciones, debido a que los cultivos están dispersos, tienen poco respaldo de tecnologías adecuadas para el manejo y la selección de zonas y suelos no siempre es la más apropiada para la siembra de esta variedad (Ramírez *et al.*, 2018). Además, las prácticas de establecimiento de los cultivos son adoptadas de manejos productivos de otros países



(Rondón *et al.* 2020), lo cual ha generado baja rentabilidad y sostenibilidad del sistema hasta el fracaso económico de productores (Ramírez *et al.*, 2017; Ramírez *et al.*, 2018).

Por tanto, es necesario enfocar las actividades en el desarrollo y la implementación de prácticas agronómicas adecuadas, propias para la zona productora y con mayor nivel tecnológico, como la fertirrigación, que, además de optimizar el recurso hídrico (Vanegas, 2019; Beyer *et al.* 2021), favorecen el incremento de la producción y la sostenibilidad de estos sistemas de cultivo altamente promisorios.

OBJETIVOS

General

Generar opciones tecnológicas, en la etapa de producción, que respondan a las mejores prácticas internacionales para los cultivos seleccionados, reducir las brechas tecnológicas y favorecer la participación en los mercados nacionales e internacionales.

Específicos

- Establecer tecnologías de punta enfocadas en prácticas de fertirrigación en una zona productiva de aguacate Hass.
- Evaluar el manejo de aguacate Hass a través del fertirriego y la fertilización convencional en la producción.
- Evaluar económicamente el efecto del fertirriego y la fertilización convencional en este cultivar.

PRODUCTO MGA E INDICADOR

El producto equivale a 3 opciones tecnológicas que responden a las mejores prácticas internacionales para los cultivos seleccionados, medidas con un indicador que corresponde a las parcelas de monitoreo establecidas en 3 unidades.

1. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE AGUACATE HASS

1.1 Origen

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una fruta tropical que tiene su origen en el área de Mesoamérica (Galindo, Ogata y Arzate, 2008). Su distribución original se registra desde México hasta Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú, pasando por Centroamérica (Ramírez *et al.* 2018). Perteneció a la familia Lauraceae e incluye por su composición genética 3 razas ecológicas, las cuales se han desarrollado bajo diferentes condiciones edafoclimáticas, y los cultivares resultantes de la hibridación de 2 o más razas (Galindo *et al.*, 2008). En Colombia, según Bernal y Ramírez (2020), existe una gran cantidad de genotipos antillanos, producto de esos cruzamientos.

La variedad Hass, principal cultivar del mundo, se deriva del cruce de cultivares guatemaltecos con mexicanos, resultado de la mutación espontánea de parentales desconocidos, seleccionados por la calidad de la pulpa y mayor productividad que la variedad Fuerte (Bernal y Ramírez, 2020). Se caracteriza por tener frutos de tamaño mediano que oscilan entre 150 y 400 g, con cáscara coriácea de textura rugosa y color verde que se oscurece tornándose a un color negro, el cual es indicador natural de su madurez de consumo. Tiene pedúnculo corto y es resistente a la manipulación y transporte (Bernal, 2016). Según Bernal y Ramírez (2020), estos cultivares, propagados por injerto, inician su etapa productiva a partir del segundo año, entran en plena producción entre el tercer y cuarto año, y sus plantaciones alcanzan una vida útil promedio de 15 años.

1.2 Zonas productoras en Colombia

La variedad Hass es la que presenta la mayor área cultivada en zonas de clima moderadamente frío en Colombia (Ramírez *et al.*, 2018) y entre los principales departamentos productores en el país se encuentran Tolima, Antioquia, Caldas, Valle del Cauca, Risaralda y Quindío (MADR, 2020). Según Bernal y Díaz (2020), estas zonas productoras de aguacate presentan muchas variaciones en altitud, precipitación, temperatura, humedad relativa y radiación solar, lo que lleva a tener diferentes respuestas de los cultivares en comportamiento agronómico, producción, rendimiento y calidad de fruta. Asimismo, consideran que esta situación genera un vacío de información referente a las condiciones en que desarrolla el cultivo en Colombia y, por tanto, se encuentran dificultades para la adopción de prácticas de manejo acertadas en ambientes con características específicas.



1.3 Condiciones biofísicas

El cultivo de aguacate Hass requiere de ciertas condiciones de clima y suelo para lograr su establecimiento y expresión total de su vigor (Rondón *et al.*, 2020; Acosta *et al.*, 2021). En Colombia, según Bernal y Díaz (2020), atributos como sanidad de los árboles, productividad, rendimiento del cultivo y calidad de fruta varían con la zona productora. Estas últimas presentan variaciones en cuanto a altitud, vientos, precipitación, temperatura, humedad relativa y brillo solar, así como en sus características edáficas (textura, estructura, pH, materia orgánica, contenido de nutrientes, pendiente del terreno, entre otras).

De acuerdo con Rondón *et al.* (2020), las mejores condiciones para la producción del aguacate Hass en Colombia se encuentran en un rango de altitud entre 1770 y 2200 m s. n. m., con temperatura óptima entre 14-26 °C, humedad relativa de 60 a 70 % (aunque este cultivar tolera hasta el 80 %) y radiación solar entre 4 y 5,5 horas/día. Tiene una amplia adaptación a la pluviosidad, que le permite cultivarse sin riego en zonas desde 665 a 2200 mm/año.

En cuanto a los requerimientos edáficos, por ser un cultivar con alta susceptibilidad a problemas de raíces, se desarrolla mejor en suelos de textura liviana, bien drenados, con profundidad efectiva igual o superior a 1 m, condiciones que favorecen la formación de un sistema radical denso y bien ramificado (Bernal *et al.*, 2014; Ortega, 2015; Bernal y Díaz, 2020). Cabe anotar que el aguacate Hass se adapta a suelos con diferentes clases texturales (franca, franco arenosa, franco limosa) siempre y cuando presenten buen drenaje interno (Bernal *et al.* 2014; Ortega, 2015). El contenido de arcilla en los suelos no debe superar el 28 %.

Otro factor importante en el establecimiento del cultivo de aguacate Hass es la pendiente del terreno: son deseables o de mayor aptitud aquellas inferiores a 30 % para favorecer el desarrollo de las raíces. De igual manera, los suelos con rango de pH entre 5,5 y 7,5, y porcentajes de materia orgánica superiores a 6 % se consideran óptimos al favorecer las funciones metabólicas que permiten el desarrollo vegetativo y del fruto (Rondón *et al.*, 2020).

1.4 Condiciones técnicas de la producción

1.4.1 Sistemas de plantación y preparación del suelo

El sistema de plantación del cultivo de aguacate depende de la pendiente del terreno seleccionado para la siembra. Así, en suelos de topografía plana o ligeramente inclinados se aconseja la siembra en cuadro, donde el distanciamiento entre plantas es el mismo. Cuando la pendiente es mayor al 20 % se recomienda la siembra en tresbolillo, logrando



un 15 % más de plantas en comparación con el sistema en cuadro. En suelos en los que la topografía es muy inclinada, es recomendable sembrar en curvas a nivel corregidas, de esta manera se reduce la erosión del suelo y se facilita el manejo del cultivo (Ortega, 2015; Bernal y Díaz, 2020).

Para la preparación del terreno, se recomiendan trazados de 7×7 m, aunque este puede variar de 5×5 m hasta 10×10 m, según la región productora, las condiciones del terreno, la fertilidad del suelo y el costo de la tierra (Bernal y Díaz, 2020). La dimensión sugerida para el ahoyado es de 70 cm de diámetro y 60 cm de profundidad, empleando para el llenado una mezcla de suelo, materia orgánica, cal y roca fosfórica, en la que la relación de estos dependerá del análisis de suelo (ICA, 2012).

1.4.2 Nutrición de las plantas

La fertilización del cultivo de aguacate es una práctica que varía de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas de cada zona productora y con la etapa fenológica del cultivo. De esta manera, la cantidad de nutrientes que se adiciona a través de la fertilización, sea granulada o por fertirriego, dependerá de la cantidad y disponibilidad de estos en el suelo, del porcentaje de nutrientes en hojas y frutos, de la demanda nutricional del cultivo según su estado de desarrollo y de la densidad de siembra (Silber *et al.*, 2018; Rondón *et al.*, 2020). Es por ello que la fertilización debe ser ajustada en cada etapa del cultivo, teniendo en cuenta la eficiencia de los nutrientes, según el fertilizante aplicado, y su incorporación debe ser fraccionada a través del año para mejorar su eficacia (Rondón *et al.*, 2020), de tal manera que se tenga disponibilidad de nutrientes en el suelo para mantener la concentración foliar adecuada (Dane, 2016).

1.4.3 Riego

La disponibilidad de agua en el cultivo de aguacate es fundamental para el crecimiento del árbol y la producción. Según el ICA (2012), el exceso o déficit de agua en estos árboles puede generar periodos críticos, los cuales conducen a una reducción del rendimiento e incluso al deterioro de la planta. En consecuencia, en cultivos en los que se utilice sistema de riego, es necesario establecer un plan de uso racional del agua que incluya medidas de mantenimientos de las redes de conducción (Bernal y Díaz, 2020). No obstante, en la actualidad esta es una de las labores más cuestionadas en la producción de aguacate a nivel mundial, debido al cambio climático y a la huella hídrica de este cultivo (con promedio de 824 L/kg), según Sommaruga y Eldridge (2020) y Beyer *et al.* (2021). Por lo tanto, es evidente la necesidad de desarrollar o adoptar nuevas estrategias como sistemas de producción alternativos o tecnologías que permitan reducir el consumo de agua como el fertirriego (Montgomery y Castro, 2017).



1.4.4 Fertirriego

El fertirriego busca suplir, además de agua, la demanda de nutrientes en las dosis y concentraciones adecuadas, de acuerdo con la edad, etapa fenológica y, las condiciones de clima y suelo (Lahav *et al.*, 2013; Montgomery y Castro, 2017). De esta manera, la entrega continua y dosificada de solución nutritiva a través del fertirriego proporciona mejores condiciones para el crecimiento, desarrollo y floración de las plantas cultivadas (Beyer *et al.*, 2021), lo cual se verá reflejado en la cantidad y calidad de la fruta.

Para lograr este objetivo y obtener el máximo beneficio de esta tecnología en el manejo del aguacate Hass, es necesario elaborar un plan de nutrición con especificación sobre el diseño del fertirriego, cantidad y calidad del agua, y fuentes de nutrientes para emplear, cantidad y forma de distribución, todo esto, sobre la base de un diagnóstico nutricional del cultivo y la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Salazar *et al.*, 2013; Montgomery y Castro, 2017).

De igual manera, cuando se emplea este tipo de sistema, es importante hacer una correcta elección de los fertilizantes y del balance entre nutrientes, con el fin de evitar incompatibilidades o interacciones negativas tanto en la mezcla como en el suelo, lo cual se verá reflejado en el estado nutricional del cultivo. Asimismo, la respuesta de árboles de aguacate Hass a un nutriente específico depende tanto de la fertilidad inherente del suelo como del suministro de otros nutrientes (Lahav *et al.*, 2013; Silber *et al.* 2018).

Otra ventaja que se suma al fertirriego, al ser una labor que se realiza con alta frecuencia y en intervalos cortos, es que permite aumentar la eficiencia en el uso del agua y de fertilizantes, así como la absorción de minerales (Beyer *et al.* 2021), reduciendo el impacto ambiental que genera la fertilización en los sistemas agrícolas. De allí, la importancia de realizar esta práctica, según el plan de nutrición, y considerando las condiciones del clima, suelo y cultivo. Así, en suelos con baja fertilidad, por ejemplo, la aplicación de nutrientes debe coincidir con la necesidad del cultivo para evitar la pérdida excesiva, debido a la percolación, con posible contaminación del agua subterránea (Tapia *et al.*, 2012; Lahav *et al.*, 2013).

1.4.5 Podas

De acuerdo con Carabalí *et al.* (2019) y Bernal y Díaz (2020), la poda en aguacate es una labor que se debe realizar con mucha precaución para obtener resultados positivos. Depende de varios factores: variedad, vigor, crecimiento del árbol, densidad de siembra y, condiciones de clima y suelo. Para esta práctica es importante hacer una buena planificación para evitar el desequilibrio entre el follaje y la fructificación, obtener buenos rendimientos y permitir que el desarrollo de la copa sea armónico y bien equilibrado, que facilite las labores de manejo y permita la aireación y entrada de luz solar al interior del follaje.



En general, en aguacate se realizan diferentes tipos de poda: podas de formación para dirigir el crecimiento, estimular brotación de nuevas ramas y dar una estructura equilibrada a la planta para potencializar su área productiva; podas de mantenimiento, para eliminar las ramas secas, enfermas, afectadas por insectos, dañadas o mal distribuidas, brotes improductivos y ramas que ya produjeron; y la poda de renovación, que consiste en cortar las ramas que forman la copa del árbol, con el objetivo de estimular la formación de una nueva copa o para renovarla por medio de injertos. Esta práctica se debe realizar gradualmente para no afectar la producción (ICA, 2012; Carabalí *et al.*, 2019; Bernal y Díaz, 2020).

1.4.6 Manejo de plagas y enfermedades

Las enfermedades y plagas son factores que limitan seriamente la productividad del árbol de aguacate Hass y su longevidad. Por ello, para mejorar las condiciones fitosanitarias del cultivo se recomienda realizar un manejo integral de estas. Según el ICA (2012), en el manejo de plagas se debe tener en cuenta aspectos como identificación del agente causal, las condiciones climáticas que son favorables o desfavorables para el establecimiento y diseminación de la plaga, y la susceptibilidad de la planta al ataque de la plaga. Asimismo, se recomienda realizar una serie de evaluaciones definidas en etapas: 1) establecimiento de los umbrales de acción, 2) monitoreo e identificación de las plagas, 3) prevención y 4) control.

De acuerdo con Kondo *et al.* (2020), entre las principales plagas que afectan el cultivo de aguacate se encuentran los de hábito chupador, como *Monalonion*, trips, insectos escama, cochinillas harinosas, pulgones y ácaros, así como los de hábito masticador, perforadores de frutos y semillas, y los barrenadores de troncos y ramas.

En cuanto a las enfermedades, se registran unas de mayor importancia por su frecuencia y severidad (Tamayo, 2020), como la pudrición de raíces (causada por *Phytophthora cinnamomi* var. *cinnamomi*, *P. citricola* y *P. heveae*) y la marchitez (ocasionada por *Verticillium* sp.). Sin embargo, existen varias enfermedades con alta frecuencia que requieren decisiones de manejo. Aun así, la importancia de los organismos patógenos dependerá de factores como la zona productora, el país o la necesidad de establecer cuarentenas para su control.

2. IDENTIFICACIÓN DE AGRICULTORES INTERESADOS

El departamento del Valle del Cauca se encuentra entre los principales productores de aguacate Hass a nivel nacional (MADR, 2018; ICA, 2021), registra cerca de 1800 ha sembradas con esta variedad en los municipios de Bolívar, Roldanillo, Versalles, El Cairo, El Águila y Trujillo (Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca del Valle, 2020), concentrando la mayor producción de Hass en el corregimiento La Tulia, municipio de Bolívar. Esta información fue validada por el equipo técnico del proyecto a través del reconocimiento de la zona, que permitió priorizar los municipios de Bolívar y Roldanillo, los cuales limitan en su zona de ladera, para realizar la identificación y selección de los productores interesados en el establecimiento de la parcela demostrativa de aguacate Hass, implementando los criterios de selección estipulados en el proyecto.

Con esto se dio cumplimiento a los objetivos específicos establecidos para la primera fase del proyecto: identificar y caracterizar a los productores de aguacate Hass de las diferentes zonas de ladera del Valle del Cauca, y seleccionar los interesados en el desarrollo de parcelas demostrativas.

2.1 Materiales y métodos

2.1.1 Identificación de asociaciones y productores de aguacate en el Valle del Cauca

En el año 2018 se revisaron bases de datos con información de los actores de la cadena de aguacate, el Plan Frutícola del Valle del Cauca (2014) y el levantamiento de brechas tecnológicas realizado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), para identificar los productores y las organizaciones interesadas en el desarrollo de la parcela demostrativa de aguacate Hass. Esto permitió obtener un consolidado de los productores de aguacate en la zona de ladera del Valle del Cauca, así como el reconocimiento de algunas asociaciones de productores.

2.1.2 Reconocimiento de la zona productora de aguacate Hass en el departamento

Una vez consolidada la información, se verificó el área cultivada con aguacate de la variedad Hass en los diferentes municipios Valle del Cauca. Se encontró que la zona de ladera donde se concentraba la mayor producción de Hass era el norte del departamento, como lo reporta la Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca del Valle (2020), debido a que las condiciones agroclimáticas de la zona favorecen el crecimiento y desarrollo del cultivo, características que han permitido un aumento en la superficie cultivada.



Basados en estos registros, se consiguió priorizar la zona de producción de esta variedad conformada por los municipios de Bolívar y Roldanillo, donde el equipo técnico del proyecto adelantó la actualización de la base de datos, mediante la caracterización en campo de los productores de aguacate Hass.

Durante la recopilación de información, se contó con el apoyo de la representante legal de Corpoversalles, quien compartió la base de datos de los asociados, con lo que se amplió el número de productores interesados en participar el desarrollo de la parcela demostrativa.

Levantamiento de fichas de reconocimiento en la zona

El reconocimiento de la zona y los productores se realizó mediante el diligenciamiento de las fichas de caracterización de productores beneficiarios del proyecto, las cuales incluyeron información relevante, como datos personales y de contacto, ubicación de la finca (altura y coordenadas), información del predio, datos del cultivo (edad, distancia de siembra, número de plantas y disponibilidad de riego) y certificaciones, entre otros datos.

2.1.3 Metodología empleada para la selección de los productores

Para la selección del productor y la finca donde se estableció la parcela, se empleó la base de datos actualizada a partir de los registros iniciales, recorridos de campo, visitas a las fincas, entrevistas personalizadas y las fichas de reconocimiento.

Posteriormente, con los datos actualizados, se aplicaron los siguientes criterios de selección, de acuerdo con la propuesta técnica del proyecto:

- Ubicación de la finca en zona de ladera bajo condiciones agroclimáticas óptimas con las que la especie y variedad priorizada expresara su potencial genético.
- Zona de ladera representativa del cultivo priorizado y con vocación agrícola.
- Productores de frutales y hortalizas asociados o pertenecientes a distritos de riego, con parcelas agrícolas de subsistencia y visión empresarial.
- Productores de frutales y hortalizas asequibles al conocimiento y a la tecnificación de sus cultivos.
- Productores interesados en desarrollar parcelas demostrativas e implementar planes de innovación y desarrollo.

2.2 Resultados y discusión

2.2.1 Identificación de productores de aguacate Hass en el Valle del Cauca

La información de productores de aguacate Hass obtenida en el año 2018 (de los municipios de Argelia, Roldanillo, Versalles, Caicedonia, El Cairo, Palmira y Vijes) y el levantamiento



con las fichas de reconocimiento realizado en el año 2019, en 4 municipios del Valle del Cauca (Bolívar, Roldanillo, La Unión y Versalles), permitió visualizar 33 productores de aguacate Hass interesados en realizar la parcela demostrativa (ver tabla 1); la mayoría de ellos, miembros de asociaciones, como Corpoversalles, Fundea, Amivalle, Profrucái, Asproplatca, Asoppitaya, Agrovim y Fundación Transformadores de Vida. Un número importante son productores independientes, especialmente aquellos localizados en Bolívar y Roldanillo.

Tabla 1. Productores y asociaciones identificados para el desarrollo de la parcela demostrativa de aguacate Hass

Nombre y apellido	Municipio	Área (ha)	Edad cultivo	Número árboles	Productor/organización
Jorge A. Castaño Ceballos	Bolívar	60	9 meses	9400	Productor independiente
Oswaldo Ruge	Bolívar	18	5 años	5000	Productor independiente
Jorge Mendoza Reyes	Bolívar	0,48	1,5 años	300	Productor independiente
Juan Carlos Valderrama	Bolívar	14	2 años	3653	Productor independiente
Cesar Tulio Rendón	Bolívar	12	1,5 años	8000	Productor independiente
Fernando José Muriel	Bolívar	18,6	3-18 meses	3800	Productor independiente
Albeiro Clavijo	Bolívar	4,1	3, 6 años	980	Productor independiente
Carlos Arturo Cifuentes	Roldanillo	2,3	7 años	480	Productor independiente
Faber Mayor García	Roldanillo	3,8	3 años	980	Productor independiente
Carlos Andrés Huertas	Roldanillo	0,28	6 años	80	Productor independiente
Duberney Huertas	Roldanillo	0,28	6 años	80	Productor independiente
Juan de la Cruz Vera	Roldanillo	1,28	3 años	200	Productor independiente
Jorge Alberto García	Roldanillo	2	14 años	400	Productor independiente
Jairo Mayor	Roldanillo	1,08	4 años	300	Productor independiente
Hugo A. Mayor Obando	Roldanillo	1,8	1, 2, 4 años	500	Productor independiente
Fernando Rendón	Roldanillo	73,5	3 años	30 000	Productor independiente
José Zeir Arboleda	La Unión	1	7 años	170	Corpoversalles
Oscar Humberto Manzano	Versalles	3	9 años	600	Corpoversalles
José R. Mera Carabalí	Versalles	1,34	3 años	320	Corpoversalles
Óscar Eduardo Carvajal	Versalles	2,28	6, 4, 1 años	650	Corpoversalles
Diego Fernando Acosta	Versalles	3,2	2 años	500	Corpoversalles
Jesús Gonzaga Pulido	Versalles	3	3 años	670	Corpoversalles
Jorge Ariel Rivera	Versalles	3,67	3,1 años	803	Corpoversalles
Orlando Muñoz Peláez	Versalles	0,36	4,5 años	100	Corpoversalles
Nolberto Calderón	Argelia	-	-	-	Fundea
Carlos Alberto Vallejo	Bolívar	-	-	-	Amivalle
José Ramiro Millán	Bolívar	-	-	-	Amivalle
Johana Hurtado Gómez	Calcedonia	-	-	-	Profrucái



Nombre y apellido	Municipio	Área (ha)	Edad cultivo	Número árboles	Productor/organización
Harvey A. Salazar Velásquez	El Cairo	-	-	-	Asproplatca
Alex Orozco	Palmira	-	-	-	Fundación Transformadores de Vida
Sandra M. García Román	Roldanillo	-	-	-	Asoppitaya
Sandra Isabel Acosta	Versalles	-	-	-	Corpoversalles
Rubén D. Moreno Fajardo	Vijes	-	-	-	Agrovim

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la información recopilada, se encontró que la mayoría de los productores registrados en las fichas de caracterización corresponde a pequeños cultivadores de aguacate Hass, con fincas ubicadas entre 1600 y 1900 m s. n. m. Las edades de los cultivos oscilaron entre 3 a 7 años, con población significativa de árboles para realizar el ensayo en varias de las fincas. Sin embargo, se verificó que no todos cumplían con las condiciones requeridas para el montaje de la parcela.

Además, el reconocimiento de la zona productora de aguacate Hass en el norte del departamento y el levantamiento de fichas de reconocimiento permitió validar que la producción de esta variedad estaba concentrada en los corregimientos de la zona montañosa de Bolívar y Roldanillo.

2.2.2 Caracterización de los productores

Para la caracterización de los productores de aguacate Hass en zona de ladera, se preseleccionaron 4 fincas cultivadas con esta especie, las cuales cumplieron con todos los criterios de selección. Esta información fue validada en enero de 2020 mediante visitas técnicas realizadas a las fincas ubicadas en los municipios de Roldanillo y Bolívar. Los registros de las 4 fincas que cumplieron los requisitos para el establecimiento de la parcela demostrativa se muestran en las tablas 2 a 5.

Tabla 2. Caracterización de la finca n.º 1, El Encanto

Nombre	El Encanto (ver figura 1)
Localización	Vereda El Retiro, Roldanillo
Altitud	1790 m s. n. m.
Disponibilidad de agua	Sí, en tanque zamorano y tanques en cemento ubicados en nacimiento de agua
Árboles y edad del cultivo	260 árboles de 7 años, 200 árboles de 2.5 años
N.º cosechas	2
Mercado	Local y exportación
Otras	Análisis de suelo hace un año. Grupo familiar dedicado al cultivo



Nombre	El Encanto (ver figura 1)
Situación predio	Propietario: Carlos A. Cifuentes (vive en el lugar)
Producción	75 kg/árbol (monocultivo)
Certificaciones	Sí, de predio exportador. Próximo a ser certificado con la GlobalG. A. P.
Registros	Sí, de fertilización, Mipe y otras actividades (con bodega de producto)
Asesorías	Sí, ingenieros agrónomos de casas comerciales.
Observaciones	Las condiciones de manejo son adecuadas para el desarrollo de la parcela.

Fuente: elaboración propia.

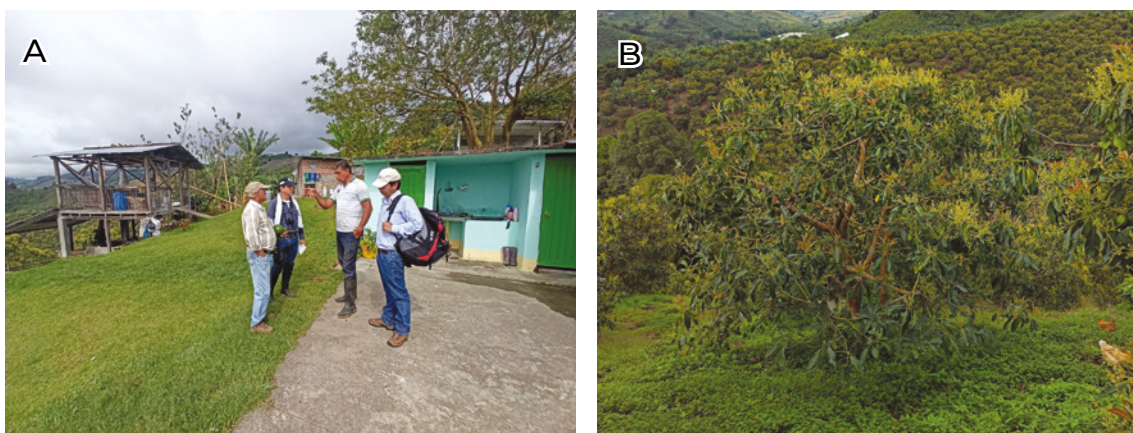


Figura 1. A. Equipo técnico del proyecto y el productor Carlos Cifuentes. B. Cultivo de aguacate Hass con 7 años

Fuente: elaboración propia. Fotografías de J. Guerrero (2019).

Tabla 3. Caracterización de la finca n.º 2, La Aurora

Nombre	La Aurora (ver figura 2)
Localización	Vereda La Plazuela, Bolívar
Altitud	1750 m s. n. m.
Disponibilidad de agua	Sí, lago de agua
Árboles y edad del cultivo	1400 árboles de 5 años
N.º cosechas	2
Mercado	Local y exportación
Otras	Análisis de suelos hace 6 meses. Poda cada cosecha
Situación predio	Propietario: Wilson Vinazo. Lote a cargo de Osvaldo Ruge (mayordomo)
Producción	14 t/ha (monocultivo)
Certificaciones	Sí, de predio exportador y pronto de GlobalG. A. P.
Registros	Sí, de aplicaciones y costos de producción, entre otros
Asesorías	Sí, ingeniero agrónomo

Fuente: elaboración propia.

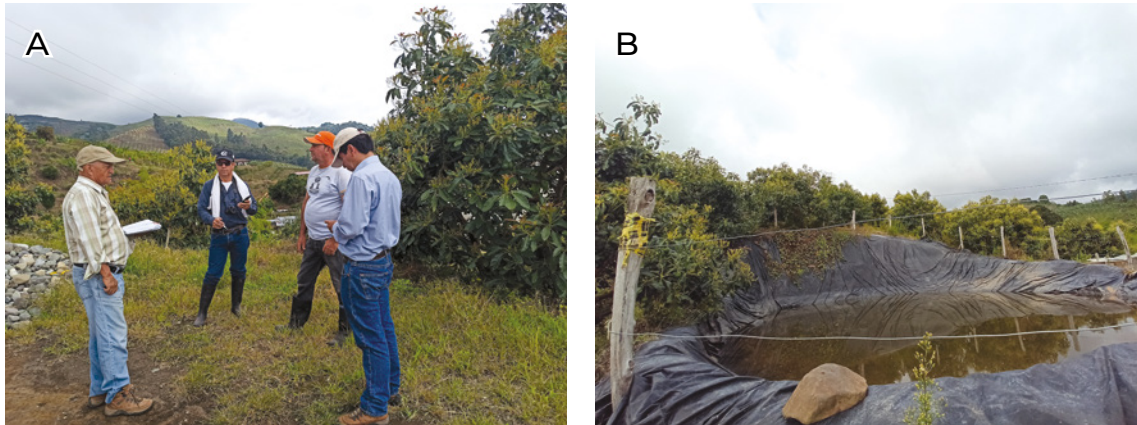


Figura 2. A. Equipo técnico del proyecto y administrador de la finca La Aurora. B. Reservorio de agua de la zona

Fuente: elaboración propia. Fotografías de J. Guerrero (2019).

Tabla 4. Caracterización de la finca n.º 3, La Guadalupe

Nombre	La Guadalupe (ver figura 3)
Localización	Vereda Buenos Aires, Bolívar
Altitud	1850 m s. n. m.
Disponibilidad de agua	Sí, nacimiento de agua
Árboles y edad del cultivo	215 de 2,5 años, 530 de 3 años y 150 de 6 años
N.º cosechas	2
Mercado	Local y exportación
Otras	Análisis de suelo periódico
Situación predio	Propietario: Julián Orozco. Administra Albeiro Clavijo (mayordomo)
Producción	53 kg/árbol (monocultivo)
Certificaciones	Sí, de predio exportador y pronto de GlobalG. A. P.
Registros	Sí, de fertilización, Mipe y otras actividades. Presenta bodega de almacenamiento para insumos.
Asesorías	Sí, ingeniero agrónomo

Fuente: elaboración propia.

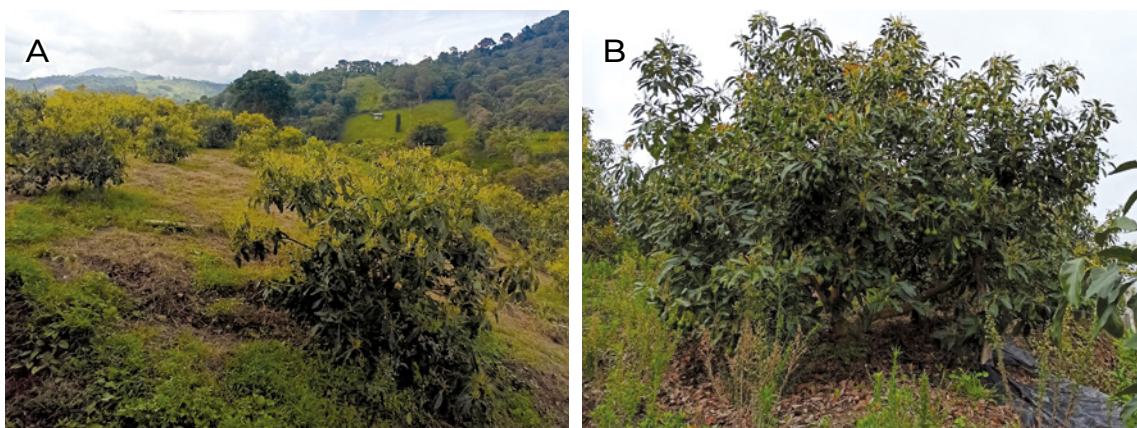


Figura 3. A. Cultivo de aguacate Hass, finca La Guadalupe. B. Árbol de aguacate Hass de 6 años

Fuente: elaboración propia. Fotografías de J. Guerrero (2019).



Tabla 5. Caracterización de la finca n.º4, Arkansas

Nombre	Arkansas (ver figura 4)
Localización	Vereda El Retiro, Roldanillo
Altitud	1650 m s. n. m.
Disponibilidad de agua	Sí
Árboles y edad del cultivo	400 árboles de diferentes edades
N.º cosechas	2
Mercado	Local y exportación
Otras	Frutos de calibre bajo
Situación predio	Propiedad del señor Jorge Alberto García (vive en el lugar)
Producción	35 a 40 kg/árbol (cultivo mixto)
Certificaciones	Predio productor
Registros	Sí
Asesorías	Sí

Fuente: elaboración propia.



Figura 4. A y B. Finca Arkansas

Fuente: elaboración propia. Fotografías de J. Guerrero (2019).

2.2.3 Selección del productor

Una vez se corroboró que todas las fincas cumplían con las condiciones para la selección, fue necesario incluir 2 criterios relevantes para el proyecto: ser productor propietario de la finca y residir en el lugar. Bajo estas consideraciones, se seleccionó la finca El Encanto propiedad del señor Carlos Cifuentes y su familia, ubicada en la vereda El Retiro, Roldanillo. También se verificó que el manejo del cultivo era adecuado para el desarrollo de la parcela, que el área cultivada estaba dentro del rango de pequeño productor y que realizaba el riego con manguera.



Las fincas 2 y 3 se descartaron por ser el mayordomo y no el propietario quien las manejaba, lo cual se consideró un riesgo a futuro, tanto por la comunicación como por el ingreso e instalación de equipos. La finca 4 también se descartó por la altura sobre el nivel del mar a la cual se encontraba y las condiciones fitosanitarias del cultivo.

2.2.4 Formalización de la parcela demostrativa

La formalización del proceso de selección y establecimiento de la parcela demostrativa de aguacate Hass se realizó mediante la suscripción de un acuerdo de voluntades entre la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, representada por el vicerrector de sede, el profesor Jaime Eduardo Muñoz Flórez, y el propietario de la finca El Encanto, el señor Carlos Cifuentes. Posterior a este acuerdo, se realizó la instalación de la valla informativa (ver figura 5) en lugar estratégico de la finca para la identificación de la parcela.



Figura 5. Productor Carlos Cifuentes e instalación de la valla informativa, parcela de aguacate Hass

Fuente: elaboración propia. Fotografías de J. Guerrero (2021) y P. Arango (2021).

2.3 Conclusiones

- Se identificaron 33 productores de aguacate Hass en zona de ladera de 9 municipios del Valle del Cauca, de los cuales 24 se caracterizaron con fichas técnicas que contenían información básica de localización, dueños y estado del cultivo, y con visita a fincas. Esta identificación permitió verificar que la mayoría de los productores eran pequeños productores, con participación importante a nivel de asociaciones. No obstante, muchos de los productores caracterizados de Bolívar y Roldanillo eran independientes.
- Se preseleccionaron 4 productores de aguacate Hass de los municipios de Bolívar y Roldanillo que cumplían con los criterios de selección y estaban interesados en el desarrollo de la parcela. Sin embargo, fue el productor Carlos Cifuentes de la finca El Encanto, quien reunió todas las condiciones requeridas para el establecimiento



de la parcela demostrativa. Además, de ser propietario de la finca y residir en ella, exhibía un manejo adecuado del cultivo que se reflejaba en buenas condiciones fitosanitarias de este.

- La transición de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, en el desarrollo de proyectos financiados por el Sistema General de Regalías (SGR), debido a la puesta en funcionamiento de la plataforma de Servicio Provincial de Gestión y Recaudación (SPGR) del SGR, limitó la ejecución financiera del proyecto, lo que afectó drásticamente la ejecución administrativa y técnica de la parcela entre los meses de marzo a septiembre de 2019. En consecuencia, se generó retraso en las actividades programadas y la necesidad de reubicar la parcela demostrativa.

3. DESARROLLO DE LA PARCELA DEMOSTRATIVA Y ACOMPAÑAMIENTO TÉCNICO

La tecnología enfocada en el uso de fertirriego es una estrategia de manejo orientada a mejorar el estado nutricional y fitosanitario del cultivo con el fin de aumentar la producción y calidad de la fruta, así como de realizar un uso eficiente del agua y fertilizantes, un escenario requerido para ampliar la participación de los productores de aguacate Hass del Valle del Cauca en los mercados nacionales e internacionales e incrementar la competitividad sostenible en la agricultura de ladera del departamento. En este sentido, se seleccionó la finca El Encanto, propiedad del señor Carlos Cifuentes y ubicada en el municipio de Roldanillo, la cual reunía todas las condiciones requeridas para el establecimiento de la parcela demostrativa. Aunque esta presentaba un manejo adecuado del cultivo, se evidenció la necesidad de implementar este tipo de tecnologías que repercutieran en un incremento de la productividad y reflejaran mayor rentabilidad para el productor y su familia. Se consideró, de igual manera, que permitiera un manejo eficiente de los recursos de suelo y agua, más aún en esta zona de ladera tan vulnerable a procesos erosivos.

Partiendo de lo anterior, se plantearon como objetivos para esta fase de establecimiento de la parcela demostrativa realizar seguimiento de las variables climáticas en este cultivar, para tomar decisiones en cuanto a la programación de los fertirriegos, y evaluar el efecto de la fertiirrigación en el aguacate Hass.

3.1 Materiales y métodos

3.1.1 Localización de la parcela demostrativa

La parcela demostrativa de aguacate Hass se estableció en la finca El Encanto de propiedad del señor Carlos Arturo Cifuentes, predio ubicado en la vereda El Retiro, municipio Roldanillo, departamento del Valle del Cauca, a 1790 m s. n. m. y coordenadas 4°24'19" de latitud norte y 76°13'45" de longitud oeste. El área sembrada en aguacate Hass es de 2,5 hectáreas con 480 árboles en edad promedio de 8 años y distancias de siembra de 7 × 6 m. La topografía del terreno es inclinada, con pendientes de 45 grados y suelos de textura FAra (franco-arcillo-arenoso).

3.1.2 Implementación de las tecnologías de innovación

Con el fin de avanzar en el establecimiento de la parcela demostrativa, en enero de 2020 se concertaron las actividades, investigaciones y responsabilidades entre el productor y el equipo técnico de la Universidad Nacional de Colombia (Unal). Una vez se hicieron los acuerdos respectivos, se procedió a realizar las adecuaciones necesarias para implementar en la parcela demostrativa las tecnologías de innovación.



Instalación de la estación meteorológica

En mayo de 2020, se instaló la estación meteorológica de la marca LynkBOX Meteo Plus (ver figura 6), compuesta por un sensor de temperatura y humedad relativa, un pluviómetro, un sensor de radiación solar, un sensor de velocidad y dirección del viento, un sensor de evapotranspiración y presión de vapor calculadas y un panel solar de 10 W. La estación se ubicó cerca a la casa, en zona libre de árboles, cables y otros objetos para evitar la interferencia en la recepción de la señal. El objetivo de la instalación meteorológica fue generar registros climatológicos como factores de influencia en el cultivo de aguacate Hass.

A partir de la fecha de instalación, se registraron las variables climáticas reportadas por la estación meteorológica mediante la plataforma Lynks, enlace <https://app.lynks.com.co/login> y usuario maquintero@unal.edu.co. Los dispositivos recibían los datos consolidados por día, semana y mes de la temperatura, precipitación, brillo solar, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, evapotranspiración y otras variables de utilidad para la toma de decisiones agronómicas dirigidas al cultivo (ver figura 7).



Figura 6. Instalación de la estación meteorológica: A. Instalación de los equipos. B. Estación meteorológica en funcionamiento

Fuente: elaboración propia. Fotografías de G. Escobar (2020).

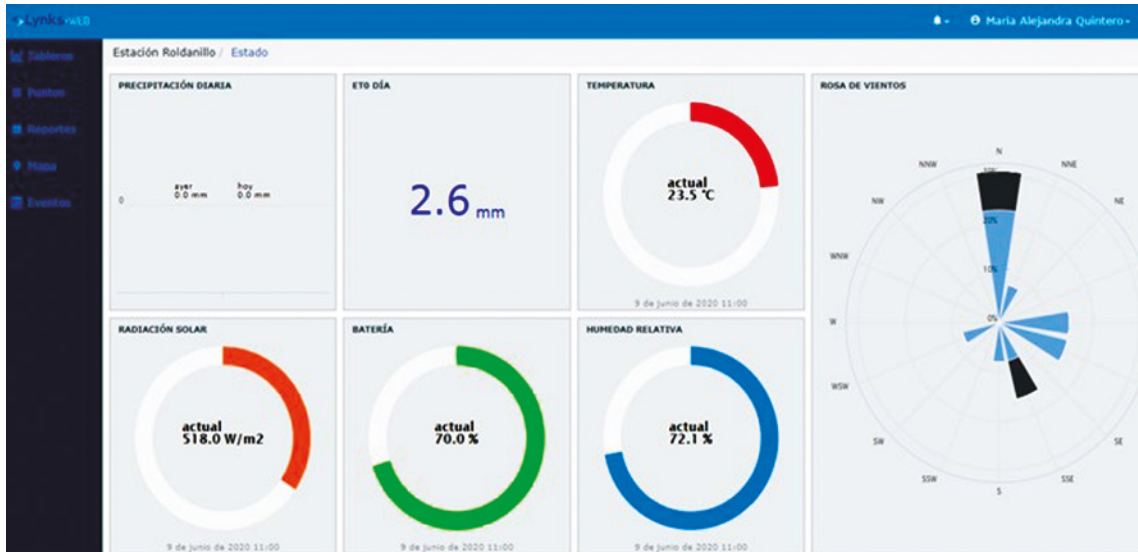


Figura 7. Variables climáticas registradas por la estación meteorológica y funcionamiento de la plataforma de la empresa Lynks

Fuente: plataforma Lynks (2021).

Durante la instalación, también se realizó la capacitación al personal técnico del proyecto sobre el funcionamiento de la estación, los equipos que la componen y las características generales. Se compartió el enlace y el usuario de ingreso a la plataforma para identificar la actualización de la estación y emisión inicial de datos. De la misma manera, el productor y su familia recibieron capacitación para el manejo de esta plataforma, en la que se registra la información diaria.

Durante agosto del 2020, se hizo público el manejo e interpretación de los datos obtenidos por la estación, buscando que el agricultor se apropiara de la tecnología y empleara esta información en el momento de programar y realizar las prácticas en su cultivo.

Tecnología del fertirriego

De acuerdo con las características de la parcela seleccionada, se diseñó e hizo el montaje del sistema de fertirriego para 100 árboles de aguacate con distancia de siembra de 7×6 m (ver figura 8). El equipo de fertirrigación está compuesto por 2 sensores de humedad, una sonda de extracción de solución nutritiva y un *kit* de fertirriego que contiene: una bomba eléctrica de 1 HP, 1 F, con 3 inyectores y sus respectivos medidores de inyección, 3 tanques para soluciones nutritivas de 500 L cada uno (ver figura 9), 1 tanque de almacenamiento de 5000 L y 1 programador para apertura y cierre de las 2 válvulas de riego, según las indicaciones del usuario.



Figura 8. Subparcela de aguacate Hass seleccionada para instalación del fertirriego. Finca El Encanto, Roldanillo, Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia. Fotografías de P. Arango (2021) y G. Escobar (2021).



Figura 9. Sistema de fertirriego e inyectores instalados con tanques de fertilización y automatización eléctrica

Fuente: elaboración propia. Fotografía de J. Guerrero (2020).

Adecuación del sistema de fertiirrigación

Previo a la instalación del sistema de fertirriego, se tomaron muestras de suelo a 15 y 30 cm de profundidad para conocer algunas características físicas fundamentales para el movimiento del agua en el suelo, como densidad aparente, porosidad y capacidad de retención de humedad.

Paralelamente, en esta etapa se realizaron ensayos preliminares para identificar las características que debía presentar el equipo, de acuerdo con las necesidades del cultivo y condiciones edafoclimáticas de la zona. Inicialmente, se midió el diámetro a la gotera



de los árboles para conocer el área de humedecimiento. Posteriormente, para establecer el caudal del gotero y el número de goteros por árbol, se empleó la botella de Mariotte, método recomendado por Dorado *et al.* (2017), el cual permitió medir el bulbo húmedo y la profundidad a la que llegaron los diferentes volúmenes de agua empleados en una hora. De esta forma, se identificó el caudal requerido y se definió la distancia adecuada entre el anillo del riego y el tronco del árbol. Para ello, se evaluaron caudales de 2, 4 y 8 L/h, y se midió el área de humedecimiento correspondiente (ver figuras 10 y 11) con ayuda del programa ImagineJ 1.46r.



Figura 10. A. Árboles marcados en las subparcelas con y sin fertirriego. B. Pruebas con botellas Mariotte, medición del área de humedecimiento y determinación del número de goteros por árbol

Fuente: elaboración propia. Fotografías de G. Escobar (2020).



Figura 11. A. Botella Mariotte con caudal 4 L/h. B. Área de humedecimiento del caudal

Fuente: elaboración propia. Fotografías de G. Escobar (2020).

Con esta información se diseñó la red de distribución del sistema de fertirriego, con capacidad de proporcionar agua y solución nutritiva de forma homogénea y confiable con un anillo de 15 goteros por árbol.



En esta etapa de adecuación, también se realizó la instalación del tanque de 5000 L (ver figura 12) en la zona de acopio proveniente de las fuentes de agua (nacederos) y se adaptó un filtro de anillos para evitar el ingreso de sedimentos a la batería de tanques de mezcla, los cuales tienen apertura manual para su funcionamiento y disposición de agua.



Figura 12. Sistema de fertirriego instalado en la subparcela de aguacate Hass

Fuente: elaboración propia. Fotografías de G. Escobar (2020), J. Guerrero (2020) y P. Arango (2021).



De igual manera, se realizó la adaptación de la tubería y accesorios que conducen el agua a los tanques de fertilización de 500 L cada uno (ver figura 12), los cuales se ubicaron en una estructura construida para tal fin. En esta área, se instalaron los 3 inyectores Venturi, cada uno conectado a un tanque de fertilización. Estos inyectores succionan la solución nutritiva de cada tanque calculada en 3 L/min. Una vez obtenida la solución nutritiva es conducida por la bomba eléctrica dosificadora que permite la inyección del fertilizante al sistema de riego. Posterior a la bomba, se instaló otro filtro de anillos y una válvula de aire para regular la presión. De este modo, el agua más la solución nutritiva es conducida por una tubería a los 100 árboles del lote experimental y dispuesta por medio de los 15 goteros instalados para cada árbol.

Una vez se instaló el sistema de riego, se realizó la capacitación sobre el manejo y funcionamiento de este, como apertura manual y automática de llaves, funcionamiento del sistema de inyección de fertilizantes a través del Venturi y el motor, así como la lectura y el manejo de tensiómetros y de la sonda de solución del suelo.

Transporte de carga por cable aéreo

Otra de las tecnologías implementadas en la parcela demostrativa de aguacate Hass fue el transporte de carga por cable aéreo o *cable vía* (ver figura 13), un sistema mecanizado que facilita las labores agrícolas, especialmente aquellas relacionadas con la cosecha, pues permite llevar los frutos colectados desde el lote de cultivo al centro de acopio en menos tiempo y con menor esfuerzo físico de los operarios de campo. Esta técnica, a la vez, reduce costos y minimiza tiempos de recolección y manipulación de los frutos, manteniendo la calidad de la cosecha.

De acuerdo con el fabricante, este sistema de carga se diseñó e instaló para una capacidad máxima de 250 kg, consta de un motorreductor trifásico sinfín de 5 HP (caballos de potencia), con un sistema de freno electromagnético que garantiza mayor seguridad. La transmisión es por medio de cadenas y piñones paso 60 de tipo industrial. Consta de poleas de 14" de diámetro, 4 canales tipo A, construcción radial, chumaceras de pedestal de 2" y polea base de 8" de diámetro, canal tipo A, eje en acero y chumaceras de pedestal de 1½".

A su vez, este equipo cuenta en su sistema eléctrico con un variador de velocidad de 5 HP, el cual permite un suave arranque y frenado del sistema motriz, facilitando la operación del mismo. Además, presenta un sistema de frenos de emergencia, un cable portante o principal (cable galvanizado 3/8"), un cable cabrestante o tractor (acero galvanizado de 1/4"), anclajes (en concreto), torres terminales en concreto y torres pasa cables o intermedias en tubo estructural, poleas torre terminal y poleas guías de cable cobrestante, y una canasta de transporte o plataforma de carga con 1,8 m de largo y 0,81 m de ancho.



Figura 13. Transporte de carga por cable aéreo instalado en la parcela demostrativa de aguacate Hass en la finca El Encanto, Roldanillo, Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia. Fotografías de P. Arango (2021).

3.1.3 Establecimiento de las subparcelas

Diseño

Para establecer las diferencias entre fertilización convencional o tradicional y el fertirriego, la parcela demostrativa se dividió en 2 subparcelas, las cuales fueron identificadas como subparcela 1 (SP1) y subparcela 2 (SP2), con una población 93 y 94 árboles respectivamente (ver figura 14).

De esta manera, la subparcela SP1 correspondió a la parcela en la cual el agricultor realizó todas las labores tradicionales o convencionales, y la que referencia el testigo de la investigación. La subparcela SP2 correspondió a la parcela donde la investigación se enfocó en el plan de fertirriego, bajo criterios técnicos, edafoclimáticos y agronómicos desarrollado por el equipo técnico vinculado al proyecto. Entre los criterios se incluyeron: determinación del estado nutricional de los árboles mediante el análisis de tejido foliar y de suelo, establecimiento del plan de fertirriego según resultados de análisis, implementación del plan de fertilización ajustando la fertilización edáfica (y foliar, según necesidad) y, monitoreo diario de las variables climáticas y humedad del suelo para la toma de decisiones en cuanto a la aplicación del fertirriego.

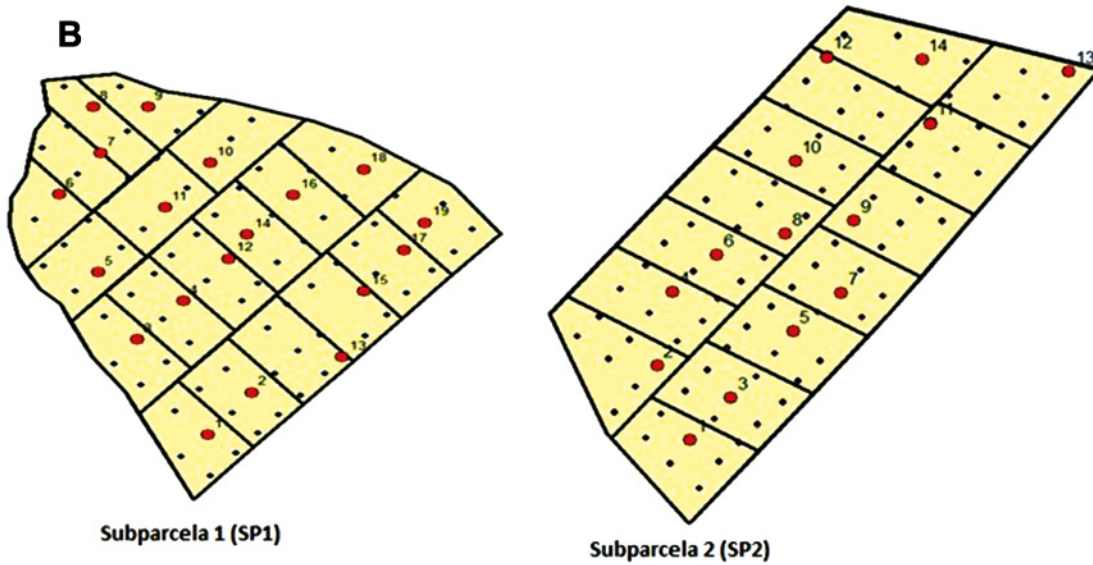


Figura 14. A. Vista aérea de la finca y la parcela demostrativa de aguacate Hass. B. Mapa de ubicación de los árboles seleccionados en las subparcelas

Fuente: elaboración propia. Fotografías de IIDC Irridelco (2020) y G. Escobar (2021).



En esta etapa inicial, también se seleccionaron las unidades experimentales para evaluar la producción por árbol en cada subparcela una vez instalado el fertirriego. Para establecer el tamaño de muestra requerido, se escogieron 10 árboles de cada subparcela, en los cuales se midió la producción de la cosecha “traviesa” y “principal” de 2020 (ver tabla 6). Luego, empleando las ecuaciones 1 y 2, se estableció el tamaño de muestra para evaluar la cosecha del año 2021 de 19 árboles para la subparcela sin fertirriego y 14 para la subparcela con fertirriego (ver tabla 7). Cabe anotar que los 33 árboles seleccionados presentaron características similares en cuanto al tamaño, fenotipo y estado fitosanitario. Todos los árboles seleccionados fueron debidamente marcados para la evaluación periódica de las diferentes variables edáficas y de producción.

Tabla 6. Producción en kg/árbol de los 10 árboles seleccionados en cada subparcela para establecer el tamaño de muestra.

Árboles	Subparcela 1 (kg/árbol)		Subparcela 2 (kg/árbol)	
	Cosecha “traviesa”	Cosecha “principal”	Cosecha “traviesa”	Cosecha “principal”
1	20	70	79	80
2	84	132	20	70
3	48	51	26	64
4	74	96	28	76
5	47	96	25	65
6	51	58	31	72
7	43	67	47	56
8	56	47	65	76
9	36	69	41	51
10	79	75	57	82
Promedio	53,8	76,1	41,9	69,2

Fuente: elaboración propia.

Para la estimación de la muestra (n_0) se empleó la ecuación 1:

$$n_0 = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot DE^2}{d^2} \quad [1]$$

donde:

Z : nivel de confianza.

DE : desviación estándar.

d : error de muestreo.



Para la estimación final (n) de la muestra se empleó la ecuación 2.

$$n = \frac{n0}{1 + \frac{n0}{N}} \quad [2]$$

donde:

n0: muestra estimada.

N: población.

Tabla 7. Determinación del número de unidades experimentales

Parámetro/subparcela	Sin fertirriego (SP1)	Con fertirriego (SP2)	Variables por evaluar
Desviación estándar	25,1	20,7	Producción Rendimiento Número frutos
Población (N)	93	94	
Estimación muestra (n0)	24	16	
Estimación final (n)	19	14	

Fuente: elaboración propia.

La ubicación de los árboles en las subparcelas se realizó con la ayuda del programa de sistemas de información geográfica ArcGIS 10.2 y la herramienta Parcel Fabric. De esta manera, la subparcela SP1 se dividió en 19 partes iguales y la subparcela SP2 en 14 partes. Posteriormente, de cada una de ellas se tomó un árbol representativo del área, para tener así 19 y 14 unidades experimentales, como se muestra en la figura 14.

Programación del fertirriego

Para suplir la demanda de agua y nutrientes a través del fertirriego, se realizó la programación del riego, teniendo en cuenta las condiciones climáticas diarias, humedad del suelo y los requerimientos de agua del cultivo (ETc), el cual estuvo en función del coeficiente del cultivo (Kc) y la evapotranspiración (ETo).

Registro de variables climáticas

Las variables registradas en la estación meteorológica se inspeccionaron diariamente para la programación del fertirriego y ejecución de diferentes prácticas de manejo del cultivo, como precipitación, temperatura, evapotranspiración y humedad relativa (Dorado *et al.*, 2017). A continuación, se presentan los valores registrados por la estación durante el periodo de fertirriego evaluado (octubre de 2020 a octubre de 2021).

» Temperatura

En el segundo semestre del año 2020, la temperatura promedio fue de 20,2 °C con oscilaciones entre 17,9 y 22,8 °C, con una mínima de 14,6 °C en el mes de octubre y una máxima de 32,8 °C en el mes de agosto (ver figura 15).



De manera similar, el periodo de enero a octubre de 2021, la temperatura registró un promedio de 20,2 °C, con oscilaciones entre 17,7 y 23,3 °C. La temperatura máxima fue de 33,2 °C en julio y la mínima de 14,4 °C en marzo.

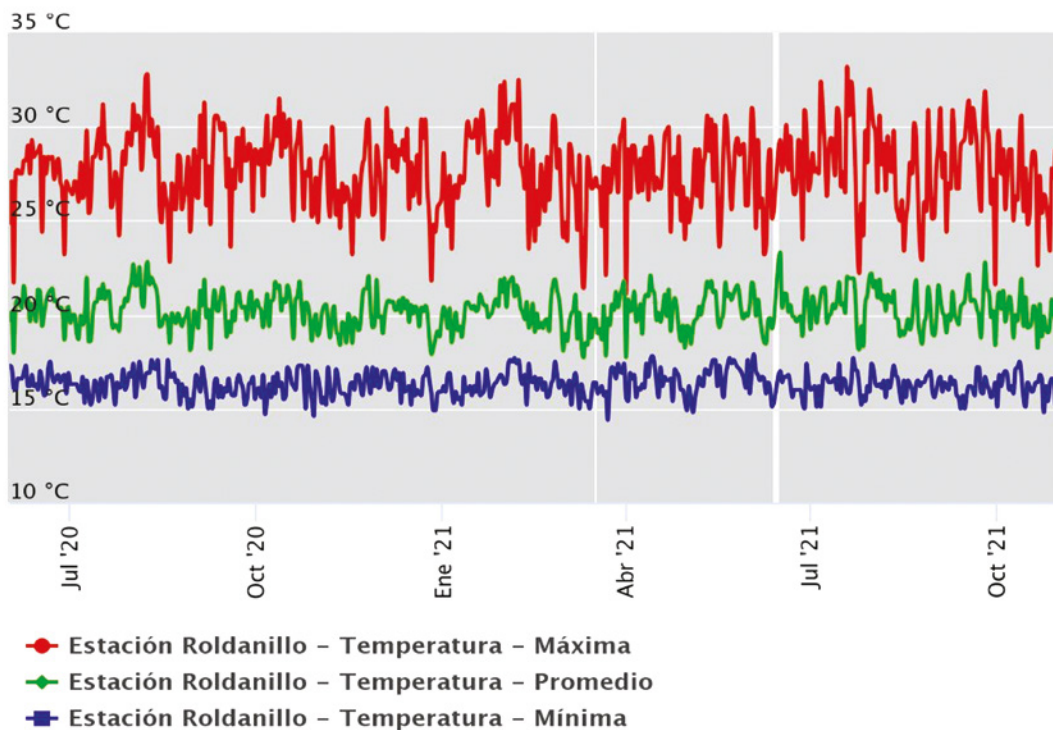


Figura 15. Temperatura promedio, mínima y máxima registradas en la estación meteorológica ubicada en la finca El Encanto, Roldanillo, entre junio de 2020 y octubre de 2021

Fuente: plataforma Links (2021).

» Precipitación y evapotranspiración (ETo)

En el segundo semestre de 2020, la mayor precipitación acumulada se presentó en el mes de noviembre con 160,65 mm, registrando 22 días con presencia de lluvias (ver figura 16). Aun así, fue un periodo de altas precipitaciones, registrando de junio a septiembre acumulados entre 120 y 135 mm. En este tiempo, la evapotranspiración fue mayor en los meses de septiembre y octubre, con promedio mensual de 2,71 y 2,63 mm, respectivamente.

De acuerdo con la información consolidada de enero a octubre de 2021, se presentó baja precipitación en enero y junio, con solo 42,07 y 41,61 mm, respectivamente, en contraste con los meses de marzo y abril, que se caracterizaron por ser los más lluviosos, con acumulados de 190,81 y 218,55 mm. Estos valores corresponden a las precipitaciones más bajas y más altas, respectivamente, de todo el periodo evaluado. Respecto a la evapotranspiración, se registró el menor valor en marzo (2,0 mm) y el mayor en septiembre (2,8 mm).

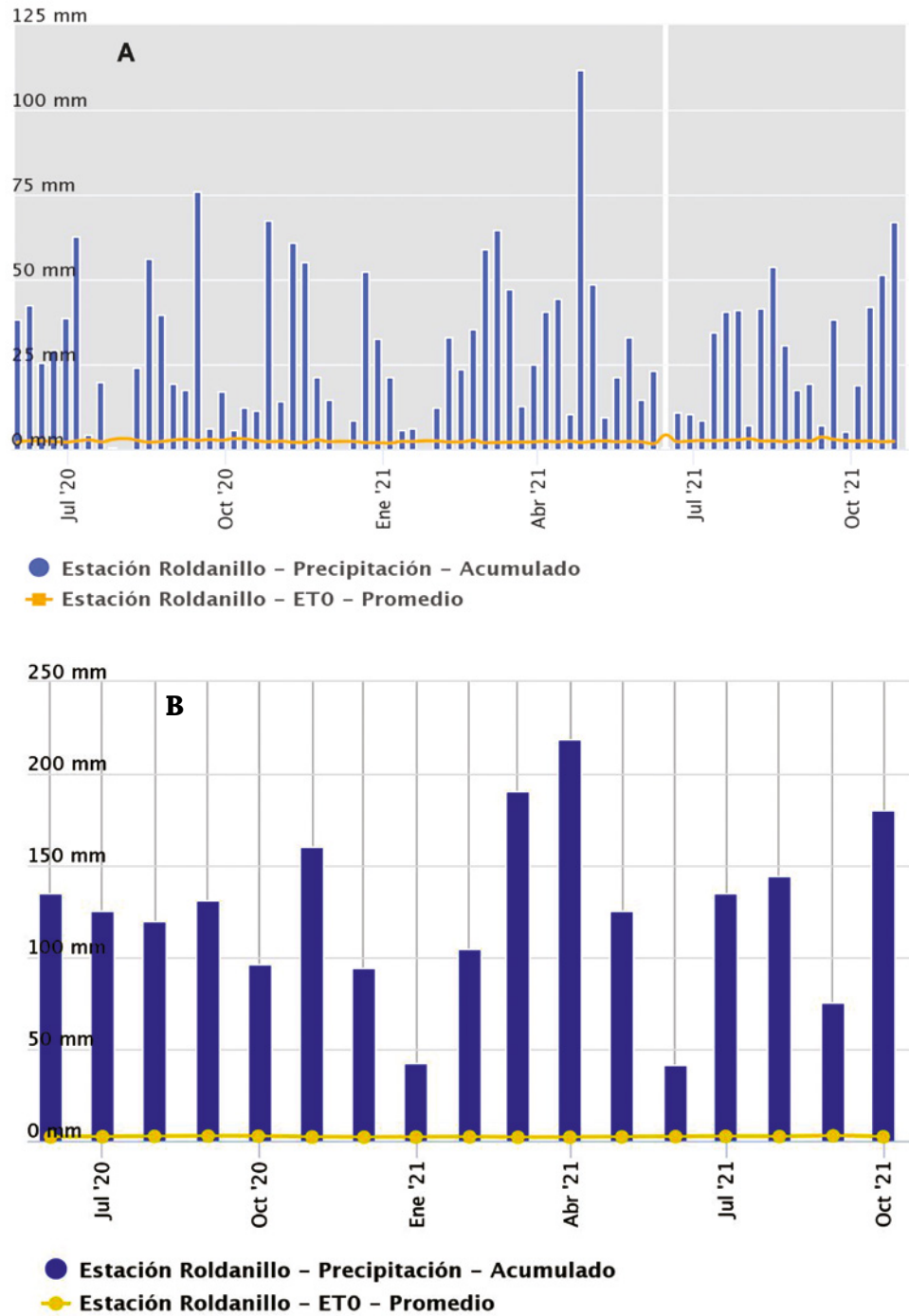


Figura 16. Precipitación acumulada y evapotranspiración (ETo) registrada en la estación meteorológica de la parcela, entre junio de 2020 y octubre de 2021. A. Información diaria. B. Información mensual

Fuente: plataforma Links (2021).



» Humedad relativa

La humedad relativa (HR) promedio para el segundo semestre del 2020 osciló entre 76 y 78 %, con un valor mínimo de 35,6 % en el mes de agosto y un valor máximo sin mayores variaciones, al oscilar entre 91 y 92 % durante el semestre (ver figura 17). Para el periodo de enero a octubre de 2021, la humedad relativa promedio osciló entre 76 y 80 %, con un valor mínimo de 33,4 % en julio; mientras que la HR máxima se mantuvo entre 91 y 95 %.

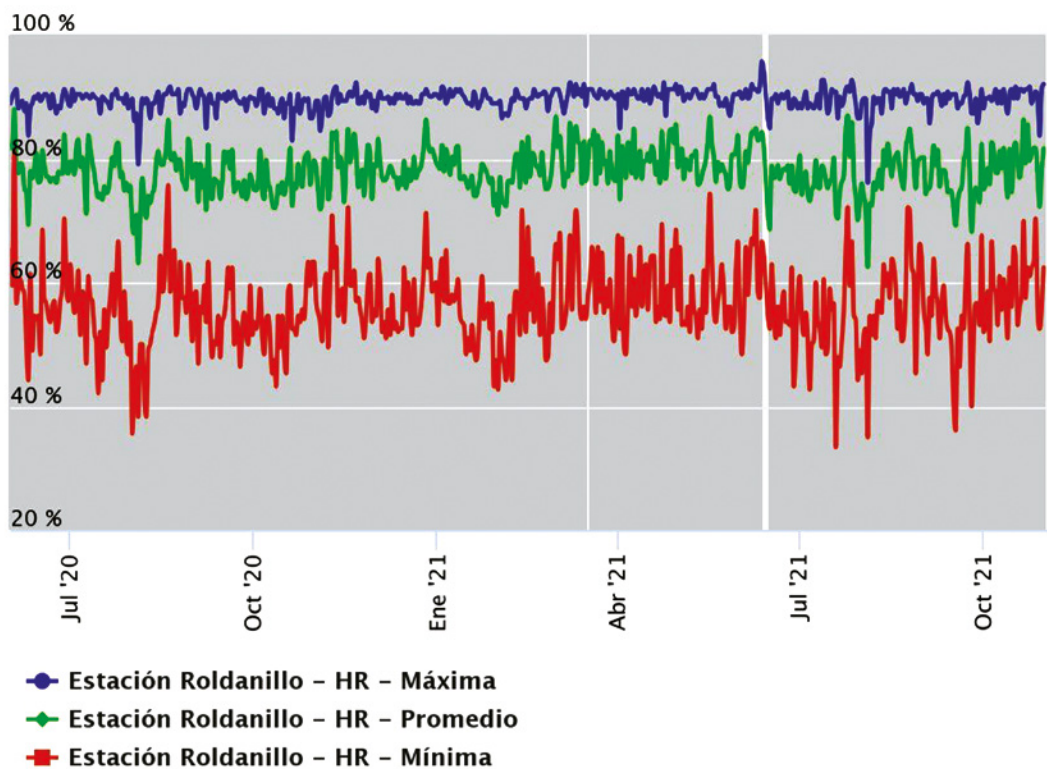


Figura 17. Humedad Relativa promedio, máxima y mínima registradas en la estación meteorológica de la parcela desde el mes de junio de 2020 a octubre de 2021

Fuente: plataforma Links (2021).

Humedad del suelo

Para el control de la humedad del suelo, se revisó diariamente los registros en los tensiómetros o sensores de humedad instalados a 15 y 30 cm de profundidad (ver figura 18), los cuales se instalaron en la parte media del lote y permitieron verificar la tensión del suelo y la necesidad de regar cuando se encontraban valores entre 10 y 35 centibares.



Figura 18. Tensiómetros a 15 y 30 cm de profundidad

Fuente: elaboración propia. Fotografías de P. Arango (2021).

Cálculo de variables para realizar el balance hídrico

El cálculo del fertirriego se realizó con el balance hídrico. Para ello, se requiere determinar las siguientes variables:

Uso consuntivo (K_c), que se refiere a la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo. Para el caso de aguacate, en esta zona, se utilizó un coeficiente de 0,7.

Evapotranspiración del cultivo (E_{tc}): se calculó con la evapotranspiración (E_{to}) y el uso consuntivo (K_c) (ecuación 3).

$$E_{tc} = E_{to} \times K_c \quad [3]$$

Necesidad de riego neta (NRN), definida como la cantidad de agua que requieren los cultivos para desarrollar su potencial productivo (Dorado *et al.*, 2017). Es la diferencia de la precipitación efectiva (P_e) y E_{tc} (ecuación 4).

$$NRN = P_e - E_{tc} \quad [4]$$

Necesidad de riego real (NRR): según los mismos autores citados, el valor de NRR depende del sistema de riego y del coeficiente de uniformidad (C_u). Se considera un C_u de 90 % para riego por goteo. Se calculó con la NRN y C_u (ecuación 5).

$$NRR = \frac{NRN}{C_u} \quad [5]$$

Volumen de riego (V): se halló a partir de la NRR y el área efectiva de riego (ecuación 6).

$$V(L) = NRR \times 1 \left(\frac{L}{m^2 \text{ día}} \right) \times \text{Área planta} \quad [6]$$



Tiempo de riego (T): depende del volumen de agua por aplicar, del caudal y del número de goteros por árbol (ecuación 7).

$$T(\text{horas}) = \frac{\text{Volumen}}{Q_{\text{Gotero}} \times N.^{\circ} \text{Goteros}_{\text{árbol}}} \quad [7]$$

La información de todas las variables se consignó diariamente, para llevar un control del balance hídrico y programar las aplicaciones del fertirriego. La decisión final de realizar la práctica dependía de los valores de la precipitación, evapotranspiración y retención de humedad del suelo.

Definición del plan de fertirriego

Análisis de la calidad del agua y disponibilidad de nutrientes en suelo y tejido foliar

De igual manera, para el establecimiento, seguimiento, aplicación y ajuste del plan de fertirriego de acuerdo con las necesidades del cultivo, se tomaron muestras de agua, suelo y tejido foliar en 3 periodos diferentes (1 antes y 2 después de la instalación del fertirriego), con 1 adicional para los análisis foliares. La muestra de agua se tomó de la tubería que ingresa a la finca desde el nacimiento. Para el análisis edáfico, se extrajeron 2 muestras compuestas (correspondientes al sector 1 y 2 de la subparcela 2 [parte alta y baja, respectivamente]) y para el análisis foliar se tomó una muestra compuesta de 10 árboles de cada sector del lote, extrayendo de cada árbol 4 hojas de la zona media de la copa (Carabalí *et al.* 2019), seleccionando la tercera o cuarta hoja madura y bien formada.

El segundo muestreo para cada una de las variables se realizó en diciembre de 2020 y el tercero en junio de 2021 (segundo y octavo mes después de iniciar el fertirriego). Todas las muestras (ver figura 19) fueron enviadas al laboratorio de CampoLab para su respectivo análisis.



Figura 19. Muestras tomadas en la finca El Encanto. A. Muestras de agua. B. muestras de tejido foliar. C. Muestras de suelo.

Fuente: elaboración propia. Fotografías de G. Escobar (2020).



Los resultados e interpretación de los análisis foliares y de suelos se ajustaron a las necesidades del cultivo de aguacate Hass. Para la interpretación de los análisis foliares se consideró el índice de balance de nutrientes (IBN), técnica sugerida por Rebolledo y Dorado (2017) y Carabalí *et al.* (2019), para definir los planes de fertilización en árboles frutales. De igual manera, para la interpretación de los análisis de suelo, se consideraron los criterios definidos por estos mismos autores para los planes de fertilización en el cultivo de aguacate Hass, así como los sugeridos por Hernández (2013) y Castro (2020).

Preparación y nivelación de la solución nutritiva

Con base en estudios realizados por Montgomery y Castro (2017) y Silber *et al.* (2018), resultados de análisis (agua de riego, suelo y tejido foliar) y teniendo en cuenta las concentraciones de nutrientes requeridas (ver tabla 8), se desarrolló el plan de fertirrigación para el cultivo de aguacate Hass, finca El Encanto, considerando 2 soluciones nutritivas con variación en la dosis y tipo de fertilizantes. Estas opciones fueron analizadas por el equipo técnico para seleccionar la solución nutritiva más adecuada según la edad y etapa fenológica del cultivo.

Tabla 8. Intervalos de concentraciones de nutrientes recomendados para aguacate Hass

Nutriente*	Concentración (meq/L)	
	Mín.	Máx.
$\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$	1	3
K^+	1,1	4
Ca^{2+} y Mg^{2+}	2	4
HPO_4^-	4 % Σ de aniones	8 % Σ de aniones
SO_4^{2-}	2	---
Cl^-		1
Nutriente	Concentración (ppm)	
	Mín.	Máx.
Zn	10	---
B	1	2
Mn	10	---

*En el nitrógeno es la suma de iones. Sin referencias máximas para SO_4^{2-} . Sin referencias máximas para Zn y Mn.

Fuente: Montgomery y Castro (2017).

Una vez identificada la solución nutritiva, el agrónomo de campo realizó un control permanente de la solubilidad de los fertilizantes, verificando la interacción entre nutrientes y compatibilidad entre los productos, como lo sugieren Montgomery y Castro (2017). Asimismo, se realizó seguimiento del pH y de la conductividad eléctrica de la solución, desde su preparación hasta el final del recorrido por el sistema de fertirriego, incluyendo el suelo correspondiente al área de riego (ver figuras 20 y 21) para evitar afectaciones en los árboles de aguacate por saturación de sales. Para ello, se recibió capacitación sobre uso del equipo por parte de la empresa Hanna Instrument.



Figura 20. Prueba de solubilidad de los fertilizantes

Fuente: elaboración propia. Fotografía de G. Escobar (2020).



Figura 21. Medición de pH y conductividad eléctrica en: A. Solución de los tanques de preparación. B. Salida de los emisores. C. Suelo del área de riego. D. Solución extraída del suelo mediante sondas de succión

Fuente: elaboración propia. Fotografías de J. Guerrero (2020), G. Escobar (2020) y P. Arango (2021).

Calibración e inyección del fertilizante

La calibración de la inyección se realizó con la medición de los diferentes caudales en los cuales se diluyó la solución nutritiva. Posteriormente, se calculó la relación de dilución, que permitió aumentar la concentración de fertilizante en el tanque respectivo.

Inicialmente, se midieron los caudales de la tubería principal, la tubería que se dirige a los inyectores y la salida del motor (ver tabla 9). El caudal de la tubería principal se midió con un tanque de 200 L, mientras que para las demás, se utilizó un recipiente de 12 L con 3 repeticiones.

Este control de caudal en las tuberías permitió identificar fallas en succión de los Venturi, debido a que el sitio donde se encontraba el tanque de almacenamiento presentaba una pendiente pronunciada, lo que generó mayor velocidad en el movimiento del agua y un



caudal superior al requerido en la entrada de los inyectores. Por esta razón, se decidió abrir la llave de la tubería hacia los inyectores solo a mitad de su capacidad.

Tabla 9. Caudal de la tubería principal, tubería cerca inyectores y salida del motor (L/min)

Punto de medición	Número de medición	Tiempo (s)	Tiempo (min)	Caudal (L/min)
Tubería principal cerca de tanques principales	-	-	-	100
Llave abierta hacia inyectores (volumen 12 L)	1	8,27	0,138	87,06
	2	8,1	0,135	88,89
	3	7,92	0,132	90,91
	Promedio	8,10	0,135	88,95
Llave medio abierta hacia inyectores (volumen 12 L)	1	17,14	0,29	42,01
	2	15,56	0,26	46,27
	3	16,50	0,28	43,64
	Promedio	16,40	0,27	43,97
Salida del motor	1	9,94	0,17	72,43
	2	10,24	0,17	70,31
	3	9,56	0,16	75,31
	Promedio	9,91	0,17	72,69

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a las relaciones de dilución, se calcularon las que presentaron la solución nutritiva en el sistema de fertirriego, tanto en el paso a los inyectores como en la salida del motor hacia la tubería principal. Asimismo, se calcularon las diluciones totales en cada caudal de inyección de los fertilizantes (ver tabla 10).

Tabla 10. Relación de la inyección del fertilizante a la tubería principal

Relaciones de dilución	Inyección L/min				
	1	2	3	4	5
Llave medio abierta hacia inyectores	43,90	21,95	14,63	10,98	8,78
Salida del motor hacia tubería principal	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
Total de la relación	45,28	23,33	16,01	12,35	10,16

Fuente: elaboración propia.

Con las anteriores relaciones de dilución, se preparó la solución en los respectivos tanques con el fin de obtener la concentración de elementos requerida en la solución final, es decir, la que sale por los goteros.

Paralelamente, entre las labores de aplicación de riego, se realizaron lavados constantes del filtro de anillos y de la motobomba para evitar taponamiento por sedimentos provenientes del nacimiento de agua (ver figura 22).

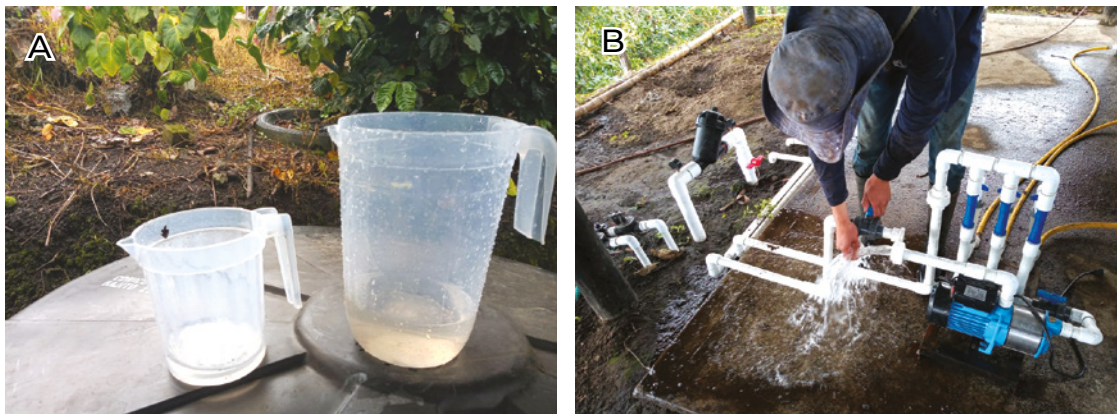


Figura 22. A y B. Limpieza de tuberías en el sistema de fertirriego.

Fuente: elaboración propia. Fotografías de G. Escobar (2020).

Durante la fase de establecimiento y desarrollo de la parcela demostrativa de aguacate Hass, se tuvo acompañamiento del equipo técnico del proyecto, como se muestra en el anexo A. Asimismo, la instalación del equipo de fertirriego, la obtención de muestras para los análisis de agua, suelo y tejido foliar, como la interpretación de resultados, y la propuesta del plan de fertilización (definición de la solución nutritiva, fuentes de fertilizantes, dosis y tiempos de aplicación) se hicieron con el acompañamiento del ingeniero agrónomo del equipo, quien, además, ejecutaba y supervisaba permanente las actividades programadas en la finca El Encanto.

3.1.4 Análisis de propiedades fisicoquímicas de los frutos

Para los estudios fisicoquímicos de los frutos de aguacate, se recolectaron 8 muestras al azar por subparcela en cada cosecha del año 2021 (traviesa y principal), verificando que no presentaran daños físicos o presencia de plagas. Posteriormente, las muestras fueron enviadas para su análisis al laboratorio de calidad y poscosecha de productos agrícolas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Una vez en el laboratorio, cada fruto se partió a la mitad y retiraron la semilla y la cáscara, homogenizando la pulpa (ver figura 23). Seguidamente, analizaron en cada muestra las siguientes características fisicoquímicas: evaluación instrumental de color; caracterización física completa de semilla, fruto y corteza; firmeza; determinación de pH, acidez titulable y sólidos solubles, fibra cruda y grasa. Las pruebas en cada análisis se hicieron por triplicado.

3.1.5 Análisis de la información

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó un diseño de bloques completos al azar, en el que la altura sobre el nivel de mar se consideró como factor bloque y el uso o no de fertirriego como factor de tratamiento. Las corridas del análisis exploratorio y análisis de varianza del experimento se realizaron empleando el *software* estadístico R versión 4.1.1 (2021-08-10).

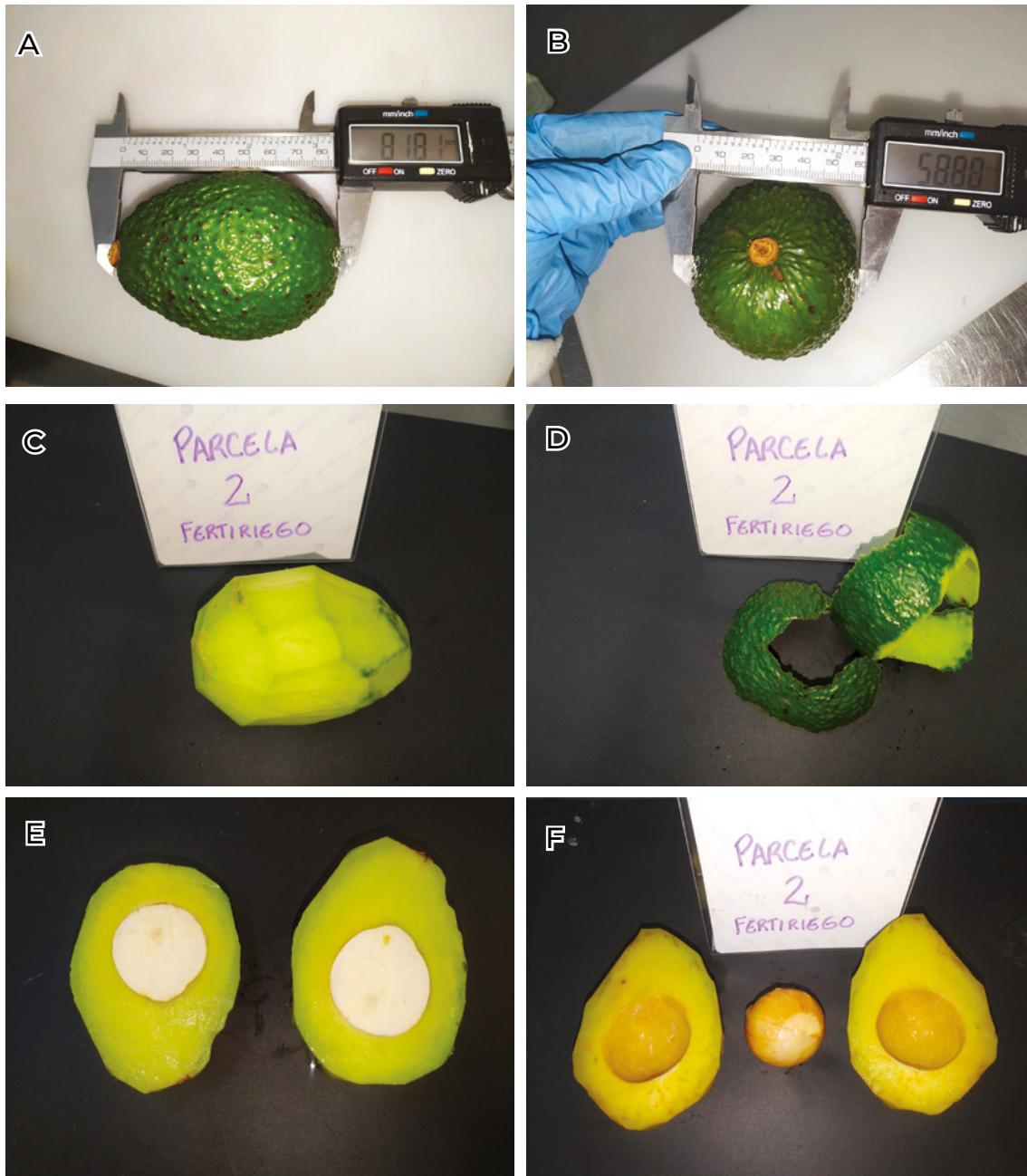


Figura 23. Protocolo para caracterización física de los frutos de aguacate Hass: A-B. Medición de los frutos. C-D. Separación de la corteza. E. División de los frutos. F. Separación de la semilla

Fuente: elaboración propia. Fotografías de S. Mendoza (2021).



3.2 Resultados y discusión

3.2.1 Propiedades físicas del suelo

Los suelos de la parcela presentan una textura franco-arcilloarenosa, baja densidad aparente, buena porosidad total y alta capacidad de retención de humedad (ver tabla 11), indicando condiciones favorables tanto para el almacenamiento y movilidad del agua al interior del suelo, como para el desarrollo de las raíces de los árboles de aguacate.

Tabla 11. Resultado de los análisis físicos del suelo realizados en la parcela demostrativa de aguacate Hass

Parámetro		Unidad	Profundidad		Métodos aplicados
			0-15 cm	15-30 cm	
Densidad real		g/cm ³	2,44	2,43	Picnómetro
Densidad aparente		g/cm ³	0,85	0,88	Terrón parafinado
Distribución de poros	Macroporosidad	%	23,1	26,4	Porosímetro de mercurio
	Microporosidad	%	42,0	37,4	
	Porosidad total	%	65,2	63,8	Fórmula
Retención de humedad	Capacidad de campo	%	56,07	57,92	Extractor de presión con platos de cerámica
	Punto de marchitez permanente	%	35,97	36,33	
	humedad aprovechable	%	20,1	21,6	Fórmula
Contenido de Arena		%	54	-	Bouyoucos
Contenido de Limo		%	24	-	
Contenido de Arcilla		%	22	-	
Textura			FARA*	-	

* FARA: franco-arcilloarenoso

Fuente: elaboración propia.

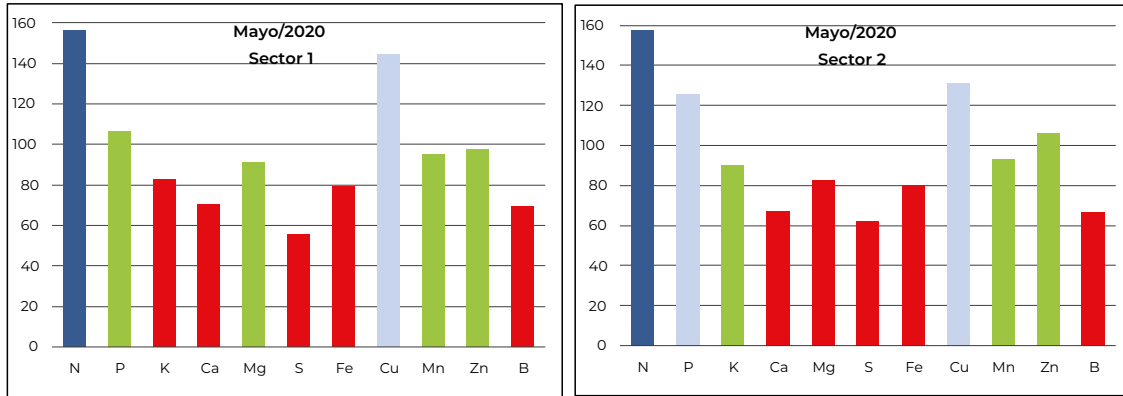
3.2.2 Agua de riego y disponibilidad de nutrientes

Los resultados del análisis de agua indicaron un pH moderado de 7,58 y baja conductividad eléctrica 0,20 dS/m, sin problemas de toxicidad por exceso de algún elemento o nutriente (Castellón *et al.*, 2105; Monge, 2021). No se identificaron coliformes o microorganismos aerobios y anaerobios (ver anexo B).

De acuerdo con los resultados de los análisis foliares (ver anexo C y figura 24) y considerando para su interpretación el criterio de índice de balance de nutrientes (IBN) sugerido por Dorado y Rebolledo (2017) y Carabalí *et al.* (2019), se encontró que al iniciar el establecimiento de la parcela demostrativa, el sector 1 (parte alta) de la subparcela 2 (en la que se instaló el fertirriego) presentó cantidades adecuadas de P, Mg, Mn y Zn, mientras que K, Ca, S, Fe y B se registraron en bajos contenidos. El N se presentó en exceso y el Cu por encima de lo normal.



Para el sector 2 (parte baja) de la subparcela 2, el análisis del tejido foliar mostró cantidades adecuadas de K, Mn y Zn. Los nutrientes Ca, Mg, S, Fe, B se hallaron por debajo de lo normal, a diferencia de P y Cu, que estaban por encima del valor normal y el N que se presentó en exceso, igual que en el sector 1.



% índice de balance	15	49	Escasez	
	49	83	Debajo de lo normal	
	83	117	Normal	
	117	151	Arriba de lo normal	
	151	185	Exceso	

Figura 24. Resultado e interpretación de los análisis de tejido foliar antes establecimiento del fertirriego (mayo de 2020), sector 1 y sector 2 de la subparcela con fertirriego. Interpretación según Rebolledo y Dorado (2017) y Carabali *et al.* (2019)

Fuente: elaboración propia.

El análisis de suelos para el sector 1 (ver tabla 12) mostró que los contenidos de MO, Mg, K se encontraban en niveles altos, según el rango de valores presentados por el ICA (1992), Hernández (2013) y Dorado y Rebolledo (2017). Los niveles de Ca, P, B, Fe y la CIC se encontraron en niveles normales, mientras que S, Cu, Mn y Zn registraron bajo contenido.

En la parte baja de la subparcela (sector 2), la cantidad de nutrientes en el suelo fue similar a la parte alta, excepto por los mayores contenidos de Ca, P, Mn, Cu y, especialmente, Fe, el cual pasó de 75,1 a 113 ppm. Con respecto a la conductividad eléctrica y el contenido de Al⁺, los niveles no presentaron limitantes para el cultivo.



Tabla 12. Resultados e interpretación del análisis de suelo realizado al sector 1 y 2 de la subparcela 2 antes de establecer el sistema de fertirriego

Parámetro	Unidad	Antes del fertirriego		Metodologías analíticas*
		Sector 1 (Parte alta de subparcela)	Sector 2 (Parte baja de subparcela)	
pH		6,04	5,83	Relación 1:2
CE	dS/m	0,21	0,22	Relación 1:2
Carbono orgánico	%	4,5	3,36	Walkley Black
MO	%	7,75	5,77	C.O. × 1.72
AL+H ⁺	cmol(+)/kg	0,08	0,12	—
Potasio	cmol(+)/kg	1,1	0,93	Acetato de amonio–A.A.
Magnesio	cmol(+)/kg	3,27	3,26	Acetato de amonio–A.A.
Calcio	cmol(+)/kg	9,71	11,4	Acetato de amonio–A.A.
CIC	cmol(+)/kg	14,3	15,8	Acetato de amonio – Sumatoria
Fósforo	mg/kg	11,6	16,1	Bray II
Azufre	mg/kg	9,25	9,08	Fosfato Monocálcico
Boro	mg/kg	0,22	0,3	Fosfato Monocálcico
Hierro	mg/kg	75,1	113	DTPA–A.A.
Manganeso	mg/kg	3,78	13,3	DTPA–A.A.
Cobre	mg/kg	0,4	1,95	DTPA–A.A.
Zinc	mg/kg	0,4	0,72	DTPA–A.A.

*Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Fuente: elaboración propia.

3.2.3 Solución nutritiva y plan de fertirriego

En el establecimiento del plan de fertirrigación y la preparación de la solución nutritiva se tuvo en cuenta la concentración inicial de nutrientes (ver tabla 13). Se revisó cada elemento para emplear la concentración máxima sugerida por Montgomery y Castro (2017) en la tabla 8. Además, se tuvieron en cuenta los análisis de suelos y tejido foliar, los requerimientos nutricionales del cultivo de aguacate Hass y las indicaciones de Montgomery y Castro (2017), Carabalí *et al.* (2019) y Tamayo y Osorio (2020).



Tabla 13. Cálculo de la concentración de nutrientes para la solución nutritiva

	Aniones (meq/L)					Cationes (meq/L)					pH	CE (mScm1)
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		
Agua de riego	0,19	0,68	0,05	0,99	0,05	0,03	0,03	0,87	0,69	0,33	7,58	0,2
Disolución ideal	2,7	0,3	0			0,3	3	4	3			
Aportes previstos	2,51	-0,38	-0,05	0	-0,05	0,27	2,97	3,13	2,31	-0,33	-7,58	-0,2

Fuente: elaboración propia.

Una vez definida la concentración de la solución, se estableció la propuesta para la fuente y dosis de los fertilizantes (ver tabla 14), la cual fue avalada tanto por el asesor y director del proyecto, como por el comité técnico del mismo, quienes dieron la aprobación formal. Posteriormente, se estimó el plan de inversión dirigido a la obtención de los insumos requeridos para el establecimiento de la parcela.

Tabla 14. Fertilizantes y dosis estimadas para la implementación del plan nutricional

Fertilizantes	gr/L
Nitrato de calcio	0,37
Fosfato monopotásico	0,04
Sulfato de potasio	0,26
Sulfato de magnesio	0,28
Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	0,006
Quelato de manganeso	0,11
Quelato de zinc	0,11

Fuente: elaboración propia.

Considerando las compatibilidades entre fertilizantes y para evitar la formación de precipitados, se prepararon 3 mezclas en sus respectivos tanques:

- Tanque 1: mezcla de sulfato de potasio con fosfato monopotásico, que proporcionó acidez a la solución.
- Tanque 2: mezcla de nitrato de calcio + boro, el cual incrementó ligeramente el pH de la solución.
- Tanque 3: mezcla de sulfato de magnesio + Quelatos de zinc y manganeso, también incrementó el pH de la solución.



Una vez se estableció la práctica del fertirriego, se realizó la medición del pH y la conductividad eléctrica del agua de riego y de las soluciones nutritivas, tanto de la solución concentrada de los 3 tanques con los fertilizantes, como de la solución final (ver tabla 15). Esta labor se realizó de forma permanente para ajustar los valores de pH de la solución entre 6,4 y 7 (Rondón *et al.*, 2020) y los de conductividad eléctrica entre 0,83 y 1 dS/m, con el fin de no afectar la absorción de elementos y evitar problemas por salinidad (Montgomery y Castro, 2017).

Tabla 15. Valores de pH y CE (dS/m) de la solución nutritiva para fertirriego

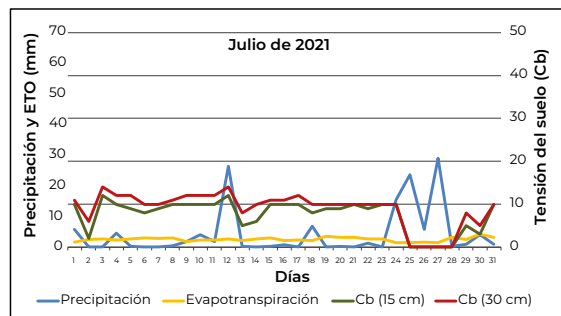
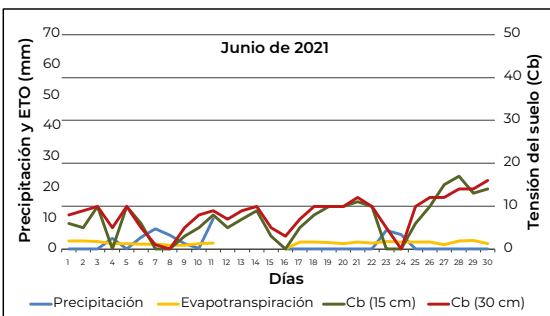
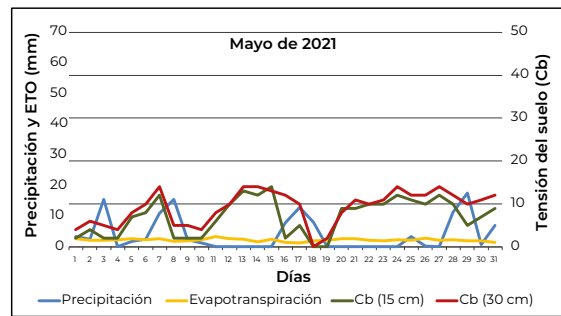
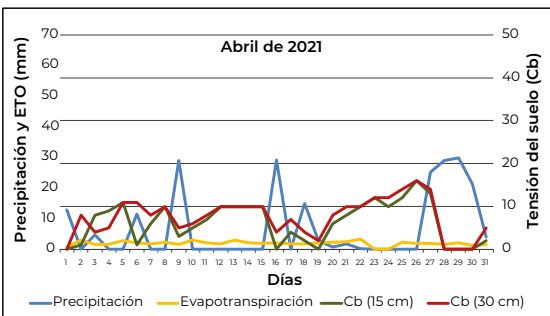
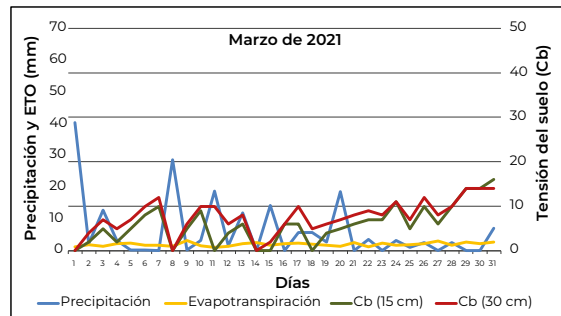
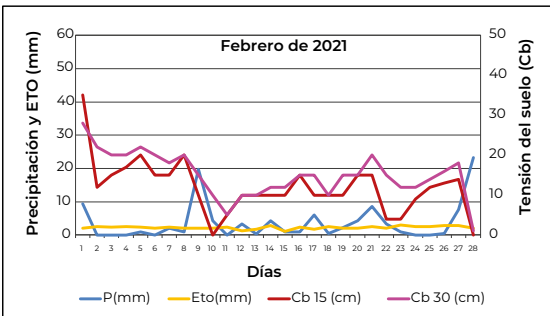
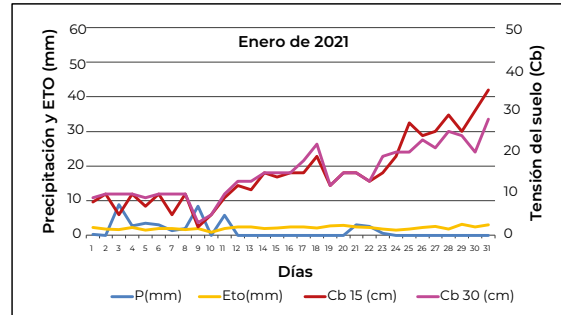
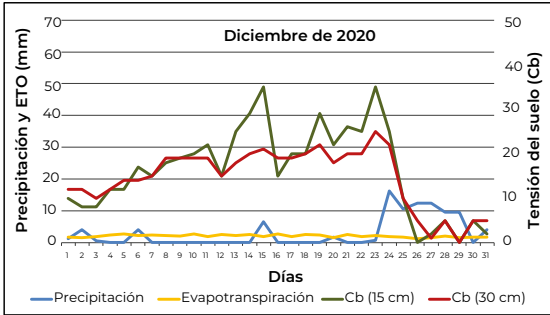
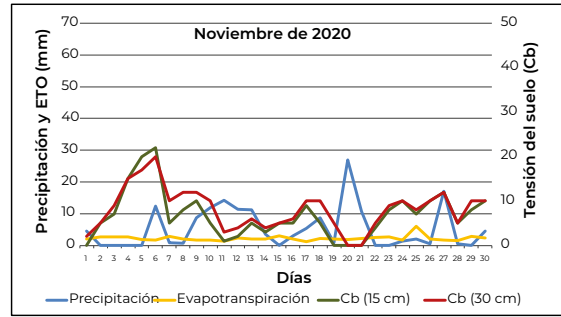
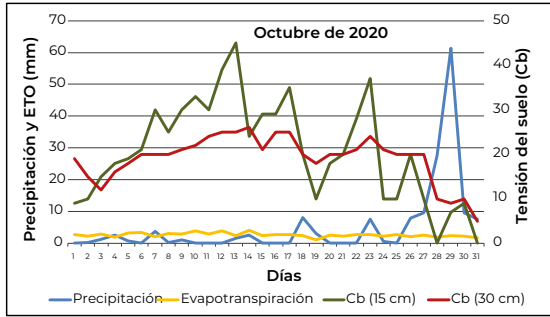
Descripción	pH	Conductividad eléctrica (dS/m)
Agua de riego	7,5	0,24
Tanque 1	3,03	>6
Tanque 2	7,8	>6
Tanque 3	7,6	>6
Solución nutritiva final	6,6	1,2

Fuente: elaboración propia.

Al medir la conductividad eléctrica de las soluciones concentradas contenidas en los 3 tanques, se encontraron valores superiores a 6 dS/m, pero la solución nutritiva final fue diluida luego de su paso por la tubería principal. Finalmente, la solución que sale por los goteros al cultivo presentó un pH de 6,6, valor adecuado, considerando el rango ideal para el cultivo de aguacate entre 5,5 y 7 (Rondón *et al.*, 2020).

3.2.4 Aplicación del fertirriego en aguacate Hass

Los registros diarios de precipitación, evapotranspiración y tensión del suelo (ver figura 25) permitieron tomar decisiones más acertadas en cuanto a la cantidad y frecuencia del riego. Esta práctica se realizó cuando las tensiones del suelo eran iguales o superiores a 10 centibares. Es importante anotar que, por la cobertura del dosel, las precipitaciones bajas, aunque superan la evapotranspiración, solo humedecen los primeros centímetros del suelo y no alteran el registro de los tensiómetros. Se debe advertir que para realizar el fertirriego se recomienda la instalación de una batería de tensiómetros en el cultivo que indique la disponibilidad de agua en el suelo.



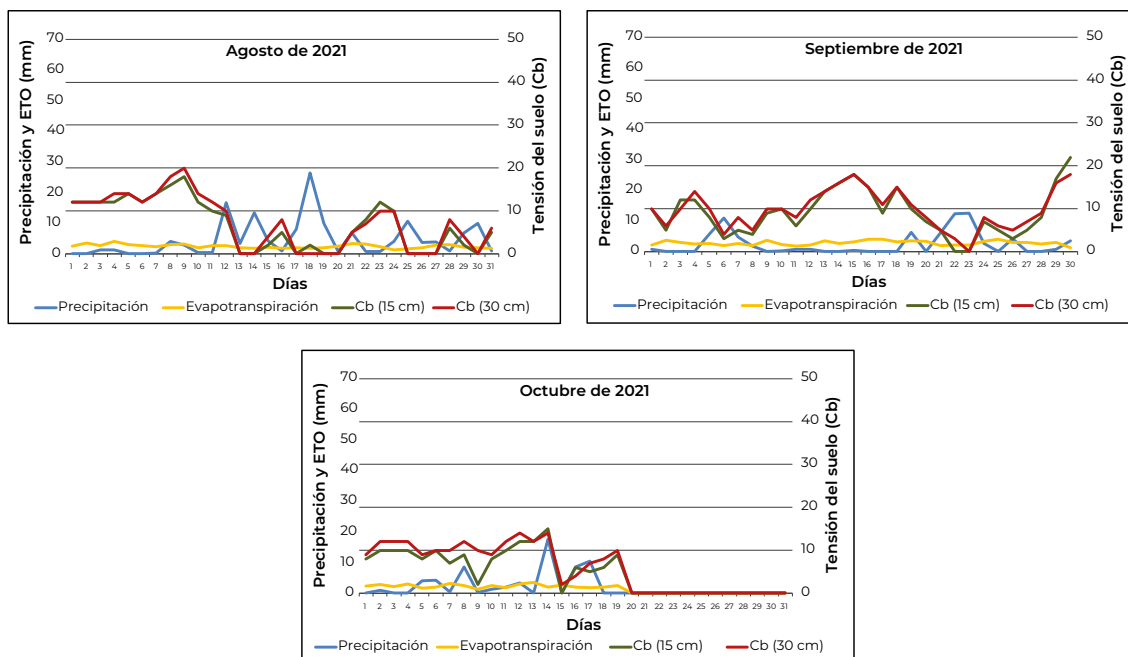


Figura 25. Relación entre las tensiones del suelo (Cb) con la precipitación y evapotranspiración durante los meses de octubre de 2020 a octubre de 2021 en la finca El Encanto, municipio de Roldanillo, Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia.

En consecuencia, se tuvieron diferentes láminas de agua y tiempos de fertirriego en los meses evaluados (ver tabla 16). Esto implicó realizar el mayor número de aplicaciones en los meses de enero, febrero, junio y julio, lo cual coincide con las 2 temporadas secas en el departamento (Ideam, 2021), mientras que durante los meses de marzo, abril y octubre de 2021 se registraron mayores precipitaciones (ver figura 26), las que influyeron en la frecuencia de riego, inyección de la lámina de agua por reponer y fertilización. La disminución de los fertirriegos fue más evidente en estos meses, debido tanto a las altas precipitaciones (190,8, 213,2 y 180,1 mm, respectivamente) como al número de días con presencia de lluvias (23, 14 y 22 registros). Es importante anotar que, aunque el equipo de riego inició su funcionamiento desde el mes de agosto de 2020, los fertirriegos se realizaron partir de octubre.

Tabla 16. Lámina de riego y tiempo de riego acumulado para el periodo evaluado con fertirriego (octubre 2020–octubre 2021)

Año	Mes	Precipitación acumulada (mm)	Evapotranspiración (ETo)	Necesidad de riego real NRR* (mm)	Volumen de riego acumulado L/árbol	Tiempo de riego acumulado (min)
2020	Octubre	96,21	16,4	12,4	37,2	80
	Noviembre	160,7	11,2	7,1	21,4	16
	Diciembre	94,1	24,5	21,0	63,1	110



Año	Mes	Precipitación acumulada (mm)	Evapotranspiración (ETo)	Necesidad de riego real NRR* (mm)	Volumen de riego acumulado L/árbol	Tiempo de riego acumulado (min)
2021	Enero	42,07	49,0	50,7	152,0	149
	Febrero	104,9	39,1	38,4	115,4	129
	Marzo	190,8	16,7	16,9	50,6	54
	Abril	213,2	21,2	21,3	63,8	72
	Mayo	124,9	27,5	30,5	91,6	99
	Junio	41,4	31,3	34,7	104,2	132
	Julio	135,0	57,0	63,3	190,0	189
	Agosto	144,0	45,0	50,0	150,0	150
	Septiembre	75,12	45,2	50,2	150,5	162
	Octubre	180,1	22,8	25,3	76,0	98

* Lámina de riego aplicada.

Fuente: elaboración propia.

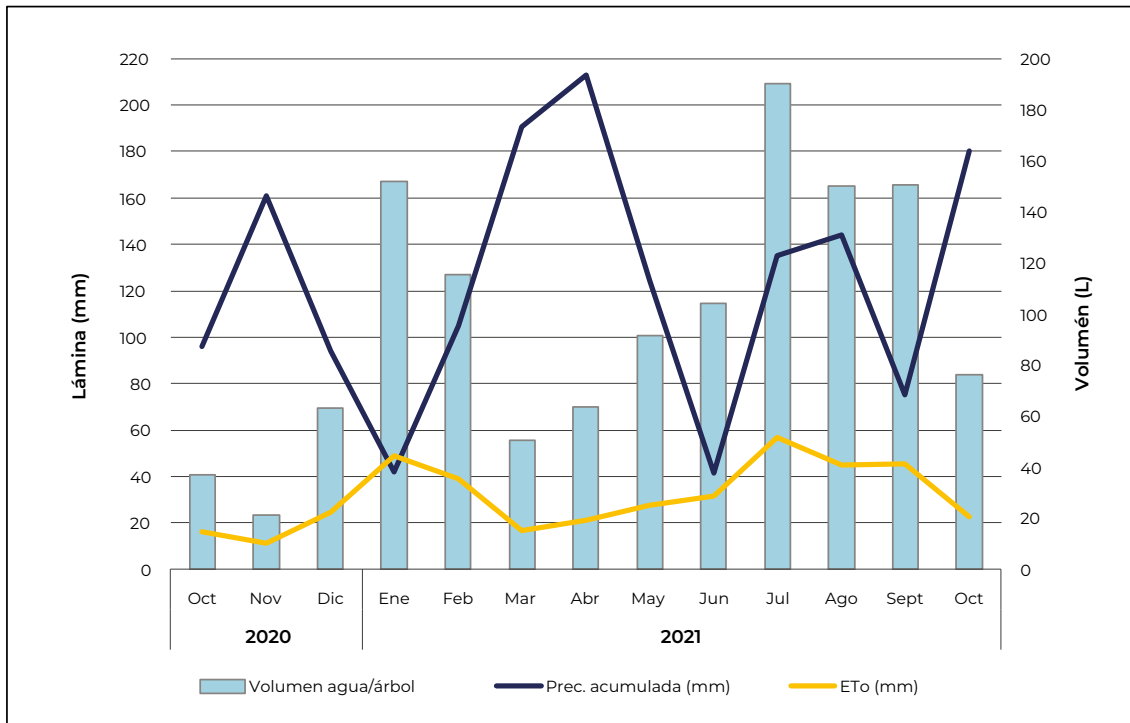


Figura 26. Distribución del fertirriego en la parcela de aguacate Hass durante el periodo evaluado (octubre 2020-octubre 2021)

Fuente: elaboración propia.

Debido al tiempo requerido para la adquisición de los fertilizantes empleados en el fertirriego y las altas precipitaciones en septiembre y noviembre de 2020, fue necesario realizar fertilizaciones granuladas en la subparcela con fertirriego (ver tabla 17), coincidiendo con algunas realizadas por el productor en la subparcela sin fertirriego. Sin embargo, para esta fase el agricultor cambió el fertilizante de uso tradicional por otros de mayor solubilidad y efectividad, tratando de simular las condiciones de la subparcela con fertirriego.



Tabla 17. Fertilizantes y dosis empleada en las fertilizaciones granulares realizadas en las 2 subparcelas de aguacate Hass

Subparcela con fertirriego				Subparcela sin fertirriego			
Fecha fertilización	Fertilizante	Dosis g/árbol	Total (kg)	Fecha fertilización	Fertilizante	Dosis g/árbol	Total (kg)
14/08/2020	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	600	56,4	14/08/2020	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	600	55,8
	15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B) + 0,2(Zn)	100	9,4		15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B) + 0,2(Zn)	100	9,3
28/09/2020	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	800	74,4	03/10/2020	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	600	55,8
	15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B)	150	13,95		15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B) + 0,2(Zn)	140	13,02
03/11/2020	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	950	88,35	03/11/2020	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	800	76
	15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B)	200	18,6		15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B) + 0,2(Zn)	200	19
23/04/2021	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	750	70,5	24/12/2020	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	800	74,4
	15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B)	200	18,8		15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B)	200	18,6
					3-0-0 + 6(S) + 2,5(B) + 0,5(Cu) + 17(SiO2) +15 (Zn)	100	9,3
				10/02/2021	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	600	74,4
					15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B)	100	18,6
					10-20-20	400	37,2
				14/04/2021	3-0-0 + 6(S) + 2,5(B) + 0,5(Cu) + 17(SiO2) +15 (Zn)	100	9,3
					19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	700	65,1
				01/06/2021	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	500	46,5
					15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B) + 0,2(Zn)	100	9,3
				19/07/2021	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	500	46,5
					15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B) + 0,2(Zn)	100	9,3
				13/09/2021	19-4-19 +3(MgO) +1,8(S) + 0,1(B) + 0,1(Zn)	500	46,5
					15-0-0 + 26(CaO) + 0,3(B) + 0,2(Zn)	100	9,3

Fuente: elaboración propia.



3.2.5 Cambios en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y contenido nutricional en los árboles de aguacate Hass después de iniciar el fertirriego

Se analizaron los cambios en la disponibilidad de nutrientes en el suelo por efecto del fertirriego en la subparcela 2 (con fertirriego). En el segundo análisis, realizado 2 meses después de iniciar la fertiirrigación (diciembre de 2020), se observó un incremento en los contenidos de P, S, B, y Zn, pasando de valores bajos y normales a niveles altos (ver tabla 18). El Fe y el Mn también aumentaron sus contenidos en el sector 1 (parte alta), mientras que en el sector 2 (parte baja) los niveles se conservaron altos para los 2 muestreos. Esto fue contrario a lo observado con el Cu, que mantuvo niveles bajos en el sector 1, pero se incrementó su contenido en el sector 2. En contraste, el Mn redujo su contenido al pasar de niveles altos a bajos. Importante anotar que el K y Ca, mantuvieron niveles altos en los 2 sectores de la subparcela y en las épocas de muestreo.

Respecto al balance entre nutrientes como Ca, Mg y K, se observó que las relaciones se ajustaban a la considerada “ideal”, excepto en Mg/K, que presentó una relación aceptable para los 2 sectores y en los 2 muestreos realizados después de establecer el fertirriego, por el alto contenido de K. De igual manera, al examinar el porcentaje de saturación de los nutrientes, se encontró saturación alta en K y Ca, mientras que el Mg mostró saturación media. Esta tendencia fue similar para los 2 sectores evaluados antes y después del fertirriego.

Cuando se compararon los cambios en el extracto de la solución del suelo con el uso del fertirriego (ver figura 27), se encontró que la mayoría de nutrientes incrementó su concentración en el tiempo, situación favorable considerando que es de donde las plantas toman los nutrientes. Este incremento fue más evidente en los niveles de N, K, P, Ca, Mg y S.

Al evaluar el contenido nutricional del tejido foliar en septiembre y diciembre de 2020, 1 y 3 meses después de iniciado el fertirriego (ver figura 28), se observó el incremento de algunos nutrientes en hojas. En este sentido, se encontró en el sector 1 (parte alta) un incremento del P, K y Fe, mientras que el Mg continuó en niveles normales y el N, en exceso. Sin embargo, se registró disminución en los valores de Cu y Mn, así como niveles críticos para Ca, S y B.



Tabla 18. Resultados e interpretación del análisis de suelo realizado a los sectores 1 y 2 de la subparcela 2, antes y después de establecer el sistema de fertirriego

Parámetro	Unidad	Subparcela con fertirriego								Subparcela con fertilización granular* Jun./2021	
		Sector 1 (parte alta de subparcela)				Sector 2 (parte baja de la subparcela)					
		Antes del fertirriego May./2020	Con fertirriego Dic./2020	Con fertirriego Jun./2021	Antes del fertirriego May./2020	Con fertirriego Dic./2020	Con fertirriego Jun./2021	Con fertirriego Jun./2021			
Químico											
pH		6,04	5,37	5,8	5,83	5,31	5,46	5,49			
CE	dS/m	0,21	0,55	1,23	0,22	0,48	0,73	1,04			
MO	%	7,7	8,6	7,5	5,8	6,4	6,7	8,1			
AL+H ⁺	cmol(+)/kg	0,08	0,21	0,12	0,12	0,25	0,2	0,2			
Potasio	cmol(+)/kg	1,1	1,56	2,5	0,93	1,91	2,37	2,42			
Magnesio	cmol(+)/kg	3,27	2,97	3,57	3,26	2,46	3,86	3,3			
Calcio	cmol(+)/kg	9,71	8,61	8,97	11,4	7,74	8,76	8,92			
ClC	cmol(+)/kg	14,3	13,5	15,2	15,8	12,5	15,3	15			
P	mg/kg	11,6	57,9	107	16,1	83,2	90,8	110			
Azufre	mg/kg	9,25	82,2	108	9,08	49	80,5	91,9			
Boro	mg/kg	0,22	0,68	1,87	0,3	0,5	1,12	1,0			
Hierro	mg/kg	75,1	123	230	113	218	245	126			
Manganeso	mg/kg	3,78	13,5	18,7	13,3	36,6	45,4	17			
Cobre	mg/kg	0,4	1,22	3,68	1,95	3,16	3,98	3,81			
Zinc	mg/kg	0,4	13,6	29,9	0,72	13,5	14,2	15,5			
Relación de bases intercambiables											
Ca/Mg		2,97	2,90	2,51	3,50	3,15	2,27	2,70			
Ca/K		8,83	5,52	3,59	12,26	4,05	3,70	3,69			
Mg/K		2,97	1,90	1,43	3,51	1,29	1,63	1,36			
(Ca+Mg)/K		11,8	7,42	5,02	15,8	5,34	5,32	5,05			

*Manejo del agricultor

Fuente: elaboración propia.

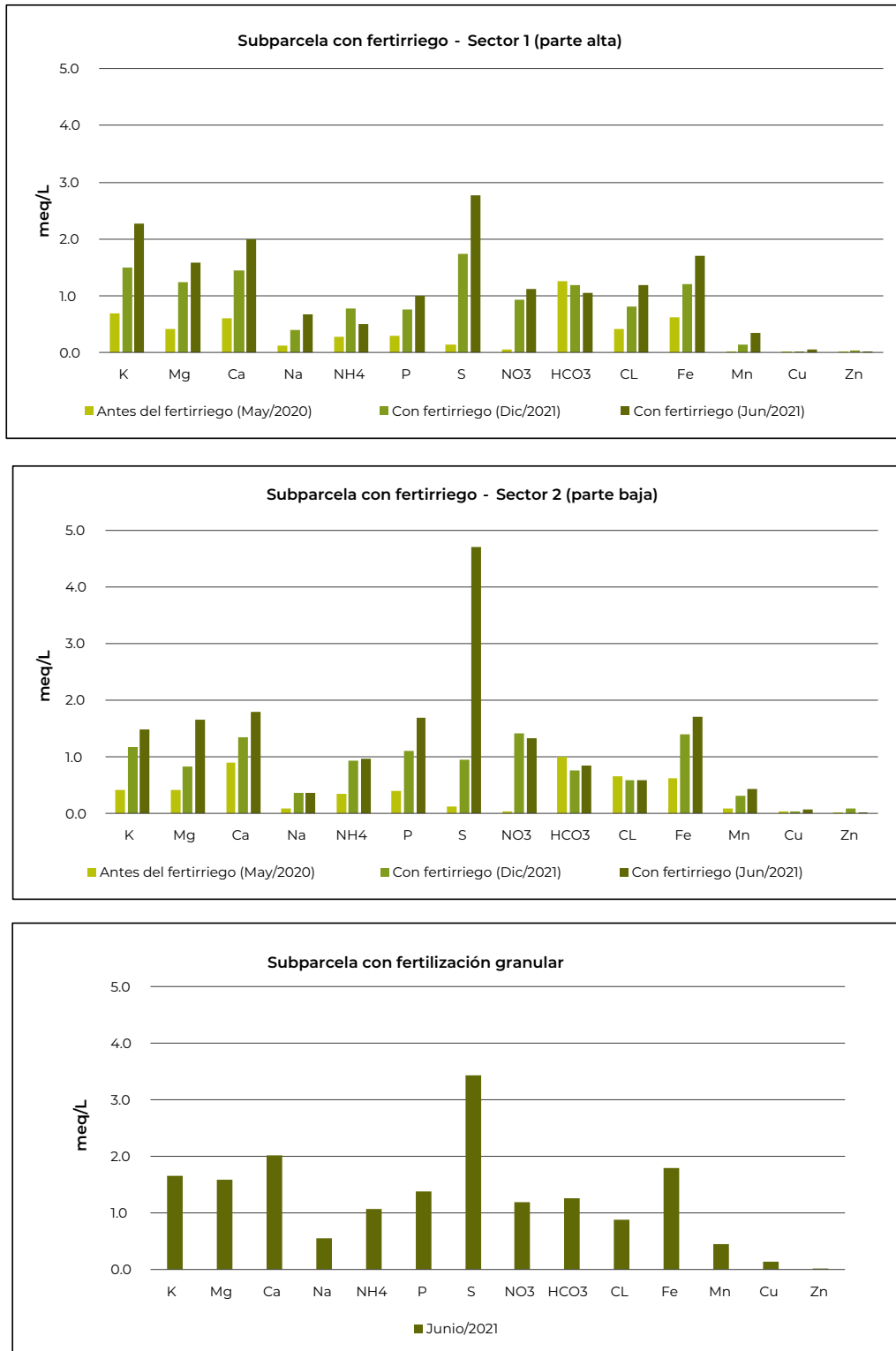
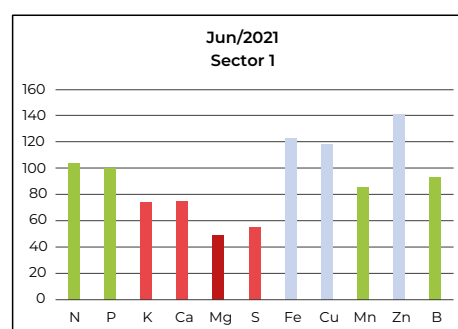
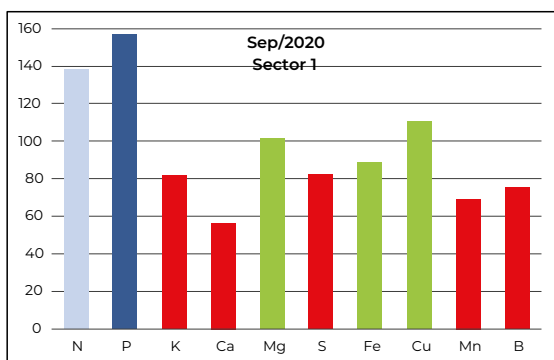
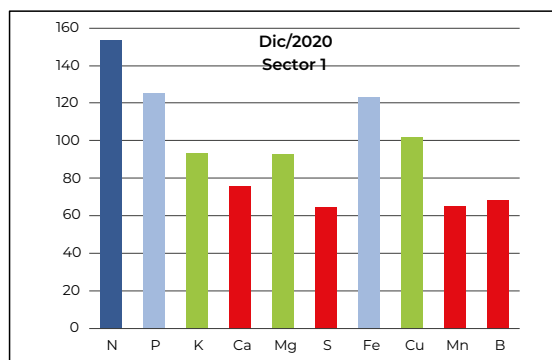
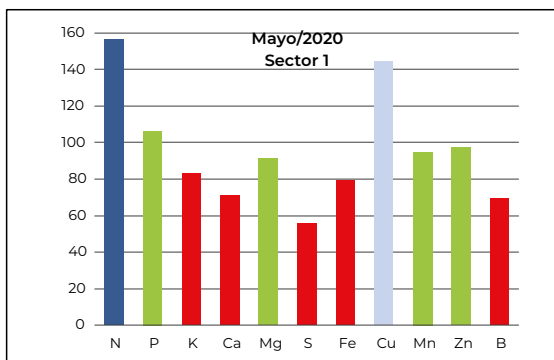


Figura 27. Concentración de iones solubles (meq/L) en extracto de saturación del suelo, antes y después del establecimiento del fertirriego

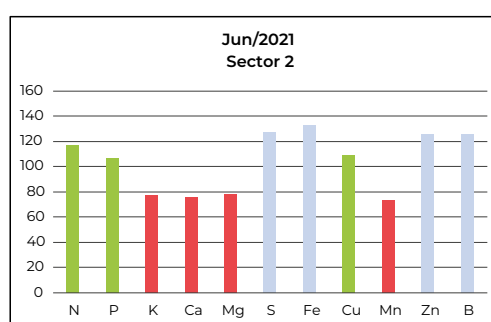
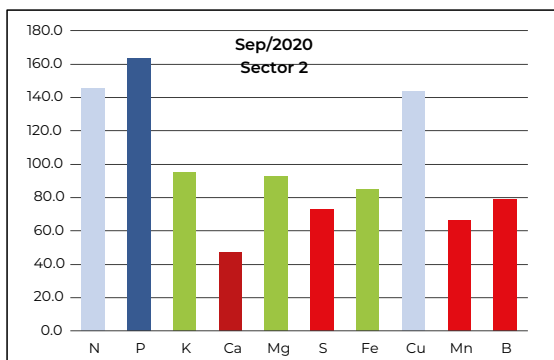
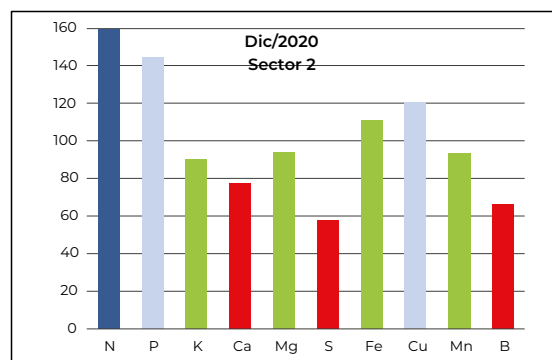
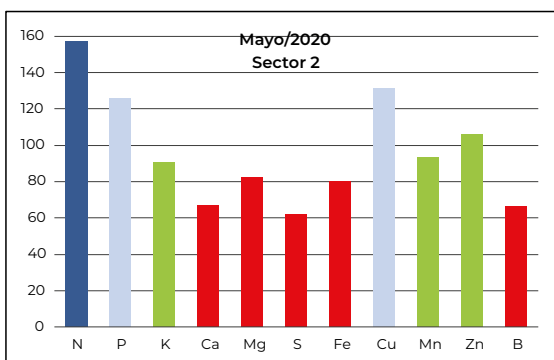
Fuente: elaboración propia.



Subparcela con fertirriego: sector 1



Subparcela con fertirriego: sector 2





**Subparcela sin fertirriego
(fertilización granular)**

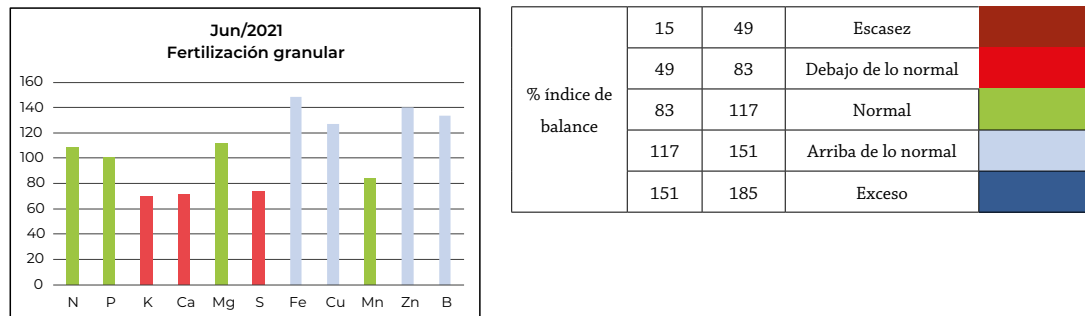


Figura 28. Resultado e interpretación de los análisis de tejido foliar realizados en las subparcelas de aguacate Hass antes (mayo y septiembre de 2020) y después del establecimiento del fertirriego (diciembre de 2020 y junio de 2021)

Fuente: elaboración propia basada en Rebolledo y Dorado (2017).

En el sector 2 (parte baja de la subparcela) se incrementó el contenido de Mg y Cu en hojas, igual que P y Fe. También, como ocurrió en el sector anterior, continuó el exceso de N y los niveles críticos en Ca, S y B.

Si bien la mayoría de los nutrientes estuvo en condiciones adecuadas en la zona de intercambio del suelo, no se encontró lo mismo en la solución del suelo ni tampoco en el tejido foliar, como se observó con Ca, S, Mn y B, nutrientes esenciales para las plantas, los cuales son requeridos en cantidades importantes por el aguacate Hass. Por esta razón, y teniendo en cuenta la condición del suelo y de los árboles de aguacate, se modificó el plan de fertilización (ver tabla 19) establecido al inicio del fertirriego, en el que además de la concentración de nutrientes, se priorizó el estado fenológico de los árboles. Estos cambios se realizaron a partir del mes de marzo de 2021, posterior al periodo de la cosecha traviesa.

Tabla 19. Ajustes del plan nutricional del cultivo de aguacate Hass para etapa de formación y desarrollo del fruto en la subparcela con fertirriego

Fertilizantes	gr/L
Nitrato de calcio	0,92
Fosfato monopotásico	0,08
Sulfato de potasio	0,53
Sulfato de magnesio	0,54
Ácido bórico	0,002
Quelato de zinc	0,02
Quelato de manganeso	0,01

Fuente: elaboración propia.



Para este plan de fertilización vía fertirriego, se consideraron las concentraciones de nutrientes en solución sugeridas por Sánchez (2020) para la etapa de fructificación (ver tabla 20), así como la conductividad eléctrica de la mezcla (1,5-2), teniendo en cuenta que los árboles de la parcela demostrativa se encuentran sobre patrones nativos, los cuales presentan tolerancia a la salinidad (Bernal y Díaz, 2020). Sin embargo, se realizó un monitoreo constante de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva y del suelo para evitar afectaciones en los árboles de aguacate.

Tabla 20. Concentración recomendada de algunos nutrientes en solución nutritiva en diferentes etapas fenológicas del aguacate Hass

Etapa fenológica	CE	Ppm					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Vegetativa	0,7-1	59	11	96	63	17	39
Inicio floración		80	16	137	90	24	56
Floración	1-1,3	84	16	137	90	24	56
Inicio fructificación		109	20	177	117	31	73
Fructificación	1,3-1,5	109	20	117	117	31	73
Plena cosecha		126	23	205	135	36	84
Fructificación	1,5-2	126	23	205	136	36	84
Alta demanda		168	31	237	180	48	112
Etapa fenológica	CE	meq/litro					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Vegetativa	0,7-1	4,21	0,35	2,46	3,15	1,4	0,81
Inicio floración		5,71	0,52	3,51	4,5	1,98	1,17
Floración	1-1,3	6,0	0,52	3,51	4,5	1,98	1,17
Inicio fructificación		7,79	0,65	4,54	5,85	2,55	1,52
Fructificación	1,3-1,5	7,79	0,65	4,54	5,85	2,55	1,52
Plena cosecha		9,0	0,74	5,26	6,75	2,96	1,75
Fructificación	1,5-2	9,0	0,74	5,26	6,75	2,96	1,75
Alta demanda		12	1,0	6,08	9,0	3,95	2,33

Fuente: Sánchez (2020).

Luego de 2 meses, posteriores al cambio el plan de fertilización (junio de 2021), y en periodo de formación de frutos para la cosecha principal, se realizó un tercer análisis edáfico que mostró un aumento considerable en el contenido de nutrientes en el suelo para los 2 sectores de la subparcela con fertirriego (ver tabla 18). No obstante, en la subparcela manejada por el agricultor con fertilización granular, se observaron contenidos similares debido al uso de fertilizantes solubles, solo el Mg registró contenidos cercanos a la etapa inicial, es decir, antes de iniciar el ensayo. Respecto a la solución del suelo (ver figura 27), los análisis también mostraron un incremento en los contenidos de nutrientes, este fue más evidente en S, K, Ca, Mg y P.



Para esta etapa, no se observaron cambios en la relación de las bases intercambiables Ca, Mg y K (ideal para Ca/Mg y Ca/K, aceptable para Mg/K). De igual manera, se registraron porcentajes similares en saturación (alta para K y Ca; y media para Mg). Esta misma tendencia se encontró en la subparcela manejada por el agricultor con fertilización granular, lo que corroboró que estos suelos presentan alta fertilidad.

A nivel foliar, se encontró una disminución en los contenidos de N, P, K y Mg (ver figura 27), pasando el K a niveles considerados por debajo de lo normal y el Mg a nivel escaso en el sector 1. En este mismo sector, el Ca y S en hojas continuaron en niveles bajos, mientras que Cu, Mn y B aumentaron. En el sector 2, aumentó el contenido de S, Fe y B, y disminuyó el Cu y Mn.

Esta reducción en los contenidos de K, N, Mg y P se debe a la traslocación desde las hojas hacia el fruto, pues se registran entre los nutrientes de mayor concentración en la fruta y, por tanto, los de mayor remoción (en su orden) por tonelada de fruta fresca (Díaz *et al.*, 2020).

3.2.6 Producción de aguacate Hass en la parcela demostrativa

Se realizó el registro de las cosechas travesía y principal de 2020 y 2021, la primera durante los meses de abril a mayo llamada *travesía* o *mitaca* y la segunda de septiembre a octubre o *cosecha principal*. En cada cosecha, se registró el rendimiento de fruto en árboles seleccionados y por subparcelas. Para septiembre de 2020, aunque se contaba con el sistema de fertirriego, las aplicaciones se iniciaron en el mes de octubre, es decir, las 2 cosechas de 2020 son preliminares al fertirriego.

Rendimiento de fruto por árbol

Al evaluar los árboles seleccionados como unidades experimentales (ver tabla 7) dentro de cada subparcela y cosecha, se encontró que en 2020 el rendimiento promedio de los 19 árboles en la subparcela 1 (sin fertirriego o con fertilización granular) fue de 53,8 kg/árbol en la cosecha travesía y 76,1 kg/árbol en la principal, con un rendimiento total en el año de 129,9 kg/árbol, mientras que en la subparcela 2 (aún sin fertirriego para estas 2 cosechas) el rendimiento promedio de los 14 árboles fue menor, con 41,9 kg/árbol para la cosecha travesía y 69,2 kg/árbol en la principal, con un rendimiento total en el año de 111,1 kg/árbol.

En 2021, ya con implementación del sistema de fertirriego en la subparcela 2, la producción de los árboles aumentó, lo que resultó en un rendimiento de fruto para la cosecha travesía de 84,2 kg/árbol y en la principal de 67,7 kg/árbol, con un acumulado en el año de 151,8 kg/



árbol. En contraste, en la subparcela 1 (sin fertirriego) el rendimiento promedio fue menor, con 77,9 kg/árbol en la cosecha traviesa y 60,7 kg/árbol en la principal, con rendimiento acumulado de 138,5 kg/árbol; es decir, la subparcela con fertirriego superó en 13,3 kg/árbol a la subparcela con fertilización granular. Aun así, al comparar estadísticamente los rendimientos por árbol de las 2 subparcelas por cosecha (ver figura 29) y acumulado por año (ver figura 30), no se observó un efecto del tratamiento de fertirrigación sobre la producción del cultivo. No obstante, los rendimientos por árbol en toda la parcela demostrativa superaron la producción registrada por Bernal (2016) en Marinilla y Jericó (Antioquía), donde obtuvieron 129,5 y 98,3 kg/árbol, respectivamente.

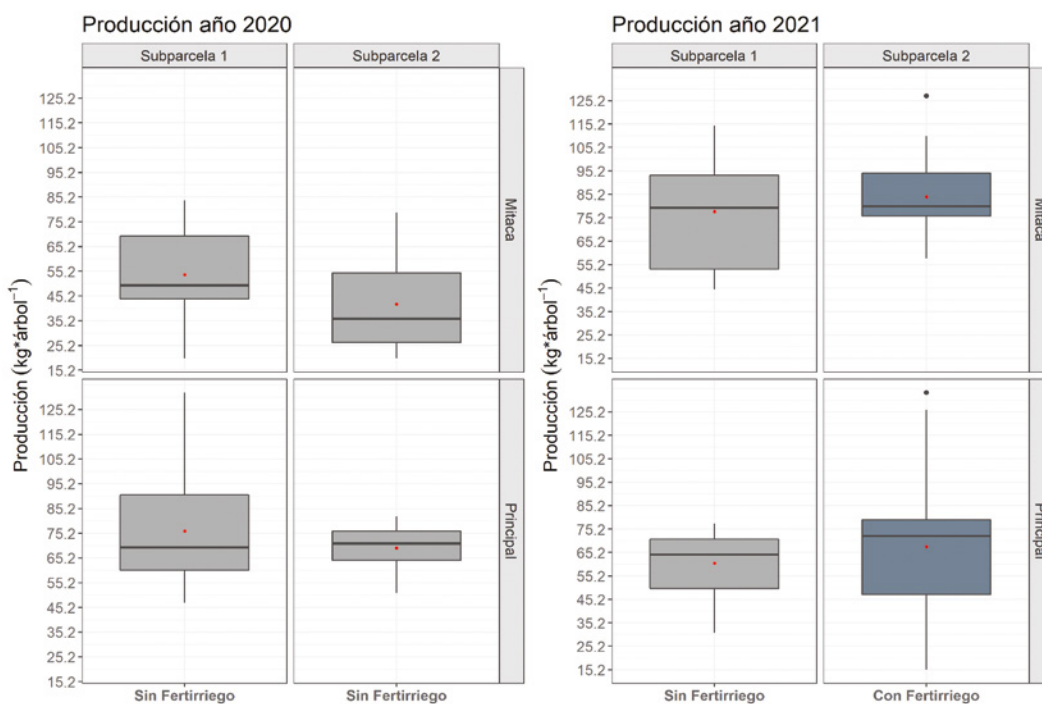


Figura 29. Rendimiento de fruto por árbol (kg) en la cosecha traviesa y principal de 2020 y 2021.

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).

Teniendo en cuenta que la parcela demostrativa se estableció en zona de ladera, sobre un terreno con pendientes superiores a 40 grados, se incluyó, en el análisis comparativo de las subparcelas, la altura sobre el nivel del mar a la cual están sembrados los árboles de aguacate Hass. En la figura 31 se muestran las alturas de siembra de los árboles en cada subparcela. En esta se puede observar que los árboles seleccionados como unidades experimentales en la subparcela con fertirriego tuvieron mayor dispersión comparados con los árboles de la parcela sin fertirriego.

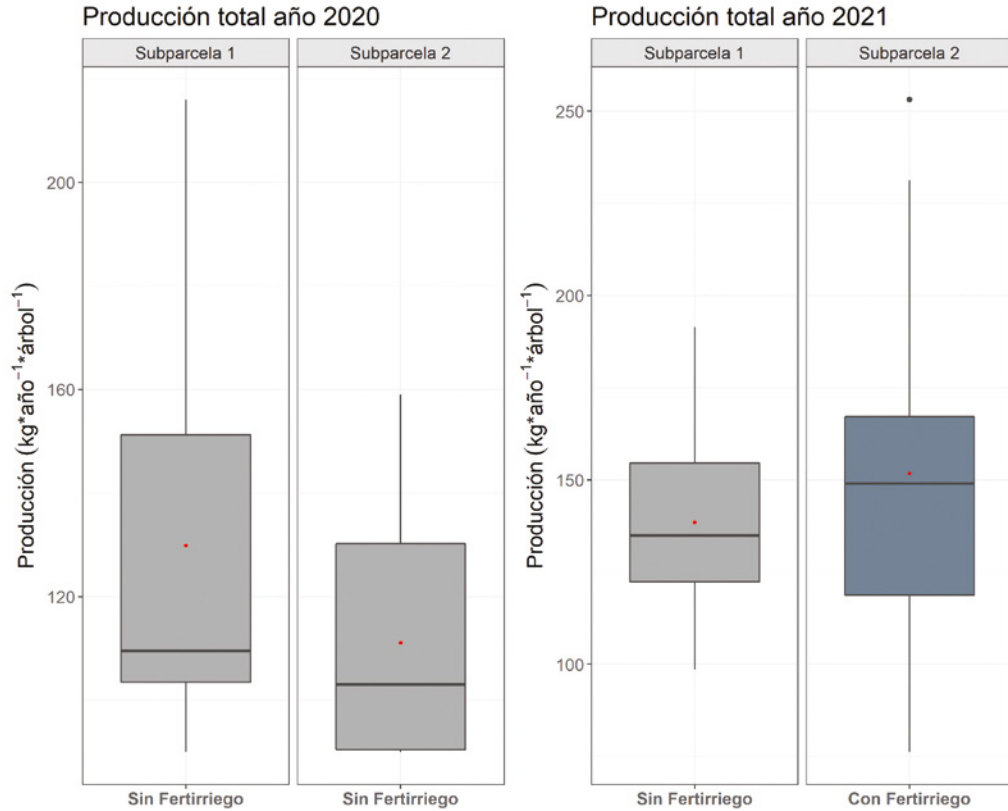


Figura 30. Rendimiento de fruto acumulado por árbol (kg) en la parcela demostrativa durante 2020 y 2021

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).

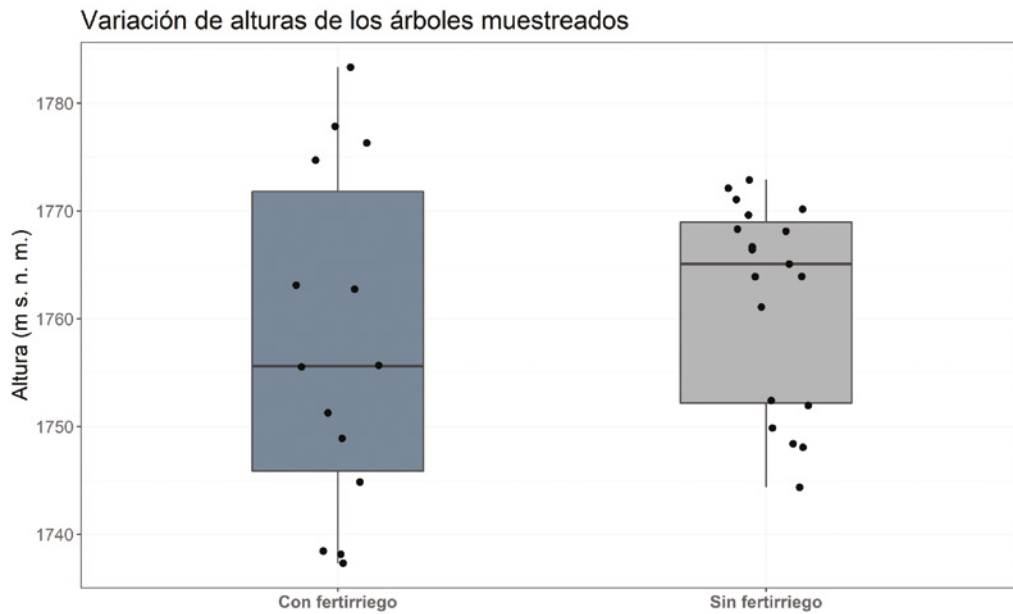


Figura 31. Dispersión de los árboles de aguacate Hass en cada una de las subparcelas según la altura sobre el nivel del mar

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).



De esta manera y con el objetivo de incluir el efecto de la altura sobre la producción de aguacate Hass, se decidió convertir en un factor las diferentes alturas de siembra de los árboles, como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21. Clasificación según la altura de siembra de los árboles de aguacate

Altura de siembra de los árboles (m s. n. m.)	Clasificación
≤ 1750	Baja
1750–1770	Media
> 1770	Alta

m s. n. m.: metros sobre el nivel del mar.

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).

Análisis de varianza

Se realizó un modelo estadístico con el objetivo de analizar la varianza del experimento; como variable dependiente se usó la producción acumulada de cada árbol durante el periodo 2021 y, como variables independientes, el tratamiento de fertiirrigación y la clasificación de las alturas establecida previamente. El resultado de este análisis (ver anexo F) mostró que la variable tratamiento (fertirriego) no tuvo efecto estadístico significativo, mientras que la variable clasificatoria de las alturas sí presentó un efecto altamente significativo sobre la producción de aguacate Hass.

Al realizar prueba de medias (anexo F), se observó que la producción promedio de los árboles sembrados a alturas bajas y medias (< 1750 hasta 1770 m s. n. m.) fueron estadísticamente iguales, a diferencia de la producción promedio de los árboles sembrados a mayor altura, entre los que la producción fue superior y estadísticamente diferente a las otras 2 alturas (ver figura 32).

Correlación entre alturas de siembra y producción árboles de aguacate

Teniendo en cuenta que los árboles ubicados a mayor altura sobre el nivel del mar presentaron una producción superior, se realizó un diagrama de dispersión de altura en función de la producción (ver figura 33), logrando visualizar la tendencia positiva que tuvo la producción de los árboles en función de la altura de siembra, con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,63. Se considera que los árboles de la parte más alta del terreno están sembrados en suelos con mejor drenaje por la misma pendiente (ver figura 34), a diferencia de los árboles ubicados a menor altura y pendiente, en los que los suelos pueden retener mayor humedad, debido a la acumulación de agua lluvia, con el riesgo de producir asfixia radical.

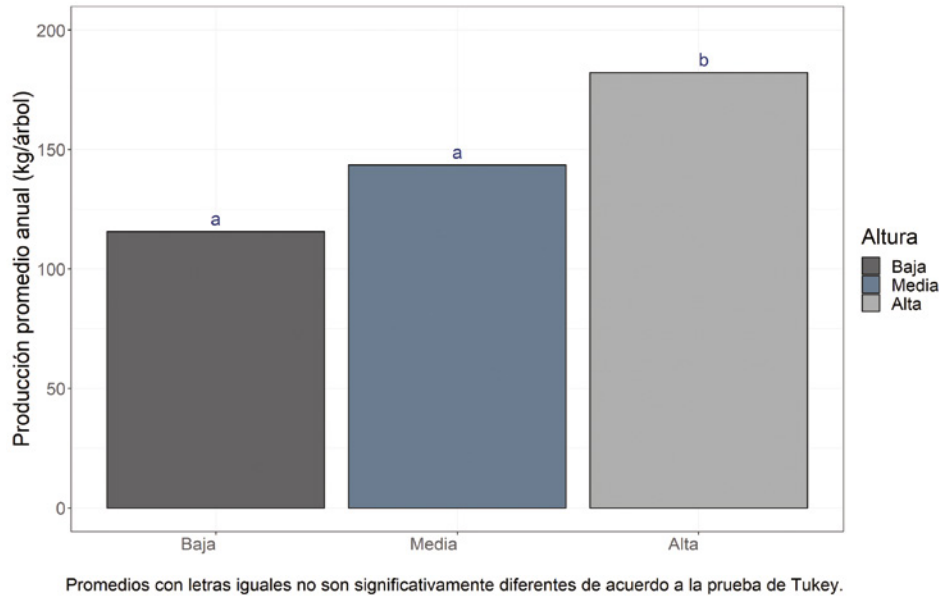


Figura 32. Producción promedio anual (kg/árbol) de la parcela demostrativa, según la altura de siembra de los árboles

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).

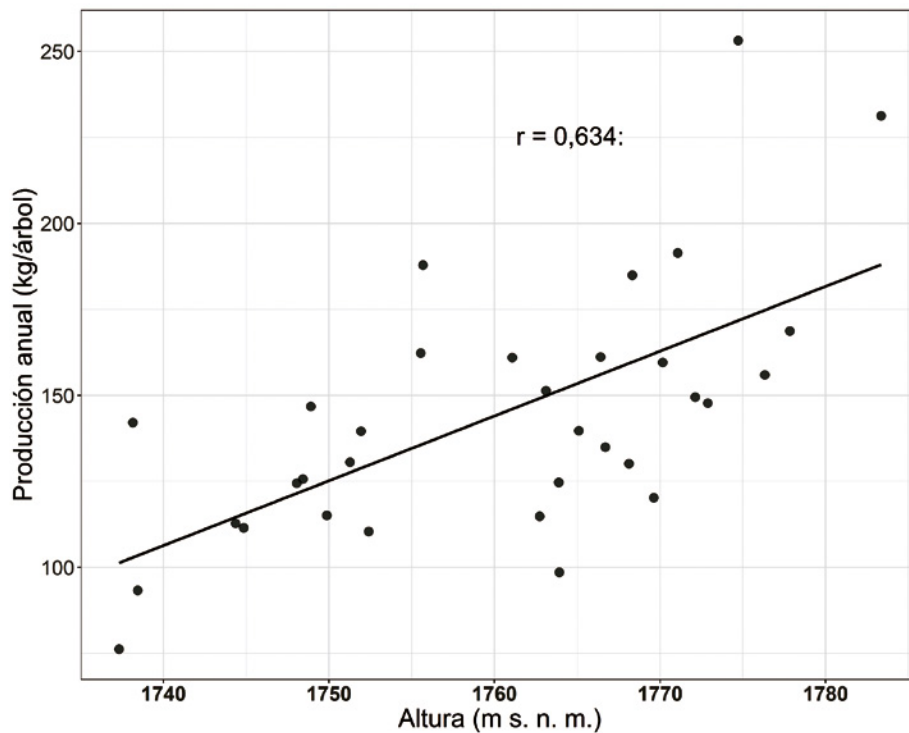


Figura 33. Correlación entre alturas de siembra y producción anual de los árboles de aguacate Hass en la parcela demostrativa

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).

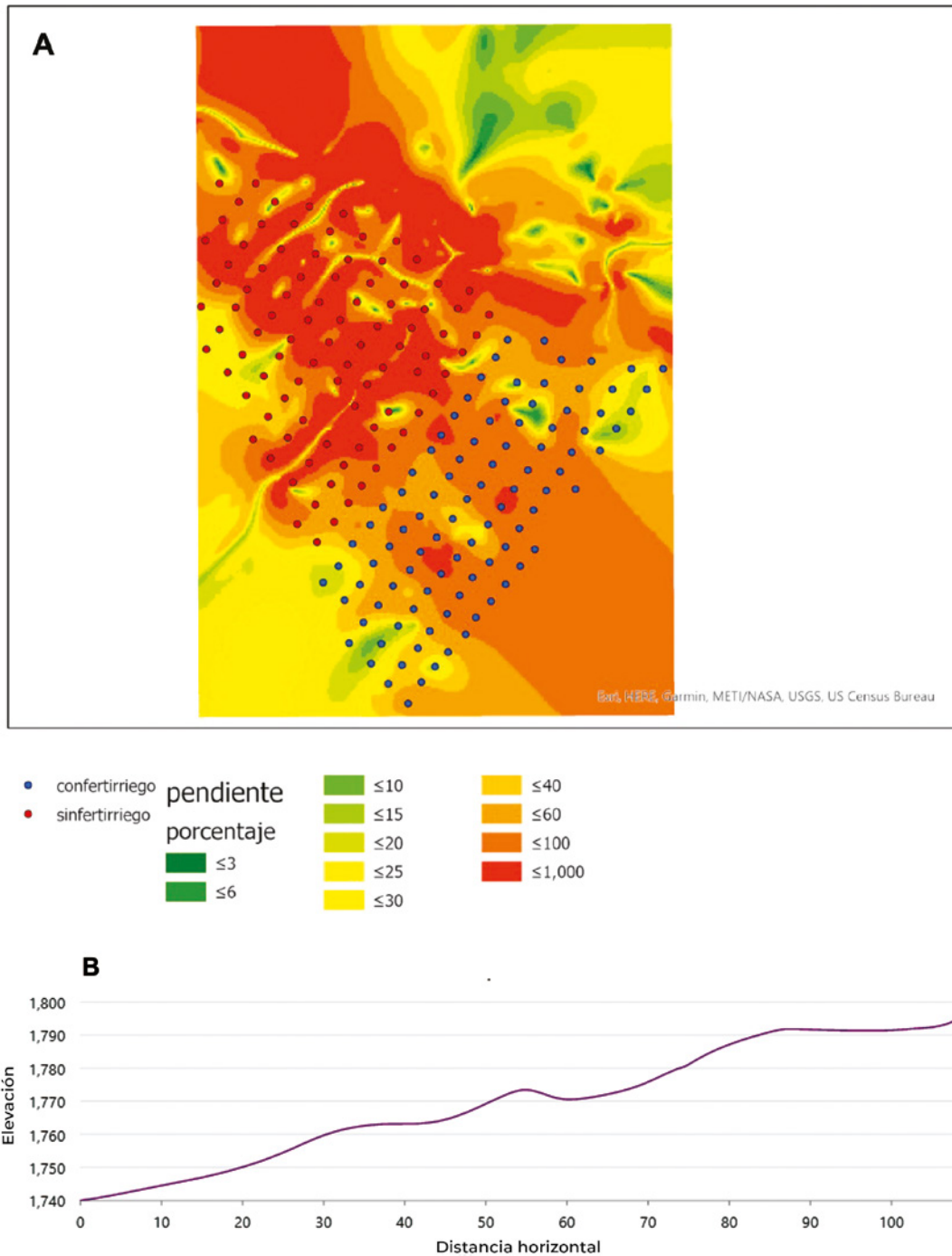


Figura 34. Características del terreno donde se encuentran ubicadas las unidades experimentales. A. Variación de los porcentajes de la pendiente de acuerdo con la topografía del terreno. B. Perfil topográfico de la parcela demostrativa de aguacate Hass, Roldanillo, Valle del Cauca

Fuente: elaborado por G. Escobar (2021).

Con el objetivo de observar con más detalle la relación entre producción, altura de siembra de los árboles y tipo de fertilización, se realizó el mismo diagrama de dispersión, pero



diferenciando esta vez los árboles que tuvieron fertirriego y los que no lo tuvieron (ver figura 35). Se encontró que hubo una distribución más amplia de alturas de siembra para los árboles con fertirriego, comparada con la de los árboles que no lo tenían (fertilización granular).

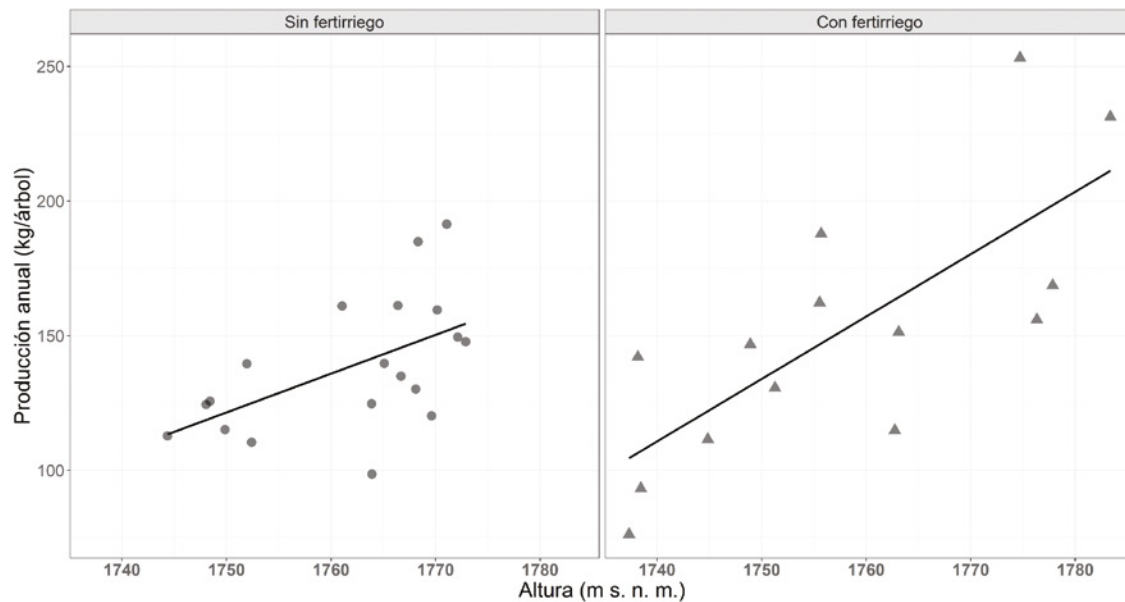


Figura 35. Correlación entre alturas de siembra y producción anual (kg/árbol) en las subparcelas con y sin fertirriego

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).

Producción de aguacate Hass por subparcelas

Cosechas preliminares al fertirriego

En esta etapa, la subparcela 2 (aún sin fertirriego) presentó la mayor producción, superando a la subparcela 1 en 280 kg en la cosecha travesa y en 440 kg en la cosecha principal (ver tabla 22).

Tabla 22. Producción total (kg) de las subparcelas en las 2 cosechas de 2020

Cosecha	Subparcela 1 (sin fertirriego)		Subparcela 2 (sin fertirriego)	
	Producción (kg) de 93 árboles	Equivalente en kg/ha (238 árboles)	Producción (kg) de 94 árboles	Equivalente en kg/ha (238 árboles)
Travesa en abril	4100	10 492	4380	11 090
Principal en septiembre	5960	15 252	6400	16 204
Producción total año 2020	10 060	25 745	10 780	27 294

*238 árboles/ha para sistema de siembra de 7 × 6 m en cuadro.

Fuente: elaboración propia.



Cosechas después de establecer el fertirriego

En marzo de 2021, 6 meses después de iniciado el fertirriego, se registró la cosecha traviesa (ver figura 36). Para esta temporada, en la subparcela 2 (con fertirriego) se obtuvo una producción de 6720 kg de fruta, superando en 558 kg a la de la subparcela con fertilización granular (ver tabla 23).

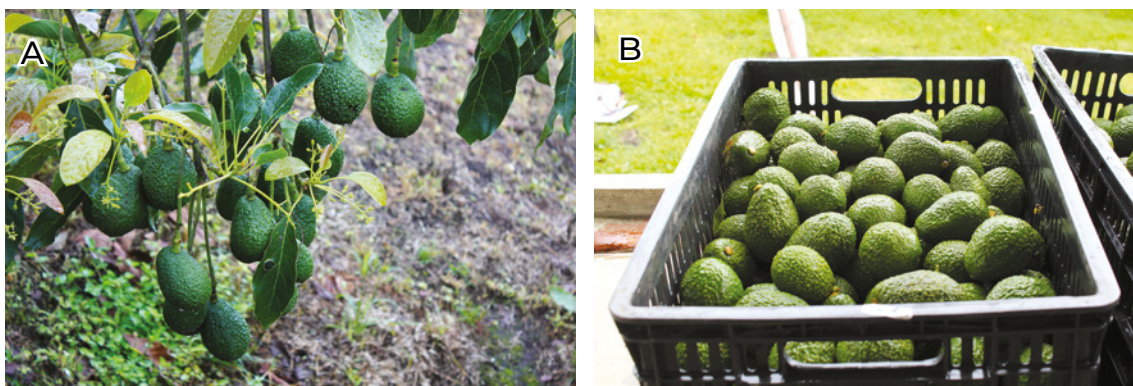


Figura 36. Cosecha traviesa de la subparcela con fertirriego. A. Producción árbol de aguacate Hass B. Fruta cosechada

Fuente: elaboración propia. Fotografías de J. Guerrero (2021).

Tabla 23. Producción total (kg) de las subparcelas en las 2 cosechas de 2021

Cosecha	Subparcela 1 (sin fertirriego)		Subparcela 2 (con fertirriego)	
	Producción (kg) de 93 árboles	Equivalente en kg/ha (238 árboles)	Producción (kg) de 94 árboles	Equivalente en kg/ha (238 árboles)
Traviesa en marzo	6162	15 769	6720	17 014
Principal en octubre	5072	12 980	5668	14 351
Producción total año 2021	11 234	28 749	12 388	31 365

*238 árboles/ha para sistema de siembra de 7 × 6 m en cuadro.

Fuente: elaboración propia.

Para octubre del mismo año, se realizó la cosecha principal (ver figura 37), obteniendo en las 2 subparcelas una producción menor respecto a la traviesa (ver tabla 23); no obstante, la subparcela con fertirriego presentó una producción de 5668 kg, superando en 596 kg a la parcela sin fertirriego o de fertilización granular. Se debe anotar que la tendencia en la producción del año 2021 fue atípica para esta región, dado que, según el calendario de cosecha del aguacate Hass para el Valle del Cauca, el pico o cosecha principal se presentaba entre septiembre y diciembre (MADR, 2018).



Figura 37. Cosecha “principal” octubre de 2021. A. Producción del árbol de aguacate Hass. B. Cosecha de la fruta. C. Sistema de recolección de la fruta con ayuda del cable vía. D. Fruta cosechada

Fuente: elaboración propia. Fotografías de P. Arango (2021).

Rendimiento del cultivo con fertirriego vs. fertilización granular

Al comparar el rendimiento de las subparcelas por cosechas durante los años 2020 y 2021 (ver figura 38), se encontró que la travesía de 2021 superó las 2 cosechas del año anterior, esta fue mayor para la subparcela con fertirriego, en la que el equivalente en toneladas por hectárea fue de 17,0, mientras que para la subparcela sin fertirriego fue de 15,7 (ver tabla 22).

Al sumar las producciones de la cosecha travesía y principal de 2021, año en el cual se evaluó el efecto del fertirriego, se encontró que los rendimientos alcanzados fueron de 31,3 y 28,7 t/ha en las subparcelas con y sin fertirriego, respectivamente (ver figura 39), producciones que superaron la cifra nacional para el aguacate Hass de 10 t/ha (MADR, 2020) y las producciones promedio registradas por Bernal (2016) en varios municipios del departamento de Antioquia. En este los mayores rendimientos promedio por año obtenidos estuvieron entre 15,8 y 17,4 t/ha. Sin embargo, al evaluar la producción de una población de 15 árboles en Marinilla y Jericó, se registraron rendimientos de 26,42 y 28,02 t/ha, respectivamente.

De igual manera, los rendimientos de la parcela demostrativa son superiores a los registrados por Dorado *et al.* (2017), en cultivos de aguacate Hass bajo diferentes láminas de riego en



Herveo (Tolima), donde obtuvieron rendimientos de 19,2 t/ha cuando sustituyeron el 75 % de la evapotranspiración (ET_o). Esto superó el promedio regional de cultivos tecnificados (17 t/ha); sin embargo, en Morales (Cauca), alcanzaron rendimientos de 28,6 t/ha cuando aplicaron una lámina de 100 % ET_o, produciendo 11 t más que el testigo.

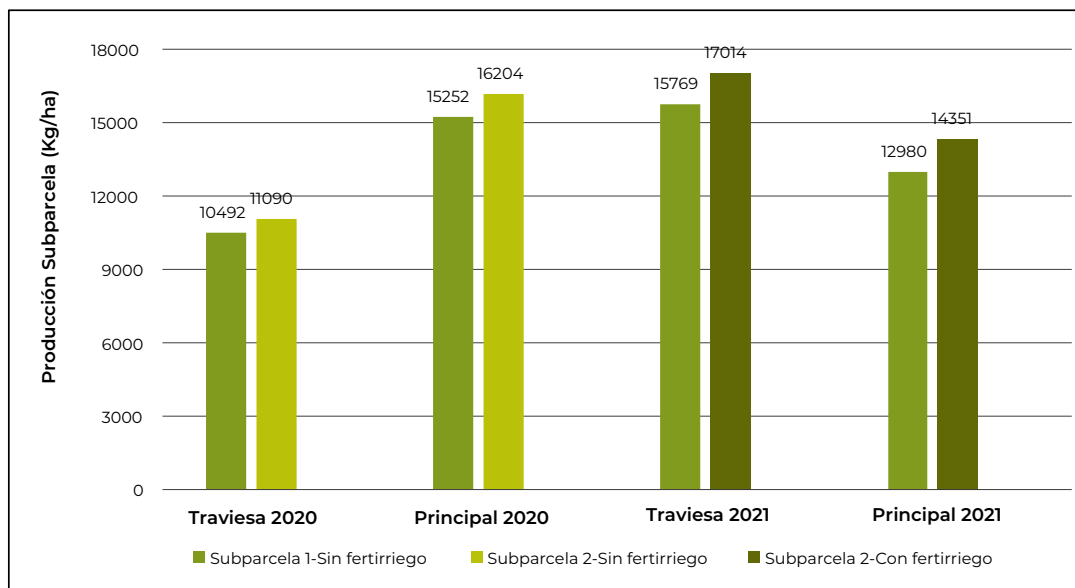


Figura 38. Producción (kg/ha) de las subparcelas de aguacate Hass en la cosecha travesía y principal de 2020 y 2021

Fuente: elaboración propia.

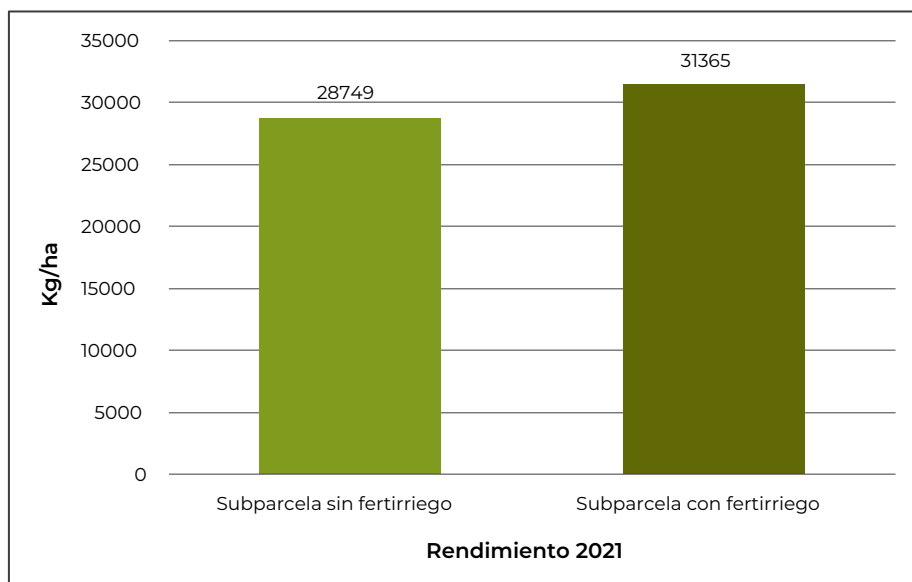


Figura 39. Rendimiento (kg/ha) de las subparcelas con y sin fertirriego durante el año 2021

Fuente: elaboración propia.



Con las referencias en rendimiento por hectárea de aguacate Hass en otras localidades, especialmente en Morales (Cauca), donde aplicaron láminas de riego que sustituyeron el 100 % de la ETo, tal como se realizó en esta investigación, se evidencia que los rendimientos registrados en la parcela demostrativa muestran las ventajas agroclimáticas de la zona norte del departamento del Valle del Cauca para este cultivar, así como de las técnicas de fertirrigación y fertilización granulada, que en este caso fue realizada por el productor con fertilizantes de mayor solubilidad que los convencionales, tal como se mencionó.

Respecto a la menor producción en la cosecha principal de 2021 con relación a la travesía, se debe tener en cuenta que en Colombia se presenta variación en la ocurrencia de las cosechas, tal como lo reporta Bernal (2016) en investigaciones sobre la evaluación del desarrollo y productividad de árboles de aguacate cv. Hass plantados en diversos ambientes del departamento de Antioquia, donde se encontró que para el año 2011, la mayoría de las cosechas se concentraron en el segundo semestre, mientras que en 2012 las mayores épocas de cosecha se presentaron en el primer semestre, especialmente en enero, febrero y marzo.

Pese a esta variabilidad en las cosechas, se considera que la menor producción obtenida para la cosecha principal en las 2 subparcelas, se debe al efecto desfavorable de las altas precipitaciones ocurridas entre marzo y abril sobre la floración, cuajado y formación de frutos, teniendo en cuenta que la floración de mayor intensidad para esta variedad en el Valle del Cauca se presenta en el primer trimestre del año. Según Alfonso (2008), el “exceso de precipitación durante la floración y la fructificación reducen la producción y provoca la caída del fruto” (p. 7).

Sobre el tema, existen investigaciones en el país que muestran la marcada influencia de la precipitación en el comportamiento fenológico del aguacate Hass. Por ejemplo, en varias localidades de Antioquia, se observó que los 2 flujos florales, que se presentan en el año con distinta intensidad, se manifestaron en las épocas de menor precipitación: enero-abril y julio-septiembre (Díaz *et al.*, 2020). También Rondón *et al.* (2020) destacan que las floraciones se desarrollan en la época seca.

Por otra parte, es probable que la mayor humedad del suelo y la humedad relativa registrada en esta época debido al exceso de precipitación favorecieran la presencia de enfermedades fungosas que afectaron el sistema radical, el follaje, la floración, la polinización y el desarrollo de los frutos (Alfonso, 2008; Bernal, 2016). Además, la alta saturación del suelo (ver figura 40) obligó a reducir el número de fertirriegos, afectando el suministro adecuado de nutrientes para los árboles.

Existen reportes sobre plantaciones del departamento del Quindío, en las que las lluvias de los primeros 4 meses del año 2021 causaron retraso en la acumulación de materia seca en los frutos de aguacate Hass y, por tanto, disminución de los rendimientos diarios



(La crónica del Quindío, 2021), con afectaciones en la exportación de esta fruta para el primer trimestre de ese año.

3.2.7 Propiedades fisicoquímicas de los frutos

Los frutos de aguacate Hass deben cumplir con ciertos requerimientos mínimos de calidad, los cuales son reglamentados por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Sandoval *et al.* 2020). Aunque existen en el país estudios sobre características fisicoquímicas relacionadas con la calidad de los frutos, la información consignada en la literatura no es consistente. Para el caso de la parcela demostrativa de aguacate Hass, los análisis de las propiedades fisicoquímicas de los frutos para la cosecha traviesa y principal de 2021 arrojaron los siguientes resultados:

Peso y tamaño de los frutos

El peso y tamaño de los frutos registraron valores similares entre subparcelas para las 2 cosechas del año, pero los valores fueron superiores en la cosecha principal (ver tabla 24, anexos D y E). Así, en la cosecha traviesa se obtuvieron frutos con peso promedio de 158 y 155 g en las subparcelas sin y con fertirriego, respectivamente, mientras que, para la cosecha principal, se obtuvieron en el mismo orden frutos con peso promedio de 191 y 196 g.

Respecto al tamaño, en la cosecha traviesa los frutos tuvieron valores entre 72 y 89 mm de largo y 48 y 63 mm de ancho, mientras que para la segunda cosecha se observaron valores más altos que oscilaron entre 86 y 99 mm de largo y 62 y 68 mm de ancho.

Estos valores registrados en peso y tamaño de los frutos para la cosecha principal son similares a los referentes establecidos en condiciones de cosecha por Rojas *et al.* (2004) para aguacate Hass en Colombia, indicando un peso promedio del fruto de 197 g y tamaños de 88,6 mm de largo y 66,4 mm de ancho; sin embargo, Ríos *et al.* (2005) consideran un peso del fruto mayor de 285 g, así como en el largo y diámetro (91,6 mm y 67,9 mm, respectivamente). Por su parte, Bernal y Díaz (2020) señalan un rango de peso entre 150 y 400 g, y uno de longitud de 8 a 10 cm de largo. En regiones productoras de México se registran frutos de mayor peso, entre 224 y 267 g (Salazar *et al.*, 2016).

Tabla 24. Datos promedio de los análisis fisicoquímicos realizados a los frutos de aguacate Hass en la cosecha traviesa y principal del año 2021*

Características fisicoquímicas evaluadas		Cosecha traviesa		Cosecha principal	
		Sin fertirriego	Con fertirriego	Sin fertirriego	Con fertirriego
Fruto	Peso fruto (g)	179,2	165,8	190,6	196,2
	Largo (mm)	80,3	81,9	91,1	91,7
	Ancho (mm)	58,2	57,9	64,2	67,2



Características fisicoquímicas evaluadas		Cosecha traviesa		Cosecha principal	
		Sin fertirriego	Con fertirriego	Sin fertirriego	Con fertirriego
Corteza	Punteado	7	7	10	9
	Espesor corteza (mm)	1,0	1,1	1,7	2,0
	Peso corteza (g)	36,2	35,4	42,0	42,5
	Corteza (%)	20,3	21,5	22,2	21,8
Mesocarpio	Peso (g)	109,8	107,1	125,7	121,7
	Pulpa (%)	61,2	64,4	66,7	62,3
	Firmeza (Newtons)	37,9	37,4	36,9	36,8
	Haces vasculares visibles	5	6	5	5
	Grados Brix SST	5,8	5,1	4,3	4,5
	pH	6,4	6,4	-	-
	Grasa total (g/100 g) base húmeda	13,9	15,0	9,4	11,6
	Fibra (g/100 g) base húmeda	6,4	6,8	3,8	3,2
Semilla	Longitud (mm)	30,7	32,6	33,6	36,1
	Ancho (mm)	33,2	33,1	33,1	36,5
	Peso (g)	33,2	23,3	21,4	31,6
	Semilla (%)	22,2	21,8	11,1	16,0

*Laboratorio de calidad y poscosecha de productos agrícolas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Fuente: elaboración propia.

Características de la corteza

Color del exocarpio

En la cosecha traviesa, los frutos de aguacate de ambas subparcelas presentaron un exocarpio de tonalidades verdes, con valores de 'a' que oscilaron entre -10 y -16 (ver anexos D y E) y tonalidades amarillas con valores de 'b' entre 15 y 25. Los valores de luminosidad



'L' estuvieron entre 32 y 38, mostrando tendencias a tonalidades oscuras y opacas. Para la segunda cosecha del año, se observó que la corteza de los frutos de la subparcela con fertirriego presentó menor luminosidad (más opacos), valores más bajos de 'b' y altos para 'a' (menor intensidad de la tonalidad verde), mostrando un mayor grado de madurez de cosecha en los frutos, en comparación con los de la subparcela sin fertirriego (con fertilización granular).

En otras investigaciones realizadas en lugares diferentes de Colombia y México con la variedad Hass, se obtuvieron alta variación en el color del exocarpo, posiblemente debido al momento de la cosecha, a las condiciones ambientales de cada sitio y a las prácticas de manejo implementadas (Osuna *et al.*, 2011; Sandoval *et al.*, 2017).

Espesor de la corteza

La forma de los frutos varió entre ovoide, piriforme y esférico, con espesor de la corteza entre 0,7 y 1,2 mm, valores cercanos a los presentados por Ríos *et al.* (2005) de 1,21 mm, pero inferiores a los de Rojas *et al.* (2004) de 1,45 mm y Salazar *et al.* (2016), quienes registraron promedios entre 1,4 y 1,8 mm. Respecto al porcentaje que representó la corteza con relación al peso del fruto, este fluctuó entre 18 y 23 %, valor superior al señalado por Ríos *et al.* (2005) de 10,53 %.

Características del mesocarpio

Color

Para la cosecha traviesa, el color del mesocarpio de los frutos de las 2 subparcelas presentó valores cercanos de las coordenadas a, b y L; las tonalidades verdes con valores de 'a' entre -6 y -11, tonos amarillos con valores de 'b' entre 40 y 46, la luminosidad 'L' con valores entre 55 y 80. Para la cosecha principal, tampoco se observaron diferencias en las tonalidades del mesocarpio; sin embargo, se obtuvieron valores de 'L' más altos con respecto a la cosecha traviesa, indicando menor grado de maduración (Márquez *et al.*, 2014).

Firmeza

En cuanto a la firmeza del mesocarpio, que osciló entre 20 y 36 newtons (N), se observó una reducción de la resistencia de los frutos a la penetración si se comparara con datos obtenidos por Márquez *et al.* (2014), quienes registraron datos de firmeza al momento de la cosecha de 60 y 67 N. Estos también son inferiores a los obtenidos por Sandoval *et al.* (2020) en frutos recolectados en diferentes departamentos de Colombia (entre 105 y 125 N) y a los de Osuna *et al.* (2011) de 220 y 246 N. Se considera que al ser el aguacate un fruto climatérico, el descenso en la firmeza se debe al avance del proceso de maduración en la etapa de poscosecha, periodo en el que suceden cambios en el metabolismo de los componentes de la pared celular y se incrementa la actividad enzimática (Flores *et al.*, 2020).



Sobre esta variable, para la cosecha principal, estadísticamente se encontró una relación positiva con el contenido de grasa total (ver anexo H). Se esperaba una relación inversa, debido a que en poscosecha se disminuye el contenido de humedad y firmeza de los frutos, y se incrementa la concentración de la grasa (Márquez *et al.*, 2014). Sin embargo, se encontró que a mayor firmeza de los frutos hubo menor presencia de haces vasculares. Para la cosecha traviesa o de mitaca, el análisis no mostró correlaciones entre las diferentes variables de calidad del fruto evaluadas (ver anexo G).

Contenido de pulpa

Respecto al contenido de pulpa, el promedio osciló entre 61 y 67 %, valores similares a los registrados por Márquez *et al.* (2014), quienes reportan entre 61 y 64 %, pero superiores a lo establecido por la Norma Técnica Colombiana NTC 6345 de 58 % (Icontec, 2019) e inferiores a los registros de Bernal y Díaz (2020) (72 %), Ríos *et al.* (2005) (69,9 %) y Salazar *et al.* (2016) (65-70 %). Respecto a las relaciones de esta variable con otros parámetros de calidad del fruto en la cosecha principal, se presentaron relaciones inversas con la acidez y con el peso, ancho y largo de la semilla (ver anexo H), características deseables en frutos de aguacate Hass, pues lo que se busca es mayor contenido de pulpa.

Contenido de grasa total y fibra

En relación con contenidos de grasa total, se encontraron para las 2 cosechas valores más altos en los frutos de la subparcela con fertirriego. Así, para la cosecha de marzo (traviesa) los contenidos promedios de grasa total estuvieron entre 13,9 y 15,0 % en las subparcelas sin y con fertirriego, respectivamente. En contraste, en la cosecha de octubre (principal), los valores promedio fueron de 9,4 y 11,6 %, respectivamente. Se pudo observar una disminución en los contenidos de grasa respecto a la cosecha anterior, con valores inferiores al contenido mínimo de grasa estimado para el estado de madurez de cosecha, el cual debe ser de 12 % según la norma NTC 6345 (Icontec, 2019). En el caso del contenido de fibra, aunque los valores estuvieron cercanos entre subparcelas, estos fueron superiores en la cosecha traviesa (ver tabla 24).

Estas 2 variables mostraron, para la cosecha principal, correlación negativa entre ellas y otros parámetros de calidad evaluados, como la relación entre la grasa total y los haces vasculares, y la fibra cruda y el peso del fruto y del mesocarpio. Tan solo se presentó una relación positiva entre grasa total y peso de la corteza y firmeza del mesocarpio, y entre la fibra cruda y los haces vasculares (ver anexo H).

Sobre los resultados de las variables, otros investigadores mostraron valores superiores a los registrados en la parcela demostrativa. Este es el caso de Ríos *et al.* (2005), quienes



encontraron contenidos de grasa promedio de 17,80 % y fibra de 7,23 %. También Márquez *et al.* (2014) encontraron contenidos de grasa entre 19-20 %; Salazar *et al.* (2016), entre 14,7-17,5 %; y Sandoval *et al.* (2017), entre 14,54-19,16 %. Por su parte, Villar (2016) registró un contenido similar en grasa (14,6 %), pero superiores en fibra (8,62 %).

Se resalta que una mayor proporción de pulpa y de contenido de grasa son atributos deseables en un fruto de aguacate (Salazar *et al.*, 2016). Asimismo, estas características reflejan un mejor rendimiento de los árboles y, por tanto, un mayor beneficio económico para los productores de este cultivar (Sandoval *et al.*, 2020).

Otros indicadores de calidad evaluados a nivel de mesocarpio son los grados Brix y el pH de la pulpa. Los valores para grados Brix oscilaron entre 4,7 y 6,2 en cosecha traviesa, y entre 3,7 y 5,6 en la principal, con una relación positiva en esta cosecha con el peso del fruto, peso de la corteza y contenido de grasa, pero inversa con el contenido de fibra (ver anexo H). Por su parte, el pH estuvo en un rango de 6,2 y 6,7. Estos valores son inferiores a los presentados por Astudillo y Rodríguez (2018), quienes registran, en grados Brix, 5,1-7,3 y, en cuanto a pH, 6,6 y 7,1. También son inferiores con respecto a los reportados por Sandoval *et al.* (2017), quienes obtuvieron valores de pH entre 6,5 y 7,7.

Características de la semilla

En esta parte del fruto también se observaron diferencias en el tamaño, aunque los datos no son consistentes, dado que para la traviesa la subparcela sin fertirriego presentó mayor peso de la semilla (33,2 g), en comparación con la subparcela con fertirriego (23,3 g). Por otro lado, en la cosecha principal, el peso de la semilla fue mayor en la subparcela con fertirriego (31,6 g) respecto al reportado en la de fertilización granular (21,4 g). En ambos casos, estos valores son inferiores a los presentados por Ríos *et al.* (2005), quienes registraron un peso de la semilla de 38,4 g.

En general, de todas las propiedades fisicoquímicas evaluadas, se logró evidenciar efecto del tratamiento en porcentaje de pulpa, peso de la semilla, porcentaje de acidez y grasa total (ver figuras 40 y 41). Es importante tener en cuenta que estas características fisicoquímicas evaluadas son parámetros que sirven para examinar la calidad de los frutos, permitiendo al agricultor ofrecer un mejor producto a los comercializadores y consumidores, al evitar la comercialización de frutos de aguacate inmaduros o sobremaduros (Sandoval *et al.*, 2017; Astudillo y Rodríguez, 2018). Otro aspecto relevante es que la calidad de los frutos depende de diferentes factores, entre ellos la variedad, el manejo agronómico implementado y las condiciones ambientales como precipitación, temperatura, humedad relativa, entre otras.

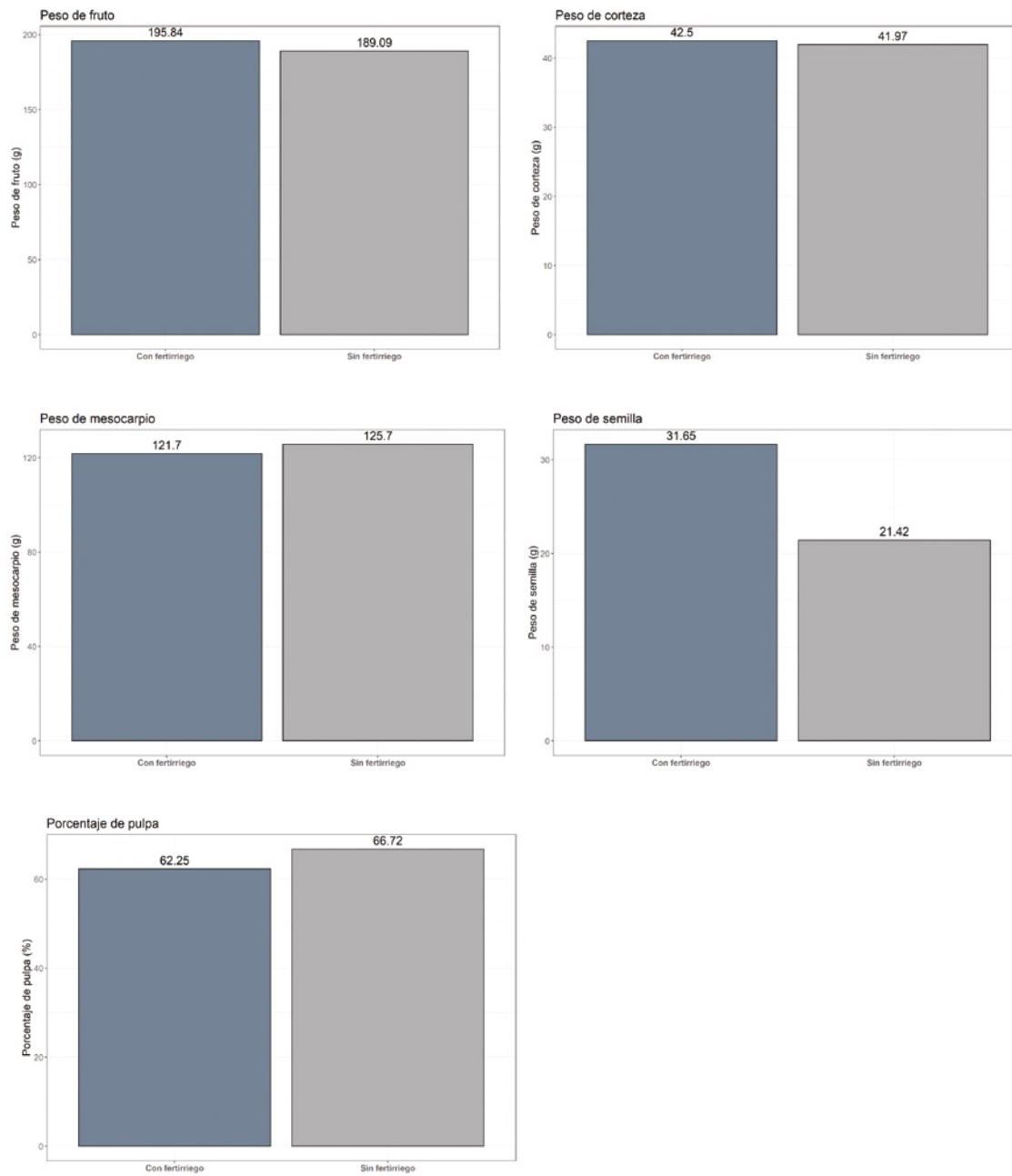


Figura 40. Efecto de los tratamientos sobre algunas propiedades físicas evaluadas en frutos de aguacate Hass

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).

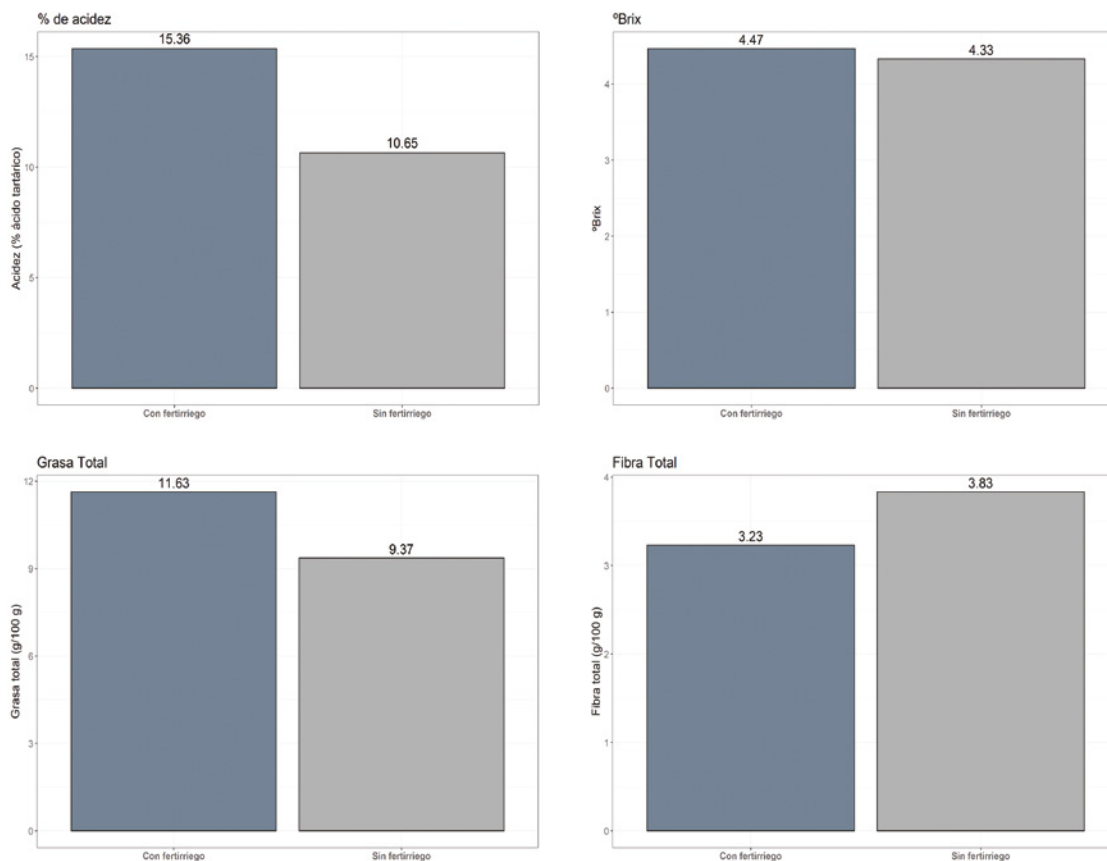


Figura 41. Efecto de los tratamientos sobre algunas propiedades químicas evaluadas en frutos de aguacate Hass

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).

3.3 Conclusiones

- El uso de fertirriego como tecnología de innovación en la parcela demostrativa permitió incrementar la producción de aguacate Hass en los 2 ciclos de cosecha evaluados, resultado de las mejores condiciones nutricionales que proporciona esta práctica al entregar nutrientes de forma continua y en dosis ajustadas a las necesidades del cultivo, lo cual favorece el desarrollo, floración y producción de los árboles cultivados.
- Con los registros de la estación meteorológica y tensiómetros instalados, se accedió a información diaria de las variables climáticas y del suelo, permitiendo tomar decisiones acertadas en la programación de los fertirriegos, así como en los volúmenes y tiempos de riego.



- Se desarrolló un plan de fertirrigación para el cultivo de aguacate Hass en la finca El Encanto bajo criterio de mayor producción y calidad de la fruta, y sobre la base de un diagnóstico nutricional del cultivo y disponibilidad de nutrientes en el suelo, mediante análisis del agua de riego, suelo y tejido foliar.
- Las condiciones climáticas de la zona, especialmente la precipitación, influyeron sobre la fenología de la floración del aguacate Hass en esta zona del Valle del Cauca. El exceso de precipitación ocurrido en el primer trimestre del año afectó la floración, la polinización y el desarrollo de los frutos, así como la práctica del fertirriego, causando reducción del rendimiento en la cosecha principal.
- Además de las condiciones climáticas y del terreno, existen otros factores inherentes al suelo que interfieren en la absorción de los nutrientes por parte de las plantas, los cuales deben ser analizados con más detalle en el plan de nutrición del cultivo.

4. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA PARCELA DEMOSTRATIVA DE AGUACATE HASS

En el Valle del Cauca, como en otros departamentos de Colombia, la producción de aguacate Hass ha prosperado con un manejo tradicional, dirigido principalmente al mercado y consumo interno. En los últimos años, con el auge de este cultivo a nivel mundial, se viene proyectando con visión empresarial y para un comercio de exportación, que permite pasar de ser cultivar para productores tradicionales a ser un mercado aprovechado por inversionistas (Bernal, 2016).

Este cambio en la proyección del mercado ha implicado para algunos sistemas de producción de aguacate el uso de técnicas agrícolas modernas como la fertirrigación, para aumentar la eficiencia en el uso del agua y fertilizantes (Beyer *et al.*, 2021), permitiendo mejorar el estado nutricional de los árboles e incrementar los rendimientos del cultivo. Ciertamente, esta ventaja tecnológica requiere una inversión inicial, la cual será retribuida por el mismo cultivar a corto o mediano plazo.

Otra de las tecnologías implementadas con éxito es el transporte de carga por cable aéreo, o *cable vía*, un sistema mecanizado que facilita las labores agrícolas al interior de fincas, especialmente las de cosecha, optimizando los tiempos de trabajo y manteniendo la calidad de los frutos, al minimizar su manipulación. A la vez, el sistema permite reducir el esfuerzo físico de los operarios de campo y los riesgos laborales, más aún, si el cultivo se encuentra en zonas de fuertes pendientes, como es el caso de la parcela demostrativa.

Por esta razón, se planteó dentro de los objetivos del proyecto, realizar la evaluación económica de estas tecnologías en la parcela demostrativa de aguacate Hass ubicada en la zona de ladera de Roldanillo, Valle del Cauca. Para ello, se analizaron los beneficios y costos de la producción en las subparcelas con fertilización convencional y fertirriego desde julio de 2020 a octubre de 2021, periodo que correspondió a las cosechas traviesa y principal. Para el caso del cable vía, la evaluación económica se realizó de manera independiente, teniendo en cuenta que este transporte de carga se implementó solo durante la cosecha principal de 2021.

4.1 Análisis beneficio-costo de la producción de aguacate Hass

Se realizó un análisis beneficio-costo del cultivo de aguacate Hass para la zona de ladera del Valle del Cauca durante el periodo de julio 2020 a octubre 2021, tiempo en el cual se llevó a cabo el estudio en la parcela demostrativa donde se implementó el sistema de fertirriego. Para esto, se calcularon los costos de producción y la producción obtenida en las 2 subparcelas (con y sin fertirriego), con la finalidad de contrastar ambos resultados.



En primer lugar, se realizaron los análisis de costos de producción, rendimiento y análisis beneficio-costos del cultivo de aguacate Hass para el periodo julio de 2020-marzo de 2021, correspondiente a la cosecha traviesa. Posteriormente, se realizó el análisis para el periodo abril-octubre del 2021, que hace referencia a la cosecha principal.

4.1.1 Costos de producción de la primera cosecha o cosecha traviesa

Subparcela con fertirriego

Con el objetivo de calcular los costos de producción de la subparcela con fertirriego, se relacionaron los costos asociados a la actividad realizada, así como con los insumos, mano de obra y tecnología requerida para ejecutar cada una de ellas. En cuanto a la incorporación de los costos de tecnología, dado que estas tienen una durabilidad superior al periodo analizado, se realizó una amortización de los costos a través de una depreciación lineal dividiendo el costo sobre la vida útil de cada una de ellas (ecuación 1), con la finalidad de asignar el costo correspondiente al periodo de estudio (ecuación 2). La información utilizada como vida útil de cada equipo fue proporcionada por su proveedor, al cual se consultó sobre el tiempo promedio de duración en años.

$$\text{Amortización anual} = \frac{\text{costo del producto}}{\text{Vida útil del producto (años)}} \quad [1]$$

$$\text{Amortización mensual} = \frac{\text{amortización anual}}{12} \quad [2]$$

$$\text{Cargo a 9 meses} = \text{Amortización mensual} \times 9 \quad [3]$$

La tabla 25 muestra los costos de cada tecnología y su amortización tanto anual como mensual, así como el cargo a los costos para la cosecha traviesa, o mitaca (9 meses).

Tabla 25. Amortización de la tecnología implementada

Tecnología	Costo	Costo por árbol o por 0,4 ha	Vida útil (años)	Amortización anual	Amortización mensual	Cargo a 9 meses
Sistema de riego por goteo	\$ 12.181.588	\$121.816	6,5	\$ 18.741	\$ 1562	\$ 14.056
Estación meteorológica estación Link Box	\$ 8.136.000	\$ 65.088	5	\$ 13.018	\$ 1085	\$ 9763
Medidor de conductividad eléctrica y pH metro Groline	\$ 690.990		2,5	\$ 276.396	\$ 23.033	\$207.297

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).



Dado que el sistema de riego posee la capacidad de abastecer 100 árboles y el estudio se realizó en 94 árboles, el valor de este sistema se dividió por el número de árboles (ecuación 4) para así calcular el costo por árbol y, posteriormente, realizar la amortización lineal. Igualmente, en el caso de la estación meteorológica, aunque puede abarcar 50 ha, se calculó su costo para el área de la subparcela que es de 0,4 ha (ecuación 5).

$$\text{Costo sistema de riego por árbol} = \frac{12.181.588}{94} = 121.816 \quad [4]$$

$$\text{Costo estación meteorológica para 0,4 ha} = \left(\frac{8.136.000}{50} \right) \times 0,4 = 65.088 \quad [5]$$

De esta manera, el costo de producción para la cosecha traviesa por árbol fue de \$ 81.472 pesos colombianos (ver tabla 26). En esta tabla también se relacionan los costos por árbol, por kilogramo y por hectárea. Para obtener este último valor, se multiplicó el costo de un árbol por 238, cifra que corresponde al número plantado por el agricultor en 1 ha con distancia de siembra de 7 × 6 m en cuadro.

Tabla 26. Costos de producción de la subparcela con fertirriego

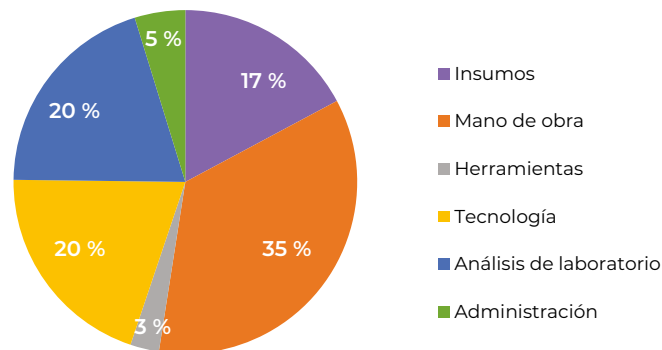
Concepto		Costo
Árbol		\$ 81.742
Kilogramo		\$ 1143
Hectárea		\$ 19.454.503
Insumos	Por árbol	\$ 14.052,11
	Por kg	\$ 196,56
Mano de obra	Por árbol	\$ 28.836,14
	Por kg	\$ 403,36
Tecnología	Por árbol	\$ 16.364,83
	Por kg	\$ 228,91
Análisis de laboratorio	Por árbol	\$ 16.382,98
	Por kg	\$ 229,17
Administración	Por árbol	\$ 3.892,46
	Por kg	\$ 54,45
Herramienta y equipo	Por árbol	\$ 2213,10
	Por kg	\$ 403,36

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Al analizar la composición de los costos de producción en esta subparcela, se observó que la mano de obra constituye el rubro más alto (35 % del costo total). El segundo rubro con mayor peso correspondió a los análisis de laboratorio (análisis de agua, suelos y foliares),



seguido de los insumos, el sistema de riego, las herramientas y, por último, los costos de administración (ver figura 42).



Costos cosecha 1 con Fertirriego

Figura 42. Composición de costos de producción para la subparcela con fertirriego

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Subparcela sin fertirriego (fertilización granular o convencional)

En el caso de la subparcela sin fertirriego, o con fertilización granular, se relacionaron los costos asociados a cada actividad realizada, así como los insumos, mano de obra y herramienta requeridos para ejecutar cada una de ellas. A diferencia de la subparcela con fertirriego, en esta no se tuvieron en cuenta costos asociados con tecnología o análisis de laboratorio.

Los costos de producción para la primera cosecha asociados a la subparcela sin fertirriego fueron desglosados en costos por árbol, kilogramo y hectárea (ver tabla 27), en este caso el costo de producir un árbol de aguacate Hass fue de \$ 54.023.

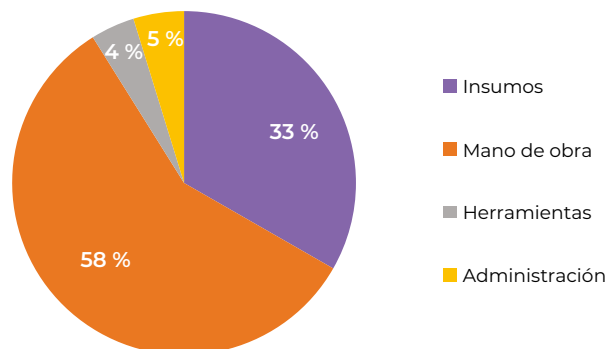
Tabla 27. Costos de producción subparcela sin fertirriego

Concepto		Costo
Árbol		\$ 54.023
Kilogramo		\$ 815
Hectárea		\$ 12.857.434
Insumos	Por árbol	\$ 17.979,31
	Por kg	\$ 271,35
Mano de obra	Por árbol	\$ 31,234,11
	Por kg	\$ 471,40
Administración	Por árbol	\$ 2573
	Por kg	\$ 38,83
Herramienta y equipo	Por árbol	\$ 2236,9
	Por kg	\$ 33,76

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).



Como se muestra en la figura 43, que hace referencia a la composición de los costos de producción, la mano de obra constituyó el 58 % de los costos totales, lo que la convierte en el rubro más alto. Los insumos por su parte abarcaron el 33 % del costo total, mientras que los costos de administración y herramientas correspondieron al 5 y 4 %, respectivamente.



Costos cosecha 1 sin Fertirriego

Figura 43. Composición de costos de producción para subparcela sin fertirriego

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Comparación de costos

Los costos de producción asociados a la subparcela con fertirriego sobrepasaron los costos de producción de la subparcela sin dicha tecnología por \$ 3.414.422 (ver tabla 28). Esto se debe a que la subparcela con fertirriego contempló 2 factores adicionales: tecnología y análisis de laboratorio (ver tabla 29).

Tabla 28. Comparativo de los costos de producción de las subparcelas con y sin fertirriego

Costo	Con fertirriego	Sin fertirriego	Diferencia
Total subparcela	\$ 7.683.711	\$ 5.024.123	\$ 2.659.588
Por árbol	\$ 81.742	\$ 54.023	\$ 27.719
Por kg	\$ 1143	\$ 815	\$ 328
Por hectárea	\$ 19.454.503	\$ 12.857.434	\$ 6.597.070

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Al comparar los costos de producción de ambas subparcelas asociados a insumos, mano de obra y herramientas, se encontró que los costos son ligeramente superiores en la subparcela sin fertirriego en comparación con la subparcela que adoptó esta tecnología.



Tabla 29. Comparativo de insumos y mano de obra con y sin fertirriego

Costo		Con fertirriego	Sin fertirriego	Diferencia
Insumos	Por árbol	\$ 14.052	\$ 17.979	\$ (3927)
	Por kg	\$ 196,56	\$ 229,01	\$ (75)
Mano de obra	Por árbol	\$ 28.836	\$ 31.234	\$ (2398)
	Por kg	\$ 403,36	\$ 471,4	\$ (68)
Herramientas	Por árbol	\$ 2213,1	\$2236,9	\$ (23,8)
	Por kg	\$ 30,96	\$ 33,76	\$ (2,8)

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Rendimiento primera cosecha o traviesa

En la subparcela con fertirriego la producción fue de 6720 kg de aguacate Hass, mientras que la subparcela sin fertirriego presentó una producción de 6162 kg constituyendo una diferencia de 558 kg (ver figura 44).

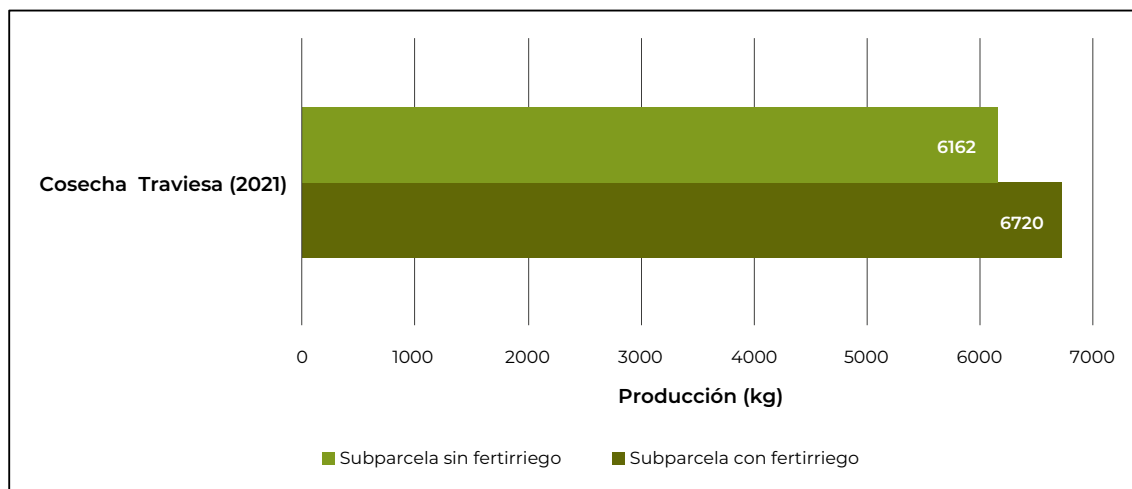


Figura 44. Producción (kg) de aguacate Hass por subparcela en la cosecha traviesa de 2021

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

En cuanto al cálculo de los rendimientos reflejados en la cosecha traviesa, se dividió la cantidad de kilos cosechados entre el número de árboles de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Número de árboles}}{\text{Kilogramos cosechados}} \quad [6]$$



De esta manera, los rendimientos obtenidos fueron 71,5 y 66,3 kg/árbol en las subparcelas con y sin fertirriego, respectivamente, mostrando un rendimiento superior de la subparcela con fertirriego de 5,2 kg/árbol.

Análisis costo-beneficio (ABC) de la cosecha traviesa

El análisis costo-beneficio es una metodología para evaluar los costos y beneficios de un proyecto, programa o intervención con la finalidad de determinar la viabilidad de dicha inversión. Para esto, es necesario cuantificar los costos y beneficios en unidades monetarias. El ABC se puede utilizar como una evaluación ex ante como herramienta para decidir la implementación de un proyecto, o se puede realizar ex post para cuantificar el de un proyecto previamente ejecutado para determinar si el proyecto es deseable (Aguaza, 2012), como es el caso de este estudio.

De acuerdo con Aguilera (2017, p. 329):

la técnica del costo-beneficio se relaciona de manera directa con la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de un proyecto a partir de los costos y beneficios que se derivan de él. Dicha relación de elementos, expresados en términos monetarios, conlleva la posterior valoración y evaluación.

Uno de los métodos existentes para realizar el análisis costo-beneficio es la ratio beneficio-costo (RBC), la cual consiste en dividir los beneficios sobre los costos como se muestra en la ecuación 7.

$$RBC = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} \quad [7]$$

En este método se cuenta con 3 criterios de decisión:

$$RBC \begin{cases} <1, \text{ los costos superan los beneficios; por tanto, el proyecto no es viable} \\ =1, \text{ los costos igualan los beneficios; por tanto, no presenta ganancias} \\ >1, \text{ los beneficios superan los costos; por tanto, el proyecto es viable} \end{cases}$$

Otro factor para la toma de decisiones es el margen de ganancia. Para calcularla, primero se deben conocer los ingresos netos, los cuales son divididos entre los costos de producción de la siguiente manera:

$$\text{Ingreso neto} = \text{Precio de venta} - \text{Costo de producción}$$

$$\text{Margen de ganancia} = \frac{\text{Ingresos netos}}{\text{Precio de venta}} \times 100$$



La tabla 30 contiene la ratio beneficio-costo para cada subparcela. En ambas, la ratio es mayor a 1, lo que implica que los beneficios de producir son mayores que los costos de producir, es decir, son una inversión viable. También se puede apreciar el margen de ganancia, el cual es de 88 % para la subparcela sin fertirriego y 80 % para la subparcela con fertirriego.

Tabla 30. Análisis beneficio-costo de las subparcelas y factores clave

Concepto	Subparcela con fertirriego	Subparcela sin fertirriego
Número de árboles	94	93
kg producidos	6720	6162
Rendimiento por árbol	71,5	66,3
Precio kg	\$ 6000	\$ 6000
Ingreso × árbol	\$ 428.936	\$ 397.548
Costo por árbol	\$ 81.742	\$ 54.023
Margen de ganancia	81 %	86 %
Ratio beneficio-costo	5,25	7,36

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

4.1.2 Costos de producción de la cosecha principal (2021)

Costos subparcela con fertirriego

El costo de producción por árbol para la cosecha principal fue de \$ 60.239, lo que presentó una reducción en comparación con la primera cosecha del 2021. Esto puede ser explicado por la periodicidad, puesto que los costos asociados a la cosecha principal comprenden un periodo de 7 meses, mientras que los costos de la mitaca comprenden 9 meses.

En la tabla 31 se encuentran relacionados los costos por árbol, por kilogramo y por hectárea. Para este último, como se mencionó anteriormente, el costo de un árbol fue multiplicado por 238, número que corresponde a la cantidad de árboles que se pueden plantar en 1 ha con densidad de siembra de 7 × 6 m en cuadro.

Tabla 31. Costos de producción de la subparcela con fertirriego

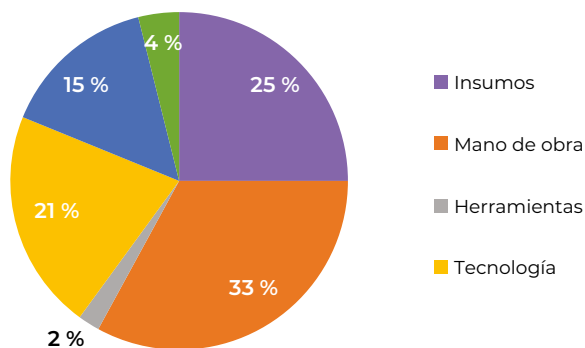
Concepto	Costo (\$)	
Árbol	\$ 60.239	
Kilogramo	\$ 999	
Hectárea	\$ 14.336.970	
Insumos	Por árbol	\$ 15.062
	Por kg	\$ 250
Mano de obra	Por árbol	\$ 19.846
	Por kg	\$ 329



Concepto		Costo (\$)
Tecnología	Por árbol	\$ 12.728
	Por kg	\$ 211
Análisis de laboratorio	Por árbol	\$ 9000
	Por kg	\$ 149
Administración	Por árbol	\$ 2348
	Por kg	\$ 39
Herramienta y equipo	Por árbol	\$ 1256
	Por kg	\$ 21

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Al analizar la composición de los costos de producción, este tiene un comportamiento similar al del costo de la primera cosecha. Aquí, la mano de obra es el rubro con un mayor aporte a los costos (33 % del costo total). El segundo rubro con mayor peso correspondió a los insumos, seguido por la tecnología que incluyó el sistema de riego y la estación meteorológica (ver figura 45).



Costos cosecha 2 con Fertirriego

Figura 45. Composición de costos de producción segunda cosecha, subparcela con fertirriego

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Subparcela sin fertirriego (fertilización granular)

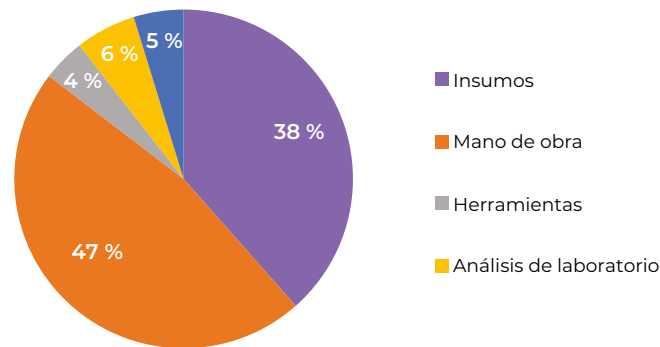
En cuanto a la subparcela sin fertirriego, los costos de producción por árbol y kilogramo de aguacate Hass asociado a la segunda cosecha fueron de \$ 42.790 y \$ 784, respectivamente. Estos costos están desagregados por rubro en la tabla 32. Los insumos y la mano de obra en conjunto abarcaron el 85 % de los costos, representando los rubros con mayor aporte, tal como se observa en la figura 46.



Tabla 32. Costos de producción de la parcela sin fertirriego

Concepto		Costo
Árbol		\$ 42.790
Kilogramo		\$ 784
Hectárea		\$ 10.176.880
Insumos	Por árbol	\$ 16.456
	Por kg	\$ 302
Mano de obra	Por árbol	\$ 20.055
	Por kg	\$ 368
Administración	Por árbol	\$ 2036
	Por kg	\$ 37
Análisis de laboratorio	Por árbol	\$ 2473
	Por kg	\$ 45
Herramienta y equipo	Por árbol	\$ 1740
	Por kg	\$ 32

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).



Costos cosecha 2 sin Fertirriego

Figura 46. Composición de costos de producción segunda cosecha, subparcela sin fertirriego

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Comparación de costos

En el caso de la cosecha principal, al comparar los costos de producción de ambas subparcelas (ver tabla 33), se encontró que la subparcela con fertirriego presentó mayores costos de producción que la subparcela con fertilización granular, con una diferencia de \$ 1.685.821, lo cual se explica por los costos del sistema de riego, que fueron de \$1.196.451. No obstante, los rubros de mano de obra, insumos y herramienta son menores para esta subparcela, con relación a la subparcela sin fertirriego.



Tabla 33. Comparativo de los costos de producción en las subparcelas con y sin fertirriego

Costo		Con fertirriego	Sin fertirriego	Diferencia
Total subparcela		\$ 5.662.501	\$ 3.976.680	\$ 1.685.821
Por Árbol		\$ 60.239	\$ 42.760	\$ 17.479
Por kg		\$ 999	\$ 784	\$ 215
Por hectárea (238 árboles)		\$ 14.336.970	\$ 10.176.880	\$ 4.160.090
Insumos	Por árbol	\$ 15.062	\$ 16.456	\$ (1394)
	Por kg	\$ 250	\$ 302	\$ (52)
Mano de obra	Por árbol	\$ 19.846	\$ 20.055	\$ (209)
	Por kg	\$ 329	\$ 368	\$ (39)
Herramienta	Por árbol	\$1256	\$ 1740	\$ (484)
	Por kg	\$ 21	\$ 32	\$ (11)
Análisis de laboratorio	Por árbol	\$ 9000	\$ 2473	\$ 6527
	Por kg	\$ 149	\$ 45	\$ 104
Administración	Por árbol	\$ 2348	\$ 2036	\$ 312
	Por kg	\$ 15,62	\$ 37	\$ 2

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Rendimiento de la cosecha principal

La subparcela con fertirriego obtuvo una producción de 5668 kg de aguacate Hass, con un rendimiento por árbol de 60,3 kg y una diferencia de 596 kg, respecto a la subparcela sin fertirriego, la cual presentó una producción de 5072 kg (ver figura 47).

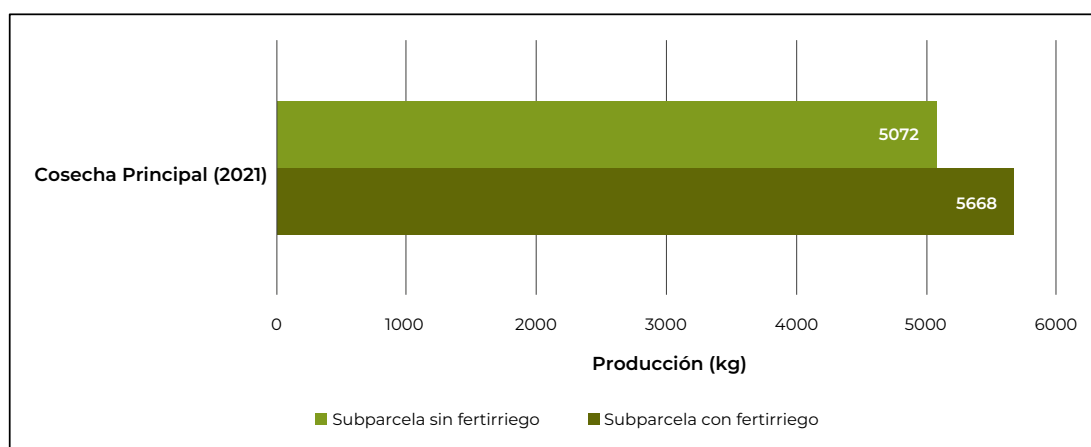


Figura 47. Producción (kg) de aguacate Hass por subparcela en la cosecha principal de 2021

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).



Análisis beneficio-costo (ABC) de la cosecha principal

Una vez analizados los costos y la producción del cultivo de aguacate Hass para ambas subparcelas, se encontró que la ratio beneficio-costo, al igual que en la primera cosecha, es superior a 1, lo que significa que los beneficios de producir aguacate Hass son superiores a los costos asociados. Para el caso de la subparcela con fertirriego, tanto la ratio beneficio-costo como el margen de ganancia son menores a los de la subparcela con fertilización granular. Sin embargo, la utilidad de la subparcela con fertirriego es 4,7 % mayor que la parcela sin fertirriego, lo cual se explica por el rendimiento obtenido (ver tabla 34).

Tabla 34. Análisis beneficio-costo y factores clave en la cosecha principal

Concepto	Subparcela con fertirriego	Subparcela sin fertirriego
Número de árboles	94	93
kg producidos	5668	5072
Rendimiento por árbol	6,3	54,5
Precio kg	\$ 5000	\$ 5000
Ingreso por árbol	\$ 301.489	\$ 272.688
Costo por árbol	\$ 60.239	\$ 42.760
Margen de ganancia	80 %	84 %
Ratio beneficio-costo	5,00	6,38
Utilidad por árbol	\$ 241.250	\$ 229.928

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

4.1.3 Costos de producción asociados con el estudio

La investigación se realizó durante 16 meses, desde julio de 2020 hasta octubre de 2021, en este periodo se incurrieron en costos de producción de \$ 141.981 por árbol en la subparcela con fertirriego y de \$ 96.783 por árbol en la subparcela sin fertirriego (ver tabla 35). El costo de los insumos, la mano de obra y la herramienta fue superior en la subparcela con fertilización granular, mientras que los rubros de análisis de laboratorio y administración presentaron mayores costos en la subparcela con fertirriego, además de un rubro adicional llamado *tecnología*, que corresponde al sistema de fertirriego y la estación meteorológica.

Tabla 35. Costos de producción asociados al estudio por subparcela

Concepto	Con fertirriego	Sin fertirriego	Diferencia
Total subparcela	\$ 13.346.212	\$ 9.000.803	\$ 4.345.409
Por árbol	\$ 141.981	\$ 96.783	\$ 45.198
Por kg	\$ 1077	\$ 801	\$ 276
Por hectárea (238 árboles)	\$ 33.791.473	\$ 23.034.314	\$ 10.757.159



Concepto		Con fertirriego	Sin fertirriego	Diferencia
Insumos	Por árbol	\$ 29.114	\$ 34.435	\$ (5322)
	Por kg	\$ 221	\$ 285	\$ (64)
Mano de obra	Por árbol	\$ 48.682	\$ 51.289	\$ (2607)
	Por kg	\$ 369	\$ 425	\$ (55)
Herramienta	Por árbol	\$ 3469	\$ 3977	\$ (508)
	Por kg	\$ 26	\$ 33	\$ (7)
Tecnología	Por árbol	\$29.093		\$ 29.093
	Por kg	\$ 221		\$ 221
Análisis de laboratorio	Por árbol	\$ 25.383	\$ 2473	\$ 22.910
	Por kg	\$ 193	\$ 20	\$ 172
Administración	Por árbol	\$6240	\$ 4609	\$ 1632
	Por kg	\$ 47	\$ 38	\$ 9

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Producción de aguacate Hass

Para ambas cosechas asociadas con el tiempo de investigación, la producción de aguacate Hass, en las 2 subparcelas, presentó un rendimiento promedio de 66 y 60,4 kg por planta, respectivamente. En el caso de la subparcela con fertirriego, se obtuvo un total 12.388 kg, mientras que, en la subparcela sin fertirriego, se cosecharon 11.234 kg, presentando una diferencia entre subparcelas de 1154 kg.

En la figura 48 se muestra la producción obtenida en ambas cosechas tanto para la subparcela con fertirriego como la subparcela sin dicha tecnología, encontrando que en la travesía se obtuvo una mayor producción en comparación con la cosecha principal, con una diferencia entre cosechas de 1052 kg en la subparcela con fertirriego y 1090 kg en la subparcela de fertilización granular.

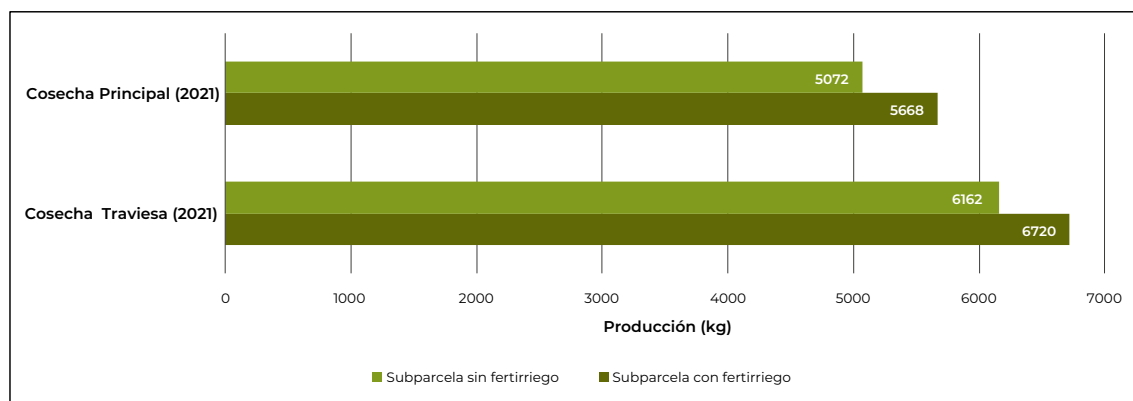


Figura 48. Producción (kg) de aguacate Hass por subparcela y cosecha

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).



Beneficio-costo asociados al cultivo de aguacate Hass durante la investigación

Como se mencionó, el cultivo de aguacate Hass presentó beneficios superiores a los costos incurridos para la producción de este fruto, ya que la ratio beneficio-costo en ambas cosechas fue superior a 1 (ver tabla 36).

Tabla 36. Análisis beneficio-costo por subparcela

Concepto	Primera: mitaca o traviesa		Segunda: principal		Tiempo total del estudio	
	Con fertirriego	Sin fertirriego	Con fertirriego	Sin fertirriego	Con fertirriego	Sin fertirriego
Beneficio	\$ 428.936	\$ 397.548	\$ 301.489	\$ 272.688	\$ 724.830	\$ 664.376
Costo	\$ 81.742	\$ 54.023	\$ 60.239	\$ 42.760	\$ 141.981	\$96.783
B/C	5,25	7,36	5,00	6,38	5,11	6,86

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

4.2 Análisis diagnóstico del cable vía en la cosecha de aguacate Hass

El cable vía es una opción tecnológica, que además de facilitar el transporte de carga, permite aumentar la rentabilidad del cultivo de aguacate Hass en la zona ladera al conservar la calidad de frutos en el proceso de evacuación del lote de cultivo, disminuir pérdidas y reducir costos de operación al requerir menor mano de obra y tiempos en el traslado de la fruta (Fontanilla y Castiblanco, 2009; Cubillos *et al.*, 2015). Aunque, este sistema de transporte de carga es empleado en varias actividades dentro del sistema de producción, en este apartado se analiza únicamente la eficiencia y el beneficio-costo del cable vía durante la cosecha, realizando un paralelo con el transporte de carga realizado por tracción animal y los operarios de campo.

4.2.1 Eficiencia del cable vía en la cosecha de aguacate Hass

Al momento de realizar la cosecha, se tomaron en el cable vía los tiempos de carga y transporte de canastillas con el fruto cosechado (ver figura 49), y se realizó el registro en cada recorrido. Finalmente, con esta información se calculó el promedio de kilogramos transportados por hora, así como la cantidad de recorridos realizados.

Se concluyó que durante la cosecha el cable vía transportó 1300 kg por hora en 6 recorridos. Asimismo, se estimó que la capacidad de carga máxima por hora que permite mantener la calidad del fruto es de 1440 kg, es decir, que la eficiencia del cable vía es del 90 %, indicando que su uso es “muy eficiente” y se encuentra significativamente cerca de su capacidad máxima.



Figura 49. Registro de los tiempos de carga y transporte de canastillas con frutos cosechados a través del cable vía

Fuente: elaboración propia. Fotografías de P. Arango (2021).

Tabla 37. Eficiencia productiva del cable vía

Cantidad de viajes por hora	Kilos transportados/hora	Capacidad kilos/hora	Eficiencia productiva
6	1300	1440	90 %

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

La primera comparación se realizó utilizando 2 medios para el transporte de la fruta: animales de carga y operarios de campo (ver figura 50), para los cuales también se calculó la cantidad de kilogramos transportados por hora, con el objetivo de evaluar la eficiencia del cable vía en comparación con los medios tradicionales. Se encontró que con animales de carga en una hora se realizan 3 recorridos y se transportan 300 kg, mientras que al transportar la carga por operarios de campo únicamente se realizan 3 recorridos, en los que se acarrean 60 kg/hora.

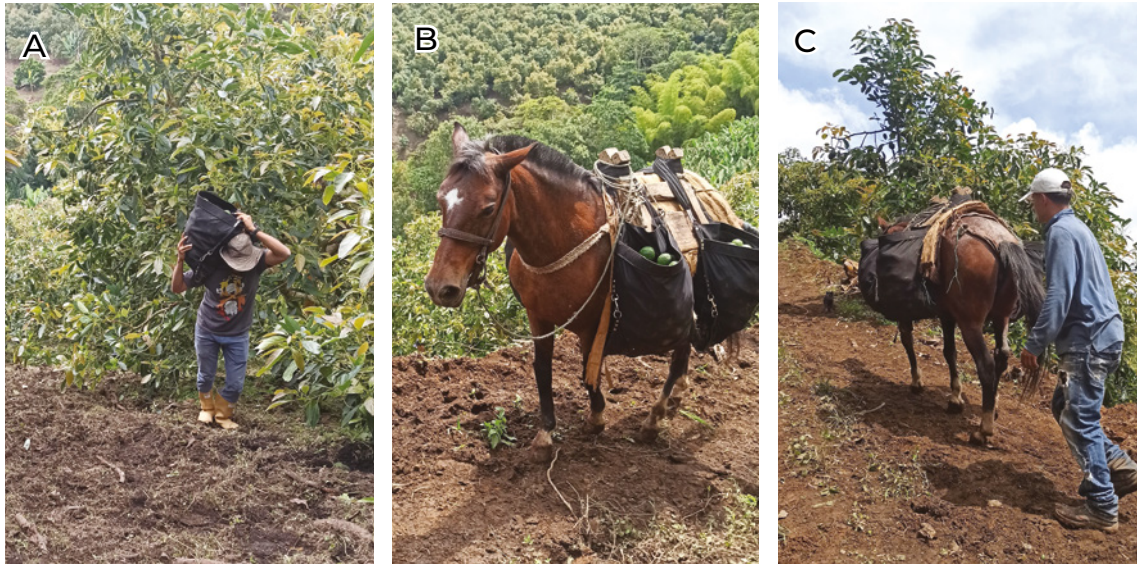


Figura 50. Transporte tradicional de carga en la finca El Encanto. A. Con los operarios de campo. B y C. Con animales de carga

Fuente: elaboración propia. Fotografías de J. Guerrero (2022).

Como se muestra en la tabla 38, el sistema de cable vía es más eficiente que el uso de mecanismos tradicionales, pues transporta 22 veces la cantidad llevada por los operarios de campo y 4,3 veces más que los animales de carga.

Tabla 38. Kilogramos por hora transportados de acuerdo con el medio de transporte utilizado

Producción transportada		
Medio de transporte	Cantidad de viajes por hora	Kilos transportados/hora
Cable vía	6	1300
Operarios de campo	3	60
Animales de carga	3	300

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

4.2.2 Costo de instalación del cable vía

La instalación del cable vía requirió una inversión de \$ 49.030.000 incluyendo la instalación de un contador de 220 voltios; sin embargo, el cable vía tiene una vida útil estimada de 20 años, siempre y cuando se realice el correcto mantenimiento. Por tanto, el costo anual del cable vía equivale a \$ 2.451.500, más el costo de mantenimiento estimado en 10 % de la inversión, lo que al año corresponde a \$ 245.150.

En la tabla 39, se presentan los costos de instalación del cable vía, así como los costos asociados a 1 día de cosecha, el cual asciende a \$ 50.141 teniendo en cuenta 1 jornal requerido para el funcionamiento, el mantenimiento del sistema y la amortización de la inversión requerida.



Tabla 39. Costos de implementación del cable vía

Sistema cable vía	
Costo instalación cable vía	\$ 49.000.000
Contador 220 V	\$ 30.000
Costo total instalación cable vía	\$ 49.030.000
Vida útil cable vía (años)	20
Amortización anual cable vía	\$ 2.451.500
Horas de uso cable vía en cosecha al día	8
Costo asociado a la cosecha	
Amortización cable vía por día	\$ 6716
Mantenimiento por día	\$ 13.425
Mano de obra para funcionamiento por día	\$ 30.000

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

4.2.3 Beneficio-costo del cable vía

Con el objetivo de realizar el análisis beneficio-costo, se estimaron los costos de transportar 1300 kg en una hora en cable vía a partir de la sumatoria de los costos de amortización, mantenimiento y mano de obra para funcionamiento por día. Se encontró un costo total de \$ 4379 por hora.

Tabla 40. Costos por hora del uso del cable vía

Costo de uso del cable vía por hora			
Amortización cable vía por hora cosecha	Mantenimiento	Jornal para funcionamiento	Costo total por hora
\$ 210	\$ 420	\$ 3750	\$ 4379

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

Con el objetivo de realizar un ejercicio comparativo entre el sistema cable vía y los medios tradicionales para el transporte de la fruta al interior de la finca, se estimaron los costos con animales de carga y operarios de campo para transportar 1300 kg, ya que estos son los kilos transportados en 1 hora por el cable vía. En la tabla 41 se muestran los costos calculados. En el caso de los animales de carga cuesta \$ 92.013 transportar 1300 kg, mientras que llevar la carga con los operarios de campo genera costos de \$ 135.375.

Tabla 41. Costo de acuerdo con los medios de transporte tradicionales para el cultivo de aguacate Hass

Medio de transporte	Tiempo para transportar 1300 kg (hora)	Costo del mecanismo	Costo total por hora	Costo ahorrado al usar cable vía
Operarios de campo	21,66	\$ 6250	\$ 135.375	\$ 130.996
Animales de carga	4,33	\$ 21.250	\$ 92.013	\$ 87.633

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).



Respecto a los beneficios del uso del cable vía, estos se estimaron como el ahorro al que se incurre al utilizar este sistema en lugar de los medios tradicionales, es decir, se calcularon restando al costo de usar animales de carga el costo del uso de cable vía, igualmente se calculó para el transporte con operarios de campo. Por tanto, el análisis beneficio-costo se realizó en comparación con los demás sistemas de transporte como se muestra en la tabla 42.

Tabla 42. Beneficio-costo del uso de cable vía

Cable vía vs.	Beneficio/hora	Costo/hora	B/C por hora
Cable vía vs. operarios de campo	\$ 130.996	\$ 4379	29,9
Cable vía vs. animales de carga	\$ 87.633	\$ 4379	20,0

Fuente: elaborado por L. Mosquera (2022).

La ratio beneficio-costo de utilizar el cable vía como reemplazo de los animales de carga y el transporte por operarios de campo es de 29,9 y 13,8, respectivamente, lo que significa que el ahorro al utilizar el cable vía en lugar de otro medio tradicional es superior al costo del uso de este sistema.

4.3 Conclusiones

- La adopción de la tecnología del fertirriego en la subparcela implicó una inversión inicial mayor con referencia a la subparcela con fertilización granular. Sin embargo, la implementación de este sistema en el cultivo de aguacate Hass requiere menor mano de obra, insumos y herramientas, lo cual permitió equilibrar costos entre los manejos del cultivo.
- Si bien el costo total por árbol fue menor en la subparcela con fertilización granular, la subparcela con fertirriego presentó mayor producción de aguacate Hass, lo que significó mayor utilidad del cultivo e ingresos para el productor.
- El análisis beneficio-costo realizado a la parcela demostrativa mostró que el cultivo de aguacate Hass en esta zona de ladera del norte del Valle del Cauca es económicamente rentable, generando un margen de ganancia considerable para el productor, tanto con la implementación del sistema de fertirriego como con la fertilización granular.
- La implementación del cable vía incrementó la eficiencia en la cosecha de aguacate Hass al reducir tiempos y costo en el transporte del fruto. A la vez, facilitó el traslado de insumos y herramientas al interior de la finca y redujo el esfuerzo físico realizado por los operarios de campo en estas actividades.

5. CONCLUSIONES GENERALES

- El proceso de identificación y selección de productores de aguacate Hass en zona de ladera del norte del Valle del Cauca para el establecimiento de la parcela demostrativa permitió corroborar que los municipios de Bolívar y Roldanillo concentran la mayor área sembrada de este cultivar. Asimismo, el proceso permitió constatar que la producción de Hass se desarrolla principalmente por pequeños productores independientes, con menor participación a nivel de asociaciones. De allí, la importancia de incluir tecnologías agrícolas como el fertirriego, que permitan reducir la brecha tecnológica y favorecer su participación en mercados nacionales e internacionales.
- Los resultados obtenidos en el desarrollo de la parcela demostrativa de aguacate Hass evidenciaron que la tecnología del fertirriego representa una opción viable para incrementar la productividad y rentabilidad de este cultivo en zona de ladera del Valle del Cauca, debido a las mejores condiciones nutricionales del cultivo al obtener nutrientes de forma continua y en dosis ajustadas según requerimientos del cultivo y disponibilidad en el suelo, favoreciendo así el desarrollo vegetativo, floración y productividad de los árboles.
- La investigación en torno a la práctica de fertirrigación en la parcela demostrativa corroboró la importancia de tecnologías agrícolas como la estación meteorológica y los tensiómetros, los cuales permiten el acceso a información diaria de variables climáticas y condición hídrica del suelo, datos requeridos para la programación efectiva de los fertirriegos, volúmenes y tiempos de riego.
- El análisis de costos de producción en la parcela demostrativa de aguacate Hass mostró que, si bien la aplicación de la tecnología del fertirriego requiere de mayor inversión inicial, tanto el uso del fertirriego como la fertilización granular representan una inversión viable para este cultivo en zona de ladera, generando un margen de ganancia considerable para el productor.
- El fertirriego en cultivos de ladera es una herramienta que además de permitir mayor eficiencia en el uso del agua, fertilizantes y absorción de minerales, favorece la conservación del suelo al prevenir procesos erosivos, debido a la reducción del nivel de contaminación por los fertilizantes y pérdida de suelo por escorrentía.
- Aunque se realizó una investigación parcial sobre la eficiencia del cable vía respecto a sistemas tradicionales para el transporte de carga al interior de la finca, se logró evidenciar que la implementación de este sistema incrementó la eficiencia en la cosecha de aguacate Hass al reducir tiempos en el transporte del fruto. A la vez, facilitó el traslado de insumos y herramientas, y redujo el esfuerzo físico realizado por los operarios de campo en estas actividades.

ANEXOS

Anexo A

Tabla 43. Visitas y actividades realizadas por el equipo técnico de la parcela demostrativa de aguacate Hass en la finca El Encanto durante el periodo 2018-2021

Año	Lugar	Profesional que lideró la visita	Actividades realizadas	Número de visitas	Tipo de soporte
2018	Bolívar-Roldanillo	Florencia Satizabal	Socialización del proyecto a productores de aguacate Hass y reconocimiento de fincas potenciales para el establecimiento de la parcela, selección parcela.	2	Actas
2020	La Tulia, Roldanillo	Herney Vásquez-Johanna Guerrero	Formalización de la selección de la parcela demostrativa, atención visita VRI- Bogotá.	1	Formato de visita técnica
		Johanna Guerrero	Recorrido a fincas potenciales para el establecimiento de la parcela demostrativa, instalación estación meteorológica, verificación fertilización en la parcela demostrativa de aguacate y entrega de insumos, seguimiento permanente a la parcela demostrativa.	6	Formatos de visita técnica
		Gustavo Escobar	Búsqueda de agricultores interesados en la parcela; selección de la zona para la ubicación de la estación meteorológica; levantamiento topográfico; selección y marcado de árboles en las 2 subparcelas; revisión del caudal de goteros y apertura de zanjas; toma de muestras de agua, foliares y de suelo; evaluación de la fenología de floración; evaluación del estado fitosanitario y nutricional del cultivo; revisión de frutos, revisión permanente de datos de variables climáticas de la estación meteorológica; revisión permanente de la humedad del suelo y lecturas de tensiómetros; instalación de sondas en el suelo; revisión permanente del fertirriego; limpieza del sistema de fertirriego; realización del ensayo de inyección fertilizante; medición de CE y pH; socialización de resultados del análisis de suelo y asistencia técnica Unal y visita al cultivo; y toma de datos de producción durante la cosecha.	77	Formatos de visita técnica



Año	Lugar	Profesional que lideró la visita	Actividades realizadas	Número de visitas	Tipo de soporte
2021	La Tulia, Roldanillo	Johanna Guerrero	Planeación de la cosecha y actividad de control social, seguimiento permanente a la parcela demostrativa, toma de datos de producción durante la cosecha, seguimiento a la construcción del cable vía y evento de día de campo de octubre.	6	Formatos de visita técnica
		Gustavo Escobar	Revisión del caudal de goteros, toma de muestras foliares y de suelo, evaluación de la fenología de floración, evaluación del estado fitosanitario y nutricional del cultivo, revisión de frutos, revisión permanente de datos de variables climáticas de la estación meteorológica, revisión permanente de la humedad del suelo y lecturas tensiómetros, cálculo de lámina de fertirriego, revisión permanente del funcionamiento del fertirriego y preparación de soluciones nutritivas, limpieza del sistema de fertirrigación, medición de CE y pH, marcado de árboles, planeación cosecha y actividad de control social, toma de datos de producción durante la cosecha, socialización de resultados del análisis de suelo y foliares, levantamiento topográfico, e instalación de la valla informativa de la parcela.	88	Formatos de visita técnica
Total visitas				180	

Fuente: elaboración propia.



Anexo B

Tabla 44. Resultados de los análisis del agua de riego realizados en mayo y diciembre de 2020, en la finca El Encanto

Parámetro	Resultado				Técnica analítica/ metodología*
	Mayo de 2020		Diciembre de 2020		
pH	7,58		7,17		Potenciometría (método interno)
Conductividad eléctrica (dS/m)	0,2		0,13		Potenciometría (método interno)
Elemento	ppm	meq/l	ppm	meq/l	
Potasio (K ⁺)	1,36	0,03	1,15	0,03	Espectrofotometría de absorción atómica (método interno)
Calcio (Ca ²⁺)	17,4	0,87	9,16	0,46	Espectrofotometría de absorción atómica (método interno)
Magnesio (Mg ²⁺)	8,44	0,69	7,52	0,62	Espectrofotometría de absorción atómica (método interno)
Sodio (Na ⁺)	7,5	0,33	3,62	0,16	Espectrofotometría de absorción atómica (método interno)
Amonios (N-NH ₄ ⁺)	0,53	0,03	0,34	0,02	Espectrofotometría UV-VIS (método interno)
Suma de cationes		1,95		1,28	
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	58,9	0,99	57,8	0,90	Volumétrico (método interno)
Cloruros (Cl ⁻)	1,57	0,05	6,82	0,18	Volumétrico (método interno)
Fosfatos (P-H ₂ PO ₄ ⁻)	7,05	0,68	12,8	0,13	Espectrofotometría UV-VIS (método interno)
Sulfatos (S-SO ₄ ⁻)	0,74	0,05	1,48	0,03	Espectrofotometría UV-VIS (método interno)
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	2,59	0,19	2,58	0,14	Espectrofotometría UV (método interno)



Parámetro	Resultado				Técnica analítica/ metodología*
	Mayo de 2020		Diciembre de 2020		
Suma de aniones		1,95		1,29	
Boro	<0,01	*	0,01	*	Espectrofotometría UV-VIS (método interno)
Hierro (pH Real)	0,05	*	0,01	*	Espectrofotometría de absorción atómica (método interno)
Hierro (pH 2,0)	0,07	*	0,06	*	Espectrofotometría de absorción atómica (método interno)
Manganeso	<0,01	*	0,01	*	Espectrofotometría de absorción atómica (método interno)
Cobre	0,03	*	0,01	*	Espectrofotometría de absorción atómica (método interno)
Zinc	<0,01	*	0,01	*	Espectrofotometría de absorción atómica (método interno)
RAS	0,37		0,21		
Salinidad efectiva (meq/l)	1,08		0,82		
Alcalinidad (ppm CaCO ₃)	49		45,2		
Salinidad potencial (meq/l)	0,07		0,20		
Dureza (ppm CaCO ₃)	79		54,2		
PSP (%)	30,1		19,1		
Parámetro	Resultado	Especificación	Resultado	Especificación	Método
Recuento total de aerobios mesófilos UFC/ml	*	N.A.	*	N.A.	Recuento en placa
NMP de coliformes totales /g-ml	*	N.A.	*	N.A.	Tubos múltiples
NMP de <i>Escherichia coli</i> /g-ml	*	N.A.	*	N.A.	Tubos múltiples

*Técnicas y Metodologías Laboratorio Campolab

Fuente: elaboración propia.



Anexo C

Tabla 45. Resultados de los análisis de tejido foliar realizados en árboles de aguacate Hass de la finca El Encanto, municipio de Roldanillo, Valle del Cauca

Parámetro	Unidad	Subparcela con fertirriego								Subparcela con fertilización granular
		Sector 1				Sector 2				Jun. 2021
		May. 2020	Sep. 2020	Dic. 2020	Jun. 2021	May. 2020	Sep. 2020	Dic. 2020	Jun. 2021	
N	%	3,83	3,36	3,77	2,44	3,87	3,87	3,92	2,79	2,58
P	%	0,15	0,23	0,18	0,14	0,18	0,18	0,21	0,15	0,14
K	%	1,09	1,07	1,26	0,94	1,21	1,21	1,21	0,99	0,88
Ca	%	1,2	0,88	1,31	1,29	1,11	1,11	1,35	1,31	1,21
Mg	%	0,52	0,59	0,53	0,23	0,46	0,46	0,54	0,43	0,66
S	%	0,2	0,32	0,24	0,2	0,23	0,23	0,21	0,52	0,28
B	ppm	29,7	38,2	28,6	65	25,4	25,4	24,8	112	125
Fe	ppm	60,2	73,6	126	124,1	62,1	62,1	107	139	163
Mn	ppm	220	119	104	181	213	213	213	135	176
Cu	ppm	25	13,6	10,6	16,33	20,6	20,6	16,9	13	19,2
Zn	ppm	26	92,1	62,6	43,4	29,5	29,5	77,2	37,4	43,2

Metodologías analíticas	
N-Orgánico	AOAC 978.04 –Vol.–Kjeldahi
(Ca, K, Mg) totales	Absorción atómica (met. interno)
(Fe, Cu, Mn, Zn) totales	Absorción atómica (met. interno)
P total	Fotometría UV-VIS (met. interno)
S total	Fotometría UV-VIS (met. interno)
B total	Fotometría UV-VIS (met. interno)
Otros	Gravimetría

*Técnicas y metodologías del laboratorio Campolab.



Anexo D

Análisis fisicoquímicos de los frutos de aguacate Hass de la cosecha traviesa (marzo de 2021)

Tabla 46. Corteza

Subparcela	Muestra	Peso (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Diam. base (mm)	Cicatriz (mm)	Forma
Sin fertirriego	M1	186,0	81,79	52,93	31,74	9,06	Ovoide
	M2	167,6	78,64	58,85	36,59	10,95	Piriforme
	M3	161,0	84,83	60,45	33,77	9,53	Piriforme
	M4	190,4	72,86	48,21	26,02	8,55	Ovoide
	M5	185,5	77,39	60,93	33,07	8,6	Piriforme
	M6	182,9	89,5	63,41	38,48	11,23	Ovoide
	M7	178,9	78,3	60,82	35,41	8,25	Ovoide
	M8	181,4	79,21	59,66	34,22	9,01	Piriforme
Con fertirriego	M1	152,7	77,39	58,51	39,65	10,05	Ovoide
	M2	159,4	83,05	57,14	30,88	9,5	Piriforme
	M3	160,0	83,7	57,41	32,36	9,31	Esférico
	M4	205,1	78,42	57,42	34,84	10,48	Piriforme
	M5	162,9	81,66	52,25	33,22	9,94	Piriforme
	M6	165,4	83,85	58,88	34,63	8,13	Ovoide
	M7	161,8	82,15	62,10	34,74	10,10	Ovoide
	M8	159,3	85,21	59,60	32,44	9,98	Piriforme

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.

Tabla 47.

Subparcela	Muestra	Punteado	Espesor (mm)	Peso corteza (g)	Textura (newtons)
Sin fertirriego	M1	8/8/4/7	1,21/1,18	35,51	41,596
	M2	11/6/4	1,01/0,98	34,55	41,395
	M3	10/8/7/	1,1/1,02	39,19	40,95
	M4	7/10/5/	1,20/1,03	37,25	32,91
	M5	6/9/6/	0,95/0,98	38,10	41,20
	M6	7/7/9/	0,97/1,13	35,20	38,42
	M7	8/8/4/7	0,78/1,03	31,49	33,58
	M8	11/6/4	0,83/0,94	38,22	33,366



Subparcela	Muestra	Punteado	Espesor (mm)	Peso corteza (g)	Textura (newtons)
Con fertirriego	M1	10/8/7/	1,08/0,99	37,08	36,426
	M2	7/10/5/	1,07/1,45	34,98	40,738
	M3	6/9/6/	1,02/1,15	35,21	32,826
	M4	7/7/9/	0,95/1,02	37,24	34,352
	M5	5/4/5/	0,98/1,20	38,42	39,218
	M6	6/5/4/	1,03/1,10	33,50	41,481
	M7	7/3/12/	1,10/1,09	35,20	40,230
	M8	8/8/4/7	0,78/1,03	31,49	33,58

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.

(GY)	V	C	H (GY)	V	C	H (GY)	V	C
CIE Lab L	a	b	L	a	b	L	a	b
6	3,4	3,6	5,9	3,3	4	4,7	3,2	3,2
32,82	-12,44	18,02	32,16	-10,33	14,76	37,93	-15,84	24,43
Muestra 1			Muestra 3			Muestra 5		
5,7	3,2	3,5	5,7	3,1	2,9	5,7	3,7	4,4
34,24	-14,78	21,16	32,77	-10,45	17,86	32,45	-11,63	18,49
Muestra 2			Muestra 4			Muestra 6		

Figura 51. Evaluación instrumental de color del exocarpo del aguacate Hass, subparcela 1 (sin fertirriego)

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.



(GY)	V	C	H (GY)	V	C	H (GY)	V	C
CIE Lab L	a	b	L	a	b	L	a	b
5,2	3,2	3,4	5,3	3,7	3,2	5,0	3,4	3,1
32,41	-12,4	16,54	31,80	-11,89	17,25	32,50	-14,92	25,23






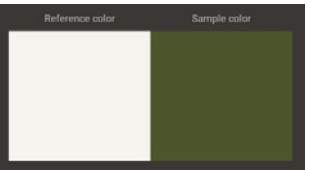
 <p>Muestra 1</p>	 <p>Muestra 3</p>	 <p>Muestra 5</p>						
6,2	3,2	3,3	5,5	3,4	3,9	5,2	3,3	3,6
38,12	-11,96	17,38	33,58	-11,14	16,28	32,65	-10,93	19,20
 <p>Muestra 2</p>	 <p>Muestra 4</p>	 <p>Muestra 6</p>						

Figura 52. Evaluación instrumental de color del exocarpo del aguacate Hass, subparcela 2 (con fertirriego)

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.



Tabla 48. Mesocarpio

Subparcela	Muestra	Tamaño ventral (mm)	Tamaño dorsal (mm)	Peso (g)	Textura (Newtons)	ENDOCARPIO							
						Long (mm)	Ancho (mm)	Haces vasculares visibles	Acidez (expresada en el porcentaje de ácido tartárico)	Grados Brix SST	pH	Grasa total (g/100 g) base húmeda	Fibra cruda (g) base húmeda
Sin fertirriego	M1	69,06	76,05	113,1	20,988	34,44	33,79	6	9,867	5,3	6,48	13,95	6,2
	M2	68,59	69,15	110,11	21,095	38,84	38,39	5	14,974	5,8	6,24		
	M3	70,97	69,83	89,71	21,698	37,20	27,35	6	15,010	6,2	6,66	14,20	6,3
	M4	68,62	69,38	120,77	20,376	34,12	28,30	5	15,106	5,8	6,72		
	M5	70,23	70,23	113,1	20,120	32,01	25,25	5	15,920	5,6	6,77	13,66	6,7
	M6	71,10	71,50	112,30	22,320	33,50	27,56	7	14,899	6,0	6,62		
	M7	68,25	69,25	110,35	20,425	31,20	30,05	4	15,041	5,4	6,50	13,92	6,2
	M8	68,13	72,10	109,10	22,003	27,24	29,50	3	15,120	5,9	5,45		
Con fertirriego	M1	60,11	72,78	96,68	22,864	28,27	25,22	6	11,147	6,2	6,23	14,89	6,5
	M2	68,79	71,73	108,7	20,620	27,51	27,80	7	16,501	4,8	6,48		
	M3	62,10	72,99	102,2	19,309	32,98	26,69	6	15,945	4,9	6,45	14,65	6,8
	M4	72,30	69,85	144,66	20,356	29,40	30,23	5	15,230	5,1	6,41		
	M5	62,30	69,86	98,61	24,381	34,45	34,08	7	15,128	5,0	6,21	15,22	6,7
	M6	60,50	68,23	108,01	21,259	31,10	31,05	6	14,815	4,7	6,41		
	M7	69,28	69,57	99,21	22,297	35,3	32,74	4	11,501	5,1	6,31	15,21	7,1
	M8	67,23	69,72	98,52	24,235	33,49	31,32	5	16,500	4,8	6,41		

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.



MUSELL H (GY)	V	C	H (GY)	V	C	H (GY)	V	C
CIE Lab L	a	b	L	a	b	L	a	B
0,26Y	6,8	6,6	9,5Y	6,8	6,2	7,2Y	7,1	5,93
65,8	-11,48	45,9	65,20	-10,32	44,92	80,21	-7,22	39,56

Muestra 1	Muestra 3	Muestra 5						
9,2Y	6,8	6,3	7,5Y	6,68	6,13	9,5Y	5,46	6,01
55,60	-9,86	44,20	79,53	-6,98	42,61	70,21	-10,10	45,45

Muestra 2	Muestra 4	Muestra 6

Figura 53. Evaluación instrumental de color del mesocarpio del aguacate Hass, subparcela 1 (Sin fertirriego)

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.

MUSEL H (GY)	V	C	H (GY)	V	C	H (GY)	V	C
CIE Lab L	a	B	L	A	B	L	a	b
9,5Y	6,6	6,2	0,3	6,4	6,2	4,2Y	7,7	7
68,08	-10,36	45,42	65,9	-11,57	45,5	78,34	-2,03	49,66

Muestra 1	Muestra 3	Muestra 5						
9,5Y	6,3	6,2	7,1Y	7,9	6,1	5,2Y	6,9	6,0
64,59	-10,18	45,68	81,14	-7,34	44,88	75,20	-1,08	45,58

Muestra 2	Muestra 4	Muestra 6

Figura 54. Evaluación instrumental de color del mesocarpio del aguacate Hass, subparcela 2 (con fertirriego)

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.



Tabla 49. Semilla

Subparcela	Muestra	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Peso (g)	Color Munsell			
					H	Y	C	Color
Sin fertirriego	M1	32,72	38,95	37,41	8,8YR	6,6	6,4	
	M2	28,74	34,64	22,93	9,7YR	6,2	6,6	
	M3	31,00	27,00	32,06	1,1YR	6,3	6,4	
	M4	33,20	35,26	32,42	8,7 YR	6,4	6,8	
	M5	32,21	37,41	34,25	9,0 YR	6,3	7,1	
	M6	31,33	32,24	35,41	7,8 YR	7,1	7,5	
	M7	27,32	32,26	34,12	9,9	6,1	6,8	
	M8	29,25	28,13	37,01	9,8 YR	6,6	7,2	
Con fertirriego	M1	33,35	30,87	18,89	9,3 YR	6,2	7,5	
	M2	30,00	29,14	15,67	6,5 YR	5,6	7,6	
	M3	32,07	34,32	22,54	8,1 YR	5,9	6,7	
	M4	36,68	32,46	23,22	9,3	7,6	4,5	
	M5	31,67	36,22	25,86	9,7	7,4	4,8	
	M6	33,21	32,27	23,89	9,4	7,7	4,6	
	M7	32,25	35,21	27,41	8,3	5,5	7,1	
	M8	31,42	34,50	29,27	8,9	7,2	6,6	

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.



Anexo E

Análisis fisicoquímicos de los frutos de aguacate Hass de la cosecha principal (octubre de 2021)

Tabla 50. Corteza

Subparcela	Muestra	Peso (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Relación l/a	Diam. Base (mm)	Cicatriz (mm)	Forma
Sin fertirriego	M1	187,49	85,88	65,53	1,4216	45,97	10,63	Piriforme
	M2	193,01	93,16	63,57	1,3511	51,49	9,61	Piriforme
	M3	165,49	85,89	65,87	1,5042	47,03	10,57	Esférico
	M4	232,57	99,08	65,22	1,4322	62,74	9,09	Piriforme
	M5	195,26	93,41	62,49	1,4242	60,57	9,86	Ovoide
	M6	169,80	89,0	62,49	1,4304	51,07	8,38	Piriforme
Con fertirriego	M1	219,69	99,75	67,36	1,4808	35,45	11,29	Ovoide
	M2	186,40	86,28	67,47	1,2788	54,99	11,61	Piriforme
	M3	206,16	92,06	68,46	1,3645	54,73	10,75	Piriforme
	M4	206,23	94,94	65,90	1,4407	49,31	10,57	Piriforme
	M5	161,64	88,28	68,32	1,4496	35,91	9,96	Piriforme
	M6	197,17	88,97	65,41	1,4304	45,06	9,87	Piriforme

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.

Tabla 51.

Subparcela	Muestra	Punteado	Espesor (mm)	Peso corteza (g)	Textura (newton)
Sin fertirriego	M1	7/11/7	1,43	36,17	24,564
	M2	13/9/7	1,47	40,18	56,882
	M3	12/14/8	1,55	38,72	33,574
	M4	12/10/8	1,70	54,26	30,756
	M5	12/15/14	2,23	43,54	36,582
	M6	8/7/9	1,90	38,94	38,769
Con fertirriego	M1	9/6/10	2,42	51,44	25,093
	M2	8/9/11/8	2,23	41,42	43,135
	M3	9/9/11	1,35	40,11	38,201
	M4	7/9/10/8	2,05	43,04	37,515
	M5	10/10/11	2,23	38,03	38,269
	M6	10/9/7/6	1,67	40,96	38,394

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.



MUSELL H (GY)	V	C	H (GY)	V	C	H (GY)	V	C
CIE Lab L	a	b	L	A	b	L	a	b
5,6GY	3,8	3,8	6,2GY	3,4	3,4	5,7GY	3,6	4
38,63	-13,72	21,07	38,13	-12,93	17,26	37,04	-14,51	21,89
Muestra 1			Muestra 3			Muestra 5		
6,3GY	3,5	3,9	5,8GY	3,7	3,5	5,7GY	3,7	4,0
36,49	-14,7	19,76	37,66	-12,93	18,8	38,0	-14,57	22,08
Muestra 2			Muestra 4			Muestra 6		

Figura 55. Evaluación instrumental de color del exocarpo de aguacate Hass, subparcela 1 (sin fertirriego)

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.

MUSELL H (GY)	V	C	H (GY)	V	C	H (GY)	V	C
CIE Lab L	a	b	L	a	b	L	A	b
6,0GY	3,3	2,9	6,0y	3,2	2,8	6,0gy	3,6	4,3
33,67	-10,58	14,36	33	-10,06	13,67	36,54	-16,2	23,24
Muestra 1			Muestra 3			Muestra 5		
5,7gy	3,4	3,3	6,2gy	3,4	3,1	6,0gy	3	2,7
35,02	-11,92	17,32	34,94	-11,61	15,39	30,45	-9,73	12,91
Muestra 2			Muestra 4			Muestra 6		

Figura 56. Evaluación instrumental de color del exocarpo de aguacate Hass, subparcela 2 (con fertirriego)

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.



Tabla 52. Mesocarpio

Subparcela	Muestra	Tamaño ventral (mm)	Tamaño dorsal (mm)	Peso (g)	Textura (newton)	% acidez	°Brix SST	Endo carpio		
								Largo (mm)	Ancho (mm)	Haces vasculares visibles
Sin fertirriego	M1	26,61	11,17	117,47	16,649	15,926	4,0	42,15	35,12	5/6/6
	M2	40,82	14,47	134,19	30,578	9,472	3,9	31,26	30,7	3/4/5
	M3	39,6	14,58	113,48	31,967	9,300	3,9	27,94	25,15	6/4/6
	M4	36,76	15,14	148,58	30,974	11,050	3,7	37,26	34,01	6/6/7
	M5	32,33	14,06	126,72	32,979	10,826	5,6	34,06	30,5	4/6/5
	M6	35,09	11,94	113,79	36,007	7,307	4,9	29,9	30,36	5/7/5
Con fertirriego	M1	38,38	14,17	128,87	32,431	18,237	5,6	38,68	38,06	5/3/5
	M2	29,85	12,07	109,24	27,576	16,790	4,0	38,89	36,5	7/4/5
	M3	33,01	12,10	127,77	28,959	14,720	4,7	39,95	39,49	4/6/6
	M4	35,58	14,60	128,97	34,575	10,879	4,2	38,49	36,56	4/5/4/5
	M5	34,76	15,04	105,35	34,573	17,766	3,9	39,48	25,43	5/7/7
	M6	30,68	15,17	129,99	36,243	13,767	4,4	34,1	32,85	4/4/6/4

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.



(GY)	V	C	H (GY)	V	C	H (GY)	V	C
CIE Lab L	a	b	L	A	b	L	a	b
8,6Y	8,2	5,3	9,4Y	7,8	6,6	8,0Y	8,1	6,3
83	-8,92	39,42	79,07	-11,16	48,43	82,57	-9,07	46,47

Muestra 1	Muestra 3	Muestra 5

(GY)	V	C	H (GY)	V	C	H (GY)	V	C
CIE Lab L	a	b	L	A	b	L	a	b
8,1Y	8,2	6,3	7,4Y	7,9	6,9	9,3Y	8,1	6,2
83,09	-9,32	46,9	80,12	-8,57	51,05	82,19	-10,77	45,76

Muestra 2	Muestra 4	Muestra 6

Figura 57. Evaluación instrumental de color mesocarpio aguacate Hass – Subparcela sin fertirriego

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.

(GY)	V	C	H (GY)	V	C	H (GY)	V	C
CIE Lab L	A	b	L	a	b	L	a	b
8,6 Y	7,3	6,1	7,5y	8,1	6,7	9,0y	8	6,5
74,68	-9,22	44,69	81,89	-8,75	49,53	81,02	-10,6	47,76

Muestra 1	Muestra 3	Muestra 5

(GY)	V	C	H (GY)	V	C	H (GY)	V	C
CIE Lab L	a	b	L	A	b	L	a	b
7,3y	7,6	5,5	9,4 y	7,9	6,4	8,3y	7,6	6,4
77,74	-7,21	40,98	80,02	-10,95	47,4	77,45	-9,24	47,19

Muestra 2	Muestra 4	Muestra 6

Figura 58. Evaluación instrumental de color mesocarpio aguacate Hass, subparcela con fertirriego

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.



Tabla 53. Semilla

Subparcela	Muestra	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Peso (g)
Sin fertirriego	M1	40,05	37,94	33,38
	M2	31,53	31,09	18,44
	M3	28,05	28,07	5,84
	M4	38,96	35,85	29,33
	M5	32,07	35,24	24,72
	M6	30,81	30,21	16,79
Con fertirriego	M1	37,06	37,57	37,04
	M2	37,18	38,04	34,51
	M3	37,52	39,71	37,81
	M4	36,84	39,12	36,55
	M5	32,25	30,1	18,1
	M6	35,75	34,65	25,87

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.

Tabla 54. Estudios de fibra cruda y grasa total

Subparcela	Muestra	Humedad (g/100g)	Grasa total (g/100g) base seca	Grasa total (g/100 g) base húmeda	Fibra cruda (g/100g) base seca y desengrasada	Fibra (g/100 g) base húmeda
		AOAC 934.06	AOAC 920.177	AOAC 920.177	AOAC 962.09	AOAC 962.09
Sin fertirriego	M1	80,5	38,9	7,6	36,2	4,3
	M2	78,9	49,7	10,5	26,5	2,8
	M3	77,2	43,9	10,0	34,2	4,4
Con fertirriego	M1	76,3	55,3	13,1	22,6	2,4
	M2	77,0	44,9	10,3	35,6	4,5
	M3	77,4	50,7	11,5	25,4	2,8

Fuente: elaboración propia a partir de resultados suministrados por el laboratorio.



Anexo F

Resultados del análisis de varianza y prueba de medias

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p valor
Tratamiento	1	1433,654	1433,653	1,780	0,192
Clasificación de alturas	2	18842,566	9421,283	11,697	0,000188
Error	29	23356,387	805,392		

Prueba de medias

Clasificación de alturas	Promedio	Agrupamiento
Baja	116	a
Media	144	a
Alta	182	b



Anexo G

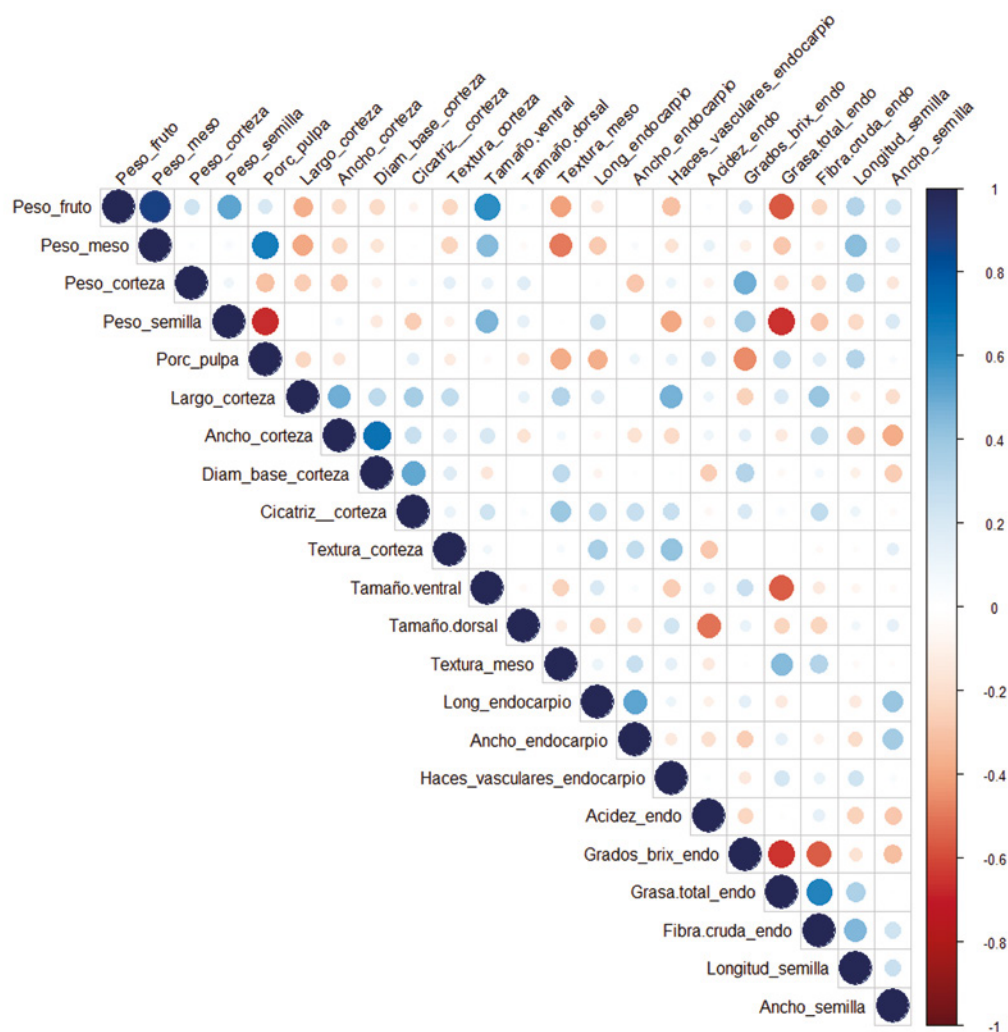


Figura 59. Análisis de correlación entre las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguacate Hass para la cosecha traviesa de 2021

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).



Anexo H

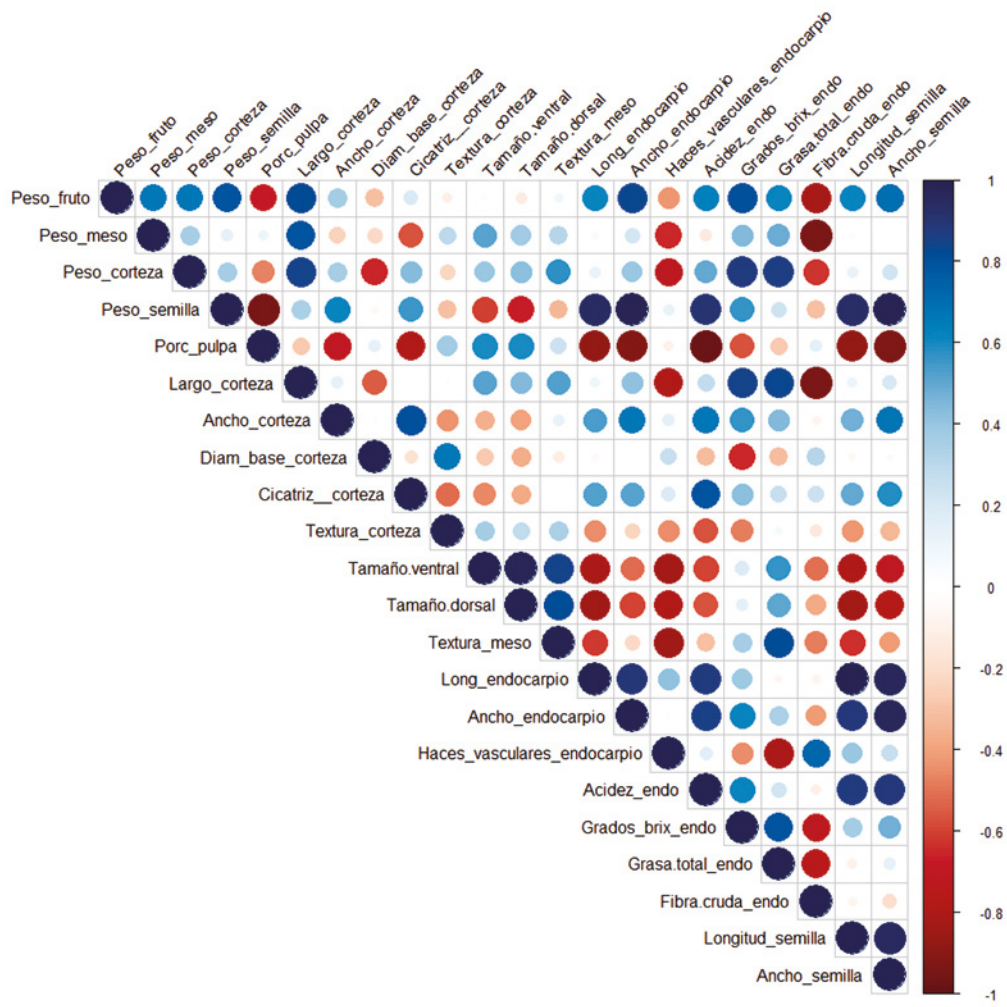


Figura 60. Análisis de correlación entre las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguacate Hass para la cosecha principal de 2021

Fuente: elaborado por L. Delgado (2022).

REFERENCIAS

- Acosta, A., Li, R., Mauk, P., Santiago, L. y Lovatt, C. (2021). Effects of temperature, soil moisture and light intensity on the temporal pattern of floral gene expression and flowering of avocado buds (*Persea americana* cv. Hass). *Scientia Horticulturae*, 280, 109940.
- Aguaza, B. O. (2012). Análisis Coste-Beneficio. *eXtoikos*, (5), 147-149.
- Aguilera Díaz, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin Habana*, 11(2), 322-343.
- Alfonso, J. (2008). Manual técnico del cultivo del aguacate Hass (*Persea americana* L.). Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).
- Astudillo, C. y Rodríguez, P. (2018). Parámetros fisicoquímicos del aguacate *Persea americana* Mill. cv. Hass (Lauraceae) producido en Antioquia (Colombia) para exportación. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(2), 383-392.
- Bernal, J. y Díaz, C. (2020). Generalidades del cultivo. En: J. Bernal y C. Díaz (comps.). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.^a ed., pp. 77-328). Agrosavia Editorial.
- Bernal, J., Díaz, C., Osorio, C., Tamayo, A., Osorio, W., Córdoba, O., Londoño, M., Kondo, D., Carabalí, A., Varón, E., Caicedo, A., Tamayo, P., Sandoval, A., Forero, F., García, J. y Londoño, M. (2014). *Actualización Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el Cultivo de Aguacate*. Corpoica.
- Beyer, C., Cuneo, I., Alvaro, J. y Pedreschi, R. (2021). Evaluation of aerial and root plant growth behavior, water and nutrient use efficiency and carbohydrate dynamics for Hass avocado grown in a soilless and protected growing system. *Scientia Horticulturae*, 277, 109830.
- Carabalí, A., Ríos, L., Bernal, J., Tamayo, A., Tamayo, P., Burbano, R. y Rebolledo, A. (2020). *Prácticas de manejo sostenible para el cultivo de aguacate*. Agrosavia.
- Castellón, J., Bernal, R. y Hernández, M. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39-50.
- Cubillos, D., De León, R., Martínez, B. y Mejía, S. (2015). Estudio comparativo entre el sistema tradicional y el uso de cable vía en los cultivos del proyecto agrícola Tillava [Documento de trabajo, Especialización en Gerencia Logística]. Universidad Sergio Arboleda.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2016). Cultivo del aguacate Hass (*Persea americana* Mill; *Persea nubigena* var. *Guatemalensis* x *Persea americana* var. *drymifolia*), plagas y enfermedades durante la temporada de lluvias. Boletín mensual No. 50. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_ago_2016.pdf
- Díaz, C., Bernal, J. y Tamayo, A. (2020). Ecofisiología del aguacate cv. Hass en el trópico andino colombiano. En: J. Bernal y C. Díaz (comp.). *Actualización tecnológica y*



- buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.ª edición, pp. 331-377). Agrosavia Editorial.
- Dorado, D., Grajales, L. y Rebolledo, A. (2017). *Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (Persea americana) variedad Hass en zonas productoras de Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Especificación Normativa Disponible END 094 (2018). *Frutas frescas. Aguacate variedad Hass*. Especificaciones. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec).
- Flores, N., Saucedo, C., Saucedo, D., López, A., Valle, S., Ramírez, M. y Chávez, S. (2020). Maduración en poscosecha de frutos de aguacate cultivares Hass y Méndez tratados con etefón. *Acta agronómica*, 69(4), 275-284.
- Fontanilla, C. y Castiblanco, J. (2009). Cable vía en la cosecha de palma de aceite. *Palmas*, 30(4), 53-64.
- Galindo, M., Ogata, N. y Arzate, A. (2008). Some aspects of avocado (*Persea americana* Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica. *Genet. Resour. Crop. Evol.*, 55, 441-450.
- Hernández, J. (2013). *Edafología y fertilidad*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia [Unad]. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass (*Persea americana* Mill). Medidas para la temporada invernal. Productos.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2021). Con 43 mil kilos, el aguacate Hass colombiano marca “gol de campo” en el Súper Bowl 2021. ICA. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-600-toneladas-aguacate-hass-colombiano>.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec). (2019). *Frutas frescas. Aguacate variedad Hass. Especificaciones (NTC 6345)*. Icontec.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2021). *Atlas interactivo. Valle del Cauca*. Ideam. http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/valle_texto.pdf
- Kondo, T., Carabalí, A., Caicedo, A., Varón, E. y Londoño, M. (2020). Insectos y ácaros. En: J. Bernal y C. Díaz (comp.). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.ª ed., pp. 487-599). Agrosavia Editorial.
- La crónica del Quindío. (2021, abril 15). Ante reducción de aguacate Hass por el invierno, Green SuperFood tiene una ‘lluvia’ estrategias. La Crónica del Quindío. <https://www.cronicadelquindio.com/noticias/region/ante-reduccion-de-aguacate-hass-por-el-invierno-green-superfood-tiene-una-lluvia-estrategias>
- Lahav, E., Whiley, A. y Turner, D. (2013). Irrigation and Mineral Nutrition. En: B. Schaffer, B. N. Wolstenholme y A. W. Whiley (eds.). *Avocado: Botany, Production and Uses* (2.ª ed., pp. 301-341). CAB International.
- Márquez, Carlos.; Yepes, D.; Sánchez, L. y Osorio, J. (2014). Cambios físico-químicos del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. “Hass”) en poscosecha para dos municipios de Antioquia. *Temas Agrarios*, 19(1), 32-47.



- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2018). Cadena de aguacate. Indicadores e Instrumentos Julio 2018. Minagricultura. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2018-07-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2020). Cadena productiva Aguacate. Primer trimestre 2020. Minagricultura. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). Anuario estadístico del sector agropecuario 2019. Resultados Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Agronet. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>.
- Monge, M. (2021). Interpretación de un análisis de agua para riego [blog]. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>.
- Montgomery, L. y Castro, S. (2017). Preparación de soluciones nutritivas para fertirriego en aguacate. En: *Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate congreso*. Realizado en Jalisco, México.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe. FAO. <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1029614/>.
- Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2021). Faostat. Cultivos. FAO. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Acceso 22/04/2021.
- Ortega, J. (2015). Aguacate Hass: cadena de valor para contribuir a la competitividad del departamento de Nariño. *Unimar*, 33(2), 129-152.
- Osuna, J., Doyon, G., Salazar, S., Goenaga, R. y Gonzáles, I. (2011). Relationship between skin color and some fruit quality characteristics of ‘Hass’ avocado. *Journal of Agriculture University of Puerto Rico*, 95(1-2), 15-23.
- Proyecto BPIN 2014000100010 (2017). *Metodología para la priorización de especies en el Valle del Cauca, como un requerimiento para el proyecto incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente*. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
- Ramírez, J., Gilchrist, E. y Morales, J. (2017). Economic impact of the avocado (cv. Hass) wilt disease complex in Antioquia, Colombia, crops under different technological management levels. *Crop Protection*, 101, 103-115.
- Ramírez, J., Henao, J. y Morales, J. (2021). Postharvest diseases and disorders in avocado cv. Hass and their relationship to preharvest management practices. *Heliyon*, 7, e05905.
- Ramírez, J., Morales, J. y Peterson, A. (2018). Potential geography and productivity of “Hass” avocado crops in Colombia estimated by ecological niche modeling. *Scientia Horticulturae*, 237, 287-295.
- Rebolledo, A. y Dorado, D. (2017). *Criterios para la definición de planes de fertilización en el cultivo de aguacate Hass con un enfoque tecnificado*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica].
- Ríos, D., Corrales, D., Daza, G. y Aristizábal, A. (2005). *Aguacate. Variedades y patrones importantes para Colombia*. Profrutales.



- Rojas, J., Peñuela, A., Gómez, C., Aristizábal, G., Chaparro, C. y López, A. (2004). *Caracterización de los productos hortifrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad*. Cenicafé.
- Romero, M. (2012). Comportamiento fisiológico del aguacate (*Persea americana* Mill.). Variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima [tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.
- Rondón, T., Builes, S., Casamitjana, M., Duque, M., Rodríguez, A., Vega, C., Ruiz, D. y Rodríguez, G. (2020). Perspectiva del ordenamiento productivo del aguacate cv. Hass en Antioquia. J. Bernal y C. Díaz (comp.). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.ª ed., pp. 715-756). Agrosavia Editorial.
- Sánchez, A. (2021). Colombia es tercero en el mundo en producción y área cosechada de aguacate Hass. Agronegocios. <https://www.agronegocios.co/agricultura>
- Sánchez, P. (2020). Diagnóstico y manejo de la fertilización en palto (aguacate). En: Seminario web internacional “Diagnóstico y manejo de la fertilización en palto o aguacate”. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=qI_ViXhW5N8
- Salazar, S., Garner, L. y Lovatt, C. (2013). Reproductive Biology. En: B. Schaffer, B. N. Wolstenholme y A. W. Whiley (eds.). *Avocado: Botany, Production and Uses* (2.ª ed., pp. 301-341). CAB International.
- Salazar, S., Medina, R. y Álvarez, A. (2016). Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate ‘Hass’ producido en tres regiones de México. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, 7(2), 277-289. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i2.343>.
- Sandoval, J., Hernández, M., Rodríguez, P. y Herrera, A. (2017). Evaluación de variables físico químicas de importancia en la calidad del fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, producido en cuatro municipios de Colombia. En *Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate*. Jalisco. https://www.avocadosource.com/Journals/Memorias_VCLA/2017/Memorias_VCLA_2017_PG_353.pdf
- Sandoval, J., Hernández, M., Rodríguez, P. y Trujillo, J. (2020). Comparison of the physicochemical quality of Colombian ‘Hass’ avocado fruits (*Persea americana* Mill.) with international quality standards. *Acta Horticulturae*, 1299, 309-316. https://www.actahort.org/members/showpdf?booknrarnr=1299_47
- Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca del Valle (2020). Gobierno del Valle impulsará el cultivo de aguacate Hass en su estrategia de reactivación de la economía. Valle del Cauca. <https://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones/67425/>
- Silber, A., Israeli, Y., Levi, M., Keinan, A., Shapira, O., Chudi, G., Golan, A., Noy, M., Levkovitch, I. y Assouline, S. (2012). Response of ‘Hass’ avocado trees to irrigation management and root constraint. *Agricultural Water Management*, 104, 95-103.
- Silber, A., Naor, A., Cohen, H., Bar-Noy, Y., Yechieli, N., Levi, M., Noy, M., Peres, M., Duari, D., Narkis, K. y Assouline, S. (2018). Avocado fertilization: Matching the periodic demand for nutrients. *Scientia Horticulturae*, 241, 231-240.
- Sommaruga, R. y Eldridge, M. (2020). Avocado Production: Water Footprint and Socio-economic Implications. Agricultural Economics Society and European Association of Agricultural Economists. *EuroChoices*, 20(2), 48-53.



- Tafur, H. (2019). Infiltración del agua en el suelo utilizando botella de Mariotte. En: Abasolo, F. y Canchignia, H. (comps.). *Memorias Científicas del X Congreso Latinoamericano de Agronomía "Recursos naturales para una agricultura sostenible"*. Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (Cide). <https://cidecuador.org/wp-content/uploads/congresos/2019/x-congreso-latinoamericano-de-agronomia/memorias.pdf>
- Tamayo, P. y Osorio, N. (2020). Nutrición y fertilización. En: J. Bernal y C. Díaz (comps.). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.^a ed., pp. 411-468). Agrosavia Editorial.
- Tamayo, P. (2020). Enfermedades y desórdenes abióticos. En: J. Bernal y C. Díaz (comps.). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.^a ed., pp. 601-649). Agrosavia Editorial.
- Tapia, L., Larios, A., Contreras, J., Vidales, I. y Barradas, V. (2012). Lixiviación de nitratos y condición nutrimental en dos sistemas de manejo de riego y nutricional de aguacate (*Persea americana* Mill.). *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 28(3), 251-258.
- Villar, M. (2016). Composición nutricional y componentes bioactivos de cuatro variedades de paltas (*Persea americana*) comerciales chilenas. comparación de componentes bioactivos, cosechas 2011-2012. Universidad de Chile.

**OPCIONES TECNOLÓGICAS
PARA MEJORAR LAS PRÁCTICAS
AGRONÓMICAS EN EL CULTIVO
DE AGUACATE HASS
EN ZONA DE LADERA, COLOMBIA**

Hace parte del Proyecto
Incremento de la competitividad
sostenible en la agricultura de
ladera en todo el departamento,
Valle del Cauca, Occidente.

Se editó en la Editorial Universidad
Nacional de Colombia.

En su composición se utilizaron
caracteres Chaparral Pro.

Formato de 21,5 × 28 centímetros.

Se terminó de imprimir en DGP
Editores S. A. S., 300 ejemplares
en propalmate de 90 gr.

Se publicó en junio de 2022.
Bogotá, D. C., Colombia.



PARCELA DEMOSTRATIVA DE AGUACATE Hass

NOMBRE DEL PROYECTO
Incremento de la competitividad sostenible de la agricultura de ladera en todo el departamento del Valle del Cauca, Occidente.

FUENTE DE FINANCIACIÓN
Sistema General de Regalías - Fondo de Ciencias, Tecnología e Innovación.

BENEFICIARIOS
Asociaciones y productores de Aguacate Hass

ENTIDAD EJECUTORA
Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira

ENTIDADES ALIADAS
- Gobernación del Valle del Cauca
- Universidad del Valle
- Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT
- Parque Biopacífico



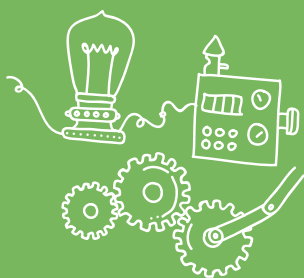
Entidades aliadas:



Fuente financiación:



Entidad ejecutora:



Este proyecto es financiado por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías del Departamento Nacional de Planeación y tiene como objetivo beneficiar a los productores de las zonas de ladera del Valle del Cauca. Está orientado a incrementar la competitividad sostenible en la agricultura de ladera del Valle del Cauca, mediante procesos de investigación y desarrollo en los diferentes eslabones de la cadena productiva, que va desde la etapa inicial del cultivo hasta la etapa agroindustrial de los tres frutales seleccionados: piña MD2, aguacate Hass y mora de Castilla.

ISBN 978-958-794-926-1



9

789587

949261