



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**EFECTO DE LA COMPATIBILIDAD
PATRÓN/COPA SOBRE LA
FISIOLOGÍA PRODUCTIVA DE
ÁRBOLES DE AGUACATE CV. HASS
EN TRES AMBIENTES EN
COLOMBIA**

Lucas Esteban Cano Gallego

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agronómicas
Medellín, Colombia
2022

**EFEECTO DE LA COMPATIBILIDAD
PATRÓN/COPA SOBRE LA
FISIOLOGÍA PRODUCTIVA DE
ÁRBOLES DE AGUACATE CV. HASS
EN TRES AMBIENTES EN
COLOMBIA**

Lucas Esteban Cano Gallego

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Director:

Ph.D., Óscar De Jesús Córdoba Gaona

Codirector:

MSc., Juan David Hernández Arredondo

Línea de Investigación:

Fisiología de la producción vegetal

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agronómicas

Medellín, Colombia

2022

A Dios, por mi esposa Damaris quien batalló a mi lado durante estos 2 años de incansables esfuerzos, a mis hijos Sara, Guadalupe y Rafael quienes fueron mi fortaleza para nunca desfallecer, a mis padres Lucía y Carlos quienes con su entereza en mí formación dejaron buenos cimientos para que finalizara y cumpliera todos mis propósitos, a mí hermano Miguel quien me apoyo en los momentos más difíciles y me sirvió de bastón para que nunca dejara de creer en mí.

Declaración de obra original

Yo, Lucas Esteban Cano Gallego declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Lucas Esteban Cano Gallego

Fecha 20/08/2022

Agradecimientos

Al profesor Oscar De Jesús Córdoba Gaona por su paciencia, orientación asertiva y calidez en los diferentes aspectos académicos y humanos, los cuales dieron como fruto la culminación de este proyecto.

A los Investigadores Jorge Alonso Bernal Estrada, Cipriano Arturo Díaz Diez y Juan David Hernández Arredondo por su orientación en los diferentes aspectos técnicos del proyecto, además de, su apoyo en la financiación a partir de los proyectos que lideran en AGROSAVIA.

A La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia por la financiación del proyecto “Desarrollo y validación de tecnologías para la implementación de prácticas de manejo agronómico del cultivo de aguacate”; igualmente, a las empresas Aguacates Gourmet y al Grupo Cartama por el apoyo en la disponibilidad de áreas de cultivo para poder llevar a cabo los estudios de campo.

Al profesor Guillermo Antonio Correa Londoño por su orientación en la consolidación de los capítulos y apoyo en los contenidos conceptuales, análisis estadísticos y de resultados.

A mis compañeros Mario Alonso Mesa Gómez, Gleyder Yeraldin Bedoya Vélez, Armando Romero Cabrera y Samuel Bernardo Gómez Macias, por el apoyo en la toma de datos en campo en tiempos de pandemia.

A la ingeniera agrónoma Ruby Alejandra Loaiza por sus contribuciones en el documento final, las cuales fueron decisivas para la finalización de este.

A la Universidad Nacional de Colombia, por brindarme los espacios locativos para poder culminar la escritura de este proyecto de tesis.

Resumen

El crecimiento de áreas de cultivos de aguacate en Colombia ha sido considerable en los últimos 10 años (ICA, 2021), a pesar de su crecimiento acelerado, en la actualidad, poca información se posee sobre la importancia de los programas de selección de nuevos patrones, variedades, y el estudio de la compatibilidad del portainjerto con las variedades de mayor interés comercial, lo cual es un criterio de selección indispensable. Es por esto por lo que, el conocimiento de las características productivas de los árboles de aguacate cv. Hass es una necesidad que apremia la producción nacional, dado que la determinación de los factores morfológicos que puedan ir en detrimento de los rendimientos y sus componentes es de vital importancia para mejorar la competitividad de los cultivos con fines a un mercado internacional, el cual genera mayor comercialización en cuanto a volúmenes (toneladas), exigiendo mayor calidad de fruta y exhibiendo mejores ganancias. En varios cultivos, la interacción morfológica existente entre el diámetro del portainjerto y el injerto es importante para determinar la compatibilidad de tejidos dado que pueden llegar a afectar el rendimiento y la calidad del producto final. Debido a esto, se plantea la presente investigación la cual tiene como objetivo determinar si la incompatibilidad entre el injerto y el portainjerto en el cultivo de aguacate cv. Hass cultivado en tres ambientes diferentes, interviene en la actividad fotosintética del aguacate, el desarrollo de los frutos durante su crecimiento y el rendimiento y sus componentes en cada caso durante dos periodos productivos (cosecha principal 2020 y travesía 2021).

La investigación se llevó a cabo en 3 huertos comerciales para exportación de aguacate cv. Hass establecidos en el 2013; injertados sobre patrones criollos originarios de semilla. Los predios están ubicados en Anserma (Caldas) a una altitud de 2.000 msnm; Rionegro (Antioquia) a 2.175 msnm, y en El Peñol (Antioquia) a 2.198 msnm. Se empleó un diseño de parcelas divididas con factor de bloqueo por localidad. La parcela principal correspondió al factor compatibilidad y las subparcelas a la edad de desarrollo del fruto. El factor compatibilidad estuvo definido por dos tratamientos (compatible e incompatible) derivados

de la relación entre el diámetro del tallo del portainjerto (DP) y el diámetro del tallo de la copa (DC), medidos a 5 cm por debajo y por encima de la cicatriz del injerto, siendo árboles compatibles, cuando DP/DC fue igual a $1 \pm 0,05$; e incompatible cuando fue menor que 0,95. El factor edad (subparcela) correspondió a las épocas del desarrollo durante la ontogenia de las hojas y los frutos de aguacate durante dos periodos productivos denominados cosecha principal del año 2020 (marzo – diciembre 2020) y la cosecha traviesa 2021 (septiembre 2020 – junio 2021). Cada localidad contó con nueve unidades experimentales compatibles y nueve incompatibles, para un total de dieciocho árboles dentro de un mismo lote, a cada una de ellas se les evaluó de forma mensual en los periodos de cosecha principal 2020 y traviesa 2021, el intercambio gaseoso a través de las variables fotosíntesis neta (A), tasa de transpiración (E), conductancia estomática (gs), temperatura de la hoja (TI) y eficiencia en el uso del agua (UEA). Para analizar el desarrollo morfométrico del fruto se determinó la longitud (L), el diámetro (D), peso fresco (PF) y seco (BTF) del fruto; materia fresca (MF) y seca (MS) del pericarpio (P) y la semilla (S) y la relación longitud – diámetro (RLD). Otra variable fue la tasa respiratoria (ppm CO₂) y las variables productivas del rendimiento. El análisis estadístico consistió en un modelo lineal mixto, realizando una prueba de diferencia múltiple significativa utilizando el ajuste por multiplicidad por familia a través de la corrección de Holm. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R (R Core Team, 2021).

La compatibilidad entre el portainjerto y el injerto en árboles de aguacate cv. Hass no exhibió diferencias para las variables de intercambio gaseoso TI, E, gs, A y EUA. Las variables de TI, gs, A y EUA presentaron diferencias para las edades de desarrollo de la hoja. El factor cosecha presentó diferencias para todas las variables de intercambio gaseoso evaluadas, siendo la cosecha principal la que presentó los mayores valores de TI, E, y A. La edad de desarrollo de la hoja durante las cosechas principal 2020 y traviesa 2021 presentó diferencias para todas las variables de intercambio gaseoso presentando un comportamiento decreciente desde hojas más jóvenes a hojas más adultas. El tratamiento de compatibilidad y la época de cosecha, no modificó la tasa respiratoria de frutos del cv. Hass, la edad afectó la tasa respiratoria de CO₂, siendo creciente con la ontogenia del fruto, mientras que, la tasa de CO₂ específica en ppm g⁻¹ fue inversa a la ontogenia del fruto. Las variables del crecimiento del fruto no fueron afectadas por la compatibilidad portainjerto/injerto, mientras que la cosecha principal (2020) presentó frutos

con mejores características en tamaño y peso con respecto a la traviesa (2021). La edad del fruto se caracterizó por presentar un crecimiento lineal, seguido de una fase plana lineal con la ontogenia del fruto. La compatibilidad no presentó diferencias para el número de frutos por árbol y el rendimiento por árbol en kilogramos de fruta. No obstante, la cosecha presentó diferencias significativas durante el periodo P2020 donde los mayores rendimientos, estuvieron influenciados por condiciones climáticas deseables para la floración, cuajamiento, crecimiento y desarrollo de los frutos. El calibre no presentó un comportamiento porcentual diferencial sin evidencia de una diferencia notable entre el tratamiento compatibilidad, las localidades y las cosechas.

Los resultados obtenidos demuestran que la hipótesis no se cumple, debido a que la diferencia en el diámetro del tallo entre el portainjerto y el injerto no afecta la fisiología del dosel y el rendimiento del cultivo de aguacate cv. Hass.

Palabras claves: *Persea americana*; injerto; cosecha principal y secundaria, Condiciones climáticas; frecuencia respiratoria; intercambio de gases; potencial de rendimiento.

Palabras clave:

EFFECT OF ROOTSTOCK/SCION COMPATIBILITY ON THE PRODUCTIVE PHYSIOLOGY OF AVOCADO TREES CV. HASS IN THREE ENVIRONMENTS IN COLOMBIA

Abstract

The growth of avocado areas in Colombia has been substantial in the last ten years (ICA, 2021). Despite the accelerated growth, at present, little information is available on the importance of the programs for the selection of new rootstocks and varieties and the study of the compatibility of the rootstock/scion with the cultivars of greater commercial interest. That's why the knowledge of the productive characteristics of the avocado trees cv Hass is a necessity that rewards national production. Determining the morphological factors that can go to the detriment of yields and their components is vital to improving the competitiveness of crops, which generates greater commercialization in volumes (tons), demanding greater quality of fruit and profits.

In several crops, the morphological interaction between the diameter of the rootstock/scion is essential to determine tissue compatibility since it can affect the yield and the quality of the final product. Due to this, the present investigation aims to determine the incompatibility between rootstock/scion effects in the avocado cv. Hass yield, gas exchange, and fruit growth in three different environments during two-season productive periods (main harvest 2020 and harvest 2021).

The investigation was carried out in 3 commercial orchards to export avocado cv. Hass planted in 2013. The trees were grafted onto native rootstocks from seed. The orchards are located in Anserma (Caldas) at 2,000 m above sea level, Rionegro (Antioquia) at 2,175 m above sea level, and El Peñol (Antioquia) at 2,198 m above sea level. A split plot design with a locality blocking factor was used—the main plot corresponded to the compatibility factor, and the subplots to the age of fruit development. The compatibility factor was defined by two treatments (compatible and incompatible) derived from the ratio between the diameter of the rootstock stem (DP) and the diameter of the canopy stem (CD), measured at 5 cm below and above the graft scar, being compatible trees, when DP/DC was equal to 1 ± 0.05 ; and incompatible when it was less than 0.95. The age factor (subplot) corresponded to the times of development during the ontogeny of avocado leaves and fruits during two productive periods called the main harvest of the year 2020 (March - December 2020) and the 2021 secondary harvest (September 2020 - June 2021). Each locality had nine compatible and nine incompatible experimental units for eighteen trees within the same lot. Each of the following variables was evaluated monthly in the main 2020 and secondary 2021 harvest periods: Gas exchange as photosynthesis (A), transpiration rate (E), stomatal conductance (gs), leaf temperature (TI), and water use efficiency (UEA); the length (L), diameter (D), fresh weight (PF) and fruit dry weight (BTF); as fresh (MF) and dry (DM) matter of the pericarp (P) and the seed (S) and the length-diameter (RLD) relationship. Another variable was the respiratory rate (ppm CO₂) and the yield variables. Statistical analysis consisted of a mixed linear model, performing a significant multiple difference test using the adjustment for multiplicity by family through Holm's correction. Statistical analyzes were performed using R software (R Core Team, 2021).

The compatibility between the rootstock/scion in avocado trees cv. Hass did not exhibit differences for the gas exchange variables TI, E, gs, A, and EUA. The variables of TI, gs, A and EUA presented differences in the ages of leaf development. The harvest factor showed differences for all the gas exchange variables evaluated; the main harvest explained the highest values of TI, E, and A. The age of leaf development during the main 2020 and naughty 2021 harvests presented differences for all the gas exchange variables, decreasing behavior from younger to more adult leaves. The compatibility treatment and the harvest season did not modify the respiratory rate of fruits of cv. Hass. The age affected the respiratory rate of CO₂, increasing with fruit ontogeny, while the specific CO₂ rate in

ppm g⁻¹ was inverse to fruit ontogeny. Fruit growth variables were not affected by compatibility.

Key words: *Persea americana*; grafting; main and secondary harvest, respiratory rate; gas exchange; climate conditions; yield potential.

Contenido

	Resumen	XI
Lista de figuras.....		XIX
Lista de tablas		XXI
Abreviaturas		25
Planteamiento del Problema.....		27
Justificación		29
Objetivo General.....		32
Objetivos específicos.....		32
1. Marco teórico.....		33
1.1. Referencias.....		37
2. Materiales y métodos		40
2.1 Localización		40
2.2 Condiciones ambientales		40
2.3 Diseño experimental.....		41
2.4 Manejo agronómico.....		42
2.5 Referencias.....		42
3. Intercambio gaseoso del árbol de aguacate cv. Hass		45
3.1 Introducción.....		45
3.2 Materiales y métodos		48
3.2.1 Unidad experimental.....		48
3.2.2 Variables evaluadas:		49
3.2.3 Análisis estadístico		49
3.3 Resultados		50
3.3.1 Oferta climática de las localidades en evaluación.....		50
3.3.2 Análisis multivariado de componentes principales para las variables de intercambio gaseoso relacionadas con las condiciones climáticas predominantes		

durante los 5 días previos a las mediciones entre las localidades, los tratamientos de compatibilidad y los dos periodos de cosecha.	51
3.3.3 Intercambio gaseoso	54
3.4 Discusión	61
3.5 Conclusiones	64
3.6 Referencias.....	64
4. Desarrollo del fruto de aguacate cv. Hass	71
4.1 Introducción	71
4.2 Materiales y métodos	73
4.2.1 Diseño experimental.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2 Unidad experimental	73
4.2.3 Variables evaluadas	73
4.3 Resultados.....	75
4.3.1 Comportamiento respiratorio de frutos de aguacate cv. Hass.....	75
4.3.2 Crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate cv. Hass	81
4.4 Discusión	92
4.4.1 Respiración del fruto	93
4.4.2 Crecimiento y desarrollo del fruto	94
4.5 Conclusiones	96
4.6 Referencias.....	96
5. Rendimientos y componentes del rendimiento en aguacate cv. Hass	103
5.1 Introducción	103
5.2 Materiales y métodos	105
5.2.1 Diseño experimental.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2.2 Variables evaluadas	105
5.2.3 Análisis estadístico.....	105
5.3 Resultados.....	106
5.3.1 Rendimientos y componentes del rendimiento para el análisis de parcelas divididas tomando como factor de bloqueo la localidad, la cosecha (Co) como parcela principal, y el factor compatibilidad (C) como subparcela, además de la interacción entre ellos (Co* C)	106
5.3.2 Rendimientos y componentes del rendimiento para el análisis de parcelas divididas tomando como factor de bloqueo la cosecha, la localidad (L) como parcela principal, y el tratamiento compatibilidad (C) como subparcela, además de la interacción entre ellos (L* C).....	113
5.4 Discusión	119
5.5 Conclusiones	121
5.6 Referencias.....	121
6. Conclusiones y recomendaciones	127
6.1 Conclusiones	127
6.2 Recomendaciones	127

Lista de figuras

Pág.

Figura 2-1 Temperatura media (Temp), máxima (Máx Temp), mínima (Mín Temp) y humedad relativa (HR), rango precipitación (P) y balance hídrico (BH) en las localidades Anserma (A, B), Peñol (C, D) y Rionegro (E, F) durante el periodo de evaluación (enero 2020 – junio 2021)..... 51

Figura 3-1 Análisis multivariado de componentes principales para las variables de intercambio gaseoso Tleaf, E, gs, A y UEA, relacionadas con el promedio de temperatura media (TMed), máxima (TM), mínima (Tm), humedad relativa (HR), precipitación (P), balance hídrico (BH), déficit de presión de vapor (DPV) y rango térmico (RT) presentadas 5 días antes de las mediciones en las localidades de estudio (A), tratamientos de compatibilidad (B) y cosechas (C) durante el periodo de evaluación. 53

Figura 3-2 Interacción Cosecha:Edad para las variables de intercambio gaseoso temperatura de la hoja (A), transpiración (B), conductancia estomática (C), fotosíntesis neta,(D) y eficiencia en el uso del agua (E) durante los periodos de cosecha principal 2020 y travesía 2021. Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm..... 60

Figura 4-1 Curva de la respiración del fruto de aguacate cv. Hass a través de la ontogenia del fruto en meses, con relación al CO₂ total emitido (ppm). 80

Figura 4-2 CO₂ liberado en cada época de desarrollo del fruto y frecuencia respiratoria específica por gramo de biomasa producido. 81

Figura 4-3 Interacción Co*E para las variables de diámetro (A), longitud (B), peso fresco del fruto (C), peso fresco del pericarpio (D), peso seco del pericarpio (E), peso fresco de la semilla (F), peso seco de la semilla (G) y biomasa total del fruto (H) entre las diferentes

edades de desarrollo del fruto de aguacate cv. Hass durante las cosechas principal 2020 y traviesa 2021. Puntos con letras similares no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. ** Cosecha Principal (P). Cosecha Traviesa “Mitaca” (T)..... ¡Error! Marcador no definido.

Figura 4-4 Curva de crecimiento de frutos de aguacate cv. Hass en función del diámetro (D), longitud (L), Porcentaje de materia seca del pericarpio (MSP) y Porcentaje de materia seca de la semilla (MSS) durante un ciclo productivo. 92

Figura 5-1 Valores medios del número de frutos totales por árbol de aguacate cv. Hass para los factores compatibilidad (A) y cosecha (B). * Barras con letras minúsculas comunes no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. ** Cosecha Principal (P). Cosecha Traviesa “Mitaca” (T)..... 108

Figura 5-2 Valores medios del rendimiento total en árboles de aguacate cv. Hass para los factores compatibilidad (A) y cosecha (B). * Barras letras minúsculas comunes no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. ** Cosecha Principal (P). Cosecha Traviesa “Mitaca” (T). ¡Error! Marcador no definido.

Figura 5-3 Valores medios del número de frutos totales por árbol de aguacate cv. Hass para los factores compatibilidad (A) y localidad (B). * Barra con una letra minúscula común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. 114

Figura 5-4 Valores medios del rendimiento total en árboles de aguacate cv. Hass para los factores compatibilidad (A) y las localidades (B). * Barra con una letra minúscula común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. ** Cosecha Principal (P). Cosecha Traviesa “Mitaca” (T). 116

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1 Características edáficas de las localidades evaluadas.....	40
Tabla 3-1 Resumen del análisis de varianza para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020. 54	
Tabla 3-2 Prueba de comparación de medias para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de árboles de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020, en las diferentes edades de desarrollo foliar.....	55
Tabla 3-3 Resumen del análisis de varianza para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020. 56	
Tabla 3-4 Prueba de comparación de medias para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de árboles de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha travesía 2021, en las diferentes edades de desarrollo foliar.....	57
Tabla 3-5 Resumen del análisis de varianza para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020 y travesía 2021.....	58
Tabla 3-6 Prueba de comparación de medias para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de árboles de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha 2020 y travesía 2021, en las diferentes edades de desarrollo foliar.	61

Tabla 4-1 Resumen análisis de varianza para la variable de frecuencia respiratoria de los frutos de aguacate cv. Hass durante la cosecha principal del 2020. 75

Tabla 4-2 Prueba de comparación de medias para las variables de frecuencia respiratoria del fruto medida en ppm CO₂ de árboles aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020..... 76

Tabla 4-3 Resumen análisis de varianza para la variable de frecuencia respiratoria de los frutos de aguacate cv. Hass durante la cosecha travesa del 2021. 77

Tabla 4-4 Prueba de comparación de medias para las variables de frecuencia respiratoria del fruto medida en ppm CO₂ de árboles aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha travesa 2021. 77

Tabla 4-5 Resumen del análisis de varianza para la frecuencia respiratoria de frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020 y travesa 2021. 78

Tabla 4-6 Prueba de comparación de medias para las variables de frecuencia respiratoria del fruto medida en ppm CO₂ de árboles aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020 y travesa 2021..... 79

Tabla 4-7 Resumen del análisis de varianza para las variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020. 82

Tabla 4-8 Prueba de comparación de medias para las variables de variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020..... 83

Tabla 4-9 Resumen del análisis de varianza para las variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha travesa 2021..... 84

Tabla 4-10 Prueba de comparación de medias para las variables de variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha travesa 2021.....	86
Tabla 4-11 Resumen del análisis de varianza para las variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020 y cosecha travesa 2021.....	87
Tabla 4-12 Prueba de comparación de medias para las variables de variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020 y travesa 2022.....	89
Tabla 5-1 Calidad de fruta de aguacate cv. Hass caracterizado según su peso y calibre para exportación según el CODEX STAN 197-1995 (FAO 2011).....	105
Tabla 5-2 Resumen del análisis de varianza para número de frutos de aguacate cv. Hass por árbol para los tratamientos de compatibilidad, durante los cuatro periodos productivos.....	107
Tabla 5-3 Resumen del análisis de varianza para el rendimiento de fruta por árbol en aguacate cv. Hass para los tratamientos de compatibilidad, durante los cuatro periodos productivos.....	108
Tabla 5-4 Prueba de comparación de medias para porcentaje de frutos/árbol por calibre (C) en aguacate cv. Hass en árboles compatibles e incompatibles durante cuatro cosechas (T2020, P2020; T2021 y P2021).....	110
Tabla 5-5 Prueba de comparación de medias para porcentaje de kilogramos de frutos por árbol por calibre en aguacate cv. Hass en árboles compatibles e incompatibles durante cuatro cosechas (T2020, P2020; T2021 y P2021).....	112

Tabla 5-6 Resumen del análisis de varianza para número de frutos de aguacate cv. Hass por árbol para los tratamientos de compatibilidad, en las tres localidades evaluadas. .. 113

Tabla 5-7 Resumen del análisis de varianza para los rendimientos de fruta en kg/árbol en aguacate cv. Hass para los tratamientos de compatibilidad, dentro de las localidades evaluadas. 115

Tabla 5-8 Prueba de comparación de medias para porcentaje de frutos/árbol por calibre en aguacate cv. Hass en árboles compatibles e incompatibles en las tres localidades evaluadas. 117

Tabla 5-9 Prueba de comparación de medias para las variables de rendimientos en kg frutos por árbol, para los calibres de exportación en árboles aguacate cv. Hass para el tratamiento compatibilidad, en las localidades evaluadas. 118

Abreviaturas

Abreviatura	Término
DP	Diámetro del tallo del portainjerto
DC	Diámetro del tallo de la copa
DP/DC	Relación diámetro del tallo portainjerto y el diámetro del tallo de la copa
A	Fotosíntesis neta
E	Transpiración
g_s	Conductancia estomática
TI	Temperatura de la lámina foliar
UEA	Eficiencia en el uso del agua
TM	Temperatura máxima
Tm	Temperatura mínima
HR	Humedad relativa
P	Precipitación
BH	Balance hídrico
DPV	Déficit de presión de vapor
RT	Rango térmico
BTF	Biomasa total del fruto
L	Longitud
D	Diámetro
PF	Peso fresco del fruto
MFP	Materia fresca del pericarpio
MSP	Materia seca del pericarpio
MFS	Materia fresca de la semilla
MSS	Materia seca de la semilla
RLD	Relación longitud-diámetro

Abreviatura	Término
T2020	Cosecha traviesa (mitaca) del año 2020
P2020	Cosecha principal del año 2020
T2021	Cosecha traviesa (mitaca) del año 2021
P2021	Cosecha principal del año 2021
C	Calibre
CI	Calibre industrial
CD	Calibre descarte

Planteamiento del Problema

El conocimiento de las características productivas de los árboles de aguacate cv. Hass es una necesidad que apremia la producción nacional, por lo que, la determinación de los factores morfológicos que puedan ir en detrimento de los rendimientos y sus componentes es de vital importancia para mejorar la competitividad del cultivo con fines a un mercado internacional, el cual exige mayor calidad de fruta y exhibiendo mejores ganancias.

En varios cultivos frutales, la interacción morfológica existente entre el diámetro del portainjerto y el injerto es importante para determinar la compatibilidad de tejidos; por lo que, relaciones negativas, por ejemplo, entre el diámetro del tallo del portainjerto (DP) y el diámetro del tallo del injerto (DC), han permitido definir criterios de compatibilidad; siendo arboles compatibles, cuando DP/DC es igual o cercana a uno; y no compatibles o incompatibles cuando es menor que uno. Debido a esto, se hace necesario evaluar si la interacción entre los tejidos de unión entre el portainjerto y el injerto en el cultivo de aguacate cv. Hass interviene en la actividad, el comportamiento fisiológico y productivo del aguacate cv. Hass durante su crecimiento.

Existen diferentes razones por las cuales se puede ver afectada la unión de tejidos entre el portainjerto y el injerto. Conexiones deficientes generan diferencias en el crecimiento de ambas estructuras, anomalía que ha sido catalogada como incompatibilidad (Falta de afinidad entre el tejido del tallo del portainjerto y el injerto), mientras que, cuando el tallo

del portainjerto y el injerto, presentan una conexión casi imperceptible se ha asumido que los tejidos son altamente compatibles (Habibi *et al.*, 2022). La compatibilidad de tejidos ha sido considerada en frutales y hortalizas, como una de las características que evidencia la cercanía genética entre el portainjerto y el injerto, además de, aumentar las posibilidades de que la planta nuevamente formada perdure en el tiempo y presente un desarrollo sobresaliente posterior a la injertación (Goldschmidt, 2014). Mientras que, la incompatibilidad es considerada como incapaz de obtener una conexión exitosa entre los tejidos (Goldschmidt, 2014).

Al respecto, algunas especies de la familia Solanaceae presentan síntomas de incompatibilidad, observándose bajas conexiones vasculares que derivan en reducción en el transporte de fotoasimilados, nutrientes y agua, evidenciando afectaciones en los rendimientos de las plantas (Kawaguchi *et al.*, 2008). Por otro lado, en manzano la incompatibilidad derivó en la muerte prematura de plantas una vez eran sembradas en campo (Rasool *et al.*, 2020). La incompatibilidad en durazno generó pérdidas progresivas en plantas sembradas durante los primeros años de desarrollo (Najt *et al.*, 2011). En el cultivo de pera los problemas de incompatibilidad generaron pérdidas de los árboles varios años después de su siembra debido a la sobreproducción de cayo el cual por la diferencia de desarrollo en el diámetro del portainjerto y el injerto generó ruptura entre los tallos de ambos entes (Álvarez, 2020).

Por tal razón, abordar la compatibilidad e incompatibilidad desde la perspectiva productiva, permitirá determinar la compatibilidad/afinidad entre los portainjertos e injertos en el cultivo de aguacate cv. Hass, se deriva en reducciones sustanciales en el desarrollo y comportamiento productivo de esta variedad.

Justificación

El crecimiento de áreas de cultivos de aguacate en Colombia ha sido considerable en los últimos 10 años (ICA, 2021), a pesar de su crecimiento acelerado, en la actualidad, se posee poca información sobre la importancia de los programas de selección de nuevos patrones, variedades, y el estudio de la compatibilidad del portainjerto con las variedades de mayor interés comercial, lo cual es un criterio de selección indispensable (Bernal y Díaz, 2020). Sin embargo, estudios tradicionales sobre la compatibilidad del injerto en diversos cultivos de frutales y hortalizas se han abordado una vez que éste se ha producido, y con frecuencia esta manifestación ocurre tras varios años de crecimiento normal en el huerto, lo que hace que, los estudios de determinación de la incompatibilidad, aunque son abundantes y fiables, puedan demorarse varios años hasta obtener la respuesta correspondiente (Álvarez, 2020). Esto da lugar a pérdidas por el tiempo transcurrido de: mano de obra, material vegetal y en definitiva medios que más tarde van a resultar infructuosos, por tanto, se hace necesaria la búsqueda y aplicación de otros estudios que determinen este problema en una fase más temprana (Pina, 2008).

Las investigaciones desarrolladas hasta el momento en aguacate cv. Hass en Colombia constituyen solo la base para profundizar en la variación que pueda generar niveles de intervención en el cultivo, a través de prácticas de manejo como poda, nutrición, sistema de producción, etc.; así como, el efecto que la afinidad entre portainjertos e injertos tiene sobre la producción y sus rendimientos (Bernal *et al.*, 2020). Dado esto, es indispensable establecer evaluaciones tendientes a definir como la fisiología productiva del cultivo se ve afectada por el síntoma de afinidad entre el portainjerto y el injerto y como estos pueden modificar los rendimientos.

Referencias

Álvarez-López H. 2020. Manual de injertación en frutales, contribución en fisiología vegetal.

Bernal JA y Díaz CA. 2020. Capítulo I.- Generalidades del cultivo. pp 77-305. En: Bernal JA, y Díaz CA (eds.). Actualización y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate. Segunda edición. Agrosavia. (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. Mosquera. 773 p.

ICA. 2021. Reporte de predios y áreas, de aguacate cv. Hass registrados ante el ICA en Colombia 2021.

Pina A. 2008. Compatibilidad de injerto en frutales. Investigación. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (INIA). Surcos de Aragón. No. 107: 21-24.

Hipótesis

La diferencia en el diámetro del tallo entre el portainjerto y el injerto afecta la fisiología del dosel y el rendimiento del cultivo de Aguacate cv. Hass.

Objetivo General

Determinar la fisiología productiva de aguacate cv. Hass a partir de árboles que presenten diferencias en el crecimiento del tallo entre el injerto y el portainjerto en tres regiones de Colombia durante la cosecha principal 2020 y travesía 2021.

Objetivos específicos

- Determinar el intercambio gaseoso del aguacate cv. Hass en árboles con y sin síntomas de compatibilidad entre el portainjerto y el injerto en los periodos de cosecha principal 2020 y travesía 2021.
- Establecer la fenología productiva del aguacate cv. Hass en árboles con y sin síntomas de compatibilidad entre el portainjerto y el injerto en los periodos de cosecha principal 2020 y travesía 2021.
- Determinar el rendimiento y componentes del rendimiento del aguacate cv. Hass en árboles con y sin síntomas de compatibilidad entre el portainjerto y el injerto en los periodos de cosecha principal y travesía de los años 2020 y 2021.

1. Marco teórico

El aguacate cv. Hass en Colombia se ha convertido en un renglón importante en la economía agrícola del país; dado que las exportaciones durante el primer semestre del año 2021 superaron en un 88% las registradas en el 2020, valoradas en USD 114,3 millones (Procolombia, 2021). Los principales destinos de exportación fueron Holanda, España, Reino Unido, Francia, Bélgica, Alemania, Rusia, Argentina y Costa Rica, lo cual ha convertido al aguacate cv. Hass en un producto muy atractivo, que ha llegado a ser el segundo ítem agropecuario más comercializado a nivel internacional para el país (PF, 2021).

La industria nacional no solo se ve apalancada por la exportación de fruta fresca, factores dependientes de ella como la producción de material vegetal, empresas comercializadoras, asistencia técnica, tecnología industrial y comercialización internacional se han visto favorecidos por el incremento de este cultivo, el cual ha soportado la industria agrícola en tiempos de pandemia (CPA, 2021).

Paralelo a la alta demanda en el mercado internacional de frutos de aguacate cv. Hass, la explotación comercial implica obtener máximos rendimientos por unidad de superficie y de calidad de la fruta, donde, cada unidad de producción (árbol) es un componente importante del sistema productivo (Bernal y Diaz, 2020).

Debido a los altos estándares de calidad que se deben tener para el mercado de fruta a nivel internacional, las investigaciones de la última década han realizado estudios previos bajo condiciones del trópico colombiano, orientados a conocer aspectos del comportamiento productivo que incluyen la cuantificación de los niveles de floración, flujos de crecimiento, dinámicas de abscisión y cuajado, crecimiento y desarrollo del fruto, niveles de nutrientes a nivel de planta y extracción de nutrientes por el fruto, bajo condiciones del

departamento de Antioquia; dichos estudios han concluido que uno de los limitantes que más aqueja la productividad del cultivo es el origen genético de los portainjertos sobre los cuales están establecidas las copas comerciales (Bernal, 2016).

Para la obtención de plantas de aguacates en Colombia, la injertación es la técnica más utilizada, tanto para la obtención de nuevas plantas, como para propagar las variedades existentes como el cv. Hass (Baron *et al.*, 2019). De ello, el árbol es en general la asociación de dos estructuras, el portainjerto que proporciona el sistema radical y el injerto que aporta la parte aérea (dosel/copa), a los que se hace vivir en estrecha dependencia mediante el injerto (Lazare *et al.*, 2019). Se busca que estos dos tejidos que integran el árbol se encuentren bajo condiciones favorables por medio de una unión satisfactoria, ya que, de lo contrario, se puede manifestar la falta de afinidad, dando lugar a la incompatibilidad (Felipe, 1989). En general, son compatibles los cultivares y especies con una relación taxonómica cercana, incluso a nivel de géneros; a diferencia, de grupos o especies más alejadas taxonómicamente, las cuales manifiestan incompatibilidad casi siempre (Pina, 2008).

El problema de incompatibilidad asumió especial importancia en la fruticultura comercial con el aumento de la demanda, no solo de nuevas variedades, sino también, de nuevos portainjertos. El portainjerto determina no solo el control del crecimiento, si no también, la adaptación a diversos suelos, la compatibilidad del injerto, el aporte y balance de nutrientes, la calidad de los frutos, la eficiencia de la cosecha y la tolerancia a estrés bióticos y abióticos (Nawaz *et al.*, 2016; Lazare *et al.*, 2019; Willingham *et al.*, 2001; Zapata y Leal, 2018; Cornejo 2019; Ramírez *et al.*, 2017; Oster y Arpaia, 2007). La búsqueda y utilización de portainjertos alternativos requiere la elección de aquellos que se adapten a las condiciones del suelo y que posean una buena afinidad con la variedad que se vaya a injertar, sin plantear problemas de compatibilidad (Pina, 2008).

Una de las causales asociadas a la incompatibilidad, se debe al desconocimiento del origen genético de los portainjertos utilizados, y la compatibilidad de estos con la variedad Hass, el cultivar más sembrado en Colombia. Los portainjertos más conocidos para la producción de plantas de aguacate pertenecen a la razas antillana o guatemalteca y/o sus híbridos (Bernal y Diaz, 2020); por esta razón, se asume que cuando se establecen injertos de aguacate cv. Hass sobre estos patrones, se pueden presentar diferencias en la

conformación genética del portainjerto e injerto, observándose crecimientos desiguales entre ellos (incompatibilidad) (Bernal, 2016).

Este tipo de anomalías fisiológicas presentes en cultivos comerciales no se han evaluado para determinar su inferencia sobre el rendimiento y calidad de la fruta, pero se ha observado que esta situación es común en la mayoría de los huertos de este cultivar, siendo necesario, determinar si existe un efecto negativo sobre el ciclo productivo del árbol, mediante el registro y documentación del comportamiento productivo en arboles con y sin signos de compatibilidad (Bernal y Díaz, 2020).

Hasta el momento en nuestro país no se han realizado evaluaciones del comportamiento fisiológico de árboles con síntomas de posible incompatibilidad para el cultivo de aguacate, pero algunas experiencias como las registradas en México, por Barrientos *et al.* (1999) utilizando aguacates criollos mexicanos como portainjertos para el cv. Hass, encontraron que el perímetro del portainjerto, 5 cm abajo de la unión con el inter injerto presentó un comportamiento similar en magnitud y tendencia al cultivar, exhibiendo compatibilidad portainjerto/injerto. En California, donde se utilizan portainjertos clonales de cultivares de origen mexicano, como Duke 7 y otros, esta incompatibilidad no se registra. A partir de esta experiencia, en Colombia se han venido realizando algunos ensayos, utilizando como portainjerto para el cv. Hass, semillas de los cv. Hass, Reed y Fuerte, para lograr mejor adaptación y compatibilidad entre el portainjerto y el injerto, sugiriendo una mejor respuesta productiva de los árboles y una mayor vida útil de los mismos (Bernal y Díaz, 2016). Sin embargo, estos cultivos son jóvenes y aún no se conoce con certeza su respuesta en comparación con cultivos de aguacate cv. Hass, injertados sobre portainjertos antillanos o de origen desconocido. De hecho, Schroeder y Frolich (1955) aseguran que después de la unión exitosa entre el portainjerto y la copa, la longevidad y la subsecuente producción de esta combinación debe ser determinada por un período de varios años, antes de llegar a una conclusión sobre la compatibilidad definitiva de combinaciones específicas.

Con esta evidencia, los estudios más cercanos a la identificación del comportamiento del cv. Hass sobre individuos de origen desconocido fueron desarrollados por Bernal (2016), quien analizó la evolución en el crecimiento y la producción de árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, Colombia (Támesis,

1.340 msnm, Venecia PB, 1.510 msnm, Venecia SC, 1.770 msnm, Jericó 1.900 msnm, Marinilla, 2.087 msnm, Rionegro, 2.140 msnm y Entreríos, 2.420 msnm). En todos los ambientes evaluados se presentó incompatibilidad entre el portainjerto y el injerto, observándose que la circunferencia en los portainjertos era menor que en los injertos, en todos los lotes, excepto en Venecia PB, donde la diferencia entre la circunferencia del injerto y la del portainjerto, fue superior a los 10 cm en dos años de evaluación, mostrando un desarrollo desuniforme entre el portainjerto y el injerto; esta condición, generalmente se ha atribuido a la falta de adaptación de los portainjertos a las condiciones ambientales donde se establece el cultivo, ya que la mayoría de ellos pertenece a las razas antillanas o híbridos entre antillanos y guatemaltecos.

Uno de los resultados más concluyentes fue el hecho que a pesar de la variación altitudinal donde se desarrolla el cultivo (1.340 a 2420 msnm), siempre hubo incompatibilidad portainjerto/injerto, lo cual desvirtúa el concepto generalizado, no respaldado con resultados de una investigación formal, de que la incompatibilidad que se presenta en las principales zonas de cultivo comercial en Colombia es debida al origen antillano de la mayoría de los portainjertos utilizados, que al ser injertados con copas del cv. Hass y posteriormente establecidos en zonas frías, no se adecúan a tales condiciones (Bernal, 2016). Sin embargo, se reporta que el ambiente no ejerce tal influencia sobre el desarrollo del portainjerto, por lo que, la incompatibilidad es debida, más a la relación genética entre el portainjerto y el injerto, que, a las condiciones ambientales, por tal razón, la copa del cv. Hass requeriría de portainjertos con condiciones genéticas similares a las de su raza de origen; es decir, portainjertos de tipo guatemalteco o mexicano o sus híbridos (Hass presenta alrededor de un 20 % de genes mexicanos), para evitar que se presenten incompatibilidades (Bernal, 2016).

Ben y Michelson (1995) aseguran que, en algunos casos, ciertos portainjertos no se adaptan a ciertos cultivares y viceversa, lo que puede resultar en la muerte de árboles jóvenes, hasta en un 50 % de la población de una combinación dada. Tales casos no deben ser identificados como incompatibles, ya que la razón para tal desorden aún no es conocida.

Dado el contexto en el cual se enmarca la incompatibilidad en los cultivos de aguacate cv. Hass y su posible repercusión en la productividad de los cultivos en Colombia, es necesario

determinar fisiológica, morfológica y productivamente como este posible síntoma afecta finalmente los rendimientos y sus componentes, determinando durante varios ciclos productivos el comportamiento en arboles con y sin este síntoma de incompatibilidad.

1.1. Referencias

Baron D, Esteves A, Pina A, and Ferreira G. 2019. An overview of grafting re-establishment in woody fruit species, *Scientia Horticulturae*, Volume 243, Pages 84-91 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.012>.

Barrientos VA; Barrientos PA, Rodríguez P, Peña LA y Muñoz PR. 1999. Influencia del interinjerto cv. Colín V-33 sobre algunos aspectos fisiológicos en aguacatero (*Persea americana* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 103-116. <https://www.redalyc.org/revista.oa?id=609>

Ben YA., Michelson E, Sela I. 1995. Rootstock effect on avocado vigor and productivity. *Acta Hort.* 349: 191-195. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.349.30>

Bernal JA. 2016. Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia. (Tesis de doctorado) Universidad Nacional de Colombia. 296 p.

Bernal JA y Díaz CA. 2020. Capítulo I.- Generalidades del cultivo. pp 77-305. En: Bernal JA, y Díaz CA (eds.). Actualización y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate. Segunda edición. Agrosavia. (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. Mosquera. 773 p

CPA - Cadena Productiva de Aguacate. 2021. Composición y caracterización de la cadena. En: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>. Consultada: enero 2021

Cornejo TNY. 2019. Plan de instalación de palta Hass con patrones Topa Topa, Zutano y Moquecano (clonal) basado en árbol de decisiones, para la adaptabilidad y comportamiento en los primeros meses de desarrollo en el anexo de Huatiapilla-Valle de Majes, 2018. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8863>.

Lazare S, Haberman A, Yermiyahu U, Erel R, Simenski E and Dag A. 2019. Avocado rootstock influences scion leaf mineral content. Archives of Agronomy and Soil Science, 1–11. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1672163>.

Nawaz MA, Imtiaz M, Kong Q, Cheng F, Ahmed W, Huang Y and Bie Z. 2016. Grafting: A technique to modify ion accumulation in horticultural Crops. Frontiers in Plant Science, 7. <https://doi:10.3389/fpls.2016.01457>.

Pina A. 2008. Compatibilidad de injerto en frutales. Investigación. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (INIA). Surcos de Aragón. No. 107: 21-24.

PF - Portal Frutícola. 2021. Exportaciones colombianas de aguacate casi se duplican hasta mayo. En: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/08/04/exportaciones-colombianas-de-aguacate-casi-se-duplican-hasta-mayo>. Consultado: Agosto 2021.

Procolombia. 2021. El mayor exportador de aguacate Hass colombiano crece más de 60% en sus ventas internacionales. En: <https://procolombia.co/noticias/el-mayor-exportador-de-aguacate-hass-colombiano-crece-mas-de-60-en-sus-ventas-internacionales>. Consultado: Julio 2021.

Ramírez GJ, Ramelli EG and Osorio JGM. 2017. Economic impact of the avocado (cv. Hass) wilt disease complex in Antioquia, Colombia, crops under different technological management levels. Crop Prot. 101, 103–115. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.023>.

Schroeder C and Frolich E. 1955. Avocado rootstock-scion studies: Compatibility between avocado and new rootstocks suitable to California is object of plant program. Calif Agr 9(2):11-12. DOI:10.3733/ca.v009n02p11

Willingham S L, Pegg KG, Cooke AW, Coates LM, Langdon PWB and Dean JR. 2001. Australian Journal of Agricultural Research, 52(10), 1017. <https://doi:10.1071/ar01015>.

Zapata JC y Leal JM. 2018. Manejo integrado de la pudrición de raíces del aguacate (*Persea americana* Miller), causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands. Temas agrarios, 23(2), 131-143 <https://doi.org/10.21897/ta.v23i2.1297> .

2. Materiales y métodos

2.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en 3 huertos comerciales registrados para exportación de aguacate cv. Hass injertados sobre patrones criollos originarios de semilla. Los huertos fueron establecidos en el 2013 (8 años). El primer huerto está ubicado en Anserma (Caldas) a 05.02825N y 075.07995W y una altitud de 2.000 msnm; el segundo ubicado en el municipio de Rionegro (Antioquia) a 06,05570N y 075,26152W a 2.175 msnm, y el tercer huerto en El Peñol (Antioquia) a 06,11284N y 075,14343W a 2.198 msnm. La caracterización química de cada una de las localidades y en particular de cada tratamiento se tomó para determinar los índices nutricionales requeridos para los programas de fertilización (tabla 2-1).

Tabla 2-1 Características edáficas de las localidades evaluadas.

Localidad	Tratamiento	pH	CE	MO	P	S	Al+H	Fe	Cu	Mn	Zn	CICE	B	Al	Ca	Mg	K	Na
			dS m	%			mg kg ⁻¹ suelo								cmolc kg ⁻¹			
Anserma	Compatible	6,1	0,8	7,8	63,6	34,5	ND	72,9	4,8	21,7	18,1	13,4	1,7	ND	10,0	2,4	0,9	<0,14
	Incompatible	6,1	0,7	7,2	45,1	15,9	ND	82,4	4,1	15,2	23,2	1,9	1,9	ND	11,0	4,0	0,9	<0,14
Peñol	Compatible	5,8	0,7	6,2	49,7	41,0	ND	92,5	2,8	11,8	26,1	11,1	1,0	ND	9,0	1,3	0,7	<0,14
	Incompatible	6,0	0,6	7,1	38,8	26,8	ND	87,5	2,6	20,9	14,4	13,4	0,7	ND	10,8	1,8	0,6	<0,14
Rionegro	Compatible	5,5	1,3	13,6	46,1	72,2	0,54	175,5	8,1	27,6	60,7	14,3	2,1	0,14	10,0	2,5	1,1	0,2
	Incompatible	5,5	1,5	14,7	86,8	74,0	0,6	159,9	10,6	17,7	85,8	13,5	2,4	0,3	9,8	1,8	1,2	<0,14

2.2 Condiciones ambientales

El registro de la oferta ambiental se realizó a través de una estación meteorológica Wachtdog™ 2000. Las variables climáticas registradas fueron temperatura media (°C), máxima (°C) y mínima (°C), humedad relativa (%) y la precipitación diaria (mm). Con esta información, se consolidaron los valores medios mensuales por localidad entre los meses de enero del 2020 y junio del 2021. La evapotranspiración se estimó con el software ETo Calculator versión 3.1 de FAO a partir de los valores medios de temperatura, humedad y precipitación de cada localidad (Steduto *et al.*, 2009). El balance hídrico se calculó a partir de la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración diaria de cada zona de estudio.

2.3 Diseño experimental

Las evaluaciones se establecieron durante los años 2020 y 2021, para ello, se empleó un diseño de parcelas divididas, donde se evaluaron de forma independiente, dos factores de bloqueo para los tratamientos. En el primer diseño se tomó como factor de bloqueo la localidad (Anserma - An, Rionegro – R y Peñol - Pe), como parcela principal el factor cosecha (Cosechas realizadas durante el periodo 2020 (P2020) a 2021 (T2021), donde P correspondió a la cosecha principal y T a la cosecha traviesa) y como subparcela el tratamiento de compatibilidad (compatible – C / incompatible - I). En el segundo diseño, se tomó como factor de bloqueo el factor cosecha (P2020 y T2021); y como parcela principal el factor localidad (An, R, Pe) y la subparcela al tratamiento de compatibilidad (C e I).

El factor compatibilidad estuvo definido por dos tratamientos (compatible e incompatible) derivados de la relación entre el diámetro del tallo del portainjerto (DP) y el diámetro del tallo de la copa (DC), medidos a 5 cm por debajo y por encima de la cicatriz del injerto, siendo árboles compatibles, cuando DP/DC fue igual a $1 \pm 0,05$; e incompatible cuando fue menor que 0,95.

2.4 Manejo agronómico

Se utilizaron árboles de aguacate cv. Hass de 8 años, lo cuales fueron seleccionados por los criterios de compatibilidad relacionados con la diferencia entre el diámetro del tallo del portainjerto y el injerto. Cada uno de los árboles fue cosechado de forma manual durante los años 2020 y 2021 para los dos ciclos productivos de cosecha principal y traviesa.

La fertilización se realizó de forma bimestral a partir de análisis de suelos y tejido foliar colectados antes de cada cosecha. Los niveles nutricionales se compensaron de acuerdo con el índice de balance de nutrientes (IBN); para ello, se empleó la metodología desarrollada por Keenworthy en 1973 y aplicada por Salazar-García y Lazcano-Ferrat (2003) en aguacate Hass. A partir de los resultados del análisis del contenido nutricional de las hojas se determinó el índice de balance (B) para cada uno de los elementos.

Las aplicaciones de agroquímicos para la prevención y control de plagas y enfermedades se realizaron a partir del seguimiento con monitoreos quincenales (15 días) a cada uno de los árboles evaluados.

2.5 Referencias

Embleton TW, Matsumura M, Stolzy LH, Devitt DA and Jones WW. 1986. Citrus nitrogen fertilizer management groundwater pollution, soil salinity and nitrogen balance. *Applied agricultural research*,1(1), 57-64.

Palacios AJ. 1986. Dynamic and nutritional balance in avocado trees (*Persea americana* Mill) cv. Hass with high and low yields in the region of Uruapan, Michoacan; Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mexico. *Centro de Fruticultura*.93 p.

Salazar GS y Lazcano FI. 2003. La fertilización en "sitio específico" incrementa los rendimientos y el tamaño de la fruta del aguacate en México. *Actas del V Congreso Mundial del Aguacate*. Granada-Málaga, España. 19 al 24 de octubre 2003. Vol. I: 373-377. http://avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5_p373.pdf

Steduto P, Raes D, Hsiao TC, Fereres E, Heng LK, Howell TA and Geerts S. 2009. Concepts and applications of AquaCrop: The FAO Crop Water Productivity Model. Crop modeling and decision support, 175–191. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01132-0_19

3. Intercambio gaseoso del árbol de aguacate cv. Hass

3.1 Introducción

El uso de la injertación en plantas leñosas se reportó desde tiempos antiguos, y ha sido ampliamente utilizada en la agricultura (Baron *et al.*, 2019); su importancia radica en que, por medio de la unión de dos tejidos vivos, uno como sistema de anclaje a través de las raíces (portainjerto), y otro, como sistema aéreo (copa), se pueden transmitir características deseables entre ambas partes, como una mayor absorción de agua, características de tolerancia al estrés hídrico, uso eficiente de los nutrientes y precocidad para iniciar la producción (Lazare *et al.*, 2019). Por otro lado, Nawaz *et al.* (2016) indican que esta práctica mejora algunas características del vigor, tales como el incremento de la producción de frutos, aumento del periodo de cosecha, mejor calidad de la fruta, tolerancia a bajas y altas temperaturas, además de aumentar la respuesta positiva al estrés por salinidad y metales pesados.

Específicamente para el cultivo de aguacate cv. Hass (*Persea americana* Mill.) se ha demostrado que el uso de algunos portainjertos seleccionados aporta características de interés como, una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes (Lazare *et al.*, 2019), resistencia del fruto a antracnosis (Willingham *et al.*, 2001), resistencia a pudriciones radicales (Zapata y Leal, 2018), mayor crecimiento radical y mayor área foliar (Cornejo, 2019), y en general resistencia a distintas enfermedades (Ramírez *et al.*, 2017); además de, conferir atributos productivos que mejoran la producción y la calidad de los frutos (Oster y Arpaia, 2007).

En la actualidad se conocen diferentes razones que afectan la unión entre el portainjerto y la copa, a partir de lo cual se pueden presentar dos tipos de situaciones: compatibilidad e incompatibilidad, definidas por el grado de afinidad entre los dos tejidos en contacto (Habibi *et al.*, 2022). La afinidad entre estas dos estructuras se deriva de una conexión exitosa y duradera, siempre y cuando la unión entre el injerto y la copa genere una supervivencia que perdure en el tiempo, con un comportamiento adecuado de la planta (portainjerto + injerto) posterior a la injertación (Goldschmidt, 2014). La incompatibilidad, por el contrario, se considera como la incapacidad para poder lograr una conexión exitosa entre los diferentes tejidos (Goldschmidt, 2014).

Se ha reportado que la cercanía taxonómica se reconoce como un requisito de afinidad (compatibilidad) para la supervivencia de esta unión, los homoinjertos (autoinjertos) y heteroinjertos (portainjerto e injerto pertenecientes a diferentes especies del mismo género) son los más ampliamente utilizados para la propagación frutales, en especial de aguacate cv. Hass (Mudge *et al.*, 2009). En cuanto a la no afinidad (incompatibilidad), se ha observado que algunas especies hortícolas de la familia Solanaceae presentan síntomas de incompatibilidad en heteroinjertos, en los cuales, se presenta baja conexión entre los tejidos vasculares impidiendo el transporte de asimilados, nutrientes, y agua entre el, conduciendo a reducciones en el rendimiento de la planta (Kawaguchi *et al.*, 2008).

Respecto a lo anterior, en los cítricos se asumía que la incompatibilidad podría evidenciarse de una manera visual, debido a las diferencias en los diámetros entre el injerto y el portainjerto, hecho que originaba la formación de estructuras desiguales en el tronco; sin embargo, esta característica por sí sola no fue determinante para definir el grado de afinidad (Webber, 1948). Al respecto, en manzanos injertados sobre diferentes patrones se evidenció una sobre producción de callos entre el portainjerto y el injerto, la cual en algunos de ellos disminuyó cuando las conexiones establecidas entre el xilema y el floema eran exitosas, equiparando el diámetro del portainjerto y el injerto; mientras que, cuando se presentaron separaciones en las conexiones, esta condición generó la muerte de las plantas injertadas, incluso después de siembra en campo (Rasool *et al.*, 2020). Para el caso de durazno, aquellos portainjertos que aportaban vigor produjeron una incompatibilidad, hecho que generó pérdida de las plantas, incluso años después de su siembra (Najt *et al.*, 2011).

Existen distintas maneras de medir la compatibilidad entre el patrón y la copa en los injertos, las cuales están relacionadas con atributos morfológicos, metabólicos y fisiológicos (Habibi *et al.*, 2022). La baja compatibilidad se asocia a un crecimiento desproporcionado entre el portainjerto y el injerto, el cual es visiblemente marcado; este síntoma de incompatibilidad se ha reportado en plantas de durazno y pera, el cual causa poca lignificación del tejido celular provocando conexiones débiles que no perduran en el tiempo, y puede conducir a la muerte del injerto (Álvarez, 2020).

En lo metabólico, la afinidad se evidencia con un menor crecimiento radical del portainjerto, lo cual según Kyriacou *et al.* (2017), está relacionado con la poca producción de enzimas antioxidantes entre los tejidos. Gülen *et al.* (2002) afirmaron que en el cultivo de pera (*Pyrus communis*) se presentó mayor cantidad de antioxidantes en plantas injertadas que en el tratamiento control, donde las plantas compatibles manifestaron la presencia de peroxidasas A anódica e isoperoxidasas, las cuales no fueron encontradas en el tratamiento incompatible.

Aloni *et al.* (2008) evaluaron injertos de melón (*Cucumis melo*) sobre portainjertos de calabaza, en los cuales la actividad enzimática fue mayor en plantas compatibles en comparación con portainjertos incompatibles, hallando que los injertos incompatibles presentaron niveles más altos de especies reactivas de oxígeno como superóxido dismutasa, lo cual puede reducir la interfaz injerto/portainjerto disminuyendo el éxito de esta unión; por otro lado, parámetros del intercambio gaseoso como la conductancia estomática, concentración interna de CO₂ y la fotosíntesis también se ven favorecidas por conexiones exitosas entre los tejidos, derivada de una buena afinidad (Roy y Basu, 2009). En pepino se reportan altas tasas fotosintéticas y un incremento en el desarrollo del fruto, factores asociados a la compatibilidad en los injertos, lo cual aumentó la absorción de nutrientes y la producción (Rouphael *et al.*, 2010).

Por todo lo anterior, y en especial por la falta de información sobre los diferentes aspectos relacionados con la compatibilidad e incompatibilidad entre el patrón y la copa en plantas de aguacate, sumado al escaso conocimiento sobre los diferentes aspectos morfológicos, fisiológicos y productivos en el cultivo, es necesario conocer los efectos de la afinidad (compatibilidad e incompatibilidad) entre el patrón y la copa sobre el comportamiento

fisiológico de las plantas injertadas que se utilizan para el establecimiento de huertos comerciales de aguacate en Colombia. En este sentido, en los huertos comerciales de aguacate cv. Hass que han sido establecidos en el país, en especial en los departamentos de Antioquia y Caldas, se evidencian alteraciones morfológicas, las cuales han sido definidas como una repuesta de compatibilidad e incompatibilidad entre los tejidos (portainjerto e injerto), donde el tallo del primero presenta un diámetro inferior al de la copa, generando así una deformación en la estructura del fuste. Además, se desconoce si el crecimiento irregular del tallo del patrón tiene un efecto sobre el comportamiento fisiológico de la copa.

Conforme a lo anterior, el objetivo del presente estudio consistió en evaluar el comportamiento fotosintético del dosel de aguacate cv Hass durante un ciclo productivo, en plantas que presentaron un diámetro disímil entre los tallos del portainjerto y la copa, para determinar si este fenómeno afecta la respuesta fotosintética del dosel.

3.2 Materiales y métodos específicos

3.2.1 Unidad experimental

En cada localidad se seleccionaron 9 árboles compatibles y 9 árboles incompatibles. En cada árbol se marcaron estructuras reproductivas (inflorescencias) indeterminadas emitidas después de la floración de febrero del 2020 (floración de la cosecha principal 2020) y septiembre del 2020 (floración de la cosecha traviesa del 2021), las cuales se encontraban en un estado de desarrollo 517/110 según la escala BBCH propuesta por Alcaraz *et al.* (2013). Con periodicidad mensual, sobre un foliolo dispuesto en la quinta posición a partir del meristemo, en cada punto cardinal (norte, sur, oriente y occidente,) y desde el inicio de la expansión foliar (1 mes posterior a la marcación) hasta la cosecha de los frutos de este flujo de crecimiento (mes nueve posterior a la marcación) se realizaron mediciones de intercambio gaseoso. Para esto se utilizó un analizador de gases en el infrarrojo (IRGA) de modo abierto LCpro (ADC BioScientific Ltd., UK). Las mediciones fueron realizadas entre las 9 horas y 15 horas durante cada evaluación.

3.2.2 Variables evaluadas:

Se registraron las variables tasa fotosintética ($A \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), tasa de transpiración ($E \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática ($g_s \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), temperatura de la hoja ($T_l \text{ }^\circ\text{C}$) y eficiencia en el uso del agua (UEA $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$), variable calculada de la relación entre la fotosíntesis y la transpiración. Las variables se midieron utilizando una densidad de flujo fotónico fotosintético de $1.100 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

3.2.3 Análisis estadístico

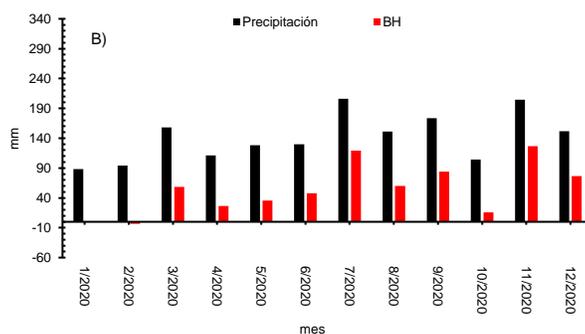
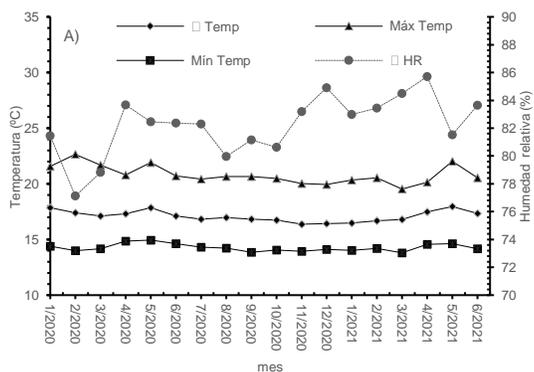
Se realizaron tres análisis estadísticos, el primero consistió en un análisis multivariado de componentes principales para evidenciar de forma descriptiva la interacción entre las variables climáticas con el intercambio gaseoso, para ello se relacionó los promedios de las variables climáticas que se presentaron durante los 5 días anteriores a cada época de medición para evaluar de forma individual la relación entre las localidades (L), los tratamientos de compatibilidad (C) y los periodos de cosecha (Co). Para el segundo y tercer análisis se corrió un modelo lineal mixto para las variables de intercambio gaseoso, realizando una prueba de diferencia múltiple significativa utilizando el ajuste por multiplicidad por familia a través de la corrección de Holmes; a partir de ella, se realizaron los análisis de varianza y una prueba de comparación de medias. Para el segundo análisis se tomó como factor de bloqueo la localidad, como parcela principal el tratamiento compatibilidad (C), la subparcela fue la edad de desarrollo de la hoja (E) y la interacción entre ellos (C*E), de forma individual en cada época de cosecha (principal 2020 y travesía 2021). El tercer análisis tuvo como factor de bloqueo la localidad, la parcela principal fue la edad de desarrollo de la hoja (E), la subparcela la época de cosecha (Co), y la interacción entre ellos (Co*E), comparando los periodos de cosecha principal 2020 y travesía 2021. Los análisis estadísticos se realizaron con el software R (R Core Team, 2021), utilizando los paquetes “ggplot2” (Wickham, 2016), “lme4” (Bates *et al.*, 2015), “lmerTest” (Kuznetsova *et al.*, 2017), “agricolae” (de Mendiburu, 2021) incluido en el entorno estadístico del proyecto R (R Core Team, 2021).

3.3 Resultados

3.3.1 Oferta climática de las localidades en evaluación

En la figura 2-1 se presenta el comportamiento climático predominante durante los 18 meses de evaluación en las tres localidades. Para la localidad de Anserma, los máximos registros de temperatura se alcanzaron durante el mes de febrero de 2020, con una media de 22,6 °C, aunado a una menor humedad relativa (77%), mientras que la temperatura mínima (14°C) se logró durante la temporada de marzo de 2021 (Figura 2.1A). Así mismo, cabe resaltar que en febrero de 2020 fue el único periodo donde se registró un balance hídrico negativo (-3,5 mm), derivado de una precipitación de 93,9 mm, y una evapotranspiración que alcanzó los 97,4 mm (Figura 2-1B).

Respecto a la localidad El Peñol, durante toda la evaluación la temperatura máxima siempre estuvo por encima de los 23,7 °C, con una humedad relativa promedio de 79% (Figura 2-1C). Las precipitaciones más bajas se registraron en los meses de enero (21 mm) y abril (59,6 mm) del 2020, hecho que influyó negativamente sobre el balance hídrico, obteniéndose -86,3 mm y -52,5 mm respectivamente (Figura 2-1D). Los registros climáticos en la localidad de Rionegro reportaron una temperatura promedio de 17,2 °C y una humedad relativa del 72,5% (Figura 2-1E). Los períodos de bajas precipitaciones ocurrieron en los meses de enero (67,2 mm), febrero (59,4 mm) y mayo (84,5 mm) del 2020, así como, en enero (89,9 mm) y abril (68 mm) del 2021, lo cual sumado a una mayor evapotranspiración durante estos meses fue causal de balances hídricos negativos (Figura 2-1F).



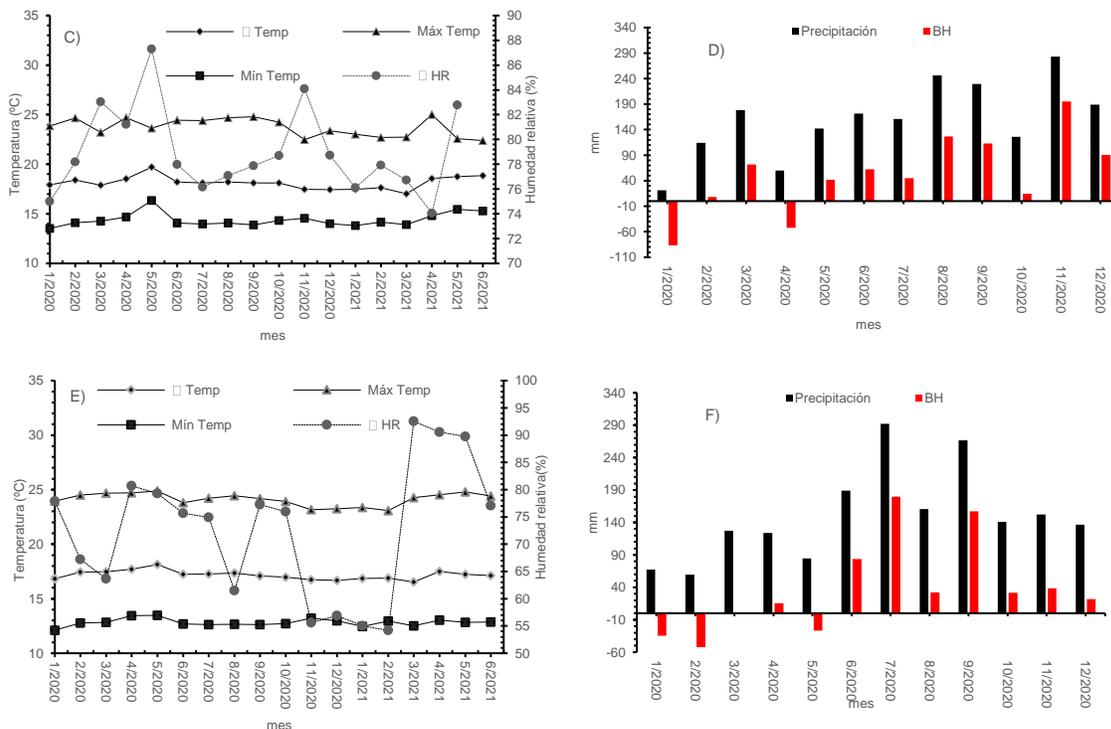


Figura 3-1 Temperatura media (Temp), máxima (Máx Temp), mínima (Mín Temp) y humedad relativa (HR), rango precipitación (P) y balance hídrico (BH) en las localidades Anserma (A, B), Peñol (C, D) y Rionegro (E, F) durante el periodo de evaluación (enero 2020 – junio 2021).

3.3.2 Análisis multivariado de componentes principales para las variables de intercambio gaseoso relacionadas con las condiciones climáticas predominantes durante los 5 días previos a las mediciones entre las localidades, los tratamientos de compatibilidad y los dos periodos de cosecha

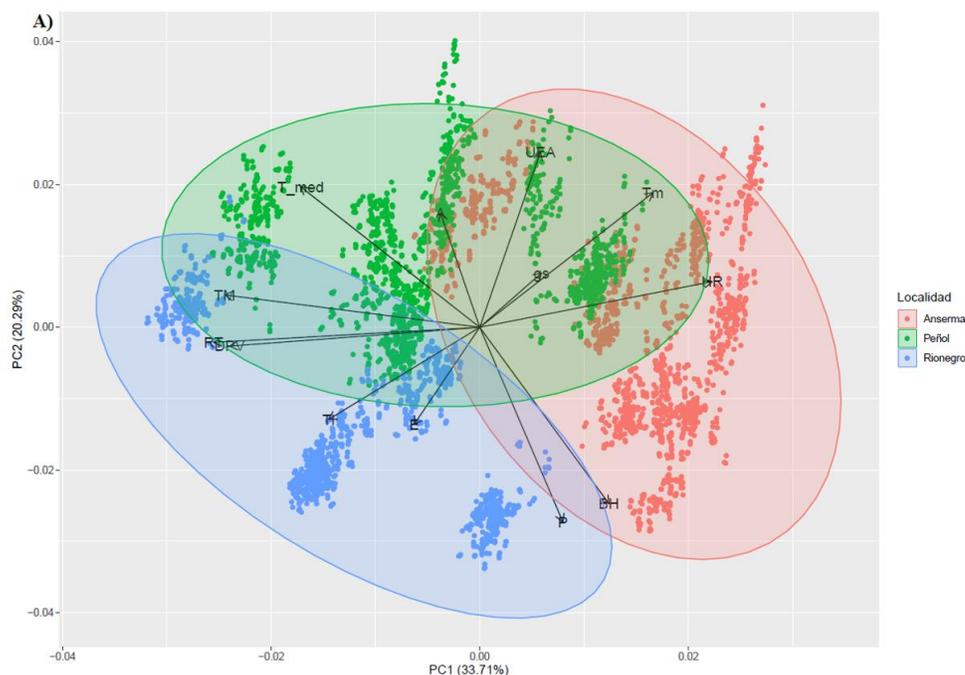
Las elipses de confianza presentadas en la figura 3-1A muestran que las localidades evaluadas presentan un comportamiento similar para las variables de intercambio gaseoso y el promedio de las características climáticas que se presentaron 5 días previos a cada medición, lo que indica que la localidad no evidencia un factor diferencial para las variables de intercambio gaseoso.

Los tratamientos compatible e incompatible presentan un comportamiento igual para las variables de intercambio gaseoso y clima. También, en los dos periodos de cosecha evaluados y durante los 5 días previos a las mediciones, la compatibilidad no arrojó un

factor diferencial que modifique de forma puntual el intercambio gaseoso de las plantas de aguacate cv. Hass (figura 3-1B).

En cuanto a las relaciones entre las variables evaluadas, se observa que la fotosíntesis neta (A) presenta una relación directa con la temperatura media (Tmed) y una relación inversa con la precipitación (P); a su vez, la eficiencia en el uso del agua (EUA) presentó una relación directa con la conductancia estomática (g_s) y la temperatura mínima (Tm) y la humedad relativa (HR); la transpiración (E) presentó una relación directa con la temperatura de la hoja (Tl) y la humedad relativa (HR) presentó una relación inversa con la temperatura máxima (TM) y el rango térmico (RT) (figura 3-1A y 3-1B).

En la figura 3-1C se evidencia que durante las épocas de evaluación el factor cosecha presentó un comportamiento desigual entre la cosecha principal 2020 y travesía 2021. Las elipses de confianza se separan entre sí, con relación a las variables climáticas y de intercambio gaseoso. Las variables climáticas se caracterizaron por presentar durante la cosecha principal 2020 mayor presencia de TM, Tmed, RT y déficit de presión de vapor (DPV), mientras que durante la cosecha travesía 2021 se presentaron más ocurrencias de Tm, balance hídrico (BH) y HR, características que para el caso de cosecha principal podrían mejorar las variables de intercambio gaseoso como lo son la A, E, g_s y UEA.



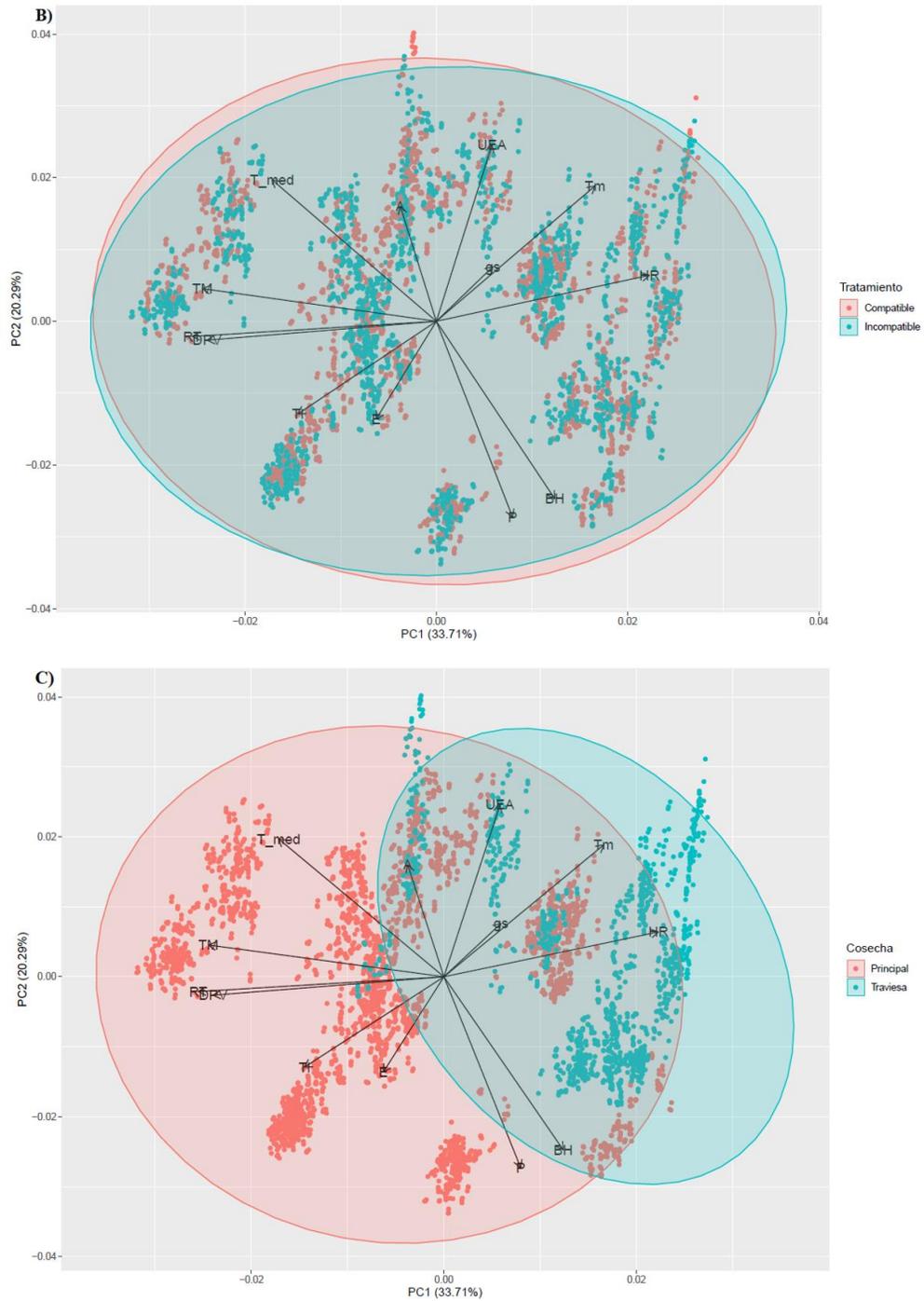


Figura 3-2 Análisis multivariado de componentes principales para las variables de intercambio gaseoso Tleaf, E, gs, A y UEA, relacionadas con el promedio de temperatura media (TMed), máxima (TM), mínima (Tm), humedad relativa (HR), precipitación (P), balance hídrico (BH), déficit de presión de vapor (DPV) y rango térmico (RT)

presentadas 5 días antes de las mediciones en las localidades de estudio (A), tratamientos de compatibilidad (B) y cosechas (C) durante el periodo de evaluación.

3.3.3 Intercambio gaseoso

3.3.3.1 Intercambio gaseoso para el análisis de parcelas divididas tomando como factor de bloqueo la localidad, parcela principal el tratamiento compatibilidad (C), subparcela la edad de las hojas (E) y la interacción entre ellas (C * E) para las cosechas principal 2020 y travesía 2021

En la tabla 3-1 se resume el análisis de varianza para la época de cosecha principal 2020, donde tanto la interacción C*E, como el factor C no presentaron diferencias significativas ($p > 0,5$) para ninguna de las variables evaluadas. No obstante, el factor simple E presentó diferencia significativa para las variables TI, A y UEA ($p < 0,05$) (Tabla 3-1).

Tabla 3-1 Resumen del análisis de varianza para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020.

Variable*	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)**
TI	Compatibilidad	0,488	0,487	0,552
	Edad	44,032	11,008	4,773e ⁻⁰⁴
	Compatibilidad:Edad	1,523	0,380	0,821
E	Compatibilidad	0,003	0,003	0,923
	Edad	1,155	0,289	0,464
	Compatibilidad:Edad	0,078	0,019	0,991
g _s	Compatibilidad	2,756e ⁻⁰⁴	2,756e ⁻⁰⁴	0,327
	Edad	1,251e ⁻⁰³	3,127e ⁻⁰⁴	0,256
	Compatibilidad:Edad	1,045 e ⁻⁰⁴	1,026e ⁻⁰⁴	0,736
A	Compatibilidad	1,15	1,150	0,475
	Edad	52,991	13,247	0,004
	Compatibilidad:Edad	3,929	0,982	0,766
EUA	Compatibilidad	0,087	0,087	0,6089
	Edad	4,112	1,028	0,043
	Compatibilidad:Edad	0,354	0,089	0,888

*Temperatura de la hoja (TI), transpiración (E), conductancia estomática (g_s), fotosíntesis neta (A) y eficiencia en el uso del agua (EUA). ** Códigos de significancia: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘.’ 1.

La tasa de asimilación neta (A) presentó una reducción significativa entre el cuarto y el quinto mes (150 días de desarrollo) hasta el final del desarrollo, continuando con variaciones leves hasta los 300 días de desarrollo de la hoja. La EUA fue variable durante las distintas épocas de medición y cambió significativamente de acuerdo con la edad de la hoja. El incremento en los valores de A entre el segundo y el cuarto mes favoreció el incremento de EUA, ya que, durante las mediciones, la E no fue significativamente diferente. Aunque la TI presentó cambios significativos para la edad de la hoja, estas variaciones de debieron a una menor TI en el noveno mes con relación a los demás periodos evaluados. (Tabla 3-2).

Tabla 3-2 Prueba de comparación de medias para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de árboles de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020, en las diferentes edades de desarrollo foliar.

Factor*	TI	E	g_s	A	UEA
	°C	mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	μmol CO ₂ / mmol H ₂ O
Tratamiento **/Valores p	0,552	0,923	0,327	0,475	0,6089
Compatible	28,99 a	4,16 a	0,13 a	6,46 a	1,65 a
Incompatible	29,42 a	4,13 a	0,13 a	6,09 a	1,55 a
Edad Hoja **/Valores p	4,773e-04	0,464	0,256	0,004	0,043
2	29,61 ab	4,10 a	0,13 ab	8,14 a	2,04 a
4	30,15 a	4,09 a	0,12 b	7,54 a	1,92 ab
5	29,88 ab	4,50 a	0,13 ab	4,90 b	1,08 c
6	29,08 ab	3,90 a	0,13 ab	5,14 b	1,68 abc
9	26,30 b	3,97 a	0,14 a	4,78 b	1,16 bc

*Temperatura de la hoja (TI), transpiración (E), conductancia estomática (g_s), fotosíntesis neta (A) y eficiencia en el uso del agua (EUA). **Los valores corresponden a las medias de los tratamientos. ***Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

La tabla 3-3 resume el análisis de varianza para la cosecha traviesa 2021, donde al igual que en la cosecha principal 2020, la interacción C*E y el factor simple C no presentaron diferencias significativas para ninguna de las variables de intercambio gaseoso evaluadas. La edad de la hoja presentó diferencias significativas ($p < 0.5$) para para las variables de intercambio gaseoso TI, E y g_s .

Tabla 3-3 Resumen del análisis de varianza para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020.

Variable				
Intercambio Gaseoso*	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)**
	Compatibilidad	1,2434	1,244	0,444
TI	Edad	26,626	6,657	0,053
	Compatibilidad:Edad	0,859	0,215	0,976
	Compatibilidad	0,470	0,470	0,433
E	Edad	51,278	12,820	1,378e ⁻⁰⁴
	Compatibilidad:Edad	0,638	0,160	0,917
	Compatibilidad	1,225e ⁻⁰⁴	1,225e ⁻⁰⁴	0,667
g_s	Edad	2,107e ⁻⁰²	5,267e ⁻⁰³	0,003
	Compatibilidad:Edad	4,646e ⁻⁰⁴	1,162 e ⁻⁰⁴	0,910
	Compatibilidad	0,011	0,011	0,948
A	Edad	15,983	4,000	0,131
	Compatibilidad:Edad	4,407	1,101	0,628
	Compatibilidad	0,055	0,055	0,718
EUA	Edad	49,967	12,492	9,592e ⁻⁰⁶
	Compatibilidad:Edad	0,472	0,118	0,748

*Temperatura de la hoja (TI), transpiración (E), conductancia estomática (g_s), fotosíntesis neta (A) y eficiencia en el uso del agua (EUA). ** Códigos de significancia: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

En la tabla 3-4 se presentan las tablas de comparación de medias para C y E, donde la transpiración presentó los mayores valores en el segundo y cuarto mes de desarrollo de la hoja, periodo en el cual se presenta la transición de hoja joven a adulta en aguacate, caracterizado por altas tasas transpiratorias, la cual se reduce hasta llegar a la

senescencia. Los valores de la E presentados durante los meses de más transpiración (segundo y cuarto) aportaron a una mayor eficiencia, aunque A no presentó diferencias en el ciclo de cosecha traviesa (2021).

Tabla 3-4 Prueba de comparación de medias para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de árboles de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha traviesa 2021, en las diferentes edades de desarrollo foliar.

Factor*	TI °C	E mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	g _s mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	EUA μmol CO ₂ / mmol H ₂ O
Tratamiento **/Valores p	<i>0,444</i>	<i>0,433</i>	<i>0,667</i>	<i>0,948</i>	<i>0,718</i>
Compatible	26,20 a	2,56 a	0,15 a	5,92 a	3,28 a
Incompatible	26,70 a	2,86 a	0,14 a	5,85 a	3,07 a
Edad Hoja **/Valores p	<i>0,053</i>	<i>1,378e⁻⁰⁴</i>	<i>0,003</i>	<i>0,131</i>	<i>9,592e⁻⁰⁶</i>
2	28,39 a	4,82 a	0,19 a	5,82 a	1,43 b
4	26,55 b	4,49 a	0,17 ab	4,81 a	1,06 b
5	24,77 b	1,37 b	0,11 c	6,19 a	4,55 a
6	26,26 ab	1,70 b	0,11 c	7,40 a	4,37 a
9	26,30 ab	1,17 b	0,14 bc	5,22 a	4,47 a

*Temperatura de la hoja (TI), transpiración (E), conductancia estomática (g_s), fotosíntesis neta (A) y eficiencia en el uso del agua (EUA). ** Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

3.3.3.2 Intercambio gaseoso para el análisis de parcelas divididas tomando como factor de bloqueo la localidad, parcela principal edad de desarrollo de las hojas (E), subparcela periodo de cosecha (Co) y la interacción y la interacción entre ellas (E*Co) durante la cosecha principal 2020 y traviesa 2021

Durante los periodos de cosecha principal 2020 y traviesa 2021 la interacción E*Co presentó diferencias significativas (p<0,05) para las variables de TI, E, g_s, A y EUA. El factor simple E presentó significancia (p<0,05) para las variables de E, g_s y EUA, mientras que el factor Co presentó diferencias significativas (p<0,05) para las variables TI, E, g_s, A y EUA (tabla 3-5).

Tabla 3-5 Resumen del análisis de varianza para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020 y travesía 2021.

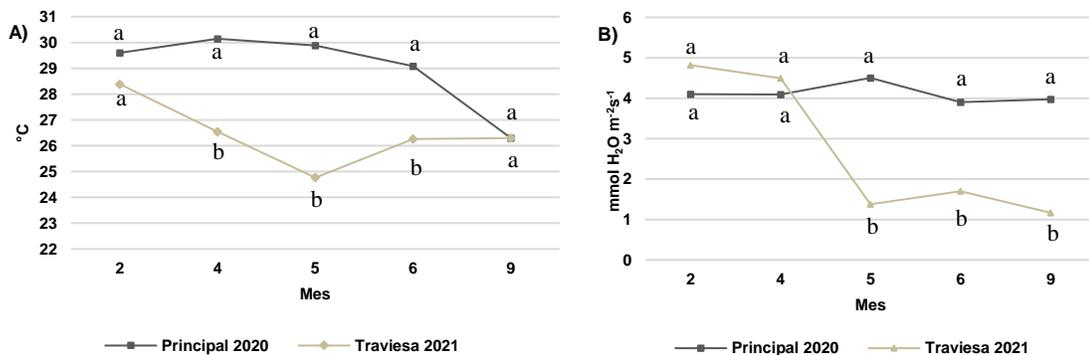
Variable				
Intercambio Gaseoso*	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)**
TI	Edad	37,119	9,280	0,088
	Cosecha	50,614	50,614	5,09e ⁻⁰⁴
	Edad:Cosecha	36,160	9,040	2,886e ⁻⁰⁴
E	Edad	7,733	1,933	5,611e ⁻⁰³
	Cosecha	14,588	14,588	2,684e ⁻⁰⁹
	Edad:Cosecha	25,924	6,481	3,911e ⁻¹⁰
g _s	Edad	3,853e ⁻⁰³	9,633e ⁻⁰⁴	0,0498
	Cosecha	1,607e ⁻⁰³	1,607 e ⁻⁰³	0,018
	Edad:Cosecha	0,013	3,238 e ⁻⁰³	2,731e ⁻⁰⁶
A	Edad	2,988	0,747	0,566
	Cosecha	0,499	0,499	0,472
	Edad:Cosecha	52,421	13,105	1,442e ⁻⁰⁶
EUA	Edad	2,892	0,7231	0,0345
	Cosecha	17,667	17,6667	5,292e ⁻¹²
	Edad:Cosecha	38,873	9,718	1,278e ⁻¹⁴

*Temperatura de la hoja (TI), transpiración (E), conductancia estomática (g_s), fotosíntesis neta (A) y eficiencia en el uso del agua (EUA). ** Códigos de significancia: 0 ‘****’ 0.001 ‘***’ 0.01 ‘**’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1.

En la figura 3-2 se muestra la interacción Edad (E) * Cosecha (Co). En cuanto a la temperatura de la hoja, esta variable presentó el mayor valor durante la cosecha principal (2020) (figura 3-2 A). En este sentido, las mayores temperaturas foliares se relacionan con las condiciones climáticas de las localidades, las cuales se caracterizaban por temperaturas promedio más cálidas predominantes entre los meses de febrero y diciembre, periodo en el cual se desarrollan los frutos de la cosecha principal (figura 3-2 A, C y E), razón por la cual se presentó un aumento en los valores de esta variable, mientras que, en la cosecha travesía 2021, los valores menores de temperatura foliar estuvieron

influenciados por una menor temperatura ambiental durante el periodo de septiembre 2020 y junio de 2021 (figura 3-2 A, C y E).

La E presentó diferencias significativas para el factor cosecha, donde durante la cosecha principal 2020, esta variable no fluctuó en sus valores ($3,97 - 4,50 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) manteniéndose en este rango durante toda la época de medición, la cosecha traviesa 2021 por su parte, se caracterizó por presentar durante el segundo y cuarto mes de desarrollo de la hoja valores similares a los de la cosecha principal 2020 ($4,82 - 4,49 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), posterior al quinto mes de desarrollo la tasa de transpiración decayó hasta la senescencia ($1,17 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 3B). La g_s y la A no presentaron un patrón de cambio definido, ya que como se ve en la figura 3C y 3D, estas variables fluctúan de manera inversa durante el tiempo de desarrollo de la hoja; sin embargo, la g_s fue más estable durante el periodo de cosecha principal, donde sus valores estuvieron entre $0,13$ y $0,14 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En la cosecha traviesa 2021, y durante el segundo y el cuarto mes, la EUA se caracterizó por presentar valores superiores en comparación con la cosecha principal 2020; no obstante, del quinto al noveno mes de desarrollo los valores aumentaron, alcanzando en la cosecha traviesa $4,46 \mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ al final del ciclo; para la cosecha principal el EUA se mantuvo de forma estable durante todo el periodo (Figura 3-2 E).



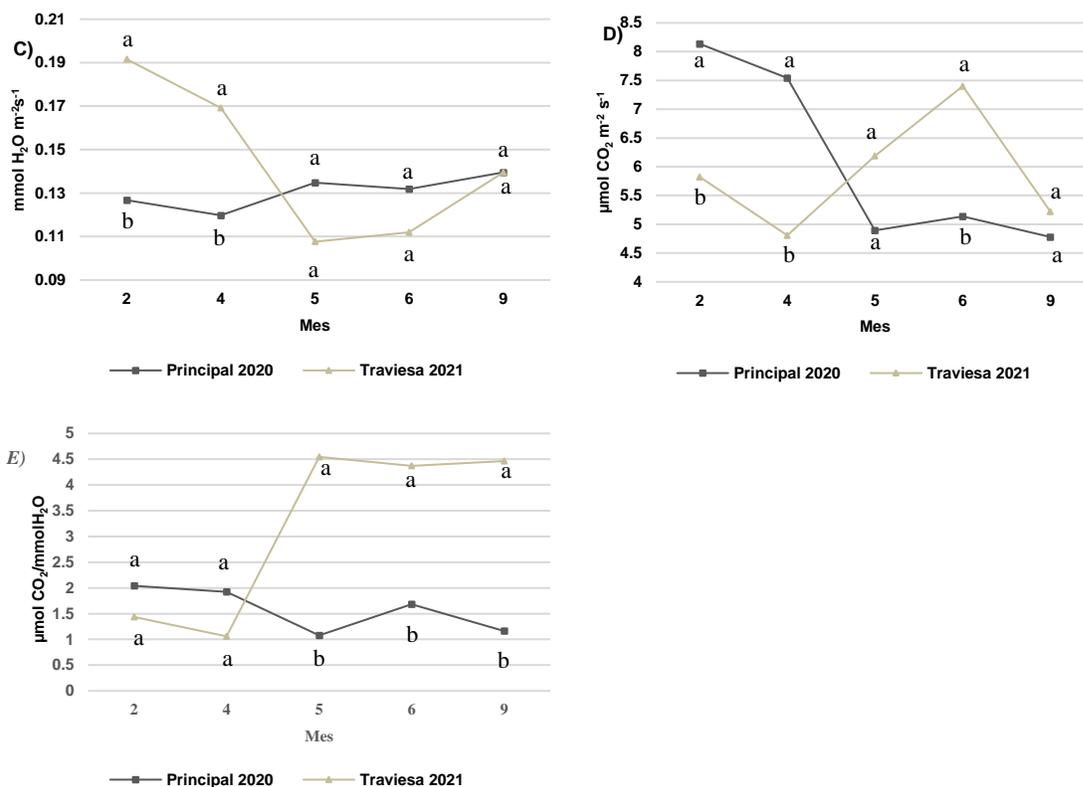


Figura 3-3 Interacción Cosecha por Edad para las variables de intercambio gaseoso temperatura de la hoja (A), transpiración (B), conductancia estomática (C), fotosíntesis neta (D) y eficiencia en el uso del agua (E) durante los periodos de cosecha principal 2020 y travesía 2021. Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

En cuanto al factor cosecha, en la tabla 3-6 se presenta el resumen de comparación de medias para las variables de intercambio gaseoso confrontadas entre la cosecha principal (2020) y travesía (2021), donde se evidencia que la TI, E y A presentaron los valores más altos durante la cosecha principal (2020), mientras que en la travesía (2021) se presentaron los valores mayores para g_s y EUA. La edad presentó valores diferenciales en las edades de desarrollo de las hojas para la TI y E, las cuales redujeron sus valores al madurar el foliolo.

Tabla 3-6 Prueba de comparación de medias para las variables de intercambio gaseoso tomadas en hojas de árboles de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha 2020 y travesía 2021, en las diferentes edades de desarrollo foliar.

Factor	TI °C	E [H ₂ O] mmol m ⁻² s ⁻¹	g _s [H ₂ O] mol m ⁻² s ⁻¹	A [CO ₂] μmol m ⁻² s ⁻¹	UEA [CO ₂ /H ₂ O] μmol/ mmol
Tratamiento **/Valores p	5,09e ⁻⁰⁴	2,684e ⁻⁰⁹	0,018	0,472	5,292e ⁻¹²
Principal 2020	29,21 a	4,14 a	0,13 b	6,27 a	1,60 b
Travesía 2021	26,45 b	2,71b	0,14 a	5,89 a	2,18 a
Edad Hoja **/Valores p	0,088	5,611e ⁻⁰³	0,0498	0,566	0,0345
2	29,12 a	4,39 a	0,15 a	7,21 a	1,80 bc
4	28,71 a	4,25 a	0,14 ab	6,45 a	1,58 c
5	27,84 a	3,25 b	0,12 b	6,27 a	2,47 ab
6	27,67 a	2,80 b	0,12 b	5,41 a	3,03 a
9	26,30 a	2,57 b	0,14 ab	5,00 a	2,81 ab

**Temperatura de la hoja (TI), transpiración (E), conductancia estomática (g_s), fotosíntesis neta (A) y eficiencia en el uso del agua (EUA). ** Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

3.4 Discusión

Las características climáticas de las unidades productivas en evaluación presentan un comportamiento similar en cuanto a las medias de temperatura (18°C), HR (77,9%), precipitación (1.674mm) y altitud (2.141 msnm) (figura 1A, B, C, D y E). Al respecto, Garrido (2013) afirma que aguacate cv. Hass presenta un óptimo de temperatura entre los 18 y 25°C, donde las temperaturas máximas no superen los 35°C y las temperaturas mínimas no se encuentran por debajo de 13°C, condición similar a la registrada durante el periodo de evaluación en las tres localidades. La altitud de las localidades se mantuvo dentro de lo recomendado, ya que Bernal y Diaz (2020) reportan para aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia – Colombia, que los mayores rendimientos para el cultivo se dieron en huertos entre los 1.800 y 2.200 msnm, y en este estudio los huertos evaluados presentaban altitudes de 2.050, 2,175 y 2.198 msnm. Finalmente, Alfonso (2008)

recomienda que la precipitación se encuentre entre 1.200 y 1.800 mm año⁻¹, lo cual durante la época de estudio estuvo entre 1.674 mm año⁻¹ (localidad Rionegro) y 2.214 mm año⁻¹ (localidad Peñol), hecho que evidencia cierta favorabilidad respecto a las condiciones climáticas de la evaluación.

En cuanto a las características climáticas particulares en los periodos de cosecha, estos estuvieron caracterizados por condiciones climáticas contrastantes, la cosecha principal (2020), además de presentar las temperaturas medias más cálidas durante los meses de febrero – diciembre del 2020 (17,5°C), la precipitación mensual fue constante (163,7 mm mes⁻¹), los balances hídricos positivos (>61,9) y la humedad relativa entre 55 – 87%. Según Mandemaker (2008) esta oferta climática es óptima para el cultivo, no obstante, temperaturas por debajo de este rango pueden ocasionar una disminución hasta del 20% en la capacidad fotosintética del árbol; lo cual se presentó durante el periodo de cosecha travesía (2021), donde para los meses de septiembre – junio 2021 se registraron temperaturas de 12,5°C, acompañadas de balances hídricos negativos durante los meses de enero y abril del 2021 de -31mm, lo que pudo ocasionar la reducción de la tasa fotosintética de los árboles durante este periodo.

En general, el clima tuvo un comportamiento similar en las distintas localidades, lo cual es concordante con lo reportado por MINVIVIENDA (2020) en el mapa de clasificación del clima en Colombia, para las variables temperatura y humedad relativa, donde los municipios de Anserma (Caldas), Peñol y Rionegro (Antioquia) están caracterizados por ser climas templados, con condición predominantemente fría.

Dado que el portainjerto puede influir en la fisiología y desarrollo del injerto (Weibel *et al.*, 2003), se han reportado afectaciones sobre el intercambio gaseoso por la combinación entre el portainjerto y el injerto (Losciale *et al.*, 2008). En este sentido, Corelli *et al.* (2001) reportaron que los árboles de pera (*Pyrus communis*) presentaron una menor A cuando el portainjerto y el injerto presentaban incompatibilidad. Así mismo, Ferree (1992) evidenció que el intercambio gaseoso en manzano también estaba influenciado por el portainjerto, puesto que se presentaron valores superiores en árboles injertados en comparación con los tratamientos control (árboles a pie franco).

En el cultivo de uva (*Vitis vinifera*), también se evidenció que la incompatibilidad entre el portainjerto y el injerto afectó algunas variables del intercambio gaseoso, ya que árboles con incompatibilidad redujeron la toma de agua por el sistema radical, resultando así en un déficit hídrico que disminuyó la A (Ferree *et al.*, 1996). Aunado a lo anterior, Silva *et al.* (2018) indican que los problemas de incompatibilidad asociados a la diferencia de diámetro entre el portainjerto y el injerto en yuca (*Manihot esculenta*), derivan en pérdida de conexión entre el xilema, hecho que bloquea el movimiento de fotoasimilados, reduciendo el desarrollo de la planta y la lignificación de los tejidos injertados. En nuestro estudio, contrario a lo reportado en otras especies, por varios autores, la incompatibilidad portainjerto/injerto en aguacate cv. Hass no generó un efecto ostensible para ninguna de las variables de intercambio gaseoso durante la cosecha principal (2020) y la travesía (2021), donde los parámetros de TI, gs, E, A y EUA no presentaron diferencias para árboles con y sin síntomas de compatibilidad (Figura 3-1B, Tabla 3-1 y 3-3).

La edad de desarrollo de la hoja fue un factor diferencial para algunas de las variables de intercambio gaseoso, donde la A registrada durante la cosecha principal 2020 presentó un patrón decreciente, siendo las hojas más jóvenes (segundo y cuarto mes de desarrollo) las que presentaron las tasas más altas (8,14 y 7,54 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), disminuyendo con la edad de la hoja en el noveno mes de desarrollo (4,79 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). No obstante, contrario a la cosecha principal, el intercambio gaseoso de las hojas durante la cosecha travesía 2021 se mantuvo estable durante el período de medición (Tabla 3-4).

Lo anterior se relaciona con lo indicado por Bielszynski (2017), quien afirma que las hojas más jóvenes presentan mayores tasas de A, las cuales disminuyen en la medida que avanza el desarrollo. Estudios en otras especies indican que aumentos de A en las edades iniciales en hojas de soja (*Glycine max*) (Jiang *et al.*, 1993), tabaco (*Nicotiana tabacum*) (Jiang y Rodermel, 1995; Miller *et al.*, 1997, 2000) y arroz (*Oryza sativa*) (Makino *et al.*, 1983) preceden a una disminución durante la madurez y una caída en la senescencia atribuida a cambios en el aparato fotosintético. Además, en *Arabidopsis* se demostró que la fotosíntesis disminuye en el tiempo debido a reducciones en la biomasa de las hojas (Stessman *et al.*, 2002).

Respecto a la E, la edad durante la cosecha travesía (2021) afectó significativamente esta variable, con mayores valores durante el segundo y cuarto mes de desarrollo foliar (octubre

y diciembre 2020), épocas en las cuales se presentaron las temperaturas más bajas (14,1°C) (Figura 2-1). Contrario a lo observado entre el quinto (febrero) y noveno (junio) mes de desarrollo en el 2021, donde las temperaturas registradas en las localidades se caracterizaron por valores medios altos (17,6 a 18,9°C). De acuerdo con Lyu *et al.* (2022), la transpiración se reduce con el aumento de la temperatura y la disponibilidad de agua; en este sentido, durante el periodo de cosecha principal (2020) se registraron temperaturas más bajas, contrario a la travesía, donde las temperaturas fueron mayores, y la reducción en la E en travesía estaría asociada a un efecto térmico regulatorio en las hojas del aguacate.

3.5 Conclusiones

La compatibilidad entre el portainjerto y el injerto en árboles de aguacate cv Hass no afectaron el desempeño fotosintético en hojas de aguacate cv. Hass; variables que fueron afectadas significativamente por la ontogenia foliar y la época de cosecha.

La edad de desarrollo de la hoja durante las cosechas principal 2020 y travesía 2021 presentó diferencias para todas las variables de intercambio gaseoso presentando un comportamiento decreciente desde hojas más jóvenes a hojas más adultas.

3.6 Referencias

Alcaraz ML, Thorp TG and Hormaza JI. 2013. Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, 164, 434-439. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.051>

Bernal JA. 2008. Manual Técnico del cultivo de aguacate Hass (*Persea americana* L.). Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. La Lima, Cortez, Honduras. <http://hdl.handle.net/123456789/654>

Aloni B, Karni L, Deventurero G, Levin Z, Cohen R, Katzir N and Kapulnik Y. 2008. Physiological and biochemical changes at the rootstock-scion interface in graft combinations between Cucurbita rootstocks and a melon scion. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(6), 777-783. <https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512460>

Baron D, Esteves A, Pina A, and Ferreira G. 2019 An overview of grafting re-establishment in woody fruit species, *Scientia Horticulturae*, Volume 243, Pages 84-91, ISSN 0304-4238, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.012>

Bates D, Mächler M, Bolker B and Walker S 2015. "Fitting linear mixed-effects models using lme4." *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

Bernal JA y Díaz CA. 2020. Capítulo I.- Generalidades del cultivo. pp 77-305. En: Bernal JA, y Díaz CA (eds.). Actualización y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate. Segunda edición. Agrosavia. (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. Mosquera. 773 p

Bielczynski L., Łacki MK., Hoefnagels I., Gambin A., and Croce, R. (2017). Leaf and plant age affects photosynthetic performance and photoprotective capacity. *Plant Physiology*, 175(4), 1634–1648. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00904>

Corelli-Grappadelli, L., Musacchi, S. and Magnanini E. 2001. Single leaf and whole canopy gas exchange of pear as affected by graft incompatibility. *Acta Hort.* 557:377–383. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.557.50>

Cornejo TNY. 2019. Plan de instalación de Palta Hass con patrones Topa, Zutano y Moquecano (clonal) basado en árbol de decisiones, para la adaptabilidad y comportamiento en los primeros meses de desarrollo en el anexo de Huatiapilla-Valle de Majes, 2018. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8863>

de Mendiburu F. 2021. *Agricolae: Statistical procedures for agricultural research*. R package (1.3-5). Universidad La Molina.

Ferree DC. 1992. Ten-year summary of the performance of 9 rootstocks in the NC-140 trials. *Compact Fruit Tree* 25:5–11.

Ferree DC, Cahoon GA, Ellis MA, Scurlock DM. and Johns GR. 1996. Influence of eight rootstock on the performance of 'White Riesling' and 'Cabernet Franc' over five years. *Fruit Var. J.* 50(2):124–130.

Goldschmidt EE. 2014. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Front. Plant Sci.* 5, 727. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00727>

Gulen H, Arora R, Kuden A, Krebs SL and Postman J. 2002. Peroxidase isozyme profiles in compatible and incompatible pear-quince graft combinations. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(2), 152-157. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.2.152>

Habibi F, Liu T, Folta K and Sarkhosh A. 2022. Physiological, biochemical, and molecular aspects of grafting in fruit trees. *Horticulture Research*, 9. <https://doi.org/10.1093/hortre/uhac032>

Jiang CZ, Rodermel SR and Shibles RM. 1993. Photosynthesis, rubisco activity and amount, and their regulation by transcription in senescing soybean leaves. *Plant Physiol* 101: 105–112. <https://doi.org/10.2307/4274939>

Jiang CZ and Rodermel SR. 1995. Regulation of photosynthesis during leaf development in RbcS antisense DNA mutants of tobacco. *Plant Physiol* 107: 215–224. <https://doi.org/10.2307/4276292>

Kawaguchi M, Taji A, Backhouse D, and Oda M. 2008. Anatomy and physiology of graft incompatibility in solanaceous plants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(5), 581-588. <https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512427>

Kyriacou MC, Roupshael Y, Colla G, Zrenner R and Schwarz D. 2017. Vegetable Grafting: The Implications of a growing agronomic imperative for vegetable fruit quality and nutritive value. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00741>

Kuznetsova A, Brockhoff PB and Christensen RHB. 2017. “lmerTest Package: Tests in linear mixed effects models.” *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss>.

Lazare S, Haberman A, Yermiyahu U, Erel R, Simenski E and Dag A. 2020. Avocado rootstock influences scion leaf mineral content. *Archives of Agronomy and soil science*, 66(10), 1399-1409. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1672163>

Lyu J, He QY, Chen QW, Cheng RR, Li G, Otsuki K and Du S. 2022. Distinct transpiration characteristics of black locust plantations acclimated to semiarid and subhumid sites in the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 262, 107402. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107402>

Losciale P, Zibordi M, Manfrini L and Grappadelli LC. 2008. EFFECTS OF ROOTSTOCK ON PEAR PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY. *Acta Horticulturae*, (800), 241–248. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2008.800.28>

Makino A, Mae T and Ohira K. 1983 Photosynthesis and ribulose 1,5- biphosphate carboxylase in rice leaves: changes in photosynthesis and enzymes involved in carbon assimilation from leaf development through senescence. *Plant Physiol* 73: 1002–1007. <https://doi.org/10.1104/pp.73.4.1002>

Martínez CMR, Molina MD and Forner GMÁ. 2022. Performance of Two Very Early-Season Clementines, ‘Clemenrubi’ and ‘Orogros’ Mandarins on Three Rootstocks in Spain: Yield and Quality Study. *Agronomy*, 12(5), 1072. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051072>

Miller A, Tsai CH, Hemphill D, Endres M, Rodermeil S and Spalding M. 1997. Elevated CO₂ effects during leaf ontogeny (a new perspective on acclimation). *Plant Physiol* 115: 1195–1200. <https://doi.org/10.2307/4277999>

Miller A, Schlaghauser C, Spalding M and Rodermeil S. 2000. Carbohydrate regulation of leaf development: prolongation of leaf senescence in Rubisco antisense mutants of tobacco. *Photosynth Res* 63: 1–8.

<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006367719639>

Minvivienda - Ministerio de Vivienda. 2020. Mapa de Clasificación del Clima en Colombia según la Temperatura y la Humedad Relativa y listado de municipios. En: <http://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Anexo-No-2-Mapa-de-Clasificaci%C3%B3n-del-Clima-en-Colombia.pdf>. Consultado: Junio 2022.

Mudge k, Janick J, Scofield S and Goldschmidt E. 2009. A history of grafting. *Horticultural Reviews*, Volume 35 Edited by Jules Janick, p. 437 – 493. <https://doi.org/10.1002/9780470593776.ch9>

Najt E, Arjona C, Ojer M, Reginato MG y Weibel A. 2011. Portainjertos y calidad de plantas. Repositorio académico Universidad de Chile. En: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/12> Consultado: Enero 2022.

Nawaz MA, Imtiaz M, Kong Q, Cheng F, Ahmed W, Huang Y and Bie Z. 2016. Grafting: A technique to modify ion accumulation in horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01457>

Oster JD y Arpaia ML. 2007. Efectos de la salinidad y aplicación de agua sobre el rendimiento del palto Hass injertado sobre patrón mexicana. Serie Actas-Instituto de Investigaciones Agropecuarias. En: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/8547>. Consultado: Febrero 2022.

R Core Team. 2021. A language and environment for statistical computing. In: R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>

Ramírez GJ, Ramelli EG and Osorio JGM. 2017. Economic impact of the avocado (cv. Hass) wilt disease complex in Antioquia, Colombia, crops under different technological management levels. *Crop Prot.* 101, 103–115. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.023>

Rasool A, Mansoor S, Bhat KM, Hassan GI, Baba TR, Alyemeni MN and Ahmad P. 2020. Mechanisms underlying graft union formation and rootstock scion interaction in horticultural plants. *Front. Plant Sci*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.590847>

Roy B and Basu AK. 2009. Abiotic stress tolerance in crop plants breeding and biotechnology. New India Publishing Agency, Pitam Pura, New Delhi. pp. 140-147.

Rouphael Y, Schwarz D, Krumbein A and Colla G. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Sci. Hortic.* 127, 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.001>

Silva-Souza L, Diniz RP, Neves RJ, Alves AAC and Oliveira EJ. 2018. Grafting as a strategy to increase flowering of cassava. *Scientia Horticulturae*, 240, 544–551. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.070>

Stessman D, Miller A, Spalding M and Rodermel S 2002 Regulation of photosynthesis during Arabidopsis leaf development in continuous light. *Photosynth Res* 72: 27–37. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1016043003839>

Steduto P, Raes D, Hsiao TC, Fereres E, Heng LK, Howell TA and Geerts S. 2009. Concepts and applications of aqua crop: The FAO crop water productivity model. *Crop Modeling and Decision Support*, 175–191. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01132-0_19

Webber HJ. 1948. “Rootstocks: their character and reactions,” in *The Citrus Industry*, Vol.2, eds L.D. Batchelor and H.J. Webber Berkeley, CA: University of California Press, 69–168.

Weibel A, Johnson RS, and DeJong TM. 2003. Comparative vegetative growth responses of two peach cultivars grown on size-controlling versus standard rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(4), 463-471. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.4.0463>

Wickham H. 2016. *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>.

Willingham SL, Pegg KG, Cooke AW, Coates LM, Langdon PWB and Dean JR. 2001. Rootstock influences postharvest anthracnose development in 'Hass' avocado. Australian Journal of Agricultural Research, 52(10), 1017-1022. <https://doi.org/10.1071/AR0101>

Zapata JC y Leal JM. 2018. Manejo integrado de la pudrición de raíces del aguacate (*Persea americana* Miller), causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands. Temas agrarios, 23(2), 131-143. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6638369>

4. Desarrollo del fruto de aguacate cv. Hass

4.1 Introducción

En la agricultura se emplea la injertación como un método eficaz para la producción en frutas y hortalizas (Baron *et al.*, 2019). Esta práctica consiste en la unión de dos tejidos, un portainjerto que aporta un sistema radical eficiente y una copa o sistema aéreo con características productivas deseables (Silit *et al.*, 2020). Esta unión favorece la tolerancia a factores bióticos y abióticos que afectan la producción del cultivar; por lo que, en los últimos años se ha reconocido la importancia del rol que cumplen los portainjertos en el cultivo de aguacate. Por ello, en la selección de materiales superiores, los esfuerzos se han enfocado en la búsqueda de portainjertos, que no solo favorezcan el incremento en rendimiento; si no también, confieran atributos fisiológicos y biológicos a la copa/dosel, en especial la del cv. Hass, mediado por una adecuada compatibilidad derivada de la afinidad portainjerto/injerto (Silit *et al.*, 2020).

Entre las limitantes en el uso de la injertación en frutales, se ha identificado que la afinidad (compatibilidad) entre el portainjerto (patrón) y el injerto (copa/dosel), como uno de los factores que regulan el éxito del prendimiento entre estos dos tejidos. Ha sido reportado que buenas conexiones entre el injerto y el portainjerto mejoran algunas características agronómicas, en especial, al conferir tolerancia al estrés abiótico (Mudge *et al.*, 2009; Bernal y Díaz, 2020). En el caso del cultivo de aguacate, se conocen pocos estudios que permitan determinar el efecto de la incompatibilidad entre el patrón y la copa; ya que, en ocasiones, los síntomas de compatibilidad se asocian a diferencias morfológicas en el desarrollo del portainjerto y el injerto, evidenciadas tiempo después de la siembra del árbol en campo, lo que según Pina y Errea (2005) afecta la producción y calidad de la fruta en años avanzados del cultivo. En cuanto a la formación del fruto de aguacate, el portainjerto

es el encargado de proveer a través del sistema radical, no solo nutrientes y agua, sino también, otras moléculas como hormonas y proteínas necesarias para el correcto crecimiento y desarrollo del fruto; mientras que, la copa aporta los fotoasimilados necesarios a través de la fotosíntesis. De acuerdo con Lazare *et al.* (2020) se debe garantizar una adecuada asociación y cooperación entre los dos tejidos (portainjerto-injerto), para garantizar altos rendimientos y buena calidad de la fruta. Factores abióticos como la intensidad lumínica, el estrés hídrico, la temperatura, la fertilidad del suelo; bióticos como plagas y enfermedades, y genéticos como el portainjerto modifican los rendimientos y la calidad del fruto (Mickelbart, 2012; Silit *et al.*, 2020). Estos factores pueden ser sorteados por un buen sistema de anclaje que tolere condiciones desfavorables y que garantice el crecimiento rápido del fruto y reducir la permanencia en el árbol (Ozdemir y Topuz, 2004; Whiley *et al.*, 2007; Lira *et al.*, 2020; Peña *et al.*, 2008; Van Den Berg *et al.*, 2021); características que han determinado el tiempo de crecimiento y su dinámica para algunas zonas productoras (Márquez *et al.*, 2020; Albacete *et al.*, 2015).

El fruto de aguacate en comparación con otras especies frutales como manzanos, poseen una tasa respiratoria acelerada, la cual es producto del aprovechamiento de carbono fijado y el rendimiento energético logrado en las mitocondrias, por lo que, un buen sistema de anclaje que permita un adecuado suministro de agua y nutrientes, favorece la actividad fotosintética indispensable para el desarrollo del fruto (Blanke *et al.*, 2020; Scherrer *et al.*, 2011); además de, la acumulación de materia seca, de importancia, debido a su relación con la acumulación de aceites, principal parámetro para la determinación de la madurez para su cosecha (Liu *et al.*, 1999; Carvalho *et al.*, 2014). En virtud que el portainjerto favorece la absorción de nutrientes y una buena conexión entre el portainjerto y el injerto, vital para el movimiento de solutos por el sistema vascular, es necesario que, no se presenten interrupciones entre ellos en su punto de conexión (cicatriz de injertación) (Silit *et al.*, 2020).

En frutales como los cítricos se ha reportado que un síntoma de no afinidad en los árboles injertados se da por el crecimiento desigual entre el diámetro del portainjerto y el injerto (Webber, 1948). En duraznos, el desarrollo menor del patrón afecta la producción y genera senescencia foliar (Najt *et al.*, 2011), en hortalizas de la familia Solanaceae la falta de afinidad entre el portainjerto y el injerto genera conexiones vasculares deficientes y afecta

el movimiento de fotoasimilados, minerales y agua (Kawaguchi *et al.*, 2008), lo cual sugiere que la relación portainjerto/copa es vital para el rendimiento en pantas. En este sentido, en huertos comerciales de aguacate cv. Hass en Colombia, especialmente en los departamentos de Antioquia y Caldas se han evidenciado alteraciones morfológicas con desarrollos menores del diámetro del portainjerto (tallo) en comparación con el diámetro del injerto (copa), lo cual ha generado una alteración del tallo del árbol, que ha sido definida como una incompatibilidad entre estos dos tejidos. Así mismo, se desconoce si esta alteración afecta el desarrollo de la copa, el rendimiento y la calidad de la fruta de aguacate. Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate cv. Hass en árboles con alteraciones morfológicas definidas como incompatibilidades entre el portainjerto y el injerto, durante todo el ciclo productivo en las principales regiones productoras en Colombia.

4.2 Materiales y métodos específicos

4.2.1 Unidad experimental

En cada localidad fueron seleccionados 9 árboles compatibles y 9 árboles incompatibles. En cada árbol se marcaron 40 frutos emitidos después de la floración de febrero del 2020 (floración de la cosecha principal 2020) y septiembre del 2020 (floración de la cosecha traviesa del 2021). Los frutos seleccionados se encontraban en un estado de desarrollo 711 según la escala BBCH (Alcaraz *et al.*, 2013).

4.2.2 Variables evaluadas

4.2.2.1 Frecuencia respiratoria

A cada fruto y en cada edad de evaluación se determinó la tasa respiratoria (ppm CO₂) durante dos horas, con una frecuencia de cuatro segundos entre lecturas, para una total de 1800 lecturas por fruto en cada muestreo; para ello, se emplearon sensores de CO₂ LabQuest2 (Vernier). Con el propósito de diferenciar el CO₂ total emitido por los frutos del que se encontraba al interior de la cámara de respiración, al valor registrado en cada lectura (Ti) le fue restado el valor inicial captado por los sensores (T0). A partir del anterior

valor se calculó el CO₂ específico, el cual resultó de la división del total de CO₂ registrado al final de cada evaluación en ppm (Tf, lectura 1800), sobre la biomasa fresca total del fruto (g) alcanzada para esa fecha específica (BTF).

4.2.2.2 Crecimiento y desarrollo del fruto

A los frutos cosechados se les determinó la longitud (L; cm), el diámetro (D; cm) y el peso fresco (PF; g). Cada fruto fue disectado en sus partes, pericarpio y semilla de forma individual para la determinación de materia fresca (MFP; g) y seca (MSP; g) del pericarpio, así como, la materia fresca (MFS; g) y seca (MSS; g) de la semilla. Otras variables evaluadas fueron biomasa total del fruto (BTF; g) y la relación longitud – diámetro (RLD). Para la materia seca, el fruto por partes fue colocado por separado en un horno Memmert UL 80® (Memmert GmbH + Co. KG, Büchenbach, Alemania) a 60°C hasta alcanzar peso constante, y luego, a través de una balanza analítica, obtener el peso seco de cada estructura.

4.2.2.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en un modelo lineal mixto para las variables de frecuencia respiratoria y crecimiento del fruto, realizando una prueba de diferencia múltiple significativa utilizando el ajuste por multiplicidad por familia a través de la corrección de Holm.

A partir de este modelo se realizaron dos análisis; el primero constó de un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm, a partir de un bloqueo por localidad de forma individual en cada cosecha (principal 2020 y travesía 2021), donde se evaluó el tratamiento compatibilidad (C) como parcela principal, y la edad de desarrollo del fruto (E) como subparcela, además de, la interacción entre ellos (C*E). En el segundo análisis, de igual forma se hizo una prueba de comparación de medias con bloqueo por localidad, no obstante, se evaluó la época de cosecha (Co) como parcela principal (cosecha principal 2020 y travesía 2021) y la edad (E) como subparcela; así como, la interacción entre ellos (C_o*E).

Para el primer análisis se acotaron las medianas de los resultados de frecuencia respiratoria del fruto por edad de medición en cada tratamiento, mientras que, para el segundo análisis se tomaron las medias de L, D, PF, MF y MS del pericarpio (P) y semilla (S) de cada fruto tomados de las 9 unidades experimentales de cada localidad y en cada edad de desarrollo.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando los paquetes “ggplot2 (Wickham 2016), “lme4” (Bates *et al.*, 2015), “lmerTest” (Kuznetsova *et al.*, 2017), “agricolae” (de Mendiburu, 2021) incluido en el entorno estadístico del proyecto R. Se utilizó el software R (R Core Team, 2021).

4.3 Resultados

4.3.1 Comportamiento respiratorio de frutos de aguacate cv. Hass

4.3.1.1 Respiración del fruto para el análisis de parcelas divididas con factor de bloqueo por localidad, parcela principal compatibilidad (C) y subparcela edad de desarrollo del fruto (E) durante los periodos de cosecha principal 2020

En la tabla 4-1 se presenta el resumen del análisis de varianza de la frecuencia respiratoria durante el periodo cosecha principal (2020). El tratamiento compatibilidad no afectó la frecuencia respiratoria del fruto; mientras que, el factor edad de cosecha (E) sí presentó diferencias significativas ($p=3,16e^{-13}$) en cuanto a la concentración de CO₂ medida en cada edad de desarrollo del fruto durante este periodo de cosecha (tabla 4-1). La interacción C

* E no fue significativa.

Tabla 4-1 Resumen análisis de varianza para la variable de frecuencia respiratoria de los frutos de aguacate cv. Hass durante la cosecha principal del 2020.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)**
	Compatibilidad	7,86e ⁺¹⁶	7,86e ⁺¹⁶	0,30
ppm CO ₂	Edad	4,70e ⁺¹⁸	9,74e ⁺¹⁷	3,16e ⁻¹³
	Compatibilidad:edad	1,62e ⁺¹⁷	3,25e ⁺¹⁶	0,81

*Códigos de significancia: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1.

En la tabla 4-2 se presenta la comparación de medias durante la cosecha principal (2020), donde la concentración de CO₂ incrementó significativamente con la ontogenia del fruto, presentando un aumento mensual del 16,7% (383,9 ppm CO₂) durante el desarrollo del fruto, y evidenciándose un incremento de CO₂ del 76,7% (2.303,6 ppm CO₂) desde el inicio (cuarto mes de desarrollo) hasta el final de la evaluación (novenos mes de desarrollo).

Tabla 4-2 Prueba de comparación de medias para las variables de frecuencia respiratoria del fruto medida en ppm CO₂ de árboles aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020.

Tratamiento	Medias CO₂ (ppm)
Compatible	1614,5 a
Incompatible	1966,4 a

Edad	Medias CO₂ (ppm)
4	698,4 e
5	887,3 de
6	1560,4 cd
7	2044,9 bc
8	2549,7 ab
9	3002,0 a

* Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

4.3.1.2 Respiración del fruto para el análisis de parcelas divididas con factor de bloqueo por localidad, parcela principal compatibilidad (C) y subparcela edad de desarrollo del fruto (E) durante el periodo de cosecha travesía 2021

En la tabla 4-3 se presenta el resumen del análisis de varianza del comportamiento respiratorio de frutos evaluados durante el periodo de cosecha travesía (2021). Al igual que en la cosecha principal (2020), el tratamiento compatibilidad no afectó la frecuencia

respiratoria de los frutos de aguacate; variable que solo fue afectada por la edad del desarrollo del fruto de forma significativas ($p=5,59e^{-07}$).

Tabla 4-3 Resumen análisis de varianza para la variable de frecuencia respiratoria de los frutos de aguacate cv. Hass durante la cosecha traviesa del 2021.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)**
ppm CO ₂	Compatibilidad	1,56e ⁺¹⁵	1,56e ⁺¹⁵	0,92
	Edad	8,28e ⁺¹⁸	1,66e ⁺¹⁸	5,59e ⁻⁰⁷
	Compatibilidad:edad	5,03e ⁺¹⁷	1,01e ⁺¹⁷	0,68

*Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

En la tabla 4-4 se presentan los resultados de la comparación de medias de la frecuencia respiratoria de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de medición denominado cosecha traviesa (2021), donde la edad presentó un incremento significativo en la concentración de CO₂ entre la edad 1 y 9 mes de desarrollo del fruto. Desde el primer mes de se presentaron incrementos constantes, lo cual derivó en que al noveno mes de desarrollo (momento de cosecha) se encontró un incremento del 37.830,6% (4.565,4 ppm CO₂) en la tasa respiratoria, presentándose el aumento mayor entre el quinto (1.008,1 ppm CO₂) y noveno mes (4.577,5 ppm CO₂).

Tabla 4-4 Prueba de comparación de medias para las variables de frecuencia respiratoria del fruto medida en ppm CO₂ de árboles aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha traviesa 2021.

Tratamiento	Medias CO ₂ (ppm)
Incompatible	1293,9 a
Compatible	1311,3 a

Edad	Medias CO ₂ (ppm)
1	12,1 d
2	383,9 bc
3	434,5 bc
5	1.008,1 b
6	1.400,2 b

9 4.577,5 a

* Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

4.3.1.3 Respiración del fruto para el análisis de parcelas divididas con factor de bloqueo por localidad, parcela principal edad de desarrollo del fruto (E) y subparcela cosecha (Co) durante los periodos de cosecha principal 2020 y travesía 2021

En la tabla 4-5 se presenta el análisis de varianza para la tasa respiratoria del fruto medida en ppm de CO₂ durante los periodos de cosecha (principal 2020 y travesía 2021), donde la edad de desarrollo del fruto presentó diferencias significativas ($p < 2e^{-16}$) para la variable de respiración del fruto medida en ppm de CO₂. La cosecha no afectó de forma significativa el patrón respiratorio de los frutos de aguacate.

Tabla 4-5 Resumen del análisis de varianza para la frecuencia respiratoria de frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020 y travesía 2021.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr
	Edad	9,84e ⁺¹⁴	3,28e ⁺¹⁴	<2e ⁻¹⁶
ppm CO ₂	Cosecha	7,41e ⁺¹²	7,41e ⁺¹²	0,42
	Edad:cosecha	4,32e ⁺¹³	1,44e ⁺¹³	0,26

*Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

En la tabla 4-6 se observa que el factor simple E mostró un incremento en la concentración de CO₂ creciente desde el mes 4 hasta el mes 9, con un aumento mensual promedio de 423,6ppm de CO₂, correspondiente a un incremento del 463,9% (2.541,4 ppm CO₂) entre el cuarto al noveno mes de desarrollo. Para el caso del factor respiratorio del fruto, este fue similar entre las cosechas principal y travesía.

Tabla 4-6 Prueba de comparación de medias para las variables de frecuencia respiratoria del fruto medida en ppm CO₂ de árboles aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020 y travesía 2021.

Cosecha	Medias CO₂ (ppm)
Principal	1537,0 a
Travesía	1570,3 a
Edad (mes)	Medias CO₂ (ppm)
4	698,4 c
5	935,7 bc
6	1.469,7 b
9	3.239,8 a

* Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

4.3.1.4 Tasa respiratoria del fruto de aguacate cv. Hass durante la ontogenia y sus relaciones con el CO₂ total y específico

En la figura 4-1 se presenta la curva respiratoria de los frutos de aguacate cv. Hass en los diferentes estados de desarrollo. En ésta se observan cuatro patrones respiratorios. El primero se da para los frutos de un mes de desarrollo, los cuales presentan una tasa de respiración alta y variable (entre -4.450 y 13.053 ppm g⁻¹ biomasa) la cual es altamente fluctuante en el tiempo y se caracteriza por picos de producción y consumo de CO₂. El segundo patrón se evidencia para los frutos de dos meses de desarrollo, el cual es variable, pero menos fluctuante que el primer patrón respiratorio, acentuándose en valores positivos (entre 0 y 3005 ppm g⁻¹ biomasa). El tercer patrón muestra como los frutos de tres meses de desarrollo presentan una respiración poco fluctuante, pero aún sin un comportamiento estable en sus valores medios, exhibiendo una leve reducción en la proporción de CO₂, pero manteniendo diferencias respecto a los frutos mayores a cuatro meses. Finalmente, el cuarto patrón respiratorio (cuarto al noveno mes de desarrollo) se caracterizó por ser estable hasta la cosecha, con valores en la concentración de CO₂ continuos (entre 0 y 98 ppm g⁻¹ biomasa), donde el fruto se mantuvo estable hasta que finalizó su desarrollo.

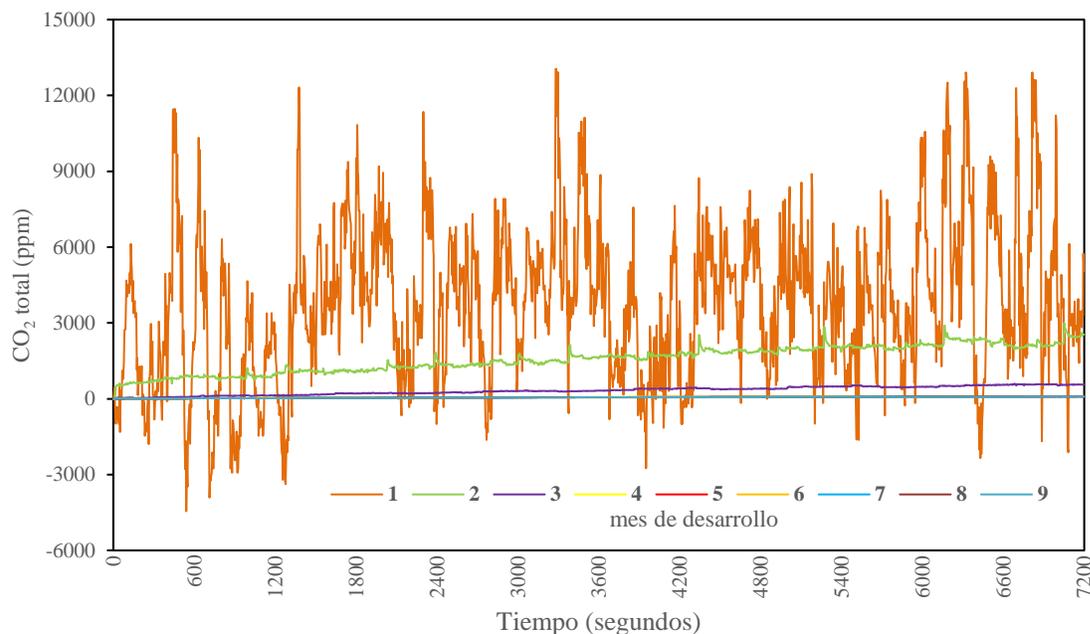


Figura 4-1 Curva de la respiración del fruto de aguacate cv. Hass a través de la ontogenia del fruto en meses, con relación al CO₂ total emitido (ppm).

En la figura 4-2 se presenta el comportamiento de la tasa respiratoria absoluta del fruto, la cual se construyó con el conjunto de mediciones realizadas durante los periodos de cosecha principal (2020) y traviesa (2021), sin discriminar el tratamiento de compatibilidad en los frutos de aguacate cv. Hass. A medida que aumentó el desarrollo del fruto, la tasa de respiración de CO₂ total presentó un comportamiento creciente en el tiempo, observándose una curva doble sigmoide, a pesar de que a partir del mes 7 de desarrollo, la tendencia de la tasa de CO₂ total fue estable. En cuanto a la respiración específica, la cual se calculó a partir de la cantidad de CO₂ liberado por cada gramo de biomasa del fruto, se evidenció una reducción, donde a medida que el fruto comenzó a incrementar su biomasa, la cantidad de CO₂ liberado disminuyó notoriamente durante los meses uno al tres, para luego estabilizarse a partir de cuarto mes de desarrollo con una tendencia similar en la tasa respiratoria de CO₂ por gramo de biomasa.

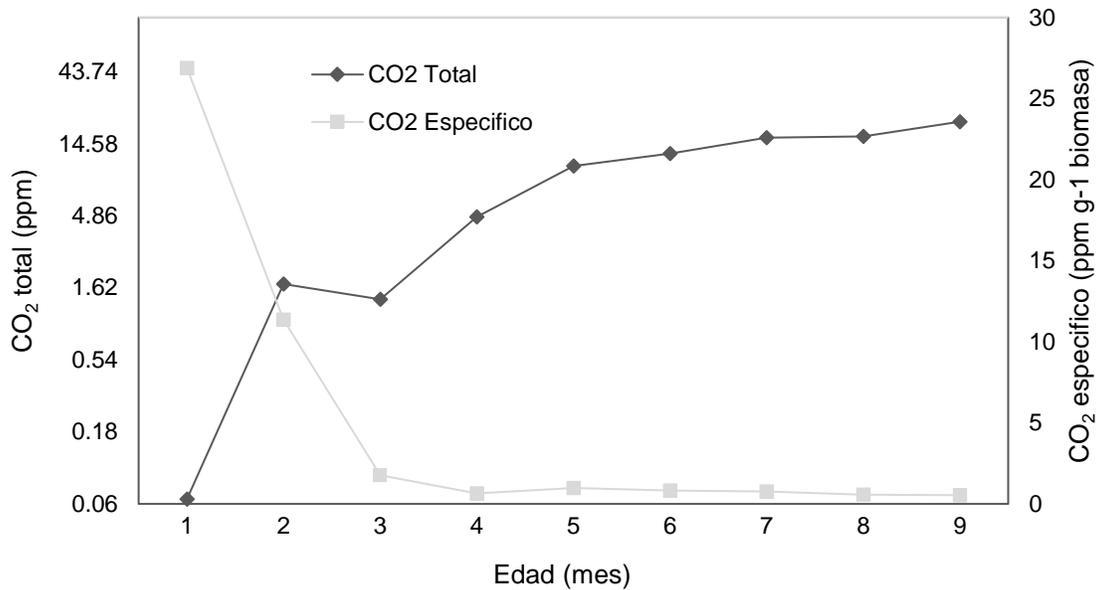


Figura 4-2 CO₂ liberado en cada época de desarrollo del fruto y frecuencia respiratoria específica por gramo de biomasa producido.

4.3.2 Crecimiento y desarrollo del fruto de aguacate cv. Hass

4.3.2.1 Respiración Crecimiento y desarrollo del fruto para el análisis de parcelas divididas con factor de bloqueo por localidad, parcela principal compatibilidad (C) y subparcela edad de desarrollo del fruto (E) durante el periodo de cosecha principal 2020

En la tabla 4-7 se presenta el análisis de varianza para las variables de crecimiento del fruto de aguacate cv. Hass durante el período de cosecha principal (2020). Las variables Longitud (L), Diámetro (D), Peso fresco del fruto (PF), Materia fresca del pericarpio (MFP), Materia seca del pericarpio (MSP), Materia fresca de la semilla (MFS), Materia seca de la semilla (MSS) y Biomasa total del fruto (BTF) fueron significativas para la edad del fruto (E) ($p < 0,05$). Solo la relación Longitud-Diámetro (RLD) no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) para ninguna de las fuentes de variación evaluadas. En cuanto a la compatibilidad (C), las variables de crecimiento del fruto no fueron afectadas significativamente por este tiramiento; al igual que la interacción C * E.

Tabla 4-7 Resumen del análisis de varianza para las variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020.

Variable*	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)**
L	Compatibilidad	0,058	0,058	0,635
	Edad	240,024	48,005	2,19e ⁻⁰⁷
	Compatibilidad:Edad	0,393	0,079	0,898
D	Compatibilidad	0,008	0,008	0,823
	Edad	197,771	39,554	3,05e ⁻⁰⁵
	Compatibilidad:Edad	0,523	0,105	0,625
PF	Compatibilidad	27	27,400	0,727
	Edad	51.612	10.322,300	6,96e ⁻⁰⁸
	Compatibilidad:Edad	441	88,100	0,758
MFP	Compatibilidad	97	96,900	0,437
	Edad	33.773	6.754,600	4,53e ⁻⁰⁸
	Compatibilidad:Edad	516	103,200	0,450
MSP	Compatibilidad	0,010	0,010	0,971
	Edad	2.252,710	450,400	8,34e ⁻⁰⁹
	Compatibilidad:Edad	5.450	1,090	0,963
MFS	Compatibilidad	1.850	1,851	0,661
	Edad	1.231,180	246,236	3,67e ⁻⁰⁵
	Compatibilidad:Edad	9,800	1,960	0,939
MSS	Compatibilidad	0,431	0,431	0,615
	Edad	230,485	46,097	7,94e ⁻⁰⁶
	Compatibilidad:Edad	0,813	0,163	0,991
BTF	Compatibilidad	0,400	0,360	0,862
	Edad	3.863,400	772,680	1,04e ⁻⁰⁸
	Compatibilidad:Edad	7,500	1,510	0,979
RLD	Compatibilidad	0,001	0,001	0,812
	Edad	0,069	0,014	0,466
	Compatibilidad:Edad	0,026	0,005	0,868

* Longitud (L), Diámetro (D), Peso fresco del fruto (PF), Peso fresco del pericarpio (MFP), Materia seca del pericarpio (MSP), Materia fresca de la semilla (MFS), Materia seca de la

4	4,3 c	5,5 d	54,0 e	49,4 e	6,9 e (13,9%)	4,2d	0,50 c (12%)	7,4 e (13,6%)	1,3 a
5	4,8 bc	6,2 c	73,3 d	65,9 d	9,1 e (13,7%)	6,9 cd	0,98 c (14,3%)	10,3 e (13,7%)	1,3 a
6	5,3 b	6,9 b	97,4 c	87,2 c	13,1 d (15,1%)	9,5 c	1,9 bc (18,6%)	14,9 d (15,3%)	1,3 a
7	6,3 a	7,1 b	129,3 b	113,0 b	18,0 c (15,9%)	13,9 b	3,1 b (22,3%)	21,1 c (16,3%)	1,2 a
8	6,2 a	7,89 a	153,3 a	131,0 a	22,3 b (17%)	20,4 a	6,2 a (30,4%)	28,5 b (18,6%)	1,3 a
9	6,3 a	8,0 a	162,0 a	135,9 a	30,9 a (22,8%)	20,1 a	7,5 a (37,1%)	38,4 a (23,7%)	1,3 a

* Longitud (L), Diámetro (D), Peso fresco del fruto (PF), Peso fresco del pericarpio (MFP), Materia seca del pericarpio (MSP), Materia fresca de la semilla (MFS), Materia seca de la semilla (MSS), Biomasa total del fruto (BTF) y Relación longitud-diámetro (RLD). ** Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. ** Los valores porcentuales corresponden a la materia seca alcanzada en cada época de desarrollo del fruto.

4.3.2.2 Crecimiento y desarrollo del fruto para el análisis de parcelas divididas con factor de bloqueo por localidad, parcela principal compatibilidad y subparcela edad de desarrollo del fruto durante el periodo de cosecha travesía 2021

En la tabla 4-9 se presenta el resumen del análisis de varianza para las variables de crecimiento y desarrollo de los frutos de aguacate cv. Hass durante la cosecha travesía 2021, donde la edad de medición evidenció diferencias significativas ($p < 0,05$) para las variables L, D, PF, MFP, MSP, MFS, MSS y BTF, al igual que en la cosecha principal (2020), tanto el tratamiento compatibilidad, como la interacción C * E no afectaron de forma significativa ($p > 0,05$) este grupo de variables. En el caso de RLD, al igual que la cosecha principal, durante la travesía, RLD no fue afectada de forma significativa por la compatibilidad ni la edad del desarrollo del fruto.

Tabla 4-9 Resumen del análisis de varianza para las variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha travesía 2021.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)
	Compatibilidad	0,001	0,001	0,901
L	Edad	206,384	41,277	6,57e ⁻¹¹
	Compatibilidad:Edad	0,149	0,030	0,823

	Compatibilidad	0,079	0,079	0,077
D	Edad	118,871	23,774	1,461e ⁻¹⁴
	Compatibilidad:Edad	0,129	0,025	0,353
	Compatibilidad	114	113,900	0,244
PF	Edad	86.431	17,286,200	1,86e ⁻⁰⁸
	Compatibilidad:Edad	658	131,600	0,201
	Compatibilidad	63	63,300	0,320
MFP	Edad	65.028	13.005,600	2,213e ⁻¹¹
	Compatibilidad:Edad	400	80,100	0,305
	Compatibilidad	0,580	0,580	0,469
MSP	Edad	2.490,450	498,090	2,213e ⁻¹³
	Compatibilidad:Edad	13,390	2,680	0,083
	Compatibilidad	0,430	0,430	0,757
MFS	Edad	1.601,920	320,380	3,93e ⁻⁰⁸
	Compatibilidad:Edad	6,930	1,390	0,887
	Compatibilidad	0,193	0,193	0,521
MSS	Edad	248,686	49,737	4,56e ⁻⁰⁶
	Compatibilidad:Edad	1,150	0,230	0,756
	Compatibilidad	1,400	1,450	0,298
BTF	Edad	4.241,600	848,320	2,45e ⁻¹¹
	Compatibilidad:Edad	20,200	4,050	0,042
	Compatibilidad	0,007	0,007	0,532
RLD	Edad	0,240	0,048	0,059
	Compatibilidad:Edad	0,002	3,14e ⁻⁰⁴	0,999

* Longitud (L), Diámetro (D), Peso fresco del fruto (PF), Peso fresco del pericarpio (MFP), Materia seca del pericarpio (MSP), Materia fresca de la semilla (MFS), Materia seca de la semilla (MSS), Biomasa total del fruto (BTF) y Relación longitud-diámetro (RLD). **Códigos de significancia: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 '.' 1.

En la tabla 4-10 se presentan las comparaciones de medias para las variables morfológicas de desarrollo del fruto durante el periodo de cosecha travesía 2021, con comportamientos similares a los observados en la cosecha principal (2020). D presentó un crecimiento constante desde el primer mes hasta el noveno mes de desarrollo donde se evidenció un

incremento de 5,8 cm. Cabe mencionar que el 88% del crecimiento se presentó durante los primeros 6 meses de desarrollo del fruto, mientras que en el último tercio de desarrollo (mes 7 al 9) el incremento fue de tan solo 12% (0,74 cm). L se caracterizó por una fase de crecimiento intermedio durante el primer trimestre, donde el incremento fue de 31,6% (2,56 cm) del total del fruto; el segundo trimestre fue la etapa más importante de crecimiento, en la cual el aumento fue del 52,6% (4,26 cm); y finalmente en el tercer tercio de desarrollo, el incremento en longitud disminuyó, completando el crecimiento del fruto en el 15,8% (0,74 cm). PF fue creciente a partir del tercer mes de desarrollo, con un incremento constante, alcanzado al final del ciclo un peso total de 158,84 g. MSP presentó un aporte constante entre el tercer y sexto mes de desarrollo, donde la materia seca del pericarpio representó entre el 14,1 y 15,1% del peso seco total del fruto; no obstante, al noveno mes se observó un incremento mayor, al representar el 21% de materia seca total para el final del ciclo. Al igual que MFP, la MSS presentó el mismo patrón creciente, caracterizado por un incremento constante de materia seca en los dos primeros tercios del desarrollo (13,3 a 17,7%), duplicándose hasta el 40,6% BTF en el tercer tercio de desarrollo del fruto. En general, BTF aumento hasta alcanzar un porcentaje del 23,6% al final del ciclo cifra similar a la lograda para esta variable durante el periodo de cosecha principal (2020) (23,7%); el comportamiento de esta variable fue creciente en el tiempo, caracterizándose por un crecimiento del 58,9% (19 g) durante el tercer tercio de desarrollo del fruto.

Tabla 4-10 Prueba de comparación de medias para las variables de variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha travesía 2021.

Tratamiento*	Variable*								
	D (cm)	L (cm)	PF (g)	MFP (g)	MSP (g)***	MFS (g)	MSS (g)***	BTF (g base seca)***	RLD
Compatible	3,4 a	4,3 a	59,4 a	51,4 a	9,0 a (17,4%)	7,0 a	2,1 a (30,6%)	11,1 a (36,2%)	1,2 a
Incompatible	3,3 a	4,3 a	55,0 a	48,1 a	8,6 a (18%)	6,7 a	2,0 a (29,2%)	10,6 a (36,3%)	1,2 a
Edad									
1	0,30 f	0,30 e	0,0 d	0,0 d	0,0 d (0%)	0,0 d	0,0 c (0%)	0,0 d (0%)	1,0 b
2	1,2 e	1,4 de	1,2 d	0,0 d	0,2 d (0%)	0,0 d	0,0 c (0%)	0,20 d (12,6%)	1,2 a
3	2,1 d	2,6 d	6,3 d	5,4 d	0,80 d (14,1%)	0,20 d	0,0 c (13,3%)	0,80 d (12,2%)	1,2 a
5	4,9 c	6,2 c	75,9 c	67,5 c	10,2 c (15,1%)	6,7 c	1,1 b (16,4%)	11,3 c (14,9%)	1,3 a

6	5,4 b	6,8 b	101,1 b	89,4 b	13,3 b (15%)	11,9 b	2,1 b (17,7%)	15,4 b (15,2%)	1,3 a
9	6,1 a	8,1 a	158,8 a	136,1 a	28,4 a (21%)	22,2 a	9,0 a (40,6%)	37,4 a (23,6%)	1,3 a

* Longitud (L), Diámetro (D), Peso fresco del fruto (PF), Peso fresco del pericarpio (MFP), Materia seca del pericarpio (MSP), Materia fresca de la semilla (MFS), Materia seca de la semilla (MSS), Biomasa total del fruto (BTF) y Relación longitud-diámetro (RLD). ** Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. *** Los valores porcentuales corresponden a la materia seca alcanzada en cada época de desarrollo del fruto.

4.3.2.3 Crecimiento y desarrollo del fruto para el análisis de parcelas divididas con factor de bloqueo por localidad, parcela principal edad de desarrollo del fruto (E) y subparcela cosecha (Co) durante los periodos de cosecha principal 2020 y travesía 2021

En la tabla 4-11 se resume el análisis de varianza para las variables de desarrollo en función del crecimiento del fruto durante los periodos de cosecha principal (2020) y travesía (2021). L, D, PF, MFP, MSP, MFS, MSS y BTF presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para la interacción $C_o * E$; mientras que los factores C_o y E presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para la mayoría de las variables evaluadas, excepto MSS y RLD.

Tabla 4-11 Resumen del análisis de varianza para las variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020 y cosecha travesía 2021.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)
	Cosecha	3,523	35,231	1,74e ⁻⁰⁴
L	Edad	56,633	188,776	3,90e ⁻⁰³
	Cosecha:Edad	12,042	40,140	9,72e ⁻⁰⁹
D	Cosecha	2,450	24,503	4,66e ⁻⁰⁷
	Edad	42,925	143,085	2,20e ⁻¹⁶
PF	Cosecha:Edad	6,534	21,780	2,04e ⁻¹⁰
	Cosecha	880	879,8	0,012
	Edad	65.327	21.775,7	4,28e ⁻⁰⁴

	Cosecha:Edad	2.841	946,9	6,34e ⁻⁰⁴
	Cosecha	737	737,3	0,009
MFP	Edad	47.480	15.826,700	1,14e ⁻⁰⁵
	Cosecha:Edad	2.384	794,800	3,84e ⁻⁴
	Cosecha	25,800	25,810	0,005
MSP	Edad	3.434,600	1144,880	<2,20e ⁻¹⁶
	Cosecha:Edad	49,300	16,450	0,003
	Cosecha	5,210	5.213	0,276
MFS	Edad	694,550	231.516	2,24e ⁻⁴
	Cosecha:Edad	60,970	20.322	0,009
	Cosecha	4.231	4.231	0,015
MSS	Edad	120,693	40,231	0,002
	Cosecha:Edad	8,267	2.756	0,012
	Cosecha	14,60	14,630	0,056
BTF	Edad	6.042,500	2.014,180	<2,2e ⁻¹⁶
	Cosecha:Edad	57,200	19,060	0,005
	Cosecha	7,00e ⁻⁰⁵	7,00e ⁻⁰⁵	0,864
RLD	Edad	0,009	0.003	0,326
	Cosecha:Edad	0,019	0,006	0,070

* Longitud (L), Diámetro (D), Peso fresco del fruto (PF), Peso fresco del pericarpio (MFP), Materia seca del pericarpio (MSP), Materia fresca de la semilla (MFS), Materia seca de la semilla (MSS), Biomasa total del fruto (BTF) y Relación longitud-diámetro (RLD). **Códigos de significancia: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

En la tabla 4-12 se presentan las comparaciones de medias para las variables del crecimiento fruto, donde se evidencia que la cosecha principal 2020 fue significativamente mayor ($p < 0,05$) para las variables L, D, PF, MFP, MSP, MFS, y MSS. Donde D y L presentaron un 13% (0,6 cm) y 13,6% (0,8 cm) más de incremento respectivamente en comparación con la cosecha traviesa del 2021. PF, MFP y MSP presentaron incrementos superiores durante la cosecha principal, los cuales alcanzaron incrementos para estas variables de 14,2g (16,6%), 12,5g (16,8%) y 2,4 (8,8%) respectivamente, aunque el valor de MSP fue significativamente superior para la cosecha principal, el valor de materia seca presentó valores muy similares, siendo ligeramente superior el porcentaje de materia seca

alcanzado por los frutos de la cosecha principal (17,9%). MSS presentó valores superiores para la cosecha traviesa (2021), equivalente a un incremento del 6,9% en comparación con la cosecha principal 2020. El tratamiento edad del fruto en los meses de desarrollo 4, 5, 6 y 9 para D, presentó un incremento del 100%, equivalente a 3,1 cm en el crecimiento del fruto desde el cuarto mes al noveno mes de desarrollo (cosecha). De forma similar L exhibió un incremento de 4,1 cm, equivalente al 102,4% del crecimiento del fruto. PF, MFP, MSP, MFS, MSS y BTF incrementaron de forma progresiva a través de las edades de desarrollo del fruto, con un comportamiento similar al evaluado de forma individual en las cosechas principal 2020 y traviesa 2021, donde durante los 2 primeros tercios de desarrollo el incremento de estas variables es creciente pero lento, mientras que durante el tercer tercio el incremento de las variables es de alrededor del 50% en promedio.

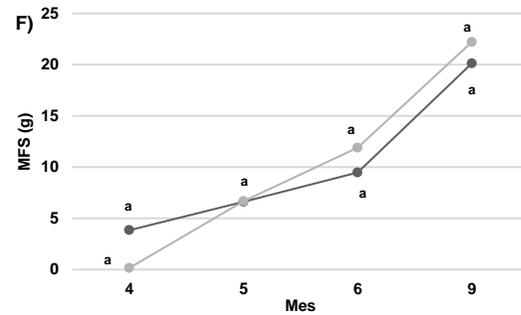
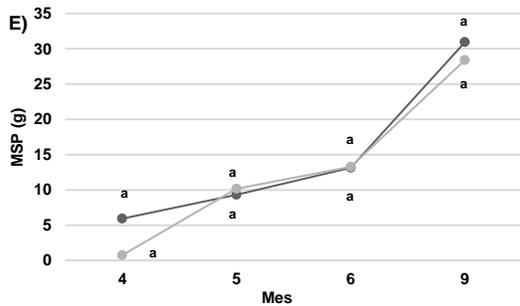
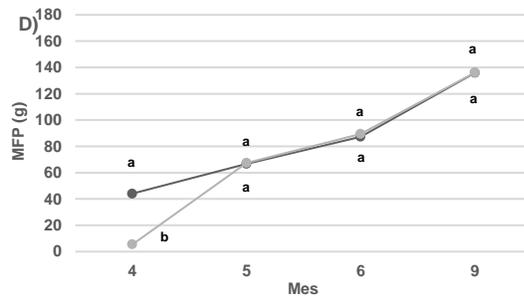
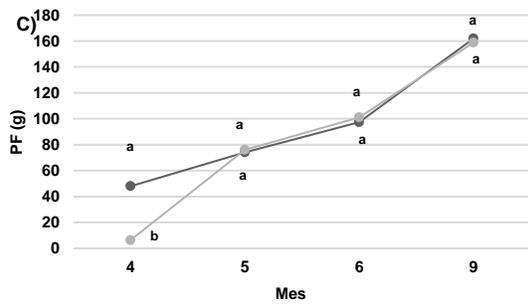
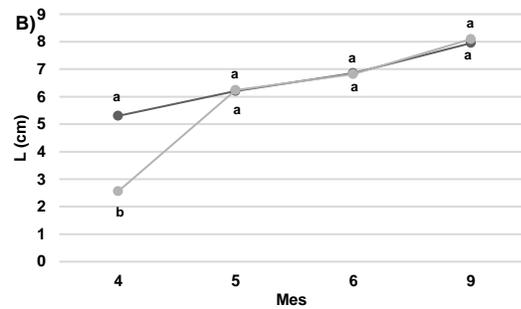
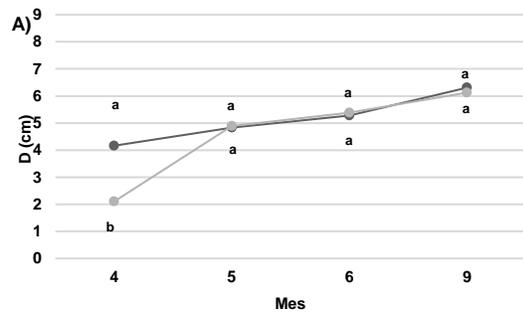
En la figura 4-3 se presentan las interacciones Co*E de las variables del desarrollo del fruto durante las diferentes edades en las épocas de cosecha principal (2020) y traviesa (2021). En el cuarto mes de desarrollo las variables de diámetro (Figura 4-3 A, D), longitud (Figura 4-3 B, L), peso del fruto (Figura 4-3 C, PF), materia fresca del pericarpio (Figura 4-3 D, MFP), materia seca del pericarpio (Figura 4-3 E, MSP), materia fresca de la semilla (Figura 4-3 F, MDS), materia seca de la semilla (figura 4-3 G, MSS) y biomasa de la semilla (Figura 4-3 H, BTF) presentaron diferencias significativas, con valores inferiores durante la cosecha traviesa (2021). En la tabla 4-12 se observa en general, que el crecimiento del fruto durante la cosecha traviesa fue lento, aumentando durante el segundo y tercer trimestre de desarrollo, motivo por el cual se pudo haber visto influenciado esta diferencia.

Tabla 4-12 Prueba de comparación de medias para las variables de variables morfológicas de crecimiento de los frutos de aguacate cv. Hass durante el periodo de cosecha principal 2020 y traviesa 2022.

Tratamiento	Variables*								RLD
	D (cm)	L (cm)	PF (g)	MFP (g)	MSP (g)***	MFS (g)	MSS (g)***	BTF (g base seca)***	
Principal	5,2 a	6,7 a	99,7 a	87,1 a	15,6 a (17,9%)	10,6 a	2,9 b (27,4%)	18,5 a (18,6%)	1,3 a
Traviesa	4,6 b	5,9 b	85,5 b	74,6 b	13,2 b (17,6%)	10,2 a	3,1 a (30,4%)	16,2 a (18,9%)	1,3 a
Edad									
4	3,1 d	3,9 d	27,1 c	24,7 c	3,3 c (13,4%)	2,0d	0,20 b (10%)	3,6 d (14,6%)	1,2 a
5	4,9 c	6,2 c	74,9 c	67,0 b	9,7 b (14,5%)	6,6c	1,0 b (15,2%)	10,7 c (16%)	1,3 a

6	5,3 b	6,8 b	98,9 b	88,1 a	13,2 b (15%)	10,4b	1,9 b (18,3%)	15,1 b (17,1%)	1,3 a
9	6,2 a	8,0 a	160,7 a	136,0 a	29,9 a (22%)	21,0 a	8,1 a (38,6%)	38,0 a (27,9%)	1,3 a

* Longitud (L), Diámetro (D), Peso fresco del fruto (PF), Peso fresco del pericarpio (MFP), Materia seca del pericarpio (MSP), Materia fresca de la semilla (MFS), Materia seca de la semilla (MSS), Biomasa total del fruto (BTF) y Relación longitud-diámetro (RLD). ** Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. *** Los valores porcentuales corresponden a la materia seca alcanzada en cada época de desarrollo del fruto.



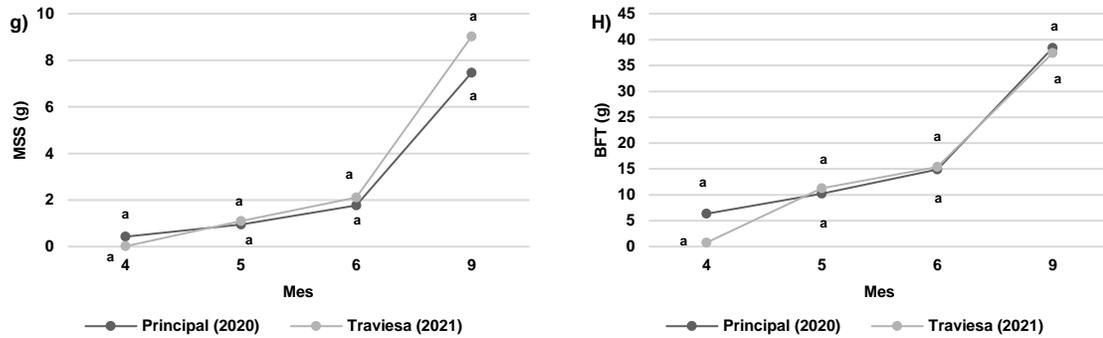


Figura 4-3 Interacción Co*E para las variables de diámetro (A), longitud (B), peso fresco del fruto (C), peso fresco del pericarpio (D), peso seco del pericarpio (E), peso fresco de la semilla (F), peso seco de la semilla (G) y biomasa total del fruto (H) entre las diferentes edades de desarrollo del fruto de aguacate cv. Hass durante las cosechas principal 2020 y travesía 2021. Puntos con letras similares no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. ** Cosecha Principal (P). Cosecha Travesía “Mitaca” (T).

Finalmente, en la figura 4-4 se muestra la dinámica resumida de crecimiento del fruto durante un periodo completo de desarrollo (mes 1 al 9), tomando el promedio los datos de los periodos de cosecha principal (2020) y travesía (2021), sin diferenciar el tratamiento de compatibilidad para L, D, MSP y MSS en cada mes de desarrollo. L y D del fruto presentaron un comportamiento creciente, con una tasa acelerada hasta el cuarto mes de desarrollo; en este punto el fruto ha alcanzado el 68,7% de su longitud, 78,7% de su diámetro, 63,1% de materia seca de la pulpa y el 31,2% del porcentaje total de materia seca de la semilla, lo que significa que la tasa de crecimiento de los frutos de aguacate en cuanto a desarrollo es más acentuado para las variables D, L y MSP durante estos cuatro meses. Asociado al cuarto mes de edad se observa un crecimiento más lento L, D y MSP. MSS presentó un incremento en el tercer tercio de desarrollo, seguido de un incremento exponencial, logrando en este periodo un aumento del 52,8% con respecto al porcentaje total de biomasa de este órgano.

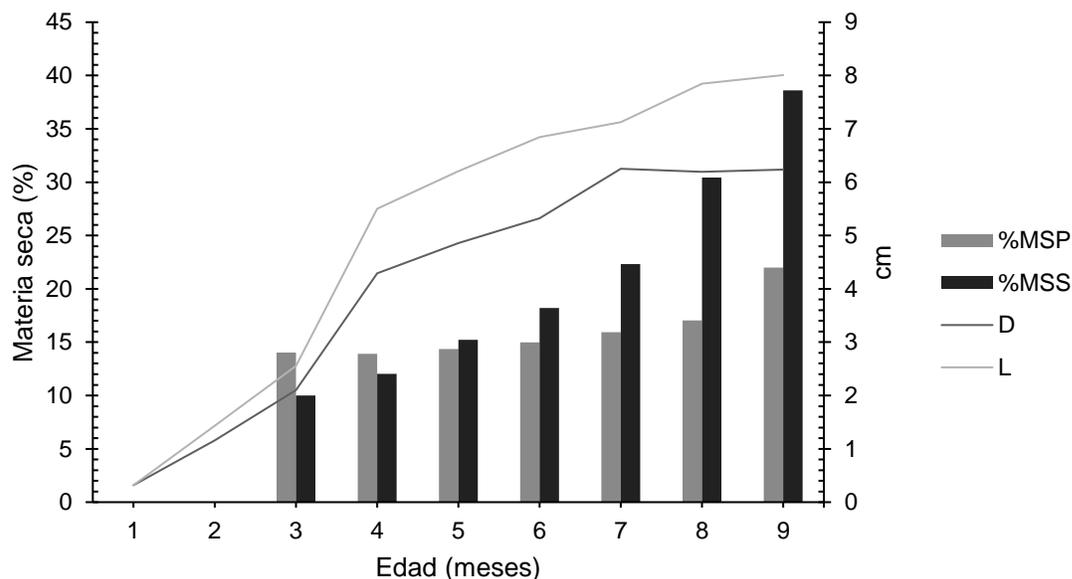


Figura 4-4 Curva de crecimiento de frutos de aguacate cv. Hass en función del diámetro (D), longitud (L), Porcentaje de materia seca del pericarpio (MSP) y Porcentaje de materia seca de la semilla (MSS) durante un ciclo productivo.

4.4 Discusión

La injertación es una práctica común en frutas y hortalizas, donde la compatibilidad entre el portainjerto y el injerto es esencial para el desarrollo del árbol (Long *et al.*, 2010, Feucht y Treutter, 1991). Dentro del presente estudio se evaluó el efecto de la compatibilidad ente el portainjerto y el injerto, donde el tratamiento compatibilidad no presentó diferencias significativas para ninguna de las variables respiratorias y de crecimiento del fruto; este resultado, se asemeja a lo reportado en otras especies de frutales, en el que Martins *et al.* (2021) encontraron en cerezo (*Prunus avium* L.) que la compatibilidad entre el portainjerto y el injerto no tiene un efecto en la calidad de la fruta, ya que el diámetro, la longitud y el peso fueron similares en plantas evaluadas con estas diferencias morfológicas. Fredes *et al.* (2016) evaluaron el efecto del portainjerto en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*), sin evidencia de diferencias significativas en el crecimiento y desarrollo de los frutos en comparación con tratamientos incompatibles del injerto. Contrario a lo mencionado,

autores como Fallik y Ziv (2020) reportaron que injertos de sandía (*Citrullus amarus* Schrad) sobre patrones híbridos interespecíficos de *Cucurbita máxima* Duchesne y *C. moschata* Duchesne, compatibles entre el portainjerto y el injerto, generaron crecimientos superiores de los frutos en comparación con el tratamiento incompatible y control (sin injertar), además de, mejorar los sólidos totales del fruto y su forma. Aslam *et al.* (2020) evaluaron pepino (*Cucumis sativus* L.) injertado sobre híbridos de calabaza (*Cucurbita moschata* L.), encontrando un mayor peso fresco y acumulación de materia seca en los frutos cuando el portainjerto era compatible con el injerto, comparado con el tratamiento sin injertación.

4.4.1 Respiración del fruto

La tasa respiratoria del fruto no se vio afectada debido a los factores compatibilidad y cosecha, mientras que, los efectos de la edad de desarrollo presentaron diferencias significativas (Tablas 4-1 a la 4-6); de ello; los frutos en el primer trimestre de desarrollo presentaron un crecimiento lento, el cual estaba acompañado de una tasa respiratoria de CO₂ total baja, pero con una relación CO₂ g biomasa⁻¹ alta, lo cual es característico de este tipo de frutos. Según Simkin *et al.* (2020) la tasa alta de diferenciación celular presente durante el primer tercio de desarrollo de los frutos aumenta la respiración y viene precedido de un periodo altamente demandante de energía (ATP).

Simkin *et al.* (2020) reportaron que el fruto de aguacate aporta entre el 10 y el 15% del total de carbono fijado, a partir del CO₂ liberado en el proceso respiratorio. Blanke (1992) encontró que, en el fruto de aguacate, la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC) es la encargada de la recaptura de parte del CO₂ respiratorio acumulado dentro de los frutos. Este autor reportó incrementos en la concentración de PEPC hasta valores de 106 μmol CO₂, cuando la tasa respiratoria de los frutos presentaba valores de 40 a 60 μmol CO₂. A medida que el fruto crece y alcanza su tamaño estándar en el cuarto mes, la tasa respiratoria disminuye y sus valores son menos fluctuantes, dado que el fruto se encuentra en un proceso de alargamiento celular y el comienzo de la formación de la semilla (Cowan *et al.*, 2001), lo cual es coincidente con los hallazgos encontrados en el presente estudio, donde los patrones respiratorios se vieron reducidos en este periodo.

En el noveno mes de desarrollo (etapa final de crecimiento del fruto), se obtuvo un porcentaje del 22% de MSP (figura 4-4), índice óptimo reportado por Rodríguez y Henao (2016) para la cosecha de aguacate cv. Hass, donde en ocho localidades entre los 1800 y 2200 msnm, alturas similares a las de las localidades del presente estudio, se encontraron porcentajes MSP entre los 22 y 24,9%, los cuales son los necesarios para la comercialización del fruto de exportación. La tasa respiratoria de los frutos fue muy homogénea y baja (0 – 0,98 ppm CO₂) en el periodo de cosecha de los frutos (noveno mes de desarrollo), atribuible a que los frutos en esta fase se encuentran en acumulación de azúcares (Liu *et al.*, 1999). Los parámetros en la respiración de los frutos disminuyen en relación con su biomasa, debido a que el fruto pierde capacidad de fijación, lo que se atribuye a la disminución de la densidad estomática durante la ontogenia del fruto, ya que según lo reportado por Blanke (1992), posterior a la antesis, la frecuencia estomática máxima en frutos de aguacate fue de 50 a 75 estomas mm⁻², la cual disminuye con la expansión superficial durante el desarrollo del fruto.

4.4.2 Crecimiento del fruto

El crecimiento del fruto, en cada uno de sus tejidos no presentó diferencias significativas para el factor compatibilidad. La cosecha principal presentó un desarrollo morfológico mayor en comparación con lo producido durante la cosecha traviesa; al respecto, Bernal y Diaz (2020) reportaron una producción superior en el periodo de cosecha principal, el cual se caracterizan por mayores volúmenes de producción, los cuales, por demanda nutricional, pueden estar asociados a una mayor extracción de nutrientes para este ciclo, aumentando las variables morfológicas del fruto y su biomasa.

Oliveros (2013) reportó resultados similares en el cultivo de café (*Coffea arabica* var. Caturra), donde el periodo productivo de cosecha principal presentó mejores características productivas, generando frutos de mayor tamaño en comparación con la cosecha traviesa. De forma similar, en el presente estudio se encontró que las variables D, L, PF, MFP, MSP y MFS presentaron diferencias significativas durante el periodo productivo de cosecha principal, con frutos de mayor peso, longitud y diámetro, característica deseable para un mercado internacional. Ge *et al.* (2019) evaluaron el

crecimiento morfológico de frutos de aguacate var. Guikenda, encontrando una dinámica similar a la presentada por el cv. Hass, donde los frutos presentaban un crecimiento constante en D y L durante todo su ciclo, aumentando drásticamente estas dos variables a partir de los 65 a 105 días de desarrollo (2 – 3,5 meses), periodo en el cual aguacate cv. Hass comienza de igual manera su crecimiento exponencial (figura 4-2), marcándose una tendencia creciente lineal durante todo el desarrollo, lo cual es similar a lo reportado por Alcaraz *et al.* (2013) quienes determinaron el crecimiento del fruto de aguacate cv. Hass durante un periodo completo alcanzando valores para la longitud de 8,7cm y el diámetro 5,8 cm, lo cual fue semejante a lo encontrado en esta evaluación (figura 4-4).

Soule y Harding (1955) afirmaron que las características ambientales presentes durante las épocas de crecimiento de los frutos son determinantes para la calidad, presentando frutos superiores cuando las condiciones medioambientales son favorables. En este orden de ideas, la cosecha principal se desarrolló entre los meses de febrero y diciembre, siendo los más cálidos del año (17,5°C) y con períodos constantes de precipitación (170mm mes⁻¹). Por su parte, la cosecha traviesa, periodo que inició en el mes de septiembre a junio, alcanzó meses fríos (16,4°C) y secos asociados a los meses de enero – febrero (102,5 mm mes⁻¹), los cuales pudieron influir en el desarrollo del fruto y por ende producir crecimientos desiguales durante la evaluación (figura 2-1). RLD se comportó de forma estable durante toda la evaluación, presentando un valor de 1,28, lo cual le da al fruto una forma geométrica que se asemeja a la de un elipsoide, y que es similar a lo reportado por Bayram y Tepe (2019), quienes durante diez ciclos de cosecha evaluaron frutos de aguacate cv. Fuerte, Bacon y Zutano, encontraron este mismo patrón en la forma geométrica del fruto durante su crecimiento.

MSP al finalizar la evaluación (noveno mes de desarrollo del fruto) se mantuvo durante los dos periodos de cosecha en un promedio de 22% (tabla 4-9, 4-11 y 4-13), lo cual es similar a lo reportado por Rodríguez y Henao (2016) y Rodríguez *et al.* (2018) quienes afirmaron que el punto óptimo de madurez para la comercialización de aguacate cv. Hass está entre el 22 y 30%, lo cual para las tres localidades ubicadas en los municipios de Rionegro, El Peñol y El Retiro, en entre los 2.000 y 2.200 msnm presentaron valores de materia seca de la pulpa entre 22,96 y 24,9%, similar a lo encontrado en la presente evaluación, donde el porcentaje de materia seca de la pulpa a estas mismas alturas fue del 22%, afirmando

que los frutos evaluados en las tres localidades de estudio presentaron valores óptimos para su crecimiento, desarrollo y madurez para cosecha.

4.5 Conclusiones

El tratamiento de compatibilidad y la época de cosecha no modificaron la tasa respiratoria de frutos del cv. Hass, mientras que la edad afectó la tasa respiratoria de CO₂, siendo creciente con la ontogenia del fruto, mientras que la tasa de CO₂ específica en ppm g⁻¹ fue inversa a la ontogenia del fruto.

Las variables del crecimiento del fruto no fueron afectadas por la compatibilidad portainjerto/injerto, mientras que, la cosecha principal (2020) presentó frutos con mejores características en tamaño y peso con respecto a la traviesa (2021).

La edad del fruto se caracterizó por presentar un crecimiento lineal, seguido de una fase plana lineal con la ontogenia del fruto.

4.6 Referencias

Alcaraz ML, Thorp TG and Hormaza JI. 2013. Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, 164, 434-439. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.051>

Albacete A, Martínez C, Martinez A, Thompson A, Dodd I and Pérez F. 2015. Unravelling rootstockxscion interactions to improve food security. *Journal of Experimental Botany*. Vol 66. P. 8pp. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv027>

Aslam W, Noor RS, Hussain F, Ameen M, Ullah S and Chen H. 2020. Evaluating morphological growth, yield, and postharvest fruit quality of cucumber (*Cucumis Sativus* L.) Grafted on cucurbitaceous rootstocks. *Agriculture*, 10(4), 101. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040101>

Baron D., Esteves A, Pina A and Ferreira G. 2019. An overview of grafting re-establishment in woody fruit species, *Scientia Horticulturae*, Volume 243, Pages 84-91, ISSN 0304-4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.012>.

Bates D, Mächler M, Bolker B and Walker S 2015. "Fitting linear mixed-effects models using lme4." *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>.

Bernal JA y Díaz CA. 2020. Capitulo I.- Generalidades del cultivo. pp 77-305. En: Bernal JA, y Díaz CA (eds.). Actualización y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate. Segunda edición. Agrosavia. (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. Mosquera. 773 p

Blanke MM. 1991. Respiration of apple and avocado fruits. *Postharvest News and Information*, 2(6), 429-436. https://www.researchgate.net/profile/Michael-Blanke/publication/341881382_Blanke_1991_Respiration_of_apple_and_avocado_fruit_-_invited_review_Postharvest_News_and_Information/links/606ead74299bf1c911b64ed2/Blanke-1991-Respiration-of-apple-and-avocado-fruit-invited-review-Postharvest-News-and-Information.pdf

Blanke MM. 1992. Photosynthesis of Avocado fruit. *Proceedings of 2nd world avocado congress*, 179–189. http://www.avocadosource.com/WAC2/WAC2_p179.pdf

Bayram S and Seyla EPE. 2019. Determination of some physicochemical properties in fruits of some avocado (*Persea americana* Mill.) cultivars during the harvesting periods. *Derim*, 36(1), 1-12. <https://doi.org/10.16882/derim.2019.410329>

Carvalho C, Velásquez M and Rooyen Z. 2014 Determination of the minimum dry matter index for the optimum harvest of 'Hass' avocado fruits in Colombia. *Agronomía Colombiana*. Vol 32. P. 399 – 406. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n3.46031>

Cowan AK, Cripps RF, Richings EW and Taylor NJ. 2001. Fruit size: Towards an understanding of the metabolic control of fruit growth using avocado as a model system. *Physiologia Plantarum*, 111(2), 127–136. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110201.x>

de Mendiburu F. 2021. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package (1.3-5). Universidad La Molina.

Fallik E and Ziv C. 2020. How rootstock/scion combinations affect watermelon fruit quality after harvest? *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10325>

Fredes A, Roselló S, Beltrán J, Cebolla CJ, Pérez-de-Castro A, Gisbert C and Picó MB. 2016. Fruit quality assessment of watermelons grafted onto citron melon rootstock. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(5), 1646–1655. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7915>

Feucht W and Treutter D. 1991. Phenol gradients in opposing cells of *Prunus heterografts*. *Adv. Hort.* 5, 107–111. <https://www.istor.org/stable/42881595>

Ge Y, Dong X, Wu B, Xu Z, Zhou Z, Lin X and Ma W. 2019. Physiological, histological and molecular analysis of avocado mesocarp fatty acids during fruit development. *J. Agric. Sci*, 11(1), 95-104. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n1p95>

Kawaguchi M, Taji A, Backhouse D and Oda M. 2008. Anatomy and physiology of graft incompatibility in solanaceous plants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(5), 581-588. <https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512427>

Kuznetsova A, Brockhoff PB and Christensen RHB. 2017. “lmerTest Package: Tests in linear mixed effects models.” *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss>

Lazare S, Haberman A, Yermiyahu U, Erel R, Simenski E and Dag A. 2020. Avocado rootstock influences scion leaf mineral content. *Archives of Agronomy and soil science*, 66(10), 1399-1409. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1672163>

Lira GGO, Montaña YAR, Barrios P., Vargas-Sandoval M, Santos MEP, Raymundo T and Lara CM. 2020. Characterization of *Fusarium* spp., A Phytopathogen of avocado (*Persea*

americana Millr var. *drymifolia* (Schltdl. and Cham.) in Michoacán, México. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo, 52(2), 301-316.

Liu X, Robinson PW, Madore MA, Witney GW and Arpaia ML. 1999. Hass' avocado carbohydrate fluctuations. II. Fruit growth and ripening. Journal of the American Society for Horticultural Science, 124(6), 676-681. <https://doi.org/10.21273/JASHS.124.6.676>

Long LE and Kaiser C. 2010 Sweet cherry rootstocks for the pacific northwest; OSU Extension Service: Eugene, OR, USA; Volume 619, p. 8. <http://hdl.handle.net/1957/18464>

Márquez SM, Hernández LAN and Castrejón GVR. 2020. States of phenological development of avocado (*Persea americana* Mill.) based on the BBCH scale extended and its relationship to the incidence of anthracnose in field conditions. Scientia Horticulturae, 271, 109379. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109379>

Martins V, Silva V, Pereira S, Afonso S, Oliveira I, Santos M and Gonçalves, B. 2021. Rootstock Affects the Fruit Quality of 'Early Bigi' Sweet Cherries. Foods, 10(10), 2317. <https://doi.org/10.3390/foods10102317>

Mickelbart MV, Robinson PW, Witney G and Arpaia ML. 2012. 'Hass' avocado tree growth on four rootstocks in California. II. Shoot and root growth. Scientia horticulturae, 143, 205-210. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.06.021>

Mudge k, Janick J, Scofield S and Goldschmidt, E. 2009. A history of grafting. Horticultural Reviews, Volume 35. Edited by Jules Janick, p. 437 – 493. <https://doi.org/10.1002/9780470593776.ch9>

Najt E, Arjona C, Ojer M, Reginato MG y Weibel A. 2011. Portainjertos y calidad de plantas. Repositorio académico Universidad de Chile. En: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/12> Consultado: Enero 2022.

Oliveros CE, López HA, Ramírez CA, Sanz JR y Bustillo AE. 2013. Recolección de frutos de café del suelo con la máquina Cifarelli V77S. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/369>

Ozdemir F and Topuz, A. 2004. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. Elsevier Science Food Chemistry. Volume 86. P. 73 – 79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.012>

Peña J, Wysoki M, Ripa R y Larral P. 2008. Plagas del palto en México. Manejo integrado de plagas en altos y cítricos. Colección Libros Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, (23), 303-309.

Pina A and Errea P. 2005. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. Sci. Hortic. 106, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.04.003>

Rodríguez P y Henao J. 2016. Maduración del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass) y calidad de los frutos. Agronomía Colombiana, 1(1), 914-917. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.58101>

Rodriguez P, Henao JC, Correa G and Aristizabal A. 2018. Identification of harvest maturity indicators for ‘Hass’ avocado adaptable to field conditions. HortTechnology, 28(6), 815-821. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04025-18>

Simkin AJ, Faralli M, Ramamoorthy S and Lawson T. 2020. Photosynthesis in non-foliar tissues: implications for yield. The Plant Journal, v.101(4), p.1001-1015. 2020. <https://doi.org/10.1111/tpj.14633>

SilitL, Amnon H, Uri Y, Ran E, Eli S and Arnon D. 2020. Avocado rootstock influences scion leaf mineral content. Archives of Agronomy and Soil Science 66:10, pages 1399-1409. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1672163>

Soule MJ and Harding PL. 1955. Relation of maturity of Florida avocados to physical characters. In Proceedings of the Florida State Horticultural Society (Vol. 68, pp. 303-307). file:///D:/Biblioteca%20Lab%20Fisiologia/Downloads/perrycollins-303-30820soule.pdf

Scherrer C, Dos-Santos L, Andreazza C, Getz B and Bender R. 2011 Mechanical damages increase respiratory rates of citrus fruit, *International Journal of Fruit Science*, 11:3, 256-263. <https://doi.org/10.1080/15538362.2011.608297r-de-aguacate-de-europa>.

Van Den Berg N, Swart V, Backer R, Fick A, Wienk R, Engelbrecht J and Prabhu SA. 2021. Advances in understanding defense mechanisms in *Persea americana* against *Phytophthora cinnamomi*. *Frontiers in Plant Science*, 12, 123. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.636339>

Webber HJ. 1948. "Rootstocks: their character and reactions," in *The Citrus Industry*, Vol.2, eds L.D. Batchelor and H.J. Webber (Berkeley, CA: University of California Press), 69–168

Whiley AW, Schaffer B and Wolstenholme BN. 2007. *The Avocado. Botany, production and uses*. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaiso – Chile. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. ISBN 978-956-17-0415-2.

5. Rendimiento y componentes del rendimiento en aguacate cv. Hass

5.1 Introducción

En los huertos de frutales el rendimiento y la calidad del fruto son de gran importancia para los ingresos económicos asociados a su comercialización (Martínez *et al.*, 2022). A nivel nacional, la producción de aguacate cv. Hass para el año 2020 fue de 876.754 toneladas ocupando el segundo lugar en producción (10,9%), por debajo de México principal productor mundial (29,7%), a su vez el país ocupó el segundo lugar en área cosechada, la cual para el mismo año se estimó en 78.578 hectáreas, aportando el 9,7% del área total mundial (FAO, 2022). Para el año 2020, en Colombia existían 79.832 ha registradas en aguacate cv. Hass (Agronet, 2020), las cuales presentan rendimiento medio de 11,15 t año⁻¹; no obstante, el rendimiento potencial del cultivo es de 32,5 t ha⁻¹; por lo que, en la actualidad, Colombia solo se alcanza un 34,3% del potencial productivo esperado (Gazit *et al.*, 2007; FAO, 2022). En Colombia las principales zonas productoras de aguacate cv. Hass son los departamentos de Antioquia, Caldas, Risaralda, Pereira, Tolima y Valle del Cauca (Gutiérrez *et al.*, 2021).

Desde el punto de vista productivo, el uso de patrones sobresalientes en frutales ha generado un aporte a la calidad de las plantas, así como, un incremento en los rendimientos en diversos sistemas productivos, con algunas ventajas que radican en aumentar el vigor de las plantas (Choi *et al.*, 1991; Louvet, 1974; Ogbuji, 1981; Rivero *et al.*, 2003; Vergniaud, 1990), modificar las características organolépticas de los frutos (Choi, 1991; Lee, 1989; Ricardez *et al.*, 2010), tolerancia a estrés abióticos (Rivero *et al.*, 2003; Vergniaud, 1990), tolerancia a enfermedades del suelo (Bello *et al.*, 2001; Cohen *et al.*,

2000; Lee, 1994; Lee y Oda, 2003; Louvet y Peyriere, 1962; Messiaen *et al.*, 1991; Trionfetti *et al.*, 2002) y aumentar el tamaño y la calidad de los frutos (Díaz *et al.*, 2009; Huitrón *et al.*, 2009 Ricardez *et al.*, 2010; Traka *et al.*, 2000), entre otros aspectos, que hacen esta técnica, altamente eficiente en la producción frutícola.

A pesar que la injertación es utilizada ampliamente en frutales como el aguacate, se debe tener en cuenta que, la unión entre un portainjerto (patrón) y un injerto (copa) debe contar con características deseables para que se establezca una unión favorable y perdurable en el tiempo, que permita el adecuado desarrollo de un nuevo individuo (Nawaz *et al.*, 2016). Por ello, se debe presentar entre ambas partes (patrón y copa) afinidad y compatibilidad, pretendiendo que se cumpla su ciclo de crecimiento desde la injertación hasta el periodo productivo (Mudge *et al.*, 2009). Se busca además que, desde el punto de vista fitopatológico, se presente resistencia a enfermedades, principalmente aquellas originadas en el suelo, extendiéndose a enfermedades que afecten el sistema aéreo del cultivo, aumentar el vigor y la eficiencia, la cual garantice la adaptación de la especie, así como, la eficiencia en el uso de fertilizantes, homogeneidad y uniformidad de los frutos, factores que influyen positivamente en la calidad tanto externa como interna. Caso contrario, se pueden presentar dentro del árbol deficiencias que pueden derivar en la senescencia del cultivar (Belmonte *et al.*, 2020).

Una de las principales características en las cuales se evidencian problemas entre el portainjerto y el injerto, se da por la compatibilidad, la cual se define como la capacidad de los tejidos de tener una unión satisfactoria, los cuales puedan desarrollarse como una planta compuesta (Marukawa, 1979; Okimura *et al.*, 1986; Suzuki, 1972). En este sentido, ha sido evidenciado que plantas injertadas sin problemas de compatibilidad derivan en una mejor absorción de agua y nutrientes (Cohen *et al.*, 2000; Robinson y Decker, 1997) con sistemas radicales vigorosos (Kato y Lou, 1989). Por todo lo anterior, el objetivo del presente estudio es evaluar los rendimientos y sus componentes en arboles de aguacate cv. Hass con alteraciones morfológicas definidas como incompatibilidades entre el portainjerto y el injerto, durante las cosechas principal y traviesa en las principales regiones productoras de Colombia.

5.2 Materiales y métodos específicos

5.2.1 Variables evaluadas

Durante cada una de las cosechas (T2020, P2020, T2021, P2021) a cada una de las nueve unidades experimentales por tratamiento se le determinó el rendimiento (kg fruta abrol⁻¹) y el número de frutos por árbol; de igual forma, se caracterizó de forma individual el peso y calibre de cada fruto cosecha según lo establecido por la FAO en la Revisión de la CODEX STAN 197-1995 (tabla 1), para los calibres de exportación (FAO 2011).

Tabla 5-1 Calidad de fruta de aguacate cv. Hass caracterizado según su peso y calibre para exportación según el CODEX STAN 197-1995 (FAO 2011).

Calibre	Peso (g)		Calibre	Peso (g)	
	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
Descarte	0	80	24	170,1	181
Industrial	80,1	94	22	181,1	200
32	94,1	135	20	200,1	217
30	135,1	149	18	217,1	249
28	149,1	160	16	249,1	284
26	160,1	170	14	284,1	600

5.2.2 Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en un modelo lineal mixto para las variables de rendimiento y componentes del rendimiento, realizando una prueba de diferencia múltiple significativa, utilizando el ajuste por multiplicidad por familia a través de la corrección de Holm (Kuznetsova *et al.*, 2017).

A partir de este modelo se realizaron dos análisis; el primero consistió en un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm, realizando un bloqueo por localidad, donde se evaluó la cosecha (Co) como parcela principal, y como el tratamiento

compatibilidad (C) como subparcela, además de la interacción entre ellos (Co * C). En el segundo análisis, de igual forma, se hizo una prueba de comparación de medias con bloqueo por cosecha, no obstante, se evaluó la localidad (L) como parcela principal y el tratamiento compatibilidad (C) como subparcela; así como, la interacción entre ellos (L*C).

Para ambos análisis se acotaron las medias de los resultados de número total de frutos por árbol y el porcentaje de frutos por calibre de cada árbol; así como, los rendimientos totales por árbol y el porcentaje en peso por calibre, tomados de las 15 unidades experimentales de cada localidad y en cada una de las cuatro épocas de cosecha.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando los paquetes, “lme4” (Bates, *et al.*, 2015), “lmerTest” (Kuznetsova, *et al.*, 2017), “agricolae” (de Mendiburu, 2021) incluido en el entorno estadístico del proyecto R. Se utilizó el software R (R Core Team, 2021).

5.3 Resultados

5.3.1 Rendimientos y componentes del rendimiento para el análisis de parcelas divididas tomando como factor de bloqueo la localidad, la cosecha (Co) como parcela principal, y el factor compatibilidad (C) como subparcela, además de la interacción entre ellos (Co* C)

5.3.1.1 Número de frutos por árbol

En la tabla 5-2 se presenta el resumen del análisis de varianza para el tratamiento compatibilidad y el periodo de cosecha para el número de frutos promedio por árbol. El factor Cosecha presentó diferencias significativas ($p=0,02$) para esta variable, mientras que, tanto el tratamiento compatibilidad, como la interacción Cosecha por Compatibilidad no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$) para esta variable.

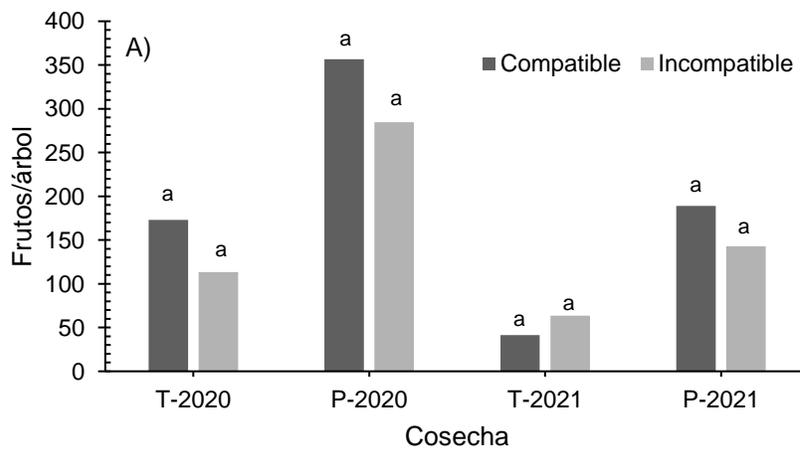
Tabla 5-2 Resumen del análisis de varianza para número de frutos de aguacate cv. Hass por árbol para los tratamientos de compatibilidad, durante los cuatro periodos productivos.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)
Frutos árbol ⁻¹	Cosecha	223.42	74.47	0,020
	Compatibilidad	9.03	9.03	0,470
	Cosecha:Compatibilidad	7.93	2.64	0,926

*Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

En la figura 5-1 se presenta el número total de frutos de aguacate por árbol en cada periodo de cosecha. Se observa que en cada período, el número promedio de frutos en árboles compatibles e incompatibles no presentó diferencias significativas (Figura 5-1 A); no obstante, para el factor cosecha (Figura 5-1 B) se evidenció diferencias significativas, en donde la cosecha P2020 (321 frutos árbol⁻¹) fue significativamente superior a la cosecha T2021 (52 frutos árbol⁻¹); mientras que, las cosechas T2020 (143 frutos árbol⁻¹) y P2021 (166 frutos árbol⁻¹) no exhibieron diferencias estadísticas respecto a las cosechas P2020 y T2021.

Con relación al número de frutos por árbol producidos durante las cosechas principales y travesas en cada año, la cosecha principal aportó el 71,4% de la producción promedio de los años 2020 y 2021, mientras que la cosecha travesa aportó el 28,6% durante este mismo periodo.



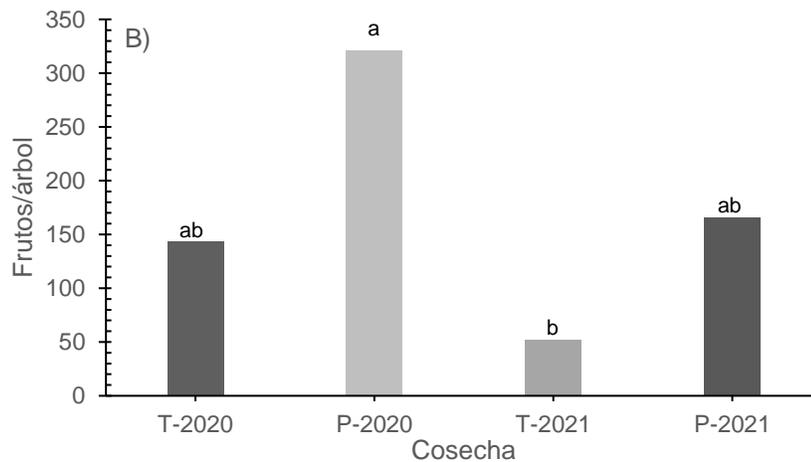


Figura 5-1 Valores medios del número de frutos totales por árbol de aguacate cv. Hass para los factores compatibilidad (A) y cosecha (B). * Barras con letras minúsculas comunes no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. ** Cosecha Principal (P). Cosecha Traviesa “Mitaca” (T).

5.3.1.2 Rendimiento (kg fruta árbol⁻¹)

Respecto a la variable rendimiento por árbol, en la tabla 5-3 se presenta el resumen del análisis de varianza para los factores compatibilidad y la época de cosecha, siendo este último quien presentó diferencias significativas (p=0,015).

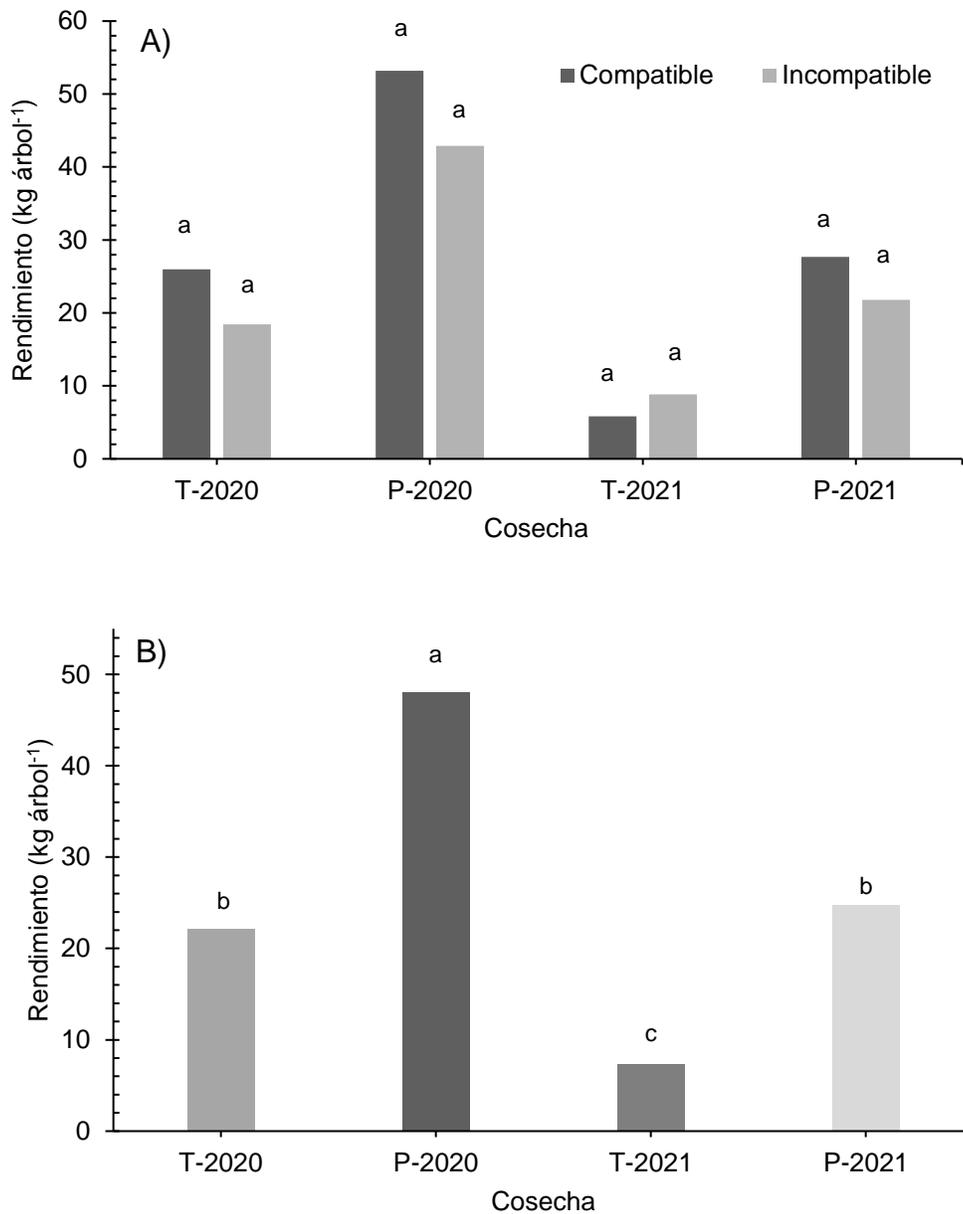
Tabla 5-3 Resumen del análisis de varianza para el rendimiento de fruta por árbol en aguacate cv. Hass para los tratamientos de compatibilidad, durante los cuatro periodos productivos.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)
Rendimiento (kg fruta árbol ⁻¹)	Cosecha	5105,90	1701,98	0,015
	Compatibilidad	161,90	161,91	0,512
	Cosecha:Compatibilidad	149,30	49,75	0,935

*Códigos de significância: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1.

En la figura 5-2 se presenta el rendimiento total en kilogramos de fruta por árbol alcanzado en cada periodo de cosecha para el factor compatibilidad (Figura 2A) y el factor cosecha (Figura 2B). Al igual que para el número de frutos por árbol, el rendimiento no varió entre

árboles compatibles e incompatibles (Figura 2A). Respecto al factor cosecha (Figura 2B), durante la principal P2020 se presentó el mayor rendimiento (48,1 kg árbol⁻¹), lo cual fue significativamente superior al rendimiento en la cosecha T2021 (7,3 kg árbol⁻¹). En las cosechas T2020 y P2021 se registraron rendimientos medios por árbol similares entre sí (22,2 y 24,7 kg árbol⁻¹), no difiriendo de forma significativa entre sí.



5.3.1.3 Distribución porcentual del número de frutos de aguacate por calibre

En la tabla 5-4 se presentan los valores *p* de significancia y los resultados de la comparación de medias para el porcentaje de participación que cada calibre aportó al total de frutos producidos por árbol, en función de los factores compatibilidad y época de cosecha. Tanto el factor Compatibilidad como la interacción Compatibilidad por Cosecha no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para ninguno de los calibres evaluados; no obstante, el factor cosecha afectó de forma significativa la proporción en cada uno de los calibres evaluados (Tabla 5-3). En este sentido, el porcentaje de frutos por calibre en cada cosecha presentó un comportamiento desigual; a tal punto que, en ninguna cosecha, se presentaron valores extremos (altos o bajos) de forma continua durante toda la evaluación (con un calibre específico).

Tabla 5-4 Prueba de comparación de medias para porcentaje de frutos por árbol por calibre (C) en aguacate cv. Hass en árboles compatibles e incompatibles durante cuatro cosechas (T2020, P2020; T2021 y P2021).

Factor	C14	C16	C18	C20	C22	C24
Cosecha/valores <i>p</i> *	0,794	0,034	0,01	0,005	0,003	0,035
T-2020**	0,34 a	2,68 a	9,10 a	10,66 a	16,27 a	10,19 a
P-2020	0,47 a	1,92 ab	7,26 a	8,17 ab	11,92 b	8,40 ab
T-2021	0,30 a	0,68 b	2,51 b	6,80 bc	7,44 c	7,69 b
P-2021	0,39 a	1,51 ab	6,27 a	2,97 c	11,45 b	7,16 b
Compatibilidad/valores <i>p</i> *	0,954	0,683	0,483	0,822	0,785	0,679
Compatible	0,38 a	1,61 a	5,84 a	7,00 a	11,95 a	8,50 a
Incompatible	0,37 a	1,79 a	6,74 a	7,30 a	11,58 a	8,22 a
Compatibilidad/Cosecha /valores <i>p</i> *	0,939	0,986	0,852	0,773	0,634	0,768

Factor	C26	C28	C30	C32	CD	CI
Cosecha/valores <i>p</i> *	0,23	0,028	0,033	0,001	0,053	0,013
T-2020**	9,18 a	9,41 ab	10,64 b	16,18 c	2,80 b	2,54 b
P-2020	7,50 a	7,76 b	9,79 b	22,95 bc	8,24 a	5,63 a
T-2021	7,52 a	9,03 ab	14,84 a	34,76 a	5,85 ab	5,28 a
P-2021	7,97 a	10,68 a	11,46 ab	24,95 b	7,02 a	5,46 a
Compatibilidad/Valores <i>p</i> *	0,991	0,953	0,96	0,869	0,905	0,933
Compatible	8,05 a	9,24 a	11,72 a	24,90 a	6,06 a	4,76 a
Incompatible	8,04 a	9,20 a	11,65 a	24,52 a	5,90 a	4,70 a

Cosecha/Compatibilidad/valores p *	0,352	0,446	0,238	0,47	0,861	0,616
*Códigos de significancia: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1. Calibre (C). Calibre Descarte (CD). Calibre Industrial (CI). *Cosecha Principal (P). Cosecha Traviesa "Mitaca" (T). *** Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.						

De estos resultados se desataca, que en la T2021 los calibres que agrupan frutos de menor pesos (24 a 32) fueron los que aportaron en general los mayores porcentajes de frutos al total por árbol; mientras que, en esta misma época, calibres que agruparon frutos de mayor peso (14 a 24) en general presentaron los menores aportes porcentual a esta variables, lo que indica que en la T2021 se produjo un mayor porcentaje de frutos de menor peso y un menor porcentaje de frutos de mayor peso, por ende, de mejor calidad. Un comportamiento similar pudo ser observar entre cosechas, donde, para 2021, se registró un mayor aporte porcentual de calibres altos (24 a 32) y menor aporte de calibres bajos (14 a 22), en comparación con los resultados obtenidos para la cosecha 2020, con un comportamiento inverso al 2021.

5.3.1.4 Distribución porcentual del rendimiento (árbol) de frutos de aguacate por calibre

En la tabla 5-5 se presentan los valores p de significancia y los resultados de la comparación de medias para el porcentaje de participación que cada calibre aportó al rendimiento (kg árbol^{-1}) en función de la compatibilidad y época de cosecha. Al igual que la distribución porcentual del número de frutos por árbol y por calibre, para la variable rendimiento, tanto la Compatibilidad como la interacción Compatibilidad por Cosecha no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para ninguno de los calibres evaluados; no obstante, el factor cosecha afectó de forma significativa la proporción en cada uno de los calibres evaluados (Tabla 5-4).

Al igual que lo reportado en la tabla 5-3, se observó fluctuación entre calibres, y de forma similar al número de frutos entre años de cosecha, ya que en el 2021 se registraron los

mayores aportes porcentuales de calibres altos (24 a 32) y menores aportes de calibres bajos (14 a 22), en comparación con los resultados obtenidos para la cosecha 2020, con un comportamiento inverso al 2021, para la variable porcentaje del peso de fruta por calibre.

Tabla 5-5 Prueba de comparación de medias para porcentaje de kilogramos de frutos por árbol por calibre en aguacate cv. Hass en árboles compatibles e incompatibles durante cuatro cosechas (T2020, P2020; T2021 y P2021).

Factor	C14	C16	C18	C20	C22	C24
Cosecha/valores p *	<i>0,484</i>	<i>0,228</i>	<i>0,05</i>	<i>0,024</i>	<i>0,03</i>	<i>0,514</i>
T-2020**	0.35 a	2.14 a	8.42 ab	10.30 a	16.16 a	10.13 a
P-2020	0.93 a	3.23 a	10.67 a	10.81 a	14.61 a	9.52 a
T-2021	0.66 a	1.25 a	4.03 b	4.34 b	9.98 b	8.93 a
P-2021	0.78 a	2.67 a	9.47 a	9.25 a	14.22 a	8.88 a
Compatibilidad/valores p *	<i>0,951</i>	<i>0,529</i>	<i>0,231</i>	<i>0,826</i>	<i>0,705</i>	<i>0,697</i>
Compatible	0,69 a	2,11 a	7,15 a	8,52 a	14,00 a	9,50 a
Incompatible	0,67 a	2,54 a	9,15 a	8,84 a	13,49 a	9,24 a
Compatibilidad/Cosecha/valores p *	<i>0.893</i>	<i>0.847</i>	<i>0.920</i>	<i>0.909</i>	<i>0.844</i>	<i>0.493</i>

Factor	C26	C28	C30	C32	CD	CI
Cosecha/valores p *	<i>0,619</i>	<i>0,025</i>	<i>0,064</i>	<i>0,038</i>	<i>0,135</i>	<i>0,112</i>
T-2020**	9.34 a	9.71 ab	15.11 a	17.83 b	1.58 a	2.06 a
P-2020	8.11 a	7.89 b	9.27 a	17.96 b	3.66 a	3.35 a
T-2021	8.86 a	11.83 a	11.98 a	28.96 a	2.77 a	3.29 a
P-2021	8.64 a	9.21 b	10.82 a	19.61 b	3.15 a	3.30 a
Compatibilidad/valores p *	<i>0,747</i>	<i>0,719</i>	<i>0,626</i>	<i>0,87</i>	<i>0,858</i>	<i>0,767</i>
Compatible	8,85 a	9,81 a	12,15 a	21,32 a	2,85 a	3,09 a
Incompatible	8,63 a	9,51 a	11,44 a	20,86 a	2,74 a	2,92 a
Compatibilidad/Cosecha/valores p *	<i>0.430</i>	<i>0.548</i>	<i>0.605</i>	<i>0.875</i>	<i>0.965</i>	<i>0.669</i>

*Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1. Calibre (C). Calibre Descarte (CD). Calibre Industrial (CI). *Cosecha Principal (P). Cosecha Traviesa "Mitaca" (T). *** Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

5.3.2 Rendimientos y componentes del rendimiento para el análisis de parcelas divididas tomando como factor de bloqueo la cosecha, como parcela principal la localidad (L), y como subparcela, el tratamiento compatibilidad (C) además de la interacción entre ellos (L* C)

5.3.2.1 Número de frutos por árbol

En la tabla 5-6 se presenta el resumen del análisis de varianza para el tratamiento compatibilidad y la localidad para el número de frutos promedio por árbol. Para esta variable, las tres fuentes de variación (Localidad, Compatibilidad e interacción Localidad por Compatibilidad) no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 5-6 Resumen del análisis de varianza para número de frutos de aguacate cv. Hass por árbol para los tratamientos de compatibilidad, en las tres localidades evaluadas.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)
Frutos árbol ⁻¹	Localidad	23714	11857	0,499
	Compatibilidad	9035,2	9035,2	0,468
	Localidad:Compatibilidad	4704,5	2352,3	0,867

*Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

En la figura 5-3 se presenta el número total de frutos de aguacate por árbol alcanzados en cada localidad. En ésta, se observa que en cada localidad el número medio de frutos para árboles compatible e incompatibles no presentó diferencias significativas para esta variable. La cosecha (Figura 5-3B), al igual que la compatibilidad no presentaron diferencias significativas para esta variable ($p > 0,05$).

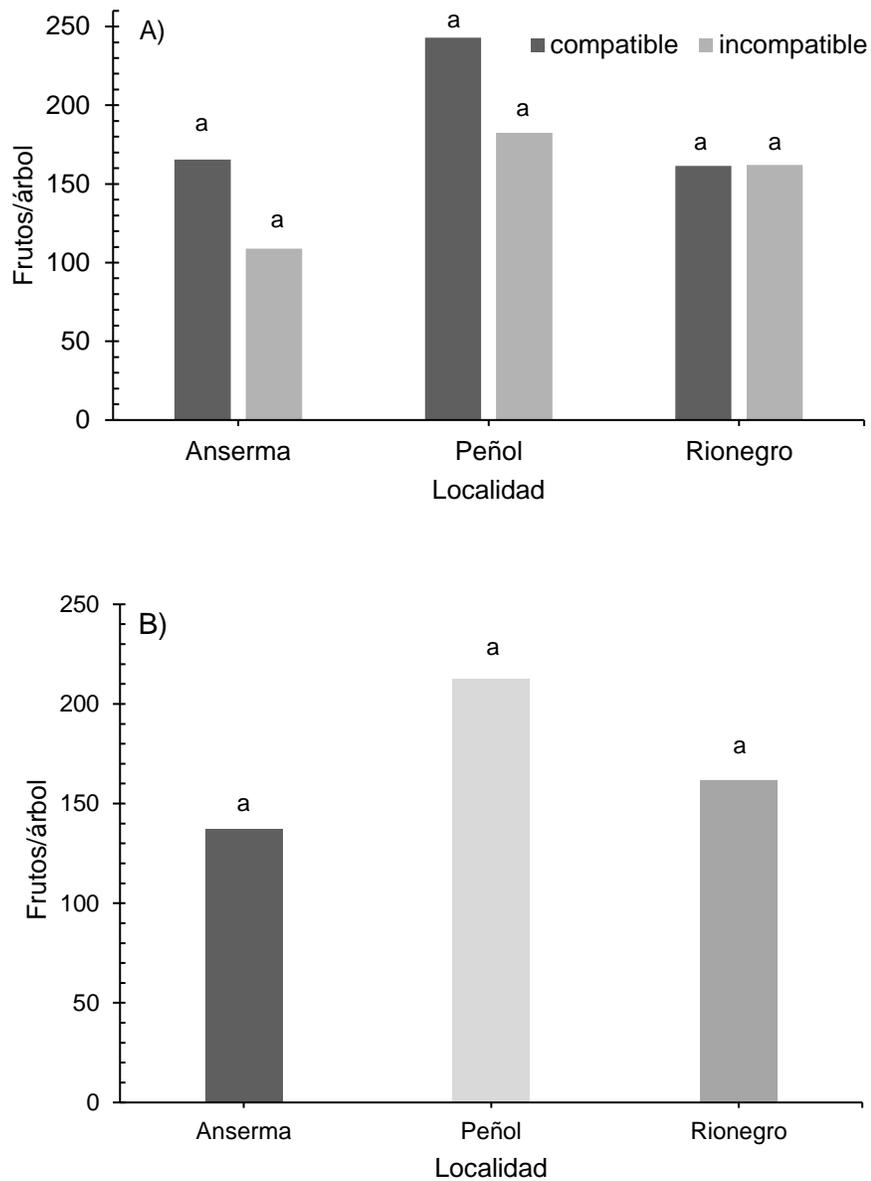


Figura 5-2 Valores medios del número de frutos totales por árbol de aguacate cv. Hass para los factores compatibilidad (A) y localidad (B). * Barra con una letra minúscula común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

5.3.2.2 Rendimiento (kg fruta árbol⁻¹)

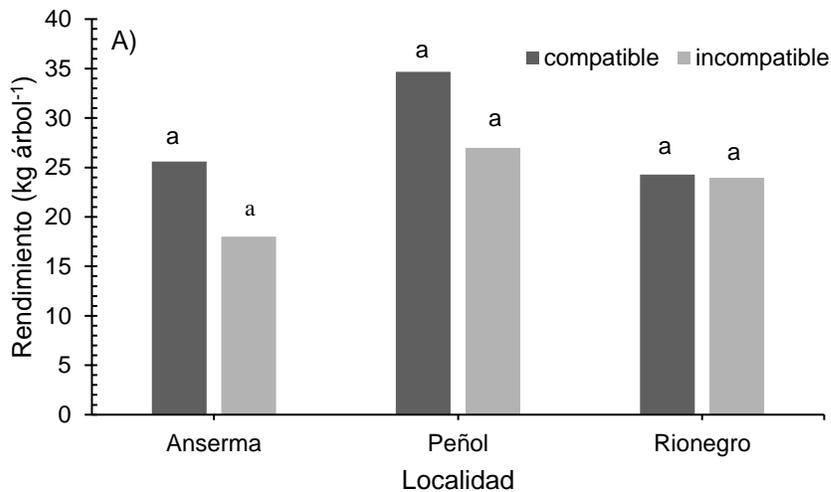
Respecto a la variable rendimiento por árbol, en la tabla 5-7 se presenta el resumen del análisis de varianza para Localidad y Compatibilidad, sin observarse diferencias entre debido a estos tratamientos en el rendimiento por árbol ($p > 0,05$).

Tabla 5-7 Resumen del análisis de varianza para los rendimientos de fruta en kg/árbol en aguacate cv. Hass para los tratamientos de compatibilidad, dentro de las localidades evaluadas.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr(>F)
Rendimiento (kg árbol ⁻¹)	Localidad	350,54	175.270	0,634
	Compatibilidad	161,91	161.911	0,527
	Localidad:Compatibilidad	71,45	35.725	0,911

*Códigos de significancia: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

En la figura 5-4 se presentan el rendimiento total en kilogramos de fruta por árbol alcanzados en cada localidad, para el factor compatibilidad (Figura 5-4 A) y el factor localidad (Figura 5-4 B). Al igual que para el número de frutos por árbol, el rendimiento no varió entre árboles compatibles e incompatibles (Figura 5-4 A). De igual manera el factor localidad (Figura 5-2 B).



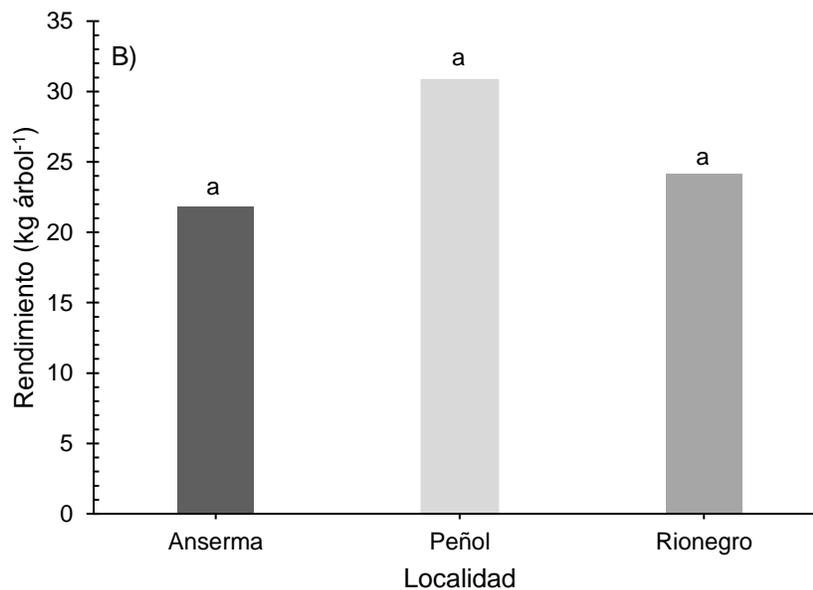


Figura 5-3 Valores medios del rendimiento total en árboles de aguacate cv. Hass para los factores compatibilidad (A) y las localidades (B). * Barra con una letra minúscula común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm. ** Cosecha Principal (P). Cosecha Traviesa “Mitaca” (T).

5.3.2.3. Distribución porcentual del número de frutos de aguacate por calibre

En la tabla 5-8 se presentan los valores p de significancia y los resultados de la comparación de medias para el porcentaje de participación que cada calibre aportó al total de frutos producidos por árbol en función de la Compatibilidad y Localidad. Tanto la Compatibilidad como la interacción Compatibilidad por Localidad no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para ninguno de los calibres evaluados; no obstante, el factor Localidad afectó de forma significativa la proporción en algunos calibres evaluados (Tabla 5-8). En este sentido, el porcentaje de frutos por calibre en cada cosecha presentó un comportamiento desigual; a tal punto que, en ninguna cosecha se presentaron valores extremos (altos o bajos) de forma continua durante toda la evaluación para un calibre específico, similar a lo reportado en el primer análisis. De estos resultados se destaca, que la localidad presentó diferencias significativas solo para calibres mayores o de baja calidad como C26 ($p=0,047$), C28 ($p=0,010$), Descarte ($p=0,018$) e Industrial ($p=0,006$),

donde, Anserma presentó los mayores porcentajes de frutos por calibres C26 (9,22%) y C28 (10,72%), con respecto a la localidad Peñol (7,13 – 8,52%) y Rionegro (7,80 – 8,42%): A su vez, durante el periodo de evaluación en Anserma se presentaron los menores porcentajes de frutos de calibres Descarte (3,4%) e Industrial (3,07%) distando estadísticamente de las localidades Peñol y Rionegro.

Tabla 5-8 Prueba de comparación de medias para porcentaje de frutos/árbol por calibre en aguacate cv. Hass en árboles compatibles e incompatibles en las tres localidades evaluadas.

Factor	C14	C16	C18	C20	C22	C24
Localidad/valores p *	0,229	0,139	0,943	0,517	0,242	0,064
Anserma	0.28 a	1.23 a	6.39 a	8.15 a	13.28 a	9.62 a
Peñol	0.52 a	2.25 a	6.47 a	6.71 a	10.55 a	7.57 a
Rionegro	0.34 a	1.62 a	6.00 a	6.59 a	11.47 a	7.88 a
Compatibilidad/valores p *	0,949	0,66	0,465	0,812	0,778	0,687
Compatible	0,38 a	1,61 a	5,84 a	7,00 a	11,95 a	8,50 a
Incompatible	0,37 a	1,79 a	6,74 a	7,30 a	11,58 a	8,22 a
Compatibilidad/Localidad/valores p *	0,972	0,884	0,475	0,659	0,718	0,791

Factor	C26	C28	C30	C32	CD	CI
Localidad/valores p *	0,047	0,01	0,483	0,175	0,018	0,006
Anserma	9.22 a	10.72 a	12.61 a	22.04 a	3.40 b	3.07 b
Peñol	7.13 b	8.52 b	11.25 a	24.77 a	8.30 a	5.97 a
Rionegro	7.80 ab	8.42 b	11.19 a	27.32 a	6.23 ab	5.14 a
Compatibilidad/valores p *	0,992	0,953	0,948	0,862	0,9	0,931
Compatible	8,05 a	9,24 a	11,72 a	24,90 a	6,06 a	4,76 a
Incompatible	8,04 a	9,20 a	11,65 a	24,52 a	5,90 a	4,70 a
Compatibilidad/Localidad/valores p *	0,325	0,466	0,511	0,373	0,45	0,275

*Códigos de significancia: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1. Calibre (C). Calibre Descarte (CD). Calibre Industrial (CI). *Cosecha Principal (P). Cosecha Traviesa "Mitaca" (T). *** Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

5.3.2.4 Distribución porcentual del rendimiento (árbol) de frutos de aguacate por calibre

En la tabla 5-8 se presentan los valores p de significancia y los resultados de la comparación de medias para el porcentaje de participación que cada calibre aportó al rendimiento (kg) de frutos producidos por árbol en función de los factores compatibilidad y localidad. Al igual que la distribución porcentual del número de frutos por árbol y por calibre, para la variable rendimiento, tanto la Compatibilidad como la interacción Compatibilidad por Localidad no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para ninguno de los calibres evaluados. No obstante, lo anterior, el factor Localidad afectó de forma significativa la proporción en algunos de los calibres evaluados (Tabla 5-8). El factor localidad al igual que lo reportado en la tabla 5-7, fluctuó entre calibres, pero de forma general, similar al número de frutos. Se observa que entre las localidades se presentaron diferencias significativas para los calibres Descarte ($p = 0,008$) e Industrial ($p = 0,001$), donde la localidad Peñol presentó el mayor porcentaje en peso (kg) de frutos por árbol para la clasificación Descarte (4,01%). Para este mismo calibre, las localidades Anserma y Rionegro no distaron estadísticamente (1,48% – 2,88%), mientras que el calibre Industrial se presentó en menor medida en la localidad Anserma (1,77%), seguida de Rionegro (3,09%), siendo la localidad Peñol la que mayor promedio de fruta (kg) produjo de esta calificación (4,15%).

Tabla 5-9 Prueba de comparación de medias para las variables de rendimientos en kg frutos por árbol, para los calibres de exportación en árboles aguacate cv. Hass para el tratamiento compatibilidad, en las localidades evaluadas.

Factor	C14	C16	C18	C20	C22	C24
Localidad/valores p *	0,632	0,553	0,458	0,181	0,075	0,089
Anserma	0,53 a	1,89 a	8,74 a	10,20 a	15,49 a	10,52 a
Peñol	0,84 a	2,31 a	6,73 a	6,30 a	11,51 a	8,44 a
Rionegro	0,67 a	2,76 a	8,98 a	8,89 a	14,23 a	9,13 a
Tratamiento/valores p *	0,95	0,515	0,223	0,818	0,706	0,738
Compatible	0,69 a	2,11 a	7,15 a	8,52 a	14,00 a	9,50 a
Incompatible	0,67 a	2,54 a	9,15 a	8,84 a	13,49 a	9,24 a
Compatibilidad/Localidad/valores p *	0,75	0,437	0,457	0,524	0,89	0,942

Factor	C26	C28	C30	C32	CD	CI
Localidad/valores p *	0,171	0,151	0,439	0,123	0,008	0,001
Anserma	9,65 a	10,74 a	11,73 a	17,26 b	1,48 b	1,77 c
Peñol	8,05 a	9,59 a	13,01 a	24,43 a	4,01 a	4,15 a
Rionegro	8,51 a	8,65 a	10,63 a	21,57 ab	2,88 ab	3,09 b
Tratamiento/valores p *	0,7567	0,7285	0,6343	0,865	0,8494	0,675

Compatible	8,85 a	9,81 a	12,15 a	21,32 a	2,85 a	3,09 a
Incompatible	8,63 a	9,51 a	11,44 a	20,86 a	2,74 a	2,92 a
Compatibilidad/Localidad/valores p *	0,454	0,786	0,649	0,698	0,594	0,235

*Códigos de significancia: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1. Calibre (C). Calibre Descarte (CD). Calibre Industrial (CI). *Cosecha Principal (P). Cosecha Traviesa "Mitaca" (T). *** Los tratamientos con una letra común no difieren significativamente al 5 % acorde con la prueba de diferencia mínima significativa a través de la corrección de Holm.

5.4 Discusión

El tratamiento compatibilidad injerto-portainjerto no presentó diferencias significativas para el número de frutos y los rendimientos por árbol ($p > 0,05$). Evaluaciones similares en otras especies como lo reportado por Traka *et al.* (2000) en diferentes portainjertos de calabaza (*Cucurbita spp*) sobre injertos de melón (*Cucumis melo* L.) con diferencias entre el crecimiento de los tejidos del tallo de ambas estructuras (incompatibilidad), reportaron que portainjertos compatibles e incompatibles no presentaron diferencias significativas en sus rendimientos, presentando producciones de melón que variaron entre 2,4 y 6,26 kg árbol⁻¹. Por otro lado, King *et al.* (2010) ratifican lo evaluado por Traka *et al.* (2010) evidenciando que, en el cultivo de melón con problemas de compatibilidad entre el portainjerto y el injerto, no se presentó reducción en el número, rendimiento y calidad de los frutos, comparado con plantas sin este síntoma de compatibilidad. Sin embargo, evaluaciones realizadas en cultivos de hortalizas evidenciaron que diferencias en la producción entre árboles con y sin síntomas de compatibilidad, donde Oka *et al.* (2004) al evaluar la compatibilidad entre el injerto y el portainjerto en pimentón (*Capsicum annum*) indicaron que la incompatibilidad resultó en un menor rendimiento en cantidad de frutos aptos para la exportación, presentándose que, en plantas compatibles, los rendimientos fueron superiores en número de frutos (75 kg árbol⁻¹), con respecto al tratamiento incompatible (72,3 kg planta⁻¹) y control sin injertación (47,4 kg planta⁻¹).

Las variaciones encontradas entre árboles compatibles e incompatibles en cultivos de frutales se pueden deber a diferencias genéticas que se presentan debido al origen del portainjerto, lo cual puede contribuir a los problemas encontrados en el crecimiento desigual de los tallos de ambos entes (Simon *et al.*, 2012). Dado que el material genético de los patrones de aguacate evaluados no presenta un origen genético conocido, la

incompatibilidad entre injerto y el portainjerto puede ocurrir por la diferencia genética entre los portainjertos con las copas del cv. Hass. Aunque la incompatibilidad no mostró diferencias en el rendimiento del aguacate cv. Hass, existe la posibilidad que esta anomalía morfológica pueda afectar la sobrevivencia del árbol, dado que la diferencia entre el diámetro del tallo del injerto y el portainjerto puede causar a largo plazo la ruptura del tallo; dicho evento fue reportado en albaricoque (*Prunus armeniaca*) y ciruelas (*Prunus domestica*) por Reig *et al.* (2018) y Reig *et al.* (2019) donde esta incompatibilidad no afectó los rendimientos, pero si afectó la sobrevivencia de los árboles a largo plazo.

Las condiciones climáticas predominantes durante el periodo de desarrollo del fruto de aguacate cv. Hass son importantes para el desarrollo del cultivo (Ramírez *et al.*, 2019); por ello, en el periodo de cosecha P2020 se evidenció la mayor temperatura media (18,2°C), mayor mínima (14,4°C), y mayor precipitación acumulada (1.785,6 mm/periodo) con un balance hídrico positivo de 707,5 mm durante este periodo; en comparación con estas mismas variables en las demás épocas de cosecha (figura 1-1): De acuerdo con lo anterior, Lobell *et al.* (2007) afirman que características climáticas como la precipitación durante el cuajamiento por encima de 151 mm mes⁻¹ aumenta los rendimientos, lo que para las condiciones del estudio actual se presentó durante el mes de marzo de 2020 (estado fenológico similar para la cosecha P2020), con registros promedio de 190,5 mm, pudo ser la una de las causas del mayor rendimiento en esta época.

Aunado a lo anterior, la temperatura mínima también juega un papel importante en la floración; en este sentido, Pattemore *et al.* (2018) afirman que temperaturas entre 13°C y 15°C aumentan la apertura de flores femeninas en las primeras horas de la tarde en la tarde, lo cual favorece la polinización por parte de algunos insectos como *Apis mellifera*, mientras que, temperaturas por debajo de este rango (<13°C) favorecen la floración femenina en la noche, reduciendo así el potencial de polinización. Por lo anterior, las temperaturas mínimas durante los meses en que ocurrieron los periodos de cosecha T2020 (marzo 2019), T2021 (septiembre 2020) y P2021 (marzo 2021) fueron de 12,9 °C, 13,4°C, 13,4°C, respectivamente. Así, estas temperaturas bajas pudieron favorecer la apertura de las flores femeninas en horarios nocturnos, mientras que durante el periodo de cosecha P2020 la temperatura mínima aumentó (14,4°C), lo cual es óptimo para la

apertura temprana de flores y la polinización de los principales insectos que participan en esta labor.

Al respecto, Wolstenholme (2013) indica que la temperatura óptima para aguacate cv. Hass se encuentra entre 19°C y 21,5°C, y que esta mejora el cuajamiento del fruto en época de floración y reduce el período de crecimiento del fruto, además de favorecer floraciones más abundantes y con presencia de floraciones tempranas en este cultivar. También se menciona que cultivares de la raza guatemalteca y sus híbridos (raza del cv. Hass) se ven afectados en floración por temperaturas medias por debajo de los 16°C, las cuales desfavorecen el cuajamiento. En este sentido, en ninguno de los meses en los cuales se presentaron las floraciones de las cuatro cosechas evaluadas la temperatura estuvo por debajo de este rango (Figura 2-1). La cosecha P2021, a pesar de ser una cosecha principal, la cual se caracteriza por ostentar los mayores volúmenes de fruta en el año, presentó los valores más bajos en número de frutos (166 frutos árbol⁻¹) y rendimientos por árbol (24,8 kg árbol⁻¹) comparados con la cosecha P2020, la cual produjo 321 frutos árbol⁻¹ y 48,1kg árbol⁻¹, esto debido a las bajas temperaturas presentes durante el periodo de desarrollo del fruto (9,3°C), alta humedad relativa promedio (82,2%) y exceso de precipitación acumulada (2.224,8 mm), factores que son limitantes para la producción.

5.5 Conclusiones

La compatibilidad no afecta el número de frutos por árbol y el rendimiento por árbol en kilogramos de fruta. No obstante, estas variables son afectadas por la época de cosecha, que está influenciado por condiciones climáticas deseables para la floración, cuajamiento y crecimiento de los frutos.

El calibre no presentó un comportamiento porcentual diferencial sin evidencia de una diferencia notable entre el tratamiento compatibilidad, las localidades y las cosechas.

5.6 Referencias

Agronet. 2020. Reporte: Área, producción y rendimiento nacional por cultivo. Agronet, MinAgricultura. En: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
Consultado: Junio 2022.

Bates D, Mächler M, Bolker B and Walker S. 2015. "Fitting linear mixed-effects models using lme4." *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48.
<https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

Belmonte ULJ, Garrido CJA and Camacho FF. 2020. Analysis of world research on grafting in horticultural plants. *HortScience*, 55(1), 112-120.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI14533-19>

Bello A, López PJA, Díaz VL and Tello J. 2001. Alternatives to methyl bromide for soil fumigation in Spain. In: *Global report on validated alternatives to the use of methyl bromide for soil fumigation*. Food and Agriculture Organization and United Nations Environmental Programme, Rome, Italy. 95 p.

Cohen R, Pivonia S, Burger Y, Edelstein M, Gamliel A and Katan J. 2000. Toward integrated management of *Monosporascus* wilt of melons in Israel *Plant Dis.* 84 496 505.
<https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PDIS.2000.84.5.496>

Choi KS, Om H, Parks DY, Lee S and Lee CH 1991 The interspecific hybrid Weonkio 601 as a rootstock for cucurbits. *Res. Rep. of the office of Rural Development, Hort. and Sericulture.* 1980. Suwon 22. (Cited by Miguel *et al.*, in *Horticulture* 1991;66:34–40).

de Mendiburu, F. 2021. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package (1.3-5). Universidad La Molina.

Díaz PM, Camacho FF, Diáñez MF, De Cara GM and Tello MJC. 2009 Evaluation of alternatives to methyl bromide in melon crops in Guatemala *Microb. Ecol.* 57 379 383.
<https://doi.org/10.1007/s00248-008-9460-1>

FAO. 2011. COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS: Observaciones presentadas en respuesta al proyecto de norma para el aguacate (revisión de la Norma CODEX STAN 197-1995) por: Costa Rica, Jamaica, Kenia, Unión Europea, Nueva Zelanda y Estados Unidos de América. Mexico.

FAO. 2022. FAOSTAT Database, production statistics En: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>. Consultado: junio 2022.

Gazit A and Ish GA. 2007. Las abejas sin aguijón pueden servir como polinizadores eficientes del aguacate. En el 9º Simposio Internacional de Polinización sobre Relaciones Planta-Polinización-Diversidad en Acton: Programa y Resúmenes. Universidad Estatal de Iowa, Ames, IA.

Gutiérrez CA, Arenas LC, Obando GM and Bello RY. 2021. Análisis del riesgo en la exportación del aguacate hass para la compañía Hass Fruits de Colombia (Tesis de licenciatura), Especialización en Gerencia Procesos de Calidad e Innovación Virtual). Universidad EAN. Colombia. 52 p.

Huitrón MV, Diaz M, Diáñez F and Camacho F. 2007 The effect of various rootstocks on triploid watermelon yield and quality J. Food Agric. Environ. 5 344 348.

Kato T and Lou H. 1989. Effects of rootstock on the yield, mineral nutrition and hormone level in xylem sap in eggplant. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 58(2), 345-352. <https://doi.org/10.2503/jshs.58.345>

King SR, Davis AR, Zhang X and Crosby K. 2010. Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. Scientia Horticulturae, 127(2), 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.001>

Kuznetsova A, Brockhoff PB and Christensen RHB 2017. “lmerTest Package: Tests in linear mixed effects models.” Journal of Statistical Software, 82(13), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss>

Lee J.M. 1994 Cultivation of grafted vegetables. I. Current status, grafting methods, and benefits HortScience 29 (4), 235-239p.
file:///D:/Biblioteca%20Lab%20Fisiologia/Downloads/[23279834%20-%20HortScience]%20Cultivation%20of%20Grafted%20Vegetables%20I.%20Current%20Status,%20Grafting%20Methods,%20and%20Benefits.pdf

Lobell DB, Cahill K and Field CB. 2007. Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields. Climatic Change, 81(2), 187–203. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9141-3>

Louvet, J. and Peyriere, J. 1962 Intérêt du greffage du melon sur Benincasacerifera, p. 167–171. XVI Congrès Internat. Hortic. Brussels, Belgium.

Marukawa S. 1979 Studies on varieties of *Cucurbita spp.* as rootstock for cucurbitaceous vegetables, with special reference to their grafting compatibility. . Bulletin of Ibaraki ken Horticultural Experiment Station. (Japan). (Apr 1979). (no.5) p. 1-152.
<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=JP19800536233>

Martínez RG, Flores JIC, Jiménez AL, Barra JDE, Salazar JAC and Veloz CS 2021. Rendimiento, calidad y comportamiento poscosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ de huertos con diferente fertilización. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 12(2), 205-218.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2232>

Messiaen C, Blancard D, Rouxel F and Lafon F. 1991 Les maladies des plantes maraichères. 3rd ed. Ed. INRA, Paris, France.

Mudge K, Janick J, Scofield S and Goldschmidt E. 2009. A history of grafting. horticultural reviews. Volume 35 Edited by Jules Janick, p. 437 – 493.
<https://doi.org/10.1002/9780470593776.ch9>

Nawaz MA, Imtiaz M, Kong Q, Cheng F, Ahmed W, Huang Y, and Bie Z. 2016. Grafting: A technique to modify ion accumulation in horticultural crops. Frontiers in Plant Science, 7.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01457>

Oka Y, Offenbach R, and Pivonia S. 2004. Pepper rootstock graft compatibility and response to *Meloidogyne javanica* and *M. incognita*. *Journal of nematology*, 36(2), 137. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2620767/>

Okimura M, Matsuo S, Arai K and Okitsu S. 1986. Influences of soil temperature on the growth of fruit vegetable grafted on different rootstocks. *Bul. Natl. Res. Inst. Veg. Ornam. Plants Tea* C9 43 58. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=JP880162888>

Pattimore DE, Buxton MN, Cutting BT, McBrydie HM, Goodwin RM and Dag A. 2018. Low overnight temperatures delay 'Hass' avocado (*Persea americana*) female flower opening, leading to nocturnal flowering. *Journal of Pollination Ecology*, 23, 127-135. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2018\)12](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2018)12)

Ramírez GJ, Cobos ME, Jiménez GD, Morales OJG and Peterson AT. 2019. Current and potential future distributions of Hass avocados in the face of climate change across the Americas. *Crop and Pasture Science*, 70(8), 694-708. <https://doi.org/10.1071/CP19094>

R Core Team. 2021. A language and environment for statistical computing. In: R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>

Reig G, Zarrouk O, Font i Forcada C and Moreno MÁ. 2018 Anatomical graft compatibility study between apricot cultivars and different plum based rootstocks. *Sci Hortic*. 237:67–73. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.035>

Reig G, Salazar A, Zarrouk O, Forcada CF, Val J and Moreno MÁ. 2019. Long-term graft compatibility study of peach-almond hybrid and plum based rootstocks budded with European and Japanese plums. *Scientia Horticulturae*, 243, 392-400. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.038>

Ricárdez SM, Huitrón RM, Tello MJ and Camacho-Ferre F. 2010. Planting density for grafted melon as an alternative to methyl bromide use in Mexico *Scientia Hort*. 126 236 241 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.022>

Rivero R, Ruiz J and Romero L. 2003. Role of grafting in horticultural plants under stress conditions J. Food Agric. Environ. 1 70 74. https://www.researchgate.net/profile/Rosa-Rivero-3/publication/236211274_Role_of_grafting_in_horticultural_plants_under_stress_condition/links/00b495170043787b85000000/Role-of-grafting-in-horticultural-plants-under-stress-condition.pdf

Robinson R.Wand Decker-Walters DS. 1997 Cucurbits, CAB International, Wallingford, UK.

Simon AMO, Gudet WS, Ramni J, Festus KA and Jarret M. 2012. Scion and stock diameter size effect on growth and fruit production of *Sclerocarya birrea* (Marula) trees. Journal of Horticulture and Forestry, 4(9), 153-160. <https://doi.org/10.5897/JHF12.016>

Suzuki E and des Yamato. 1972. La sandía Brochure translated into Spanish by Mr Kimura to Alfredo Miguel Gómez in 1977.

Traka ME, Koutsika SM and Pritsa T. 2000. Response of squash (*Cucurbita* spp.) as rootstock for melon (*Cucumis melo* L.). Scientia Horticulturae, 83(3-4), 353–362. [https://doi.org/10.1016/s0304-4238\(99\)00088-6](https://doi.org/10.1016/s0304-4238(99)00088-6)

Trionfetti NP, Colla G, Granati E, Temperini O, Crinò P and Saccardo F. 2002. Rootstock resistance to fusarium wilt and effect on fruit yield and quality of two muskmelon cultivars Scientia Hort. 93 281 288. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00335-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00335-1)

Vergniaud P. 1990. Le melon: Vendre et produire P.H.M Revue Hort. 303 43 51.

Wolstenholme BN. 2013. Ecology: Climate and soils.) In: Bruce A, Schaffer B, Nigel W, and Whiley A. (eds.) The avocado: botany, production and uses. Second edition. CPI Group. London, UK. 560p.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

La compatibilidad entre los tejidos del portainjerto y el injerto no afecta la fisiología productiva del aguacate cv. Hass, lo cual no altera las variables de intercambio gaseoso del foliolo, respiración, crecimiento morfológico y acumulación de biomasa del fruta y los rendimientos y la caracterización de los rendimientos del árbol, siendo la edad de formación del foliolo y el fruto y el periodo de cosecha, los factores que modifican las variables anteriormente mencionadas.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda evaluar en árboles con síntomas de incompatibilidad como es movimiento de savia desde el portainjerto hacia el injerto, para determinar si esta condición presente entre estos dos tejidos reduce el movimiento de solutos.

Evaluar la respuesta futura de los árboles con síntomas de incompatibilidad con respecto a la ruptura de tallos por el peso y exceso de desarrollo del injerto y pobre desarrollo del portainjerto, lo cual puede terminar en volcamientos y pérdidas del árbol en periodos productivos posteriores a los 8 años.

Evaluar si el origen del portainjerto determina la compatibilidad con el cv. Hass, evidenciando problemas de incompatibilidad con cruces e híbridos específicos que generen esta anomalía con la variedad comercial.