



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **RELACIÓN DE FACTORES EDAFO- AMBIENTALES CON LA CALIDAD DEL FRUTO DE AGUACATE CV. HASS EN DIFERENTES REGIONES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA**

**Jaime Horacio López Hoyos**

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

2023



# **RELACIÓN DE FACTORES EDAFO- AMBIENTALES CON LA CALIDAD DEL FRUTO DE AGUACATE CV. HASS EN DIFERENTES REGIONES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA**

**Jaime Horacio López Hoyos**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Director:

Nelson Walter Osorio Vega, I.A., M.Sc., Ph.D.

Co-Directores:

Joaquín Guillermo Ramírez Gil, I.A., M.Sc., Ph.D,

Juan Camilo Henao Rojas, I.A., Mg. Alimentos

Línea de Investigación:

Maestría en ciencias agrarias con énfasis en fisiología

Universidad Nacional de Colombia

Facultad, de Ciencias Agrarias

Departamento de Ciencias Agronómicas

Medellín, Colombia

2023



## Dedicatoria

*Este trabajo se lo dedico a mis padres Pedro Claver y Rosa Elisa, a mi suegro Delio y a la Hna María Eugenia que siempre fueron mis maestros y que hoy desde la eternidad me siguen guiando; a mi esposa Gleisi, a mis hijos Juliana y Samuel a mis tutores el profe Walter, Guillermo, Juan Camilo, Jaime y Edimer, a mis hermanos y amigos, a Conchita y su familia, que tanto apoyo me brindaron en momentos en los que tanto lo necesite.*

*La tarea no fue fácil, pero el apoyo incondicional recibido, me ayudo a que el camino fuera más transitable. Gracias infinitas a todos por su apoyo, entrega y compromiso; los llevo en mi corazón por siempre.*



## **Declaración de obra original**

Yo, Jaime Horacio López Hoyos declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. De Colombia «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.

Jaime Horacio López Hoyos

Fecha: 3/05/2023

## **Agradecimientos**

Quiero expresar los más sinceros agradecimientos a las personas e instituciones que de una u otra manera me han apoyado para sacar adelante este proceso de formación, especialmente a:

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, por haberme facilitado el tiempo necesario durante el periodo lectivo y permitirme emplear los datos para la entrega de los resultados presentados en este documento.

Al sistema general de Regalías y a la Secretaría de Agricultura de Antioquia por la cofinanciación del proyecto de Cooperación para la Investigación No. 4600001078 denominado: “Desarrollo tecnológico, productivo y comercial del aguacate en el departamento de Antioquia”

A los propietarios, administradores y asistentes técnicos de las fincas en las cuales se tomaron los datos para la elaboración de esta investigación: El Imperio, El Jardín, El Guarango, La Escondida, El Cebadero, Los Abuelos, Cantabria de la Sierra y El Banco.

A mi esposa Gleisi Suárez Zuluaga y mis hijos Juliana Andrea y Samuel López Suarez por todo el apoyo que me brindaron durante estos años.

A Nelson Walter Osorio vega mi director, Joaquín Guillermo Ramírez Gil, Juan Camilo Henao Rojas mis Codirectores, a Edimer David Jaramillo y Jaime Lozano Fernández por su paciencia, constancia, apoyo y orientación; y por compartir de manera desinteresada sus conocimientos.

A mis compañeros de trabajo, Luz Fanny Orozco Orozco, Nancy Yohana Grisales Vasquez, Laura Beatriz Espitia Negrete, por el apoyo en momentos difíciles del proceso.



A Cipriano Arturo Díaz Díez, Jorge Alonso Bernal Estrada y Pablo Emilio Rodríguez Fonseca por su apoyo en el proceso de formación.

A Juan Mauricio Rojas Acosta por todo el interés, apoyo y motivación para terminar este proceso.

A todas las personas que de manera desinteresada me brindaron su apoyo y cuyo aporte fue fundamental.



## **Productos científicos generados en la tesis**

### **Artículo 1**

**Fruit quality in Hass avocado and its relationships with different growing areas under tropical zones.** Rev. Ceres, Viçosa, v. 66, n.5, p. 341-350, sep/oct, 2019; doi: 10.1590/0034-737X201966050003



## **Nota aclaratoria**

Según la normatividad de la Universidad Nacional de Colombia, el formato propuesto por SINAB y en particular la reglamentación establecida en el acuerdo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la sede Medellín del 17 de 2013 (Acta 08, abril 15), para presentación de tesis, la tesis se puede organizar como capítulos, en los cuales se presentan los resultados como artículos científicos. Debido a que cada revista requiere formatos diferentes, es posible que algunos artículos puedan diferir de otros en el formato. Sin embargo, se ha tratado al máximo de presentarlos con introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, seguidos de la lista de referencias.

Con base en lo anterior el presente trabajo se organizó en cuatro secciones. En la primera se abordan aspectos generales de la tesis dentro de los cuales se encuentran los siguientes: introducción general, planteamiento del problema, justificación y objetivos. Las dos secciones siguientes abordan la calidad del aguacate cv. Hass desde la perspectiva bromatológica, de la composición de ácidos grasos y la concentración de minerales y vitamina E, vistos como indicadores de calidad, y cómo estos son influenciados por múltiples factores edafo-ambientales; el análisis se hace desde la perspectiva de finca y luego a nivel de región. Por último, se realiza una discusión general de las fases anteriores y se elaboran conclusiones y recomendaciones.

## Resumen

El incremento en la demanda mundial de aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Hass y la importancia creciente del cultivo en Colombia, aumentan la necesidad de conocer los determinantes de calidad, la cual se considera como un parámetro diferenciador en el mercado. Por lo anterior, esta investigación tuvo como objetivos (i) Determinar la calidad física-química de los frutos de aguacate cv. Hass cultivados en diferentes regiones del departamento de Antioquia con una variada oferta edafo-ambiental; y (ii) Establecer la relación de los factores edáficos y ambientales con los parámetros de calidad asociados a la concentración de compuestos nutricionales en tres regiones productoras de aguacate cv. Hass en Antioquia, Colombia. La investigación se realizó en unidades productivas localizadas en diferentes altitudes en tres regiones productoras de aguacate cv. Hass en Antioquia. Se registraron variables edáficas y ambientales y se evaluó su relación con parámetros físicos del fruto, concentración de compuestos bromatológicos, ácidos grasos, elementos nutricionales y vitamina E. En los resultados se evidenció una diferenciación de origen del aguacate cv. Hass a nivel macro (región) y micro (finca) que es altamente influenciada por variables asociadas a la variación ambiental y el tipo de cosecha (principal y traviesa). Esta investigación aporta información de utilidad para establecer una diferenciación de calidad en función de la oferta edafo-ambiental relacionada con la composición bromatológica, de ácidos grasos monoinsaturados y minerales en el aguacate cv. Hass. Además, aporta elementos de utilidad a empresarios y tomadores de decisiones para decidir sobre la ubicación de los cultivos y reducir el riesgo de las inversiones.

**Palabras claves:** Ácidos grasos, Bromatológico, Minerales, parámetros funcionales.

## Abstract

### **Relationship of edafo-environmental factors with the quality of avocado fruit cv. Hin different regions of the department of Antioquia**

The increase in the world demand for avocado (*Persea americana* Mill) cv. Hass and the growing importance of this crop in Colombia, raise the need to know the factors that control fruit quality, which is considered a differentiating parameter in the market. Therefore, this research had as objectives: (i) To determine the physical-chemical quality of fruits of avocado cv. Hass grown in different sites of the department of Antioquia with diverse soil and environmental offer; y (ii) To establish the relationship of soil and environmental factors with the quality parameters associated with the concentration of nutritional compounds in avocado-producing regions cv. Hass in Antioquia, Colombia. The research was conducted in farms located at different altitudes in avocado-producing regions planted with cv. Hass in Antioquia; diverse soil and environmental variables were registered and their relationship with physical variables of the fruit, concentration of bromatological compounds, fatty acids, nutritional, elements, and vitamin E was evaluated. The results showed differentiation in the quality of fruits of avocado cv. Hass at the macro and micro geographical levels associated with sites and regions highly influenced by variables associated with environmental shifts and the type of harvest (main and secondary). This research provides useful information to establish quality differentiation based on bromatological composition, monounsaturated fatty acids, and mineral content of avocado fruits associated with soil-environmental conditions. In addition, it provides useful elements for businessmen and decision-makers to improve the selection of the best locations for planting avocado commercial crops and thus reduce the risk of the investment.

**Keywords:** Fatty acids, Bromatological, Minerals, functional parameters.

# Contenido

	Pág.
Dedicatoria.....	V
Productos científicos generados en la tesis .....	XI
Nota aclaratoria .....	XIII
Resumen .....	XIV
Abstract.....	XV
Lista de figuras .....	XIX
Lista de tablas .....	XX
Lista de anexos .....	XXI
Introducción general .....	1
Alcance de la investigación.....	7
Objetivos .....	9
Objetivo general .....	9
Identificar las relaciones de la oferta edafo- ambiental con la calidad del aguacate <i>Persea americana</i> Mill cv. Hass en diferentes regiones del departamento de Antioquia.....	9
Objetivos específicos .....	9
1.    Capítulo 1 Calidad de la fruta de aguacate cv. Hass y sus relaciones con diferentes áreas de cultivo bajo zonas tropicales .....	11
1.1    Objetivo .....	11
1.2    Resumen .....	11
1.3    Introducción .....	12
1.4    Materiales y métodos .....	13
1.4.1    Localización .....	13
1.4.2    Muestreo .....	13
1.4.3    Propiedades físicas y químicas asociadas con la calidad de la fruta de aguacate cv. Hass .....	14



1.4.4	Gestión de datos y análisis estadístico .....	16
1.5	Resultados.....	17
1.5.1	Variables físicas asociadas a la calidad del aguacate cv. Hass y su relación con las localidades evaluadas.....	17
1.5.2	Variables químicas asociadas a la calidad del aguacate cv. Hass y su relación con las localidades evaluadas.....	20
1.6	Discusión .....	26
1.7	Conclusiones .....	30
1.8	Bibliografía.....	30
<b>2.</b>	<b>Capítulo: Variación edafo-ambiental y estacionalidad de la cosecha como factores determinantes de la calidad del aguacate cv. Hass en Antioquia .....</b>	<b>35</b>
2.1	Objetivo .....	35
2.2	Resumen .....	35
2.3	1.7 Introducción.....	36
2.4	Materiales y métodos .....	39
2.4.1	Localización .....	39
2.4.2	Determinación de variables edáficas y ambientales de las fincas cultivadas con aguacate cv Hass .....	40
	<b>VARIABLES AMBIENTALES</b> .....	40
	<b>VARIABLES EDÁFICAS</b> .....	40
	<b>Evaluación fisicoquímica de frutos y preparación de muestras para determinación de variables de calidad</b> .....	41
2.4.3	Gestión de datos y análisis estadístico .....	42
2.5	Resultados.....	44
2.5.1	Relación de la temporalidad (años 2015a-2017b) y profundidad del suelo (0-30 y 31-60 cm) como fuente de variación de los suelos cultivados con aguacate cv. Hass .....	44
2.5.2	Relación de la concentración de compuestos bromatológicos de la pulpa de aguacate cv. Hass con el tipo de cosecha y la región productora (años 2016b y 2017a) .....	45
2.5.3	Relación de la concentración de ácidos grasos de la pulpa de aguacate cv. Hass con el tipo de cosecha (principal y traviesa) y las regiones (Norte, Oriente y Suroeste) .....	48
2.5.4	Relación entre los contenidos de minerales y vitamina E de la pulpa de aguacate cv. Hass y el tipo de cosecha (principal y traviesa) y las regiones Norte, Oriente y Suroeste.....	54
2.6	Discusión .....	58
2.7	Conclusiones .....	63
2.8	Recomendaciones.....	64

---

2.9	Agradecimientos.....	65
2.10	Referencias .....	65
<b>3.</b>	<b>Capítulo: Discusión general .....</b>	<b>73</b>
3.1	Bibliografía.....	80
<b>4.</b>	<b>Capítulo: Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>89</b>
4.1	Conclusiones .....	89
4.2	Recomendaciones.....	90
<b>Anexos</b>	<b>.....</b>	<b>91</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1</b> Análisis de factores (A) y gráfico de funciones discriminantes (B) para variables físicas asociadas a la calidad del aguacate cv. Hass y su relación con las localidades evaluadas. % C: Porcentaje de epidermis. % P: Porcentaje de pulpa. T: Textura. $L^* a^* b^*$ $C^* H^*$ : vectores colorimétricos. VA: Volumen aparente. DE: Diámetro ecuatorial. DA: Densidad aparente. % PP: Porcentaje de pérdida de peso. % S: porcentaje del porcentaje de semillas. DP: Diámetro polar. DM: Días hasta la maduración. P: Peso de la fruta. ....	20
<b>Figura 1-2</b> Análisis de factores (A) y gráfico de funciones discriminantes (B) para variables de calidad química asociadas a la calidad del aguacate cv. Hass y su relación con las localidades evaluadas. A Sat/insat: proporción de ácidos grasos saturados/insaturados. Sum_sat: suma de ácidos grasos saturados. Sum_poli_insat: Suma de ácidos grasos poliinsaturados. A_Palmitoleico: concentración de ácido palmitoleico. A_Linoleico: concentración de ácido linoleico. A_Linolenico: concentración de ácido linolénico. Mg: Concentración de magnesio en la fruta. N: Concentración de nitrógeno en frutas. P: Concentración de fósforo en fruta. Zn: concentración de (Zn) en fruto. S: Concentración de azufre en la fruta. ....	26
<b>Figura 2-1</b> Análisis de componentes principales y clusterización de las variables del suelo por profundidad y por año en ocho fincas cultivadas con Aguacate cv. Hass de Antioquia. a. clúster por profundidades; b. clúster por años. ....	44
<b>Figura 2-2</b> . Interacción de las variables de calidad bromatológica de la pulpa de aguacate cv. Hass entre cosechas: principal y traviesa y las regiones: Norte, Oriente y Suroeste en el departamento de Antioquia. ....	47
<b>Figura 2-3</b> Resultados de la interacción de los ácidos grasos de la pulpa de aguacate cv. Hass en las cosechas principal (2016b) y traviesa (2017a) y de las regiones Norte, Oriente y Suroeste en el departamento de Antioquia. ....	52
<b>Figura 2-4</b> Resultados de la interacción de los elementos y la vitamina E de la pulpa de aguacate cv. Hass cosechas principal y traviesa y las regiones Norte, Oriente y Suroeste del departamento de Antioquia. ....	57

## Lista de tablas

Pág.

<b>Tabla 1-1.</b> Ubicación y condiciones ambientales de las fincas estudiadas durante el desarrollo del fruto de la cosecha principal del año 2016.....	14
<b>Tabla 1-2</b> Rango de diferentes pruebas estadísticas comparativas para variables físicas del fruto asociadas con parámetros de calidad del aguacate Hass y su relación con las localidades evaluadas. Comparaciones horizontales ( $P<0,05$ ). .....	18
<b>Tabla 1-3</b> Prueba de rango múltiple para los minerales del fruto maduro asociadas a la calidad del aguacate Hass y su relación con las localidades evaluadas en la cosecha principal 2016. Comparaciones horizontales. ....	23
<b>Tabla 1-4</b> Prueba de rango múltiple para las variables bromatológicas y vitamina E asociadas a la calidad del fruto de aguacate Hass y su relación con las localidades evaluadas en la cosecha principal 2016. Comparaciones horizontales .....	24
<b>Tabla 1-5</b> Prueba de rango múltiple para los ácidos grasos del fruto maduro asociadas a la calidad del fruto de aguacate Hass y su relación con las localidades evaluadas en la cosecha principal 2016. Comparaciones horizontales.....	24
<b>Tabla 2-1</b> Localización y condiciones climáticas de las fincas evaluadas en las subregiones Norte, Oriente y Suroeste del departamento de Antioquia durante el periodo de desarrollo de los frutos en las cosechas principal 2016b y travesía 2017a. ....	40
<b>Tabla 2-2</b> Análisis de varianza de las variables bromatológica de la pulpa de aguacate cv. Hass con relación a las cosechas principal (CP) y travesía (CT) y regiones del departamento de Antioquia.....	45
<b>Tabla 2-3</b> Análisis de varianza de variables de calidad asociada a perfiles lipídicos de la pulpa de aguacate cv. Hass respecto a las cosechas y regiones del departamento de Antioquia .....	49
<b>Tabla 2-4</b> Análisis de varianza de las variables asociadas a contenidos de Vitamina E y elementos minerales de la pulpa de aguacate cv. Hass respecto a las cosechas y regiones del departamento de Antioquia.....	55
<b>Tabla 3-1</b> Composición de frutos de aguacate cv. Hass proveniente de diferentes orígenes. ....	76

## Lista de anexos

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo A</b> Correlación de las variables ambientales con el contenido de algunas variables bromatológicas en la pulpa de aguacate cv. Hass en tres regiones productoras en Antioquia Colombia durante los años 2016b y 2017a .....	91
<b>Anexo B</b> Correlación suelos P1 y P2 con variables bromatológicas, en tres regiones productoras de aguacate cv. Hass en Antioquia Colombia en durante los años 2016b y 2017a .....	92
<b>Anexo C</b> Coeficientes de correlación de los ácidos grasos del fruto de aguacate cv. Hass con variables edáficas y ambientales .....	93
<b>Anexo D</b> Correlación de las variables ambientales con el contenido de ácidos grasos en la pulpa de aguacate cv. Hass en tres regiones productoras en Antioquia Colombia durante los años 2016b y 2017a .....	94
<b>Anexo E</b> Correlación de los resultados del análisis de suelos en las profundidades P1 y P2 con los contenidos de ácidos grasos en la pulpa de aguacate cv. Hass en tres regiones productoras en Antioquia Colombia durante los años 2016b y 2017a .....	95
<b>Anexo F</b> Coeficientes de correlación del contenido de minerales y vitamina E del fruto de aguacate cv. Hass con las variables edáficas y ambientales .....	96
<b>Anexo G</b> Correlación de los resultados del análisis de suelo en las profundidades P1 y P2 con los minerales y vitamina E de la pulpa de aguacate cv. Hass en tres regiones productoras en Antioquia Colombia durante los años 2016b y 2017a .....	97
<b>Anexo H</b> Correlación de las variables ambientales con el contenido de minerales y vitamina E en la pulpa de aguacate cv. Hass en tres regiones productoras en Antioquia Colombia durante los años 2016b y 2017a .....	98



## Introducción general

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es originario de Mesoamérica, de donde se distribuyó por regiones tropicales y subtropicales del mundo desde el nivel del mar hasta los 3.000 metros de altitud (Galindo-Tovar & Arzate-Fernández, 2010) con una importante expansión en las áreas cultivadas y cosechada a nivel mundial (OECD/FAO, 2021). Dentro de esta especie se destaca el cultivar Hass como el de mayor importancia tanto en producción como en el mercado a nivel mundial, dado que es una de las frutas que mayor dinamismo ha presentado en los últimos años (FAO, 2019). Este incremento en área sembrada y producción ha sido motivado por los beneficios que para la salud se le atribuyen al consumo de esta fruta (Mpai & Sivakumar, 2020; Ojeda-Granados *et al.*, 2020).

La producción de aguacate en el mundo a 2021, según datos de la FAO (2022), es de 8,685,672 ton, siendo América con el 70,2%, donde se encuentra la mayor área, seguido Asia (14,3%), de África (12,3%), Europa (1,7%) y Oceanía (1,3%). De los primeros 10 países productores, 6 se ubican en América, liderados por México con 2,442,944 ton, Colombia con 979,617 ton, Perú con 777,095 ton, le siguen Indonesia con 669,260 ton Republica Dominicana 634.368 y le siguen en su orden Kenya, Brasil, Haití, Viet Nam y Chile. Según las proyecciones, al 2030 el aguacate será la fruta con mayor crecimiento a nivel mundial alcanzando los 12 millones de toneladas de las cuales América Latina y el Caribe aportaran el 74% del total y de este México el 64% (OECD/FAO, 2021).

Procolombia (2022) reportó que en el 2021 Colombia exportó 99.000 toneladas, cifra que representa un incremento del 20% con respecto al 2020, y ventas por valor de US\$206,6 millones, un 61% más que en el 2020. El incremento del área de aguacate cv. Hass en Colombia se ha favorecido por la admisibilidad a mercados como la Unión Europea, Estados Unidos, China, Japón, Corea, Canadá, entre otros (Procolombia, 2022). Además, se considera que Colombia tiene ventajas comparativas como la disponibilidad de recursos

hídricos la mayor parte del año, la posibilidad de tener dos cosechas al año, producción durante la mayor parte del año por la diversidad de pisos térmicos, entre otros (Ramírez-Gil *et al.*, 2018). Los principales departamentos productores son Antioquia, Risaralda, Caldas, Quindío y Valle del Cauca (ICA, 2022). No obstante, el aumento en áreas se ha realizado de manera desordenada, sin considerar la relación entre los factores edáficos y ambientales relacionados con los parámetros de calidad, rendimiento y sostenibilidad del aguacate cv. Hass (Ramírez-Gil *et al.*, 2018).

En la actualidad el concepto de calidad desde la producción debe orientarse a la obtención de un producto altamente diferencial en su composición nutricional (Ramírez-Gil *et al.*, 2019) y aplicar su entendimiento hacia la búsqueda de un producto altamente diferencial y con altos estándares de calidad multifuncional. La calidad puede ser definida para el caso del aguacate cv. Hass como la capacidad de satisfacer a los consumidores a través de las propiedades organolépticas, de inocuidad, nutricionales, funcionales, de origen y la ausencia de defectos visibles (Ramírez-Gil *et al.*, 2019). Este concepto puede ser diferente dependiendo del eslabón de la cadena de valor y el mercado al cual se destine (Ramírez-Gil *et al.*, 2019).

La calidad del aguacate cv. Hass está relacionada, y posiblemente determinada, con múltiples factores, dentro de estos se destacan el genotipo (interacción patrón x copa) (Lazare *et al.*, 2020), las condiciones ambientales (Cuevas, 2007), la interacción genotipo-ambiente y el manejo agronómico del cultivo (Martínez-Ballesta *et al.*, 2010). El concepto de calidad tradicionalmente se ha asociado con la forma, el tamaño, la ausencia de daños físicos, los procesos de certificación, y el cumplimiento de los límites máximos de residualidad (Pedreschi *et al.*, 2016; Salazar-García *et al.*, 2016; Rivera *et al.*, 2017).

En los últimos años, adicional a los criterios anteriores se está considerando la composición nutrimental del fruto de aguacate cv. Hass, en términos de los compuestos bromatológicos, ácidos grasos, elementos minerales, vitaminas y polifenoles (Donetti & Terry, 2012; Ferreyra *et al.*, 2016; Pedreschi, *et al.*, 2016; González *et al.*, 2017; Guzmán *et al.*, 2017; Pedreschi *et al.*, 2019).

Basado en lo anterior, en esta investigación se planteó la hipótesis de que la calidad del fruto (física - química) del aguacate cv. Hass es afectada por variables edafo-ambientales



asociadas a la localidad, la región en donde se cultiva la fruta y el tipo de cosecha (principal y traviesa).

En consideración a la mayor demanda de información relacionada con la calidad, y su relación con los factores edáficos y ambientales en el aguacate cv. Hass en Colombia, se realizó esta investigación, la cual presenta los resultados en cuatro capítulos temáticos: (i) Determinar la calidad física-química de los frutos de aguacate cv. Hass cultivados en diferentes localidades del departamento de Antioquia con una variada oferta edafológica ambiental; y (ii) Establecer la relación de los factores edáficos y ambientales con parámetros de calidad asociados a la concentración de compuestos nutricionales en tres regiones productoras de aguacate cv. Hass en Antioquia, Colombia (III) una discusión general de los capítulos una y dos y (IV) las conclusiones y recomendaciones.

## Referencias

- Cuevas, M. (2007). Influencia del manejo y condiciones edafoclimáticas sobre la calidad del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. "Semil 34" en República Dominicana. *Actas VI Congreso Mundial Del Aguacate*, 978.
- FAO. (2019). Análisis del mercado de las principales frutas tropicales 2019. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*. <http://www.fao.org/3/cb0834es/CB0834ES.pdf>
- Ferreira, R., Sellés, G., Saavedra, J., Ortiz, J., Zúñiga, C., Troncoso, C., Rivera, S. A., González-Agüero, M., & Defilippi, B. G. (2016). Identification of pre-harvest factors that affect fatty acid profiles of avocado fruit (*Persea americana* Mill) cv. "Hass" at harvest. *South African Journal of Botany*, 104, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.10.006>
- Galindo-Tovar, M. E., & Arzate-Fernández, A. M. (2010). Consideraciones sobre el origen y primera dispersión del aguacate Lauraceae ). *Cuadernos De Biodiversidad Universidad Autonoma Del Estado De Mexico, Facultad De Ciencias Agricolas*, 11–15.
- González, Y. N., González, J. A. H., Maldonado, S. H. G., & Bravo, A. Á. (2017). Influencia del Clima y Rugosidad sobre la Tolerancia a Refrigeración del Aguacate 'Hass.'

*Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 3911–3921.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263153823006>

Guzmán, S. H., Osuna, J. A., & Herrera, J. A. (2017). Effect of locality and maturity on the fatty acid profile of avocado ‘Hass’ fruit. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19(1), 3885–3896.

Lazare, S., Haberman, A., Yermiyahu, U., Erel, R., Simenski, E., & 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>

Martínez-Ballesta, M., Domínguez-Perles, R., Moreno, D., Muries, B., Alcaraz-López, C., Bastias, E., García-Viguera, C., & M. Carvajal. (2010). Review article Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. *Agronomy*, 30, 295–309.

ICA. (2022). En 2022, Colombia ha exportado 1.100 toneladas certificadas de aguacate Hass a los EEUU. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-colombia-exportacion-1100-toneladas-aguacate#:~:text=Antioquia%2C%20Caldas%2C%20Risaralda%2C%20Quind%2C%20Do,departamentos%20exportadores%20de%20aguacate%20Hass>.

Mpai, S., & Sivakumar, D. (2020). Influence of growing seasons on metabolic composition, and fruit quality of avocado cultivars at ‘ready-to-eat stage.’ *Scientia Horticulturae*, 265(December 2019), 109159. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109159>

OECD/FAO. (2021). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>

Ojeda-Granados, C., Panduro, A., Rivera-Iñiguez, I., Sepúlveda-Villegas, M., & Roman, S. (2020). A regionalized genome-based Mexican diet improves anthropometric and metabolic parameters in subjects at risk for obesity-related chronic diseases. *Nutrients*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/nu12030645>

Pedreschi, R., Hollak, S., Harkema, H., Otma, E., Robledo, P., Westra, E., Somhorst, D., Ferreyra, R., & Defilipp, B. (2016). *South African Journal of Botany*. Impact of

- postharvest ripening strategies on ' Hass ' avocado fatty acid profiles. *103*, 32–35. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.09.012>
- Pedreschi, Romina, Uarrota, V., Claudia, F., Alvaro, J., Olmedo, P., Defilippi, B., Meneses, C., & Campos-Vargas, R. (2019). Primary metabolism in avocado fruit. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 10, Issue June). <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00795>
- Procolombia. (2021). *El aguacate Hass colombiano LV del ' Super Bowl ' con más*. <https://procolombia.co/noticias/el-aguacate-Hass-colombiano-estara-presente-en-la-edicion-lv-del-super-bowl-con-mas-de-43-toneladas>
- Ramírez-Gil, Moralesa, J. G., & Petersonb, T. (2018). Potential geography and productivity of " Hass " avocado crops in Colombia estimated by ecological niche modeling. *Scientia Horticulturae*, *237* (October 2017), 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.021>
- Ramírez-Gil, J., Franco, G., & Henao-Rojas, J. (2019). Review of the concept of quality in Hass avocado and the pre-harvest and harvest factors that determine it under tropical conditions. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *13*(3), 359–370. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i3.10503>
- Rivera, S., Ferreyra, R., Robledoa, P., Selles, G., Arpaia, M. L., Saavedra, J., & Defilippi, B. G. (2017). Identification of preharvest factors determining postharvest ripening behaviors in 'Hass' avocado under long-term storage. *Scientia Horticulturae*, *216*(February), 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.024>
- Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R. E., & Álvarez-Bravo, A. (2016). Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate 'Hass.' *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *13*, 2565–2575.



## **Alcance de la investigación**

La creciente demanda mundial de aguacate cv. Hass y el incremento en las áreas cultivadas en Colombia, con limitados conocimientos sobre la calidad y los factores relacionados con su determinación exponen a pequeños, medianos y grandes productores, y empresas empacadoras y comercializadores a cuantiosas pérdidas. Esta situación se ve reflejada en una disminución de los ingresos y en una menor confianza de los consumidores en el aguacate de origen colombiano.

La presente investigación pretende contribuir con la generación de aportes para mejorar la frontera del conocimiento y entender las relaciones entre parámetros edáficos, ambientales y estacionales del cultivo con las variables físicas, químicas y nutricionales del aguacate cv. Hass cultivado bajo condiciones tropicales. Este trabajo realiza aportes para un mejor manejo y la selección de nuevas áreas para la implementación del cultivo de aguacate cv. Hass que permitan reducir los riesgos de inversión y ofertar a los consumidores un producto de mejor calidad en su composición nutricional al conocer la oferta edafo-ambiental.



## Objetivos

### Objetivo general

Identificar las relaciones de la oferta edafo- ambiental con la calidad del aguacate *Persea americana* Mill cv. Hass en diferentes regiones del departamento de Antioquia.

### Objetivos específicos

- (i) Determinar la calidad física-química de los frutos de aguacate cv. Hass cultivados en diferentes localidades del departamento de Antioquia con una variada oferta edafo-ambiental.
  
- (ii) Establecer la relación de los factores edáficos y ambientales con parámetros de calidad asociados a la concentración de compuestos nutricionales en tres regiones productoras de aguacate cv. Hass en Antioquia, Colombia.





# **1. Capítulo 1 Calidad de la fruta de aguacate cv. Hass y sus relaciones con diferentes áreas de cultivo bajo zonas tropicales**

## **1.1 Objetivo**

Determinar la calidad física-química de los frutos de aguacate cv. Hass cultivados en diferentes localidades del departamento de Antioquia con una variada oferta edafo-ambiental.

## **1.2 Resumen**

El aguacate es actualmente un cultivo importante en Colombia, dado su crecimiento en área sembrada y el aumento de sus exportaciones. El mercado de destino del aguacate colombiano es principalmente internacional. Sin embargo, las características físicas y químicas asociadas a la calidad de los aguacates producidos no son bien conocidas actualmente en Colombia. El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad física-química de los frutos de aguacate cv. Hass cultivados en diferentes localidades del departamento de Antioquia con una variada oferta edafo-ambiental. La calidad se relacionó con la ubicación de las fincas a través de un análisis multivariado y análisis de varianza. Como resultado de esta investigación se demostró que la calidad en parámetros físicos y químicos del aguacate cv. Hass cultivado en Antioquia es similar o incluso superior a la reportada internacionalmente. Además, se estableció una relación entre la calidad de los frutos y las fincas donde se cultivan, lo que permitió discriminar los frutos por su origen y su oferta edafo-ambiental. Esta investigación mostró un acercamiento a la determinación de parámetros de calidad en aguacate cv. Hass en Colombia y cómo se pueden relacionar con las características de su sistema productivo, lo que puede llevar a definir un producto con valor agregado.

**Palabras clave:** ácidos grasos; análisis multivariado; compuestos bromatológicos; valor agregado.

### 1.3 Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass puede destacarse como el más importante en términos de área cultivada, distribución geográfica y consumo (Bost *et al.*, 2013). El cultivar cv. Hass ha sido el más plantado en Colombia con notable crecimiento en superficie cultivada y producción. Este cultivo crece principalmente en climas moderadamente fríos, situados entre los 1.400 y los 2.600 m de altitud (Ramírez-Gil *et al.*, 2018). La razón principal del aumento de la superficie sembrada con aguacate se basa en el crecimiento de la demanda internacional. Este fenómeno es consecuencia de los múltiples beneficios para la salud que los consumidores perciben en esta fruta, además de su agradable sabor (Pérez-Méndez & García-Hernández, 2007; Rodríguez-Sánchez *et al.* 2015; Monika y Geetha, 2015).

A pesar del rápido crecimiento de este sistema productivo en Colombia, la industria ha presentado algunas limitaciones tecnológicas en precosecha y poscosecha asociadas a patologías vegetales, ataques de insectos y a problemas asociados a la selección de áreas con condiciones edafo-ambientales inadecuadas para la siembra (Torres-Jaimes *et al.*, 2015; Ramírez-Gil *et al.*, 2017; Ramírez-Gil *et al.*, 2018; Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2018). Sin embargo, la información sobre los parámetros de calidad de la fruta es limitada y solo se reportan algunos estudios que describen la relación directa entre la altitud y el perfil de ácidos grasos, el índice mínimo de materia seca para una cosecha óptima y la determinación de algunos parámetros físico-químicos de las frutas de aguacate para exportación (Carvalho *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2015; Astudillo y Rodríguez, 2018).

Se ha sugerido que la aceptabilidad de la fruta está más correlacionada con la textura y el sabor (Salazar-García *et al.*, 2016a; Salazar-García *et al.*, 2016b). Además, se debe considerar que la calidad está determinada por múltiples factores edafo-ambientales, prácticas agronómicas de precosecha, cosecha y poscosecha, asociados al origen geográfico (Burdon *et al.*, 2013; Ferreyra *et al.*, 2016; Hernández *et al.*, 2016; Tan *et al.*, 2017). Las condiciones biofísicas, edáficas, ambientales o de gestión en un sistema productivo pueden generar un producto con parámetros de calidad sobresalientes, que podría ser utilizados como factor de diferenciación de mercado para aumentar el valor agregado.

Uno de los retos actuales del cultivo es poder optimizar la producción en zonas óptimas que masifiquen el rendimiento y los parámetros de calidad. En este sentido el perfil de ácidos grasos se puede utilizar como biomarcador o como parámetro para determinar las áreas adecuadas para el establecimiento del aguacate y las prácticas agronómicas asociadas a este cultivo (Donetti & Terry, 2014; Ferreyra *et al.*, 2016; Tan *et al.*, 2017). Basado en lo anterior y en ausencia detallada de información asociada a los determinantes de parámetros de calidad en el trópico la hipótesis de esta investigación plantea que los parámetros asociados a la calidad física-química del fruto del aguacate cv. Hass es afectada por la oferta edafo-ambiental de la localidad en donde se cultiva la fruta. En consecuencia, el objetivo de esta investigación fue determinar la calidad física-química de los frutos de aguacate cv. Hass cultivados en diferentes localidades del departamento de Antioquia con una variada oferta edafo-ambiental.

## 1.4 Materiales y métodos

### 1.4.1 Localización

Las frutas de aguacate cv. Hass se recolectaron en ocho plantaciones comerciales de aguacate certificadas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) como fincas exportadoras. Las fincas se ubicaron en tres subregiones del departamento de Antioquia (Tabla 1.1). En el Oriente Antioqueño se seleccionaron cuatro fincas: Los Abuelos (LA) en el municipio de El Peñol, El Cebadero (EC) y El Guarango (EG) en el municipio de El Retiro y La Escondida (LE) en el municipio de Rionegro. En Suroeste Antioqueño dos fincas: El Imperio (IM) en el municipio de Amagá y Bellavista (BV) en el municipio de Jardín. En el Norte Antioqueño se seleccionaron dos fincas: Cantabria de la Sierra (CS) y El Banco (EB) en el municipio de San Pedro de Los Milagros. En cada finca se colocó una estación meteorológica (serie WatchDog 2000ET) con sensores de temperatura ambiental (°C), humedad relativa (%), temperatura del suelo (°C), humedad del suelo (%), radiación solar ( $W\ m^{-2}$ ), radiación fotosintéticamente activa (PAR) ( $mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) y precipitación (mm). Cada árbol fue georreferenciado con un GPS (marca Garmin, referencia GPSmap 62sc). Los datos fueron registrados cada 15 min y los valores medios se reportaron en la (Tabla 1-1).

### 1.4.2 Muestreo

En la cosecha principal del año 2016, en cada finca se seleccionaron dos árboles con frutos, con fenología conocida, análisis de suelo y ausencia visible de plagas y

enfermedades. De cada árbol, se cosecharon 25 frutos con un tamaño comercial de calibre de fruta 18-20 (184-243 g), por ser el tipo de fruta con el calibre más comercial para Colombia. Estos frutos fueron cosechados con un porcentaje de materia seca cercano al  $23,5\% \pm 1,1$ , según el método AOAC 934.01 (AOAC, 2016), evaluación previa a la cosecha realizada por las empresas comercializadoras para garantizar calidad de maduración (Carvalho *et al.*, 2014). Después de la cosecha, los frutos se colocaron en una bolsa de papel, se etiquetaron con el código de la finca y el árbol. Luego, 24 horas después los frutos fueron entregados al Laboratorio de Poscosecha de Agrosavia en el municipio de Rionegro, Antioquia, Colombia.

**Tabla 1-1.** Ubicación y condiciones ambientales de las fincas estudiadas durante el desarrollo del fruto de la cosecha principal del año 2016.

Localidades	Subregión	Elevación (m)	Latitud (N)	Longitud (W)	Temperatura (°C)			HR* (%)	RSA** (W/m <sup>2</sup> )
					Maxima	Media	Minima		
IM	Suroeste	1753	06°012'423''	75° 402'423''	32,7	21,6	6,9	69,2	417,7
LA	Oriente	2009	05°352'533''	75° 482'193''	30,4	18,7	8,6	78,0	480,8
BV	Suroeste	2027	06°029'433''	75° 312'133''	29,8	18,4	12,3	81,5	387,5
LE	Oriente	2168	06°292'263''	75° 312'283''	28,4	17,3	5,8	81,5	333,5
EG	Oriente	2288	06°012'423''	75°272'253''	27,4	16,0	2,7	82,6	436,3
CS	Norte	2396	06°012'423''	75° 132'593''	27,2	15,4	2,5	79,8	438,2
EB	Norte	2453	06°052'563''	75° 432'133''	24,2	15,3	3,7	77,3	421,9
EC	Oriente	2448	06°022'513''	75° 292'423''	26,9	15,6	3,6	76,6	433,4

\*HR= Humedad Relativa; \*\*RSA= Radiación Solar Acumulada

### 1.4.3 Propiedades físicas y químicas asociadas con la calidad de la fruta de aguacate cv. Hass

Una vez recibidos los 25 frutos por árbol (50 frutos por finca) en el laboratorio, se evaluaron en ellos las siguientes variables físicas del fruto verde: diámetro ecuatorial y polar (pinza digital Redline® mechanics), peso del fruto (balanza digital, Delta Range, Mettler PE 3600®) y color triestímulo CIELAB, el cual se evaluó en la zona ecuatorial del fruto, excluyendo zonas con daños o coloraciones atípicas (colorímetro portátil Konica Minolta, CR 400®) (Henao-Rojas & Rodríguez, 2016).

Luego, se seleccionaron aleatoriamente cinco frutos para medir la materia seca utilizando el método AOAC 934.01 (AOAC, 2016). Los 20 frutos restantes se

almacenaron en una cámara refrigerada (Supernordico, referencia 430) durante dos semanas a una temperatura promedio de  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $80 \pm 5\%$  de HR (para simular el tiempo de transporte que tiene los frutas para llegar a destino). Posteriormente, los 20 frutos por árbol fueron madurados en una cámara climática (Memmert HPP-110 a  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $90 \pm 2\%$  de HR) hasta alcanzar la madurez de consumo, que se determinó en el nivel 5 de maduración siguiendo la metodología propuesta por Gamble *et al.* (2010). En estos 20 frutos maduros por árbol se realizaron las siguientes evaluaciones físicas: (i) color por el método colorimétrico CIELAB medido en la epidermis del fruto, (ii) firmeza o resistencia mecánica del fruto a la penetración con un penetrómetro (modelo FT 327®, diámetro de 5 mm), (iii) peso de cada fruto utilizando una balanza digital (DeltaRange Mettler PE 3600®), y (iv) distribución porcentual de epidermis, pulpa y semilla, según AOAC 934.01 (AOAC, 2016). Para la evaluación del peso del fruto maduro, se siguió la misma metodología utilizada en los frutos verdes (descrita anteriormente).

Posteriormente de los 20 frutos por árbol se seleccionaron aleatoriamente tres frutos para la caracterización química, para lo cual se extrajeron sus pulpas y se homogeneizaron para tener una muestra compuesta. Luego, a partir de esta muestra se tomó una alícuota de 15 gramos para la determinación por triplicado de la materia seca. Luego, se tomó otra alícuota de 15 gramos para liofilización a  $-40^{\circ}\text{C}$  para la caracterización química de la pulpa en términos de la concentración de ácidos grasos y vitamina E y con otra alícuota se determinó de minerales y composición bromatológica mediante técnicas cromatográficas y espectrometría de absorción atómica, respectivamente. Para los parámetros bromatológicos se utilizaron los siguientes protocolos propuestos por AOAC (AOAC, 2016): humedad (AOAC, 2005), ceniza (AOAC 942.05, 2012), extracto etéreo (AOAC 2003.06, 2012), proteína (AOAC 960.52, 2012) y fibra cruda (método AOAC 2009.01). Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Agrosavia C.I. Tibaitatá.

Las concentraciones de fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), boro (B) y zinc (Zn) se midieron después de una digestión ácida asistida por un horno microondas, con una lectura posterior por espectrometría de emisión de plasma para los macronutrientes (Sánchez-Castillo *et al.*, 1998; Kastenmayer, 1995) y por espectrometría de absorción atómica (Hofman *et al.*, 2002; Albornoz *et al.*, 2008). Finalmente, la concentración de nitrógeno (N) se determinó

por el método Kjeldhal 351.3 (EPA, 1974). Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Agrosavia C.I. Tibaitatá.

La determinación de la concentración de ácidos grasos: palmítico, araquidónico, esteárico, palmitoleico, oleico, linoleico y linolénico, se realizó mediante cromatografía de gases con un inyector split/splitless y un detector de ionización de llama (Albornoz *et al.*, 2008). Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Sustancias Bioactivas de la Universidad de Antioquia. Adicionalmente, se realizó la determinación del contenido de vitamina E mediante una extracción líquido-líquido asistida por ultrasonido con posterior cuantificación mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) con un detector de arreglo de diodos usando el método reportado por AOAC (2016); este análisis se realizó en el Laboratorio de Trazabilidad y Residualidad de la Corporación Universitaria Lasallista ubicado en Caldas- Antioquia, Colombia.

#### **1.4.4 Gestión de datos y análisis estadístico**

Para cada una de las variables evaluadas se obtuvieron las estadísticas de tendencia central, varianza y dispersión. Además, se aplicaron pruebas para verificar los supuestos de varianza, la prueba de Shapiro-Wilk para la normalidad y la prueba de Bartlett para la homogeneidad de las varianzas. Para determinar si había diferencias entre las localidades en cada una de las variables estudiadas, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) a las variables que cumplían con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, seguido de una prueba de rango múltiple de Tukey. Por otro lado, las variables que no cumplieron con estos supuestos fueron sometidas a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ( $P < 0,05$ ).

Para caracterizar y clasificar las localidades se utilizaron dos técnicas de análisis multivariable: análisis factorial (AF) y análisis discriminante (AD). Para el AF se exploraron varios métodos de extracción de factores, seleccionando finalmente el método clásico de factores. Además, se exploraron varios métodos de rotación oblicua y ortogonal, seleccionando el método de rotación ortogonal Varimax. Para determinar el número mínimo de factores necesarios, inicialmente se consideraron los factores con valores propios superiores a uno. Además, fue necesario que la proporción acumulada de la varianza explicada por los factores extraídos fuera superior al 80% para las variables físicas, y para las variables químicas, que la variación biológica de la población estudiada fuera inferior al 30%. Para el AD de variables físicas y químicas se utilizaron relaciones lineales entre las variables continuas para diferenciar entre grupos

categoricos previamente definidos. En este caso, se analizó el comportamiento de todas las variables poscosecha asociadas a la calidad de los frutos en relación con la ubicación de la que procedían. Se eligió el parámetro Lambda-Wilks como criterio para la selección de factores discriminatorios, el cual no debe ser superior a 0,05.

## 1.5 Resultados

### 1.5.1 Variables físicas asociadas a la calidad del aguacate cv. Hass y su relación con las localidades evaluadas

La firmeza, el peso del fruto maduro y el volumen estimado mostraron valores más altos ( $P < 0,05$ ) en las localidades CS, EB y EC, que coincidieron con una mayor elevación; dos de ellas se ubicaron en la región norte de Antioquia. Al mismo tiempo, las localidades de la región del Suroeste (BV e IM) (primera y tercera con menos elevación) presentaron los valores más bajos ( $P < 0,05$ ) para estos parámetros (**Tabla 1-1**). Por otro lado, la densidad aparente mostró ligeras variaciones entre las localidades, donde las fincas BV y CS presentaron valores bajos ( $P < 0,05$ ), y la finca EC (de mayor elevación) fue estadísticamente mayor (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

En cuanto al porcentaje de la epidermis, los valores oscilaron entre 12-15 % dependiendo de la localidad **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), obteniéndose valores más altos ( $P < 0,05$ ) en la localidad IM, que tiene una temperatura más alta, menor humedad relativa y menor elevación que otras fincas. En cuanto al porcentaje de pulpa, se encontraron valores entre 65 y 73 % (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En términos de colorimetría triestímulo, los frutos cultivados en la región Suroeste presentaron valores de  $L^*$  más bajos, lo que representa verdes más oscuros, además de contener tonos azules altos ( $-b^*$ ), en comparación con la coloración de la epidermis de los frutos cultivados en las otras regiones (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Tabla 1-2** Rango de diferentes pruebas estadísticas comparativas para variables físicas del fruto asociadas con parámetros de calidad del aguacate Hass y su relación con las localidades evaluadas. Comparaciones horizontales ( $P < 0,05$ ).

Región (→)	----- Suroeste -----		----- Norte -----		----- Oriente -----				P-valor	Prueba estadística
Variable física (↓)	BV	IM	CS	EB	EC	EG	LA	LE		
Peso del fruto verde (g)	190,5	184,4a	206,0bc	230,4c	217,8c	214,9bc	195,24ab	212,48bc	0	Kruskal-Wallis
Peso del fruto maduro (g)	182,0ab	175a	191,0bcd	211,0b	200,0cd	195,0bcd	186,0abc	198,0abc	1,04E-07	Kruskal-Wallis
Pérdida peso del fruto (%)	4,86	3,33 <sup>a</sup>	7,89cd	8,01d	8,48d	9,75d	4,99b	6,99c	0	Kruskal-Wallis
Volumen estimado (mL)	194,7ab	175,7a	215,19e	217,88c	202,70bc	209,17bc	194,30ab	202,89bc	3,93E-10	Kruskal-Wallis
Densidad aparente (g/mL)	0,99ab	1,04bc	0,9a	1,04bc	1,07c	1,02bc	1,03b	1,04bc	0	Kruskal-Wallis
Firmeza (kgf)	1,76a	2,00b	2,38c	2,70d	1,90b	2,00b	2,10	2,65d	0	Kruskal-Wallis
Epidermis (%)	12,64ab	15,03c	12,17a	13,74bc	12,63ab	12,78ab	15,08c	13,50bc	2,75E-10	Kruskal-Wallis
Semilla (%)	14,58abc	15,23ab	16,04a	16,06abc	16,60bc	17,51cd	18,04d	20,18c	0	Anova+Tukey
Pulpa (%)	65,02bc	68,7b	68,74	69,74b	69,85b	70,22b	71,15a	73,02b	0	Anova+Tukey
L* fruta verde	34,1a	35,25bc	36,44cd	36,82cd	37,04c	37,79c	39,07d	39,08d	0	Anova+Tukey
a* fruta verde	-13,59c	-13,49bc	-12,25a	-12,11b	-12,01b	-11,81bc	-11,38b	-10,79b	0	Anova+Tukey
b* fruta verde	15,25b	17,58b	17,77	18,15cd	18,56bc	19,61bc	20,73bc	21,02d	0	Anova+Tukey

**Nota:** para las fincas IM, CS, EB y EC el n=40; para las fincas LA n=39; para las fincas BV, y EG el n=37 y para la finca LE, el n =36.

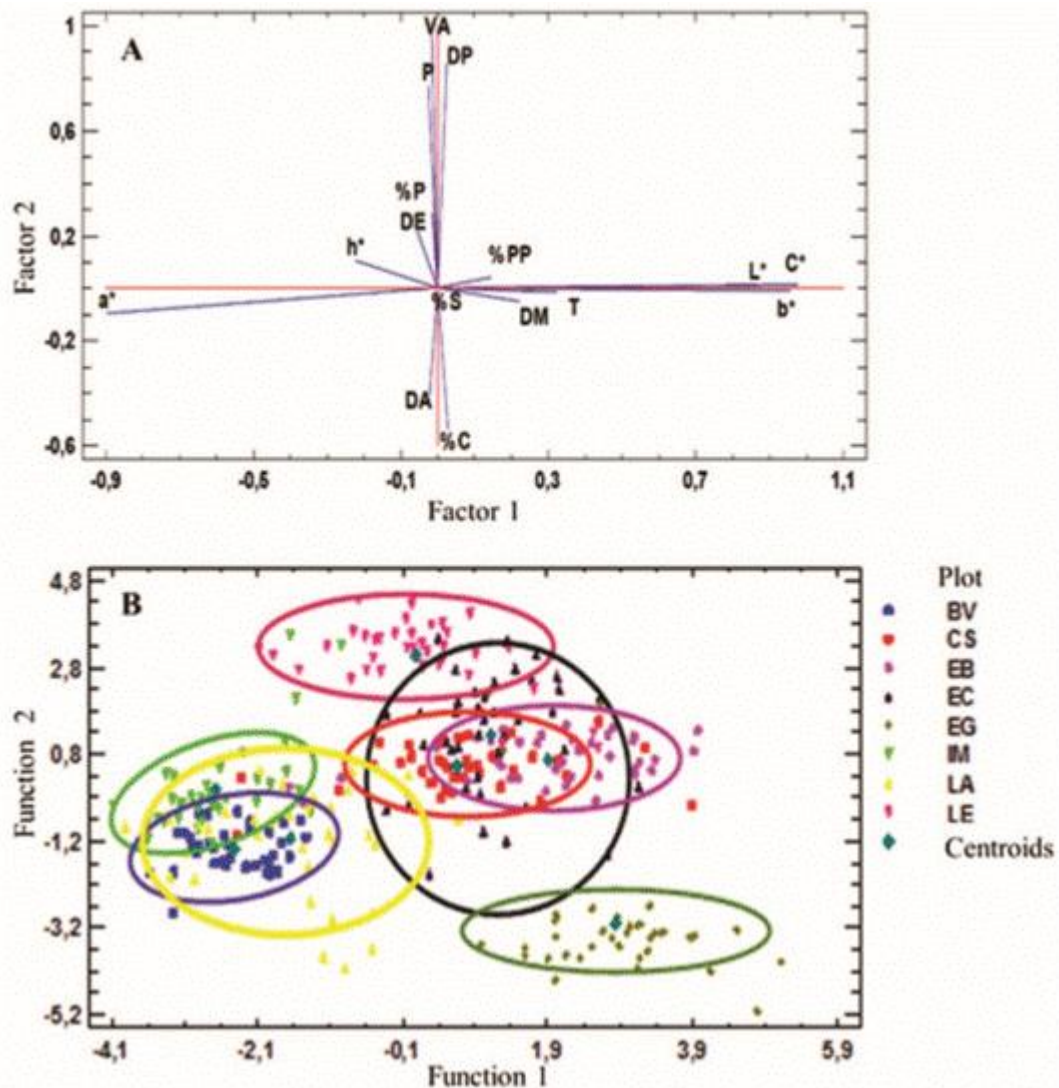


---

El porcentaje de pérdida de peso durante la maduración fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) en frutos que provenían de localidades con bajas temperaturas, humedad muy alta y mayor elevación, con mayor calibre y peso del fruto (**Tabla 1-1, ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La firmeza del fruto maduro tuvo alta variabilidad dentro de las regiones. Sin embargo, se observaron diferencias considerables entre las regiones (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

La **Figura 1-1A** muestra las funciones de los dos factores que se utilizaron para relacionar las variables físicas asociadas con la calidad del aguacate Hass. El factor 1 correspondió a una descripción del color del aguacate y su comportamiento por localidad. Por otro lado, el factor 2 indica una función del calibre, la geometría y el porcentaje de epidermis del fruto. Estas variables fueron fundamentales para explicar la variabilidad de los frutos en la región estudiada. Las funciones discriminantes 1 y 2 mostraron valores de Lambda-Wilks de 0,0058 y 0,0278, respectivamente.

**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** **Figura 1-1B** indica que sólo una localidad es homogénea en términos de características físicas de la fruta; esta alta variabilidad produce agrupaciones por regiones. Los frutos de la región Norte forman un racimo claramente definido. También se detectó un comportamiento similar para los frutos de la región Suroeste (BV, IM). Sin embargo, en esta región, las frutas difieren en el color de la epidermis, pero son similares en términos de calibre, peso y rendimiento. Para la región Oriente, los resultados son diferentes; los frutos de esta región forman racimos individuales para cada localidad (EG y LE). En el caso particular de la localidad LA, los frutos parecen comportarse como si fueran de la región Suroeste, y los frutos de la localidad EC son tan variables en términos de características físicas, que no se puede observar una agrupación clara.



**Figura 1-1** Análisis de factores (A) y gráfico de funciones discriminantes (B) para variables físicas asociadas a la calidad del aguacate cv. Hass y su relación con las localidades evaluadas. % C: Porcentaje de epidermis. % P: Porcentaje de pulpa. T: Textura. L \* a \* b \* C \* H \*: vectores colorimétricos. VA: Volumen aparente. DE: Diámetro ecuatorial. DA: Densidad aparente. % PP: Porcentaje de pérdida de peso. % S: porcentaje del porcentaje de semillas. DP: Diámetro polar. DM: Días hasta la maduración. P: Peso de la fruta.

### 1.5.2 Variables químicas asociadas a la calidad del aguacate cv. Hass y su relación con las localidades evaluadas

La concentración de nitrógeno (N) se comportó de manera constante en las diferentes localidades evaluadas, con la excepción de la localidad IM, donde fue significativamente menor ( $P < 0,05$ ) que en el resto de las localidades. Las concentraciones de fósforo (P) no mostraron diferencias entre localidades de la región Oriente; en las localidades BV y EB, las concentraciones de P se mantuvieron dentro del rango mencionado anteriormente, mientras que las localidades IM y CS tuvieron valores de concentración de P más bajo y alto, respectivamente. Las concentraciones de potasio (K) y calcio (Ca)

no mostraron diferencias ( $P > 0,05$ ) entre ninguna de las localidades. La concentración de magnesio (Mg) presentó la mayor concentración ( $P < 0,05$ ) en localidades del Oriente. Además, las localidades del Norte y Suroeste no mostraron diferencias en sus concentraciones de Mg ( $P > 0,05$ ), y el valor más bajo de Mg ( $P < 0,05$ ) se observó en la localidad IM (**Tabla 1-3**; Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Por otro lado, las concentraciones de sodio (Na) y azufre S no mostraron diferencias ( $P > 0,05$ ) entre las localidades evaluadas. Así mismo, el contenido de hierro (Fe) no mostró diferencias significativas ( $P > 0,05$ ). El contenido de cobre (Cu) mostró diferencias ( $P < 0,05$ ) entre todas las localidades, excepto CE y EG; sin embargo, no hubo una tendencia apreciable de esta variable por localidad o región. La concentración de manganeso (Mn) mostró una concentración estable en la mayoría de las localidades, con excepción de EB, donde presentó valores más altos. La concentración de Zinc (Zn) se distribuyó en dos grupos, BV, CS, EB, EG y LA, que mostraron valores significativamente más altos ( $P < 0,05$ ), mientras que IM, EC y LE tuvieron valores alrededor del 50% más bajos ( $P < 0,05$ ) que los anteriores. Además, la concentración de boro (B) mostró diferencias entre las localidades, las fincas ubicadas en la región Norte fueron significativamente mayores ( $P < 0,05$ ) (**Tabla 1-3**; Error! No se encuentra el origen de la referencia.) Por otro lado, la concentración de ceniza, de extracto etéreo, de proteínas y de vitamina E no mostraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre las localidades. El caso fue diferente para la variable fibra cruda, la cual mostró valores significativamente más altos ( $P < 0,05$ ) en los frutos cultivados en la región Suroeste (BV e IM) (**Tabla 1-34**; Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

De acuerdo con el perfil lipídico, los ácidos palmítico, palmitoleico y esteárico de frutos cultivados en la región Suroeste tuvieron un mayor porcentaje relativo, mientras que los frutos de las regiones Norte y Oriente se comportaron de manera similar entre ellos, para la mayoría de las localidades excepto para la localidad EG, en la que los valores fueron similares a los de la región Suroeste. En cuanto a los ácidos araquidónico y linolénico, así como la suma de ácidos monoinsaturados y poliinsaturados, no hubo diferencias entre localizaciones ( $P > 0,05$ ). Para el ácido oleico, los frutos cultivados en las regiones Norte y Oriente tuvieron valores significativamente más altos ( $P < 0,05$ ) en comparación con los frutos cultivados en las regiones Suroeste. La suma de ácidos saturados mostró un comportamiento constante entre localidades; sin embargo, la localidad IM mostró diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) con valores 30% superiores a las otras localidades. En cuanto a la relación ácidos saturados/insaturados, no hubo diferencia significativa ( $P > 0,05$ ) entre la mayoría de las localidades, con excepción de

los frutos de la localidad IM y el CE (**Tabla 1-35**);Error! No se encuentra el origen de la referencia.

**Tabla 1-3** Prueba de rango múltiple para los minerales del fruto maduro asociadas a la calidad del aguacate Hass y su relación con las localidades evaluadas en la cosecha principal 2016. Comparaciones horizontales.

Región (→)	----- Suroeste -----		----- Norte -----		----- Oriente -----				P-valor
Variable química (↓)	BV	IM	CS	EB	EC	EG	LA	LE	
N (g/kg)	9,3ab	6,6a	9,9b	8,3ab	8,2ab	9,4ab	9,5ab	7,3ab	0,0245
P (g/kg)	1,3abc	0,8a	2,0d	1,5cd	1,1abc	1,4bc	1,1abc	0,8ab	0,0007
K (g/kg)	13,0a	13,1a	16,9a	15,0a	14,5a	14,0a	16,1a	14,4a	0,22412
Ca (g/kg)	1,9a	0,4a	0,3a	0,5a	0,4a	0,5a	0,6a	0,7a	0,4551
Mg (g/kg)	0,9abc	0,7a	1,1bc	0,9abc	0,9abc	0,8ab	1,2c	1,1bc	0,0098
Na (g/kg)	0,03a	0,03a	1,14a	0,03a	0,03a	0,03a	0,03a	0,03a	0,4934
S (g/kg)	1,3a	1,2a	1,1a	1,3a	1,2a	1,5a	1,4a	1,0a	0,2589
Fe (mg/kg)	22,24a	15,00a	27,31a	18,91a	15,00a	17,37a	24,07a	18,58a	0,1487
Cu (mg/kg)	6,64c	3,00a	9,28d	5,36bc	3,00a	3,42ab	6,47c	3,99ab	<0,0001
Mn (mg/kg)	10,99a	3,37a	8,11a	19,43a	3,40a	3,92a	5,92a	5,44a	0,054
Zn (mg/kg)	23,73e	10,21a	25,32c	20,54bc	13,31ab	21,48bc	21,21bc	13,45ab	0,0019
B (mg/kg)	11,73a	12,66a	79,35c	46,96bc	24,30ab	12,57a	20,46a	16,39a	0,0139

**Nota:** Para cada finca el n=6.

**Tabla 1-4** Prueba de rango múltiple para las variables bromatológicas y vitamina E asociadas a la calidad del fruto de aguacate Hass y su relación con las localidades evaluadas en la cosecha principal 2016. Comparaciones horizontales

Región (→)	----- Suroeste -----		----- Norte -----		----- Oriente -----				P-valor
Variable química (↓)	BV	IM	CS	EB	EC	EG	LA	LE	
Cenizas (g/kg)	115,8a	107,2a	131,2a	87,3a	106,3a	113,7a	110,9a	101,1a	0,3434
Proteína (g/kg)	58,0a	42,7a	61,9a	52,0a	51,1a	56,3a	59,3a	45,6a	0,0585
Fibra cruda (g/kg)	270,2b	242,1cd	194,7a	211,1abc	207,7ab	209,4b	222,5abc	235,2bc	0,0003
Extracto etéreo (g/kg)	622,1a	651,3a	627,6a	645,0a	647,4a	651,4a	610,8a	630,2a	0,116

**Nota:** Para cada finca el n=6.

**Tabla 1-5** Prueba de rango múltiple para los ácidos grasos del fruto maduro asociadas a la calidad del fruto de aguacate Hass y su relación con las localidades evaluadas en la cosecha principal 2016. Comparaciones horizontales

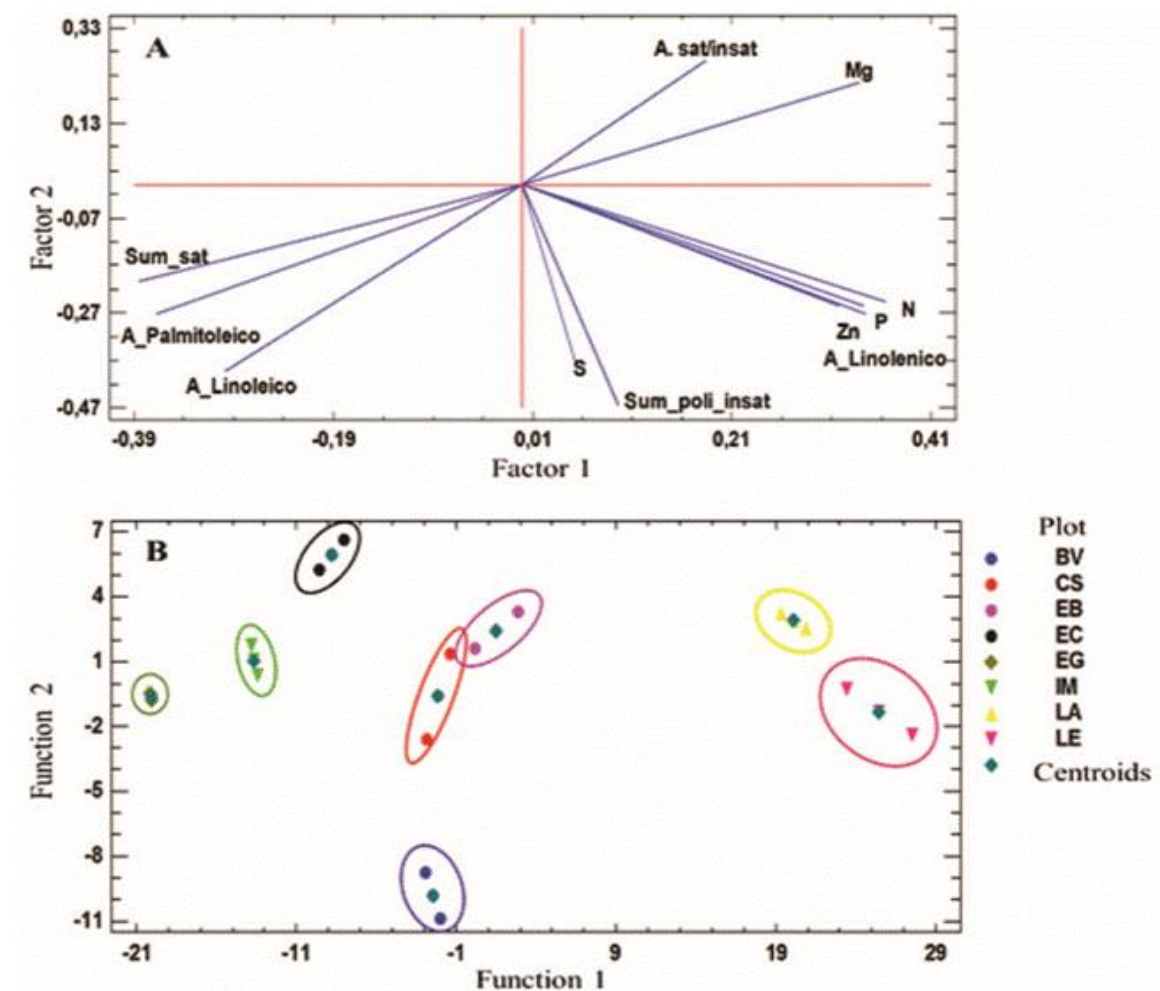
Región (→)	----- Suroeste -----		----- Norte -----		----- Oriente -----				P-valor
Variable química (↓)	BV	IM	CS	EB	EC	EG	LA	LE	
Vitamina E (g/kg DB)	1,72a	2,1a	0,7a	1,6a	1,3a	1,1a	1,2a	0,7a	0,1516
Ácido palmítico (%R)	18,14ab	25,34c	12,70a	13,71a	12,58a	20,46bc	15,76ab	15,84ab	0,0212
Ácido palmitoleico (%R)	9,81d	12,85e	5,92ab	5,53ab	4,55a	9,65cd	7,62bcd	6,91abc	0,0022
Ácido esteárico (%R)	0,19cd	0,24d	0,10ab	0,13abc	0,16bc	0,09a	0,11ab	0,13abc	0,0067
Ácido oleico (%R)	55,13ab	46,20a	68,46c	68,98c	71,20c	53,81ab	62,46bc	65,41bc	0,0218
Ácido araquidónico (%R)	0,83a	0,65a	0,74a	0,71a	0,68a	0,80a	0,71a	0,63a	0,6347
Ácido linoleico (%R)	5,91d	5,04cd	4,30abc	3,34ab	3,26a	4,77bcd	4,65abcd	3,71abc	0,0291
Ácido linolénico (%R)	10,01a	9,70a	7,79a	7,62a	7,58a	10,45a	8,71a	7,38a	0,3016
Sum ácidos g.saturados (%R)	18,34ab	25,57c	12,81a	13,84a	12,71a	20,55bc	15,87ab	15,97ab	0,0203
Sum ácidos g. mono-insaturados (%R)	64,93a	59,05a	74,38a	75,51a	75,75a	63,44a	70,08a	72,31a	0,0541
Sum ácidos g poli-insaturados (%R)	12,39ab	11,51b	14,36ab	16,45ab	14,97ab	19,07b	13,19ab	9,58a	0,0302
Relación saturados / insaturados	0,45cd	0,30a	0,33ab	0,43bcd	0,47d	0,35abc	0,37abcd	0,45cd	0,0012

DB = Porcentaje en base seca; %R = Porcentaje relativo entre los ácidos grasos. **Nota:** Para cada finca el n=6.

---

En la **Figura 1-2A**, el análisis discriminante muestra una estrecha relación entre la concentración de ácido linolénico y las concentraciones de N, Zn y P, así como una relación entre la concentración de ácidos grasos poliinsaturados y las concentraciones de S en frutos de aguacate. Así mismo, se detectó una relación estrecha entre la concentración de Mg y la relación de ácidos saturados/insaturados. Las funciones discriminantes 1 y 2 mostraron valores de Lambda-Wilks de 1,2394\* y 3,6213\*, respectivamente. Esto indica que con un 95% de confianza, estas dos funciones tienen la capacidad de discriminar los frutos de aguacate en función de variables químicas y su región origen. Las variables con mayor poder discriminante fueron la concentración de Zn, S, Mg, N, P, ácido linoleico, ácido linolénico y ácido palmítico, así como la relación ácidos grasos saturados/insaturados, la suma de ácidos grasos poliinsaturados y la suma de ácidos grasos saturados (**Figura 1-2A**).

Por otro lado, la formación de cúmulos por localidades se puede observar en la **Figura 1-2B**. Los frutos de las localidades EB y CS (Región Norte) forman un grupo definido, con relaciones variables químicas similares entre estas localidades. Por otro lado, la separación de las otras localidades de una misma región significa que en términos de la composición química del fruto, los frutos de las regiones Suroeste y Oriente no son similares dentro y entre ellos.



**Figura 1-2** 1 gráfico de funciones discriminantes (B) para variables de calidad química asociadas a la calidad del aguacate cv. Hass y su relación con las localidades evaluadas. A Sat/insat: proporción de ácidos grasos saturados/insaturados. Sum\_sat: suma de ácidos grasos saturados. Sum\_poli\_insat: Suma de ácidos grasos poliinsaturados. A\_Palmitoleico: concentración de ácido palmitoleico. A\_Linoleico: concentración de ácido linoleico. A\_Linolenico: concentración de ácido linolénico. Mg: Concentración de magnesio en la fruta. N: Concentración de nitrógeno en frutas. P: Concentración de fósforo en fruta. Zn: concentración de (Zn) en fruto. S: Concentración de azufre en la fruta.

## 1.6 Discusión

Los resultados de esta investigación validan la hipótesis de que los parámetros asociados a la calidad física-química del fruto del aguacate cv. Hass es afectada por la oferta edafambiental de la localidad en donde se cultiva la fruta.



En cuanto a las variables asociadas al tamaño y volumen del fruto, se encontró que las fincas plantadas a mayor elevación mostraron un mejor desempeño en términos de calidad, con un mayor porcentaje de calidad extra. Esto debe ser un factor diferenciador de los sistemas de producción cultivados bajo esta condición ambiental, ya que los rendimientos se pueden comparar con otras regiones donde la elevación es menor. Adicionalmente, la calidad extra de los frutos puede estar asociada a la posible influencia del manejo diferencial en las fincas evaluadas y al nivel de infestación de plagas y patologías como el complejo de marchitez del aguacate, que afecta dramáticamente la cantidad y calidad producida (Torres-Jaimes *et al.*, 2015; Salazar-García *et al.*, 2016b; Ramírez-Gil *et al.*, 2017).

En el caso del rendimiento de la epidermis, los resultados encontrados son comparables a los reportados en algunas localidades de México, con valores entre 12,3-16,6 % (Salazar-García *et al.*, 2016a) y con pocas variaciones en comparación con otras regiones de Colombia (Buelvas Salgado *et al.*, 2012). En general, el porcentaje de epidermis presentó los valores más bajos en elevaciones más altas, lo que indica que el fruto de aguacate cv. Hass tiende a engrosar su epidermis para reducir la pérdida de agua en climas más cálidos, normalmente con condiciones de humedad relativa más bajas a menor elevación (Salazar-García *et al.*, 2016a).

Los rendimientos de pulpa en todas las localidades fueron superiores a los reportados en Jalisco, Michoacán y Nayarit (México) con valores de 60,3, 59,2 y 58,7%, respectivamente (Salazar-García *et al.*, 2016b). En este sentido, para las áreas de cultivo en Colombia con elevaciones por encima de los 1770 m.s.n.m., el contenido de pulpa es superior al promedio internacional (64-70%), mientras que en elevaciones más bajas disminuye significativamente a contenidos cercanos al 63%. Con base en estos resultados, se puede inferir que el peso de la fruta y el contenido de pulpa disminuyen a una elevación más baja.

En cuanto al color del fruto en la cosecha, este valor fue diferente entre las localidades estudiadas, y al parecer, no estuvo directamente relacionado con ninguna otra variable física o ambiental. Este resultado confirma las teorías de diversidad y ambigüedad de variables de cosecha y poscosecha en frutas tropicales, factor que posiblemente esté afectando su calidad final (Heno – Rojas & Rodríguez, 2016; Astudillo y Rodríguez, 2018).

Las relaciones entre el color del fruto, las variables geométricas, el porcentaje de pulpa y semilla, y la pérdida de peso durante la maduración se agruparon en dos funciones con capacidad de discriminar los frutos de aguacate en relación con su origen. Estas diferencias entre regiones pueden deberse a condiciones ambientales y edáficas, entre otras (Salazar-García *et al.*, 2016b; Hernández *et al.*, 2016), y al manejo y las características genéticas del portainjerto (Hernández *et al.*, 2016; Ramírez-Gil *et al.*, 2017).

Valores estadísticamente diferentes ( $P < 0,05$ ) en la concentración de elementos químicos de frutos de aguacate de diferentes áreas de cultivo indican una variabilidad importante en términos de composición química de la fruta y valores nutricionales bajo manejo previo a la cosecha. En este sentido, la concentración de N puede afectar la calidad de los frutos, ya que la asimilación de Ca disminuye en presencia de cantidades excesivas de este elemento. Esto reduce la calidad en función del almacenamiento poscosecha de frutos, aumentando la heterogeneidad de maduración (Hernández *et al.*, 2016; Hernández *et al.*, 2017), y juega un papel importante en la susceptibilidad a patologías en poscosecha (Willingham *et al.*, 2006). Del mismo modo, la concentración de Ca y sus relaciones con otros nutrientes como el K y el N tienen un efecto significativo en el ablandamiento poscosecha y, por lo tanto, en la firmeza de la fruta, que es un factor primario para la preferencia del consumidor (Witney *et al.*, 1990). Elementos como Mn y Mg suelen ser cofactores importantes de enzimas para una adecuada maduración e hidrólisis de carbohidratos y lípidos, lo que puede conferir ciertos atributos que pueden ser resaltados en las frutas colombianas.

El perfil de ácidos grasos encontrado en los frutos de aguacate estuvo altamente relacionado con la región biogeográfica donde se encontraban las fincas. Esta es la razón por la que fue seleccionado como biomarcador para determinar áreas para el desarrollo de esta fruta (Donetti & Terry, 2014; Ferreyra *et al.*, 2016; Tan *et al.*, 2017). La mayoría de las localidades estudiadas superaron los estándares internacionales en parámetros de calidad precosecha de frutos de aguacate, con excepción de los valores de ácido palmítico, que mostraron valores por debajo de los reportes internacionales (20-25%) en todas las fincas (Donetti & Terry, 2014; Takenaga y otros, 2008; Tan *et al.*, 2017). La cantidad de ácidos grasos en las frutas de aguacate, especialmente del tipo insaturado, es importante ya que estos ácidos se han asociado con una disminución en el riesgo de enfermedades

cardiovasculares, control de peso y tratamiento de hiperlipidemias (Pérez-Méndez & García-Hernández, 2007; Rodríguez-Sánchez y otros, 2015; Monika y Geetha, 2015). Además, estos ácidos son determinantes de la calidad y están especialmente relacionados con el sabor.

Al igual que en el caso de los hallazgos para las variables físicas, las propiedades químicas se agruparon por localidades. Es por esto por lo que es necesario conocer los factores edáficos y ambientales y establecer las prácticas agronómicas que puedan favorecer factores químicos deseables en ambientes tropicales como el observado en Colombia.

Los resultados encontrados en este estudio muestran dos aspectos importantes que deben ser tomados en cuenta por la industria colombiana del aguacate. El primer aspecto está asociado con los parámetros físicos, químicos y nutricionales. Estos parámetros muestran que la fruta producida en las regiones de Antioquia, Colombia, tiene altos estándares de calidad. Este puede ser un factor de diferenciación del producto al que se podría acceder a través de nichos de mercado especializados en productos de alta calidad, y tratando de mejorar otras características de precosecha, cosecha y poscosecha que determinan la calidad de la fruta (Pedreschi *et al.*, 2016; Ferreyra *et al.*, 2016; Hernández *et al.*, 2016; Tan *et al.*, 2017). Como segundo factor de importancia fue posible observar una marcada diferenciación en la calidad del fruto bajo las condiciones edáficas, ambientales y de manejo de las fincas evaluadas. Esta diferenciación puede ser una alternativa para mejorar la rentabilidad de algunos sistemas productivos, especialmente aquellos situados a alturas superiores a los 2.300 m de altitud. En estas áreas, los rendimientos son más bajos, pero se obtienen mejores estándares de calidad en comparación con las fincas ubicadas en elevaciones más bajas. Por esta razón, se podrían desarrollar modelos de producción con la denominación de "aguacates especiales".

La calidad final del fruto no solo depende de factores precosecha como los evaluados en este estudio, ya que existen una serie de interacciones y prácticas de manejo durante el desarrollo del fruto, la cosecha y poscosecha que pueden alterar algunas características del fruto (Hernández *et al.*, 2016). Por lo tanto, se recomienda realizar los estudios pertinentes con el fin de determinar mejores estrategias para mantener la calidad del fruto.

## 1.7 Conclusiones

La calidad física-química de los frutos aguacate cv. Hass cultivadas en los trópicos son similares o superiores a las reportadas para otras áreas productoras en todo el mundo. Además, se pueden observar relaciones estadísticas entre localidad y calidad. Por ejemplo, sobresalen el volumen aparente de la fruta asociado a la mayor elevación, el color asociado a menor elevación y el grosor de la epidermis que es menor a mayor elevación. Así mismo, se resalta que el contenido de ácidos grasos y su distribución relativa cambian entre las fincas, los monoinsaturados tienden a estar en mayor concentración a mayor elevación. Los resultados también indican que hay diferencias significativas en el contenido de nutrientes (N, P, B, Zn, Ca, Cu) entre las fincas, independiente de la región, lo cual sugiere que podrían asociarse a las condiciones edafo-ambientales propias de estas fincas o al manejo establecido en cada una de ellas.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia por su valioso papel como co-ejecutor en esta investigación.

## 1.8 Bibliografía

Astudillo C & Rodríguez P (2018) Parámetros fisicoquímicos del aguacate *Persea americana* Mill. cv. Hass (Lauraceae) producido en Antioquia (Colombia) para exportación. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19:393-402.

Buelvas Salgado GA, Patiño Gómez JH & Cano-Salazar JA (2012) Evaluation of the oil extraction from Hass avocado (*Persea americana* Mill) by the use of an enzymatic treatment. *Revista Lasallista de Investigación*, 9:138-150.

Bost JB, Smith NJH & Crane JH (2013) History, distribution and uses. The avocado: botany, production and uses. Wallingford, CABI Publishing. 416p.

Burdon J, Connolly P, de Silva N, Lallu N, Dixon J & Pak H (2013) A meta-analysis using a logit non-linear mixed effects model for 'Hass' avocado postharvest performance data. *Postharvest Biology and Technology*, 86:134-140.

Carvalho CP, Bernal-Estrada J, Velásquez MA & Cartagena-Valenzuela JR (2015) Fatty acid content of avocados (*Persea americana* Mill. cv. Hass) in relation to orchard altitude and fruit maturity stage. *Agronomía Colombiana*, 33:220-227.

Carvalho CP, Velásquez MA & Rooyen ZV (2014) Determination of the minimum dry matter index for the optimum harvest of “Hass” avocado fruits in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32:399-406.

Donetti M & Terry L (2014) Biochemical markers defining growing area and ripening stage of imported avocado fruit cv. Hass. *Journal of Food Composition and Analysis*, 34:90-98.

EPA (1974) Method 351.3: Nitrogen, Kjeldahl Total (Colorimetric; Titrimetric; Potentiometric). Available at: <[https:// www.umass.edu/mwwp/pdf/epa351\\_3Norg.pdf](https://www.umass.edu/mwwp/pdf/epa351_3Norg.pdf)>. Accessed on: July 06th, 2018.

Rooyen Gamble J, Harker FR, Jaeger SR, White A, Bava C, Beresford M, Stubbings B, Wohlers M, Hofman PJ, Marques R & Woolf A (2010) The impact of dry matter, ripeness and internal defects on

consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase. *Postharvest Biology and Technology*, 57:35-43.

Henao-Rojas J & Rodríguez P (2016) Evaluation of color during avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass) ripening. *Agronomía Colombiana*, 31:876-879.

Hernández I, Fuentealba C, Olaeta JA, Lurie S, Defilippi BG, Campos-Vargas R & Pedreschi R (2016) Factors associated with postharvest ripening heterogeneity of ‘Hass’ avocados (*Persea americana* Mill). *Fruits*, 71:259-268.

Hernández I, Fuentealba C, Olaeta JA, Poblete-Echeverría C, Defilippi BG, González-Agüero M, Campos-Vargas R, Lurie S & Pedreschi R (2017) Effects of heat shock and nitrogen shock pre-treatments on ripening heterogeneity of Hass avocados stored in controlled atmosphere. *Scientia Horticulturae*, 225:408-415.

Hofman PJ, Vuthapanich S, Whiley AW, Klieber A & Simons DH (2002) Tree yield and fruit minerals concentrations influence 'Hass' avocado fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 92:113-123.

Monika P & Geetha A (2015) The modulating effect of *Persea americana* fruit extract on the level of expression of fatty acid synthase complex, lipoprotein lipase, fibroblast growth factor21 and leptin—A biochemical study in rats subjected to experimental hyperlipidemia and obesity. *Phytomedicine*, 22:939-945.

Naik M, Meher LC, Naik SN & Das LM (2008) Production of biodiesel from high free fatty acid Karanja (*Pongamia pinnata*) oil. *Biomass and Bioenergy*, 32:354-357.

AOAC (2016) Official Methods of Analysis. 20th Edition. Gaithersburg, AOAC international. 3172p.

AOAC (2005) Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition. Gaithersburg, AOAC International.

Pedreschi R, Hollak S, Harkema H, Otma E, Robledo P, Westra E, Somhorst D, Ferreyra R & Defilippi BG (2016) Impact of postharvest ripening strategies on 'Hass' avocado fatty acid profiles. *South African Journal of Botany*, 103:32–35.

Pérez-Méndez O & García-Hernández L (2007) High-density lipoproteins (HDL) size and composition are modified in the rat by a diet supplemented with "Hass" avocado (*Persea americana* Miller). *Archives of Cardiology Mexicana*, 77:17-24.

Ramírez-Gil JG, Gilchrist Ramelli E & Morales Osorio JG (2017) Economic impact of the avocado (cv. Hass) wilt disease complex in Antioquia, Colombia, crops under different technological management levels. *Crop Protection*, 101:103-115.

Ramírez-Gil JG, Morales JG & Peterson AT (2018) Potential geography and productivity of "Hass" avocado crops in Colombia estimated by ecological niche modeling. *Scientia Horticulturae*, 237:287-295.

Ramírez-Gil JG & Morales-Osorio JG (2018) Microbial dynamics in the soil and presence of the avocado wilt complex in plots cultivated with avocado cv. Hass under ENSO phenomena (El Niño – La Niña). *Scientia Horticulturae*, 240:273-280.

Rodríguez-Sánchez DG, Flores-García M, Silva-Platas C, Rizzo S, Torre-Amione G, De la Peña-Díaz A, Hernández-Brenes C & García-Rivas G (2015) Isolation and chemical identification of lipid derivatives from avocado (*Persea americana*) pulp with antiplatelet and antithrombotic activities. *Food Function*,

Salazar-García S, Medina-Carrillo RE & Álvarez-Bravo A (2016<sup>a</sup>) Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate 'Hass.' *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2565-2575.

Salazar-García S, Medina-Carrillo RE, Álvarez-Bravo A, Salazar-García S, Medina-Carrillo RE & Álvarez-Bravo A (2016<sup>b</sup>) Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7:277-289.

Sánchez-Castillo CP, Dewey PJS, Aguirre A, Lara JJ, Vaca R, de la Barra PL, Ortiz M, Escamilla I, Philip W & James WPT (1998) The Mineral Content of Mexican Fruits and Vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 11:340-356.

Takenaga F, Matsuyama K, Abe S, Torii Y & Itoh S (2008) Lipid and fatty acid composition of mesocarp and seed of avocado fruits harvested at northern range in Japan. *Journal of Oleo Science*, 57:591-597.

Tan C, Tan S & Tan S (2017) Influence of geographical origin on the physiological properties of Hass avocado oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94:1431-1437.

Torres-Jaimes LF, Cartagena-Valenzuela JR, Correa-Londoño GA, Monsalve-García DA & Londoño-Zuluaga ME (2015) Relación entre la presencia y el daño de *Monalonion velezungeli* Carvalho & Costa y algunos factores climáticos en cultivos de aguacate cv. Hass. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 1:7985.

Willingham SL, Pegg KG, Anderson JM, Cooke AW, Dean JR, Giblin FR & Coates LM (2006) Effects of rootstock and nitrogen fertiliser on postharvest anthracnose development in Hass avocado. *Australasian Plant Pathology*, 35:619-629.

Witney GW, Hofman PJ & Wolstenholme BN (1990) Effect of cultivar, tree vigour and fruit position on calcium accumulation in avocado fruits. *Scientia Horticulturae*, 44:269-278.



## **2. Capítulo: Variación edafo-ambiental y estacionalidad de la cosecha como factores determinantes de la calidad del aguacate cv. Hass en Antioquia**

### **2.1 Objetivo**

Establecer la relación de los factores edáficos y ambientales con los parámetros de calidad asociados a la concentración de compuestos nutricionales en regiones productoras de aguacate cv. Hass en Antioquia, Colombia.

### **2.2 Resumen**

El incremento del área sembrada con aguacate cv. Hass en Colombia y el desconocimiento de las relaciones entre variables edáficas y ambientales con factores asociados con su calidad promovieron la realización de la presente investigación. El objetivo fue establecer la relación de los factores edáficos y ambientales con parámetros de calidad asociados a la concentración de compuestos nutricionales en regiones productoras de aguacate cv. Hass en Antioquia, Colombia. Esta investigación se realizó en ocho fincas localizadas en tres regiones productoras (Norte, Oriente y Suroeste de Antioquia). Se evaluó la relación entre los datos de calidad nutrimental de frutos de aguacate (composición bromatológica, ácidos grasos, elementos minerales y vitamina E) cosechados en la cosecha principal del año 2016 y la cosecha traviesa del 2017 y variables climáticas y edáficas para la misma serie de tiempo. Para esto, se emplearon herramientas de estadística descriptiva, inferencial, análisis multivariado y la estacionalidad de cosecha (principal y traviesa) y las regiones donde se ubicaron los lotes. Los resultados permitieron establecer una relación entre la calidad nutricional con la altitud, la temperatura mínima, media y máxima, la precipitación y algunas variables del suelo. Igualmente, se logró identificar mediante una

---

metodología estadística robusta parámetros asociados a la calidad diferencial permitiendo proponer el origen de la fruta como un factor diferenciador de calidad. Este trabajo aporta información de utilidad para la cadena de valor al permitir identificar mejores criterios para seleccionar de áreas para la siembra de aguacate cv. Hass según las expectativas de mercado y la calidad nutricional.

**Palabras claves:** ácidos grasos, altitud, calidad de origen, cadena de valor, minerales, variables ambientales.

## 2.3 1.7 Introducción

El aguacate cv. Hass (*Persea americana* Mill.) es una de las frutas de mayor incremento en su demanda en el mundo en los últimos años. Entre los años 2009 y 2018, la tasa de crecimiento promedio fue del 14%, siendo Estados Unidos y la Unión Europea los principales compradores (OECD/FAO, 2021). En 2020, a nivel mundial Colombia se convirtió en el tercer país en área cultivada con aguacate y el cuarto en volumen de producción (FAO, 2019). Según Procolombia (2022) durante el 2021 Colombia exportó en aguacate cv. Hass 99.000 toneladas, lo cual representa un incremento del 20% con respecto al 2021, y ventas por valor de US\$ 206.6 millones, 61% más que el año anterior.

El alto dinamismo en la demanda mundial de aguacate está siendo estimulado por el cambio en las tendencias de los consumidores, quienes buscan acceder a los beneficios asociados a temas de salud que reporta el consumo habitual de esta fruta, la cual ha sido asociada recientemente al concepto de “hábitos de consumo para vida saludable” (Ramírez-Gil *et al.*, 2019). Esto se ha relacionado principalmente con el alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados, carotenoides y vitamina E (Pedreschi *et al.*, 2019; Villa-Rodríguez *et al.*, 2011). Además, el aguacate es una importante fuente de ácido fólico (Noorul *et al.*, 2016), fibra, y elementos como potasio, magnesio, vitamina A, vitamina C, vitamina K, vitamina B6, entre otros (Dreher & Davenport, 2013).

Por este motivo, la calidad del fruto de aguacate necesita ser entendida desde múltiples factores ya que cambia en función del eslabón de la cadena de valor que lo percibe. Es así como el productor, empacador, comercializador y consumidor pueden presentar conceptos y percepciones diferentes de calidad en función de aspectos económicos, comerciales,

---

nutricionales e incluso estéticos y emocionales, dichos parámetros pueden ser tanto objetivos como subjetivos (Milne, 1997; Migliore *et al.*, 2017; Ramírez-Gil *et al.*, 2019). Una definición unificada del concepto de calidad es altamente compleja (Migliore *et al.*, 2017, Ramírez-Gil *et al.*, 2019) y debe considerar múltiples parámetros dentro de la cadena de valor en función de su importancia (Dreher & Davenport, 2013).

En términos generales, en la calidad se pueden identificar características intrínsecas definidas por las labores realizadas en toda la cadena de valor, asociados a la genética del cultivar, las condiciones agroambientales de desarrollo del cultivo y las prácticas de cosecha y postcosecha, además de características extrínsecas influenciadas por factores socioeconómicos y de comercialización que condicionan la percepción del consumidor (Kyriacou & Rouphael, 2018; Ramírez-Gil *et al.*, 2019). Es por esto, que la producción de aguacate en los últimos años se ha enfocado en mejorar los parámetros de calidad asociados a características fisicoquímicas, nutracéuticas, estéticas, organolépticas y de inocuidad (Donetti & Terry, 2014; Ferreyra *et al.*, 2016; Kyriacou & Rouphael, 2018)

Esta tendencia busca incursionar en el concepto de producto de origen (Henao-Rojas *et al.*, 2019), mediante la selección de zonas productoras con características edáficas y ambientales particulares que permitan el incremento de la competitividad en los mercados objetivos, al ofrecer un fruto con mayores atributos de calidad (Carvalho *et al.*, 2015; Migliore *et al.*, 2017; Henao-Rojas *et al.*, 2019).

Estudios recientes han encontrado que la concentración de ácidos grasos está altamente influenciada por el origen de la producción (Tan *et al.*, 2017). A pesar de la importancia comercial de estos parámetros de calidad para el caso del trópico no existen estudios que permitan conocer de forma detallada cuáles son las variables edáficas y ambientales y parámetros antrópicos de los sistemas de producción que presentan influencia en su concentración nutricional (Henao-Rojas *et al.*, 2019). Existen reportes que expresan que en frutos de aguacate cv. Hass cultivados entre los 1,400 y los 2,600 m de elevación tienen diferentes concentraciones de ácidos grasos y características fisicoquímicas determinantes de calidad (Carvalho *et al.*, 2015; Ramírez-Gil *et al.*, 2018; Henao-Rojas *et al.*, 2019). Este perfil altitudinal presenta una enorme fuente de variabilidad en la oferta ambiental para zonas tropicales (Carvalho *et al.*, 2015) y además hay una variación edáfica

---

que generan nichos ecológicos con respuestas diferenciales en variables de producción y calidad en el aguacate cv. Hass (Ramírez-Gil *et al.*, 2018).

Para la presente investigación se utilizará la definición de calidad nutricional que es directamente proporcional a la mayor concentración de parámetros bromatológicos, macronutrientes, micronutrientes y ácidos grasos (Pepin *et al.*, 2015). Este concepto se asocia a los múltiples beneficios que para la salud tiene el consumo regular de los ácidos grasos insaturados provenientes de esta fruta (Fulgoni *et al.*, 2013; Rivera *et al.*, 2017; Santana *et al.*, 2019; Henao-Rojas *et al.*, 2019).

La justificación para realizar esta investigación se basa en la necesidad de información clara y concisa para la toma de decisiones relacionadas con la selección de las zonas productoras y la búsqueda de criterios para incrementar la calidad del aguacate cv. Hass colombiano, así como la aplicación del concepto de “aguacate de origen”. Se espera con esto aportar al impulso de la industria alimentaria de productos agrícolas con alto valor agregado, su utilización en la industria cosmética y de productos naturales, además de entregar elementos para que empresarios e inversionistas agrícolas y agroindustriales del campo puedan identificar áreas con potenciales biomarcadores de origen.

La hipótesis de esta investigación fue que la calidad de la pulpa del fruto de aguacate cv. Hass es afectada por factores edáficos y ambientales, adicionalmente, cambia por aspectos espaciales (región de ubicación del lote) y la estacionalidad de la cosecha (principal y traviesa). Estos factores influyen en formas diversas sobre la concentración de macro y micronutrientes, así como en la proporción de los ácidos grasos y los compuestos bromatológicos. Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue establecer la relación de los factores edáficos y ambientales con parámetros de calidad asociados a la concentración de compuestos nutricionales en tres regiones productoras de aguacate cv. Hass en Antioquia, Colombia.

---

## 2.4 Materiales y métodos

### 2.4.1 Localización

Los frutos utilizados en la determinación de las concentraciones bromatológicas, ácidos grasos, minerales y vitamina E, se cosecharon en ocho fincas que cultivan aguacate cv. Hass certificadas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) como predios exportadores. Las fincas se ubicaron en tres regiones del departamento de Antioquia (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el municipio de Jardín. En el Norte Antioqueño dos fincas: Cantabria de la Sierra (CS) y El Banco (EB) en el municipio de San Pedro de Los Milagros **Tabla 1-1** **Tabla 2-1** Localización y condiciones climáticas de las fincas evaluadas en las subregiones Norte, Oriente y Suroeste del departamento de Antioquia durante el periodo de desarrollo de los frutos en las cosechas principal 2016b y travesía 2017a..

En cada finca, se seleccionaron dos árboles con fenología conocida, análisis de suelos, sin presencia visible de plagas y enfermedades. De cada árbol, se cosecharon 25 frutos por cosecha con calibre entre 18 - 20 (es decir entre 184 y 243 g), rango donde se presenta mayor demanda en el mercado internacional para Colombia. Estos frutos fueron cosechados en los periodos 2016b y 2017a asociados a dos tipos de cosechas (“principal” y “travesía”) con un contenido promedio de materia seca del 23,5%, según el método oficial de análisis reportado por la AOAC (2016), con el fin de garantizar un correcto proceso de maduración (Carvalho *et al.*, 2014). Los frutos fueron rotulados en una bolsa de papel y entregados al Laboratorio de Postcosecha en el Centro de Investigación La Selva de Agrosavia, en Rionegro, Antioquia con un intervalo máximo de 24 horas.

**Tabla 2-1** Localización y condiciones climáticas de las fincas evaluadas en las subregiones Norte, Oriente y Suroeste del departamento de Antioquia durante el periodo de desarrollo de los frutos en las cosechas principal 2016b y travesía 2017a.

Región	Localidad	Elevación (m)	Latitud	Longitud	Temperatura (°C)			HR (%)	RSA (W m <sup>-2</sup> )
					Max	Media	Min.		
Suroeste	IM	1753	06°012'423''	75° 402'423''	32,7	21,6	6,9	69,2	417,7
	BV	2027	05°352'533''	75° 482'193''	29,8	18,4	12,3	81,5	387,5
Norte	CS	2396	06°029'433''	75° 312'133''	27,2	15,4	2,5	79,8	438,2
	EB	2453	06°292'263''	75° 312'283''	24,2	15,3	3,7	77,3	421,9
Oriente	EC	2448	06°012'423''	75°272'253''	26,9	15,6	3,6	76,6	433,4
	LA	2009	06°012'423''	75° 132'593''	30,4	18,7	8,6	78,0	480,8
	LE	2168	06°052'563''	75° 432'133''	28,4	17,3	5,8	81,3	333,5
	EG	2288	06°022'513''	75° 292'423''	27,4	16,0	2,7	82,6	436,3

\*HR= Humedad Relativa; \*\*RSA= Radiación Solar Acumulada

## 2.4.2 Determinación de variables edáficas y ambientales de las fincas cultivadas con aguacate cv Hass

### Variables ambientales

En cada finca se instaló y puso en funcionamiento una estación meteorológica automatizada WatchDog serie 2000ET (Spectrum, IL), ubicada de acuerdo con los lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para la instalación de estaciones meteorológicas estándar. Cada estación estaba equipada con sensores para la determinación de la temperatura ambiental (°C), humedad relativa (%), temperatura del suelo (°C), humedad del suelo (%), radiación solar (W m<sup>-2</sup>), radiación fotosintéticamente activa - PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y precipitación (mm). Los datos fueron registrados con un intervalo de 15 minutos y a partir de estos se llevaron a una escala de tiempo horaria, diaria, semanal y mensual, según las necesidades del análisis.

### Variables edáficas

En la fase fenológica de floración (para las cosechas principal y travesía), se realizaron dos análisis de suelos por año (2015ab, 2016ab, 2017ab) a cada árbol, para así determinar la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Las muestras fueron tomadas a dos profundidades

---

(0-30 cm y 31-60 cm) y enviadas al Laboratorio de Suelos de Agrosavia-Centro de Investigación “Tibaitatá” donde se determinaron las siguientes variables: pH en solución 1:1 (VC-R-004 versión 2), contenido de materia orgánica (MO, %) (Walkley & Black), P por el método de Bray II ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), S determinado por el método de fosfato monocálcico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), acidez intercambiable (Al+H) usando el reactivo KCl 1 M ( $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ ); Ca, Mg, K y Na intercambiables mediante el método de acetato de amonio 1 M Norma Técnica Colombiana (NTC 5349, 2008) ( $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ ), Capacidad de Intercambio Catiónico (CICE), determinado como la suma de bases y acidez intercambiable ( $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ ); Fe, Mn, Cu y Zn disponible usando el método de Olsen (NTC 5526, 2007) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), B disponible mediante el método de fosfato monobásico de calcio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

### ***Evaluación fisicoquímica de frutos y preparación de muestras para determinación de variables de calidad***

La materia seca fue determinada a partir de cinco frutos en estado de maduración (Magwaza & Tesfay, 2015) para cada árbol muestreado, aplicando el método de secado en estufa hasta peso constante (AOAC, 2016). Para el proceso de maduración, los frutos fueron almacenados en condiciones de refrigeración por dos semanas en un enfriador Supernordico  $5\pm 2^\circ\text{C}$  y de  $80\pm 2\%$  Humedad Relativa (HR). Posteriormente, fueron colocados en una cámara climática (Memer, Alemania) con una temperatura de  $20\pm 1^\circ\text{C}$  y humedad relativa de  $90\pm 2\%$  hasta alcanzar su madurez de consumo (Estado de madurez 5), determinada por el método propuesto por Magwaza & Tesfay (2015), en el cual el fruto recibe presión no mayor a 2 mm en el área peduncular sin contraerse permanentemente.

Una vez alcanzada la madurez de consumo se seleccionaron tres frutos por muestra, a los cuales se les extrajo el mesocarpo conformando una muestra compuesta. Posteriormente, se tomó una submuestra para ser liofilizada a  $-40^\circ\text{C}$  y almacenada en un ultra congelador a  $-80^\circ\text{C}$ , para seguidamente realizar la determinación analítica de vitamina E y ácidos grasos. Además, se realizaron los análisis bromatológicos y minerales, empleando las metodologías que se describen a continuación.

### ***Determinación analítica de las variables de calidad***

Para los análisis bromatológicos se emplearon las siguientes metodologías: humedad (ISO 6496 de 2011- NTC4888 de 2000), ceniza (AOAC 942.05 de 2012), extracto etéreo (AOAC 2003.06 de 2012), proteína (AOAC 960.52 de 2012), y fibra cruda (ISO 6865 de 2012-NTC 5122 de 2002). Todas las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de Agrosavia

Las concentraciones de fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), boro (B) y zinc (Zn) se midieron después de una digestión ácida asistida por un horno microondas, con una lectura posterior por espectrometría de emisión de plasma para los macronutrientes (Sánchez-Castillo *et al.*, 1998; Kastenmayer, 1995) y por espectrometría de absorción atómica (Hofman *et al.*, 2002; Albornoz *et al.*, 2008). Finalmente, la concentración de nitrógeno (N) se determinó por el método Kjeldhal 351.3 (EPA, 1974). Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Agrosavia C.I. Tibaitatá.

La determinación de la concentración de ácidos grasos: palmítico, araquidónico, esteárico, palmitoleico, oleico, linoleico y linolénico, se realizó mediante cromatografía de gases con un inyector split/splitless y un detector de ionización de llama (Albornoz *et al.*, 2008). Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Sustancias Bioactivas de la Universidad de Antioquia. Adicionalmente, se realizó la determinación del contenido de vitamina E mediante una extracción líquido-líquido asistida por ultrasonido con posterior cuantificación mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) con un detector de arreglo de diodos usando el método reportado por AOAC (2016); este análisis se realizó en el Laboratorio de Trazabilidad y Residualidad de la Corporación Universitaria Lasallista ubicado en Caldas- Antioquia, Colombia.

#### **2.4.3 Gestión de datos y análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó en un proceso multietapas de la siguiente manera: una primera etapa cuyo objetivo fue determinar si las variables del suelo presentaban variación o relación a través de la profundidad de muestreo (0-30 cm vs. 31-60 cm) y el año de evaluación (2015ab, 2016ab, 2017ab) Para esto se realizó un análisis descriptivo y



---

exploratorio de los datos usando estadísticos de tendencia central, varianza y dispersión usando las librerías Janitor, Tidyverse, Ggsci, DT y broom, análisis de correlación con la librería corrplot, y un enfoque multivariado mediante análisis de componentes principales con las librería FactoMineR y factoextra.

En la segunda etapa se realizó un análisis descriptivo y exploratorio de las relaciones existentes entre el tipo de cosecha (principal 2016b y travesía 2017a) y la región de análisis (Norte, Oriente y Suroeste) con respecto a las variables de calidad (parámetros bromatológicos, concentración de ácidos grasos, contenido de elementos minerales y vitamina E del fruto maduro). De la misma manera, se realizaron los análisis de varianza para estas mismas variables realizando el ajuste a cuatro modelos (i, ii, iii y iv). El mejor modelo se seleccionó con base en el criterio de información de Akaike (**AIC**). Posteriormente, y en caso de existir significancia estadística ( $p < \alpha = 0,05$ ), se realizó la comparación de medias a través de la prueba de Tukey para así verificar entre cuáles de ellos existieron diferencias significativas. Adicional al valor de la diferencia significativa, se incorporaron dos elementos que permiten estimar el intervalo de confianza y el tamaño del efecto de cada factor a través del Eta cuadrado y el Índice de Cohen's (Nakagawa & Cuthill, 2007; Lüdecke *et al.*, 2021), usando la librería effectsize (Ben-shachar *et al.*, 2020) implementada en el software libre R. El anterior análisis permite cuantificar e interpretar la variación y evitar caer en el error de obtener un efecto significativo que solo se deba al azar (Cohen's, 2012). De la misma manera se realizó un análisis de los residuales para evaluar el cumplimiento de los supuestos de normalidad, independencia y heteroscedasticidad.

Los modelos utilizados en la etapa dos se describen a continuación:

$$(i) y = \alpha + \epsilon$$

$$(ii) y = \beta + \epsilon$$

$$(iii) y = \alpha + \beta + \epsilon$$

$$(iv) y = \alpha + \beta + (\alpha\beta) + \epsilon$$

donde:

y: variable respuesta, representa cada variable de calidad bromatológica, concentración de minerales, vitamina E y ácidos grasos.

$\alpha$ : efecto de la cosecha (principal y traviesa).

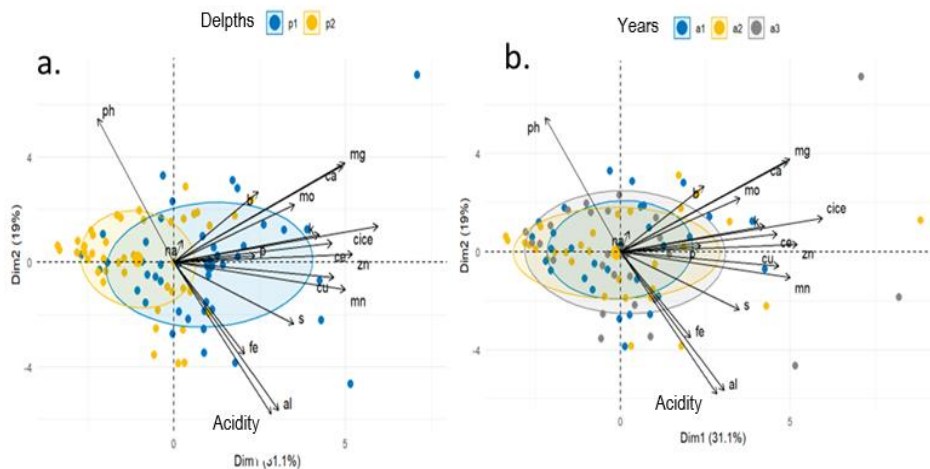
$\beta$ : efecto de la región (Norte, Oriente y Suroeste).

$\alpha\beta$ : efecto de interacción cosecha y región.

## 2.5 Resultados

### 2.5.1 Relación de la temporalidad (años 2015a-2017b) y profundidad del suelo (0-30 y 31-60 cm) como fuente de variación de los suelos cultivados con aguacate cv. Hass

Inicialmente se analizaron de manera exploratoria los datos obtenidos de los análisis de suelos de los años (2015a a 2017b) para las profundidades P1 de 0-30 cm y P2 de 31-60 cm. Adicionalmente, se realizó un análisis de componentes principales, en el cual se encontró que las variables del suelo se diferencian multidimensionalmente en mayor medida por la profundidad y no por la temporalidad en los años y fincas estudiados (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.a y 2-1b).**



**Figura 2-1** Análisis de componentes principales y clusterización de las variables del suelo por profundidad y por año en ocho fincas cultivadas con Aguacate cv. Hass de Antioquia. a. clúster por profundidades; b. clúster por años.

## 2.5.2 Relación de la concentración de compuestos bromatológicos de la pulpa de aguacate cv. Hass con el tipo de cosecha y la región productora (años 2016b y 2017a)

Los ANOVA de las variables bromatológicas (**Tabla 2-2**) muestran el desempeño de los modelos probados. Se visualiza que el mejor efecto en el modelo 1 (factor cosecha) representa significativamente la variable “humedad” que se refiere al agua ligada en la pulpa, la cual presentó diferencias significativas entre la cosecha principal (CP) y la travesía (CT) siendo el promedio mayor en la primera (3.1%) que en la segunda (1.84%); el tamaño de los efectos del  $\eta^2$  e I. Cohen’s fue grande en ambos parámetros. El modelo 2 (factor región) fue el mejor para el extracto etéreo, sin presentar diferencias significativas entre las regiones Norte, Oriente y Suroeste (66.0, 63.5 y 63.0%, respectivamente) con un  $\eta^2$  pequeño y un I. Cohen’s mediano.

**Tabla 2-2** Análisis de varianza de las variables bromatológica de la pulpa de aguacate cv. Hass con relación a las cosechas principal (CP) y travesía (CT) y regiones del departamento de Antioquia.

Modelo	Variable en % relativo	Fuente de variación	Media	Intervalo de Confianza		Sig. al 0,05%	Tamaño del efecto	
				Límite inferior	Límite superior		$\eta^2$ *	Cohen's's Index *
Modelo 1	Humedad ligada en la pulpa	CP	3,10	2,58	3,61	a	0,29 L	0,64 L
		CT	1,84	1,33	2,35	b		
Modelo 2	Extracto Etéreo	Norte	66,0	63,5	68,5	a	0,11 C	0,35 M
		Oriente	63,5	61,8	65,3	a		
		Suroeste	63,0	60,5	65,5	a		
Modelo 3	Fibra cruda	Norte	13,2	12	14,3	a	0,96 L	4,93 L
		Oriente	15,0	14,2	15,8	b		
		Suroeste	17,6	16,4	18,7	c		
		CP	22,47	21,6	23,3	a		
		CT	8,02	7,2	8,85	b		
Modelo 3	Carbohidratos	Norte	3,90	1,36	6,44	b	0,07 M	0,27 M
		Oriente	5,91	4,11	7,7	b		
		Suroeste	9,13	6,59	11,68	a		
		CP	5,43	3,58	7,27	a		
		CT	7,20	5,35	9,05	A		
Modelo 4	Ceniza	CP Norte	10,92	8,27	13,6	A	0,15 L	0,41 L
		CT Norte	12,73	10,08	15,4	A		
		CP Oriente	10,80	8,92	12,7	A		
		CT Oriente	12,89	11,01	14,8	A		

Modelo	Variable en % relativo	Fuente de variación	Media	Intervalo de Confianza		Sig. al 0,05%	Tamaño del efecto	
				Límite inferior	Límite superior		Eta <sup>2</sup> *	Cohen's's Index*
		CP Suroeste	11,15	8,5	13,8	A		
		CT Suroeste	8,71	6,06	11,4	A		
		CP Norte	5,69	3,75	7,63	C		
		CT Norte	11,24	9,3	13,18	A		
	Proteína	CP Oriente	5,31	3,94	6,68	C	0,21 L	0,51 L
		CT Oriente	6,62	5,24	7,99	C		
		CP Suroeste	5,03	3,09	6,97	C		
		CT Suroeste	8,30	6,37	10,24	B		

\* C= pequeño, M= Mediano, L= Grande y ML= Muy grande

\*\* CP= Cosecha principal y CT= Cosecha traviesa

**Nota:** En las comparaciones el n para la cosecha principal y traviesa fue de 48, para la región Oriente el n=48, para la región Norte n=24 y Suroeste n=24. Para el caso de la interacción entre regiones y cosechas para el Norte n=12, Suroeste n=12 y para el Oriente n=24.

Con respecto al modelo 3 (Factores cosecha + región), presentó un mejor desempeño para representar la varianza del “contenido de fibra” y “contenido de carbohidratos”; en esta medida, ambos parámetros no presentaron diferencias significativas entre las cosechas, pero si entre las regiones. Así, el contenido de carbohidratos fue mayor en Suroeste (9,13%) que en las otras dos regiones (3,90 y 5,91%); mientras que el contenido de fibra siguió el orden decreciente: Suroeste (17,6%) > Oriente (15,0%) > Norte (13,2%). El tamaño del efecto del Eta<sup>2</sup> y del I. Cohen's fue grande para el contenido de fibra en las cosechas y regiones y para el contenido de carbohidratos grande y mediano, respectivamente (**Tabla 2-2**).

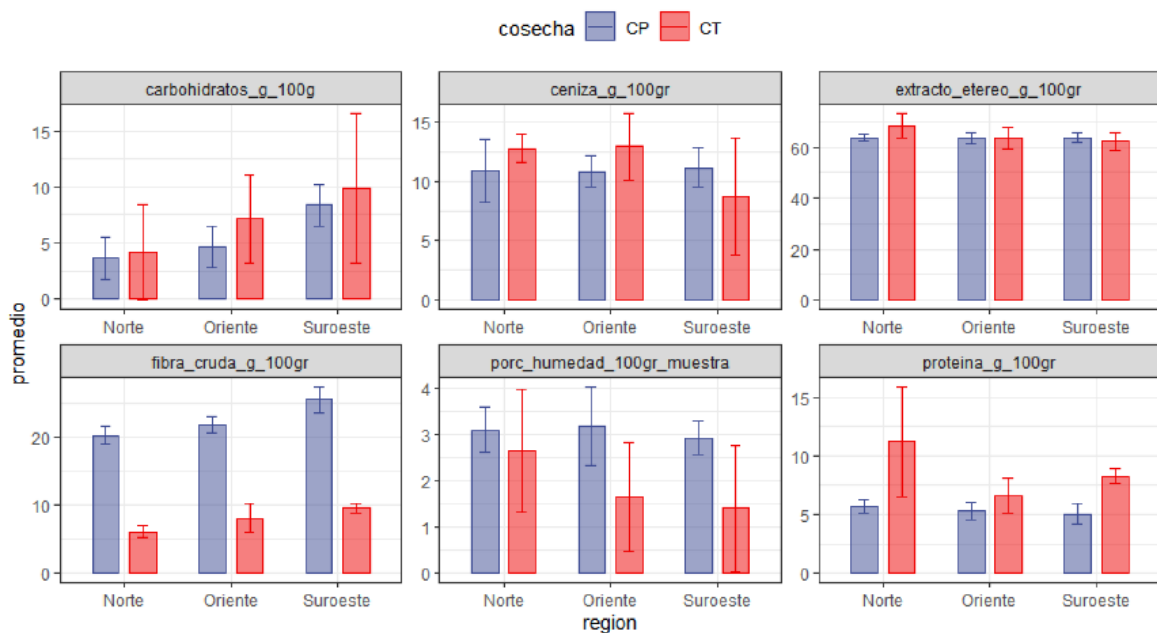
El modelo 4 (Interacción cosecha x región) fue el de mejor desempeño para representar los contenidos de ceniza y de proteína. Sin embargo, en el caso del contenido de ceniza no se presentó diferencia estadísticamente significativa en la interacción entre regiones y cosechas, los valores fluctuaron entre 8,71 y 12,89 %; el Eta<sup>2</sup> y el I. Cohen's fue grande para la interacción. En el caso del contenido de proteína, la interacción mostró que este fue mayor en la cosecha traviesa del Norte (11,24 %), seguida de la traviesa del Suroeste (8,30 %) y luego el resto de los valores que no difirieron entre sí (5,03 -6,62 %) (**Tabla 2-2**). Los valores de Eta<sup>2</sup> e I. Cohen's fueron grandes en todos los casos para esta variable.

De manera generalizada, se encontró que en las tres regiones la cosecha traviesa presentó un mayor valor para el contenido de carbohidratos y proteína; en contraste, con el

contenido de humedad y de fibra que fue mayor en la cosecha principal que en la travesía. Por otro lado, se presentó interacción en el contenido de ceniza y extracto etéreo, siendo para ambos parámetros mayores los valores en la travesía en la región Norte, pero menores en el Suroeste. En el Oriente el contenido de ceniza fue mayor en la cosecha de travesía que en la cosecha principal y el extracto etéreo similar para ambas cosechas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

### ***Correlación entre variables bromatológicas y edafológicas***

Se realizó un análisis de correlaciones entre las variables bromatológicas y las variables edáficas en donde se encontró que la concentración de carbohidratos muestra correlación significativa con el Mg en la profundidad 1 (P1) y negativa con el pH en la profundidad 2 (P2), y no presentó ninguna relación importante con las variables ambientales. Por su parte, la ceniza no presentó relación positiva para ninguna de las variables edáficas de manera importante en la P1, pero si negativa en la P2 para el B y la CICE y no se presentó correlación significativa de esta con las variables ambientales (**Anexo A** y **Anexo C**).



**Figura 2-2 .** Interacción de las variables de calidad bromatológica de la pulpa de aguacate cv. Hass entre cosechas: principal y travesía y las regiones: Norte, Oriente y Suroeste en el departamento de Antioquia.

Para el caso del extracto etéreo, no se presentó correlación positiva significativa con ninguna de las variables edáficas, pero sí negativa con la P1 para la CE, Mg y CICE y la

---

P2 la CE y P; con las variables ambientales se presentó correlación positiva con la precipitación y negativa con el mínimo de temperatura. Por su parte, la fibra cruda, el porcentaje de humedad del fruto y el contenido de proteína no se presentó ninguna relación con variables edáficas en ninguna de las profundidades. En el caso de las variables ambientales la fibra cruda presentó relación positiva con el máximo de temperatura, el mínimo de temperatura y la temperatura media y tuvo una relación negativa con la altitud y la precipitación; el porcentaje de humedad del fruto presentó una correlación positiva con la radiación solar y negativa con la precipitación; por su parte, el contenido de proteína presentó una relación positiva con la precipitación (**Anexo A y Anexo C**).

### **2.5.3 Relación de la concentración de ácidos grasos de la pulpa de aguacate cv. Hass con el tipo de cosecha (principal y traviesa) y las regiones (Norte, Oriente y Suroeste)**

Los análisis de varianza que describen el perfil lipídico en función del tipo de cosecha y las regiones productoras de aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia se pueden observar en la (**Tabla 2-3**). El modelo 1 (factor cosecha) represento mejor la variabilidad del contenido de ácido araquidónico, sin diferencias significativas entre las cosechas y con tamaño del efecto pequeño tanto para el I de Cohen's como para el  $Eta^2$  (**Tabla 2-3**). Por su parte, el modelo 2 (factor región) fue el mejor modelo para el ácido esteárico, con un valor significativamente mayor en la región del Suroeste (0,213%) que en las regiones Norte y Oriente (0,115 y 0,119%, respectivamente); con un tamaño del efecto con  $Eta^2$  e I Cohen's grande para ambas (**Tabla 2-3**).

El modelo 3 (cosecha + región) fue el mejor modelo para el ácido linoleico mostrando un valor significativamente mayor en el Suroeste (6,10%) y similar para las regiones Oriente y Norte (4,56-4,65%). También, se presentó diferencia significativa entre cosechas siendo mayor en la traviesa (5,70%) que en la principal (4,71%); el tamaño del efecto  $Eta^2$  e I Cohen's fue grande para regiones y cosechas. Este modelo también fue el mejor para el ácido linolénico, sin diferencia significativa entre regiones ni entre cosechas y con un  $Eta^2$  e I de Cohen's que se considera grande para ambas (**Tabla 2-3; ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por su parte, el modelo 4 (Interacción cosecha x región) fue el mejor modelo para el ácido oleico. La concentración significativamente mayor se

encontró en la cosecha principal del Norte (68,7%), seguida de la cosecha traviesa del Norte (60,7%) y de ambas cosechas del Oriente (59,3 y 63,2%) sin que fueran diferentes entre sí. Los valores significativamente menores se hallaron en la cosecha principal y la traviesa del Suroeste (50,7 y 53,0%) (**Tabla 2-3; ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El tamaño del efecto del  $\eta^2$  e I. Cohen's fue mediano.

Así mismo, el modelo 4 fue el mejor para el ácido palmítico. En este caso se presentó un comportamiento inverso al ácido oleico, de tal manera que la concentración significativamente mayor se tuvo en el Suroeste (20.2 y 21.7 %) sin diferencia entre las cosechas. Estas fueron seguidas por los valores hallados en ambas cosechas del Oriente y la cosecha traviesa del Norte con valores que fluctuaron entre 16,2 y 18,9%, sin diferencias entre ellos. La concentración significativamente menor se halló en el Norte con un valor de 13,2% (**Tabla 2-3; ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

En el caso de la suma de ácidos grasos monoinsaturados hubo una interacción entre ambos factores, así en la cosecha principal del Norte se detectó el mayor valor (74,4%), seguida de lo hallado en la cosecha principal del Oriente (70,4%), que no fue diferente del anterior. Luego, están los valores de las cosechas travieras del Oriente (67.4%), del Norte (67.2%) y del Suroeste (67,1%). Finalmente, los valores significativamente más bajos se detectaron en la CP del Suroeste (62,0%). El tamaño del efecto presentó un  $\eta^2$  e I. Cohen's grandes (**Tabla 2-3; ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Tabla 2-3** Análisis de varianza de variables de calidad asociada a perfiles lipídicos de la pulpa de aguacate cv. Hass respecto a las cosechas y regiones del departamento de Antioquia

Modelo	Variable en % relativo	Fuente de Variación	Media	Intervalo de Confianza		Sig. al 0,05%	Tamaño del efecto	
				Límite inferior	Límite superior		$\eta^2$ *	Cohen's's Index *
Modelo 1	Ácido araquidónico	CP	0,72	0,64	0,79	a	0,03 C	0,17 C
		CT	0,76	0,69	0,84	a		
Modelo 2	Ácido esteárico	Norte	0,12	0,09	0,14	b	0,65 L	1,37 L
		Oriente	0,12	0,10	0,14	b		
		Suroeste	0,21	0,19	0,24	a		
		Norte	4,65	4,15	5,14	b		
Modelo 3	Ácido linoleico	Oriente	4,65	4,22	4,91	b	0,51 L	1,03 L
		Suroeste	6,10	5,61	6,59	a		
		CP	4,51	4,15	4,86	b		

Modelo	Variable en % relativo	Fuente de Variación	Media	Intervalo de Confianza		Sig. al 0,05%	Tamaño del efecto	
				Límite inferior	Límite superior		Eta <sup>2</sup> *	Cohen's's Index *
Modelo 4	Ácido linoléico	CT	5,70	5,34	6,06	a		
		Norte	0,73	0,62	0,83	a		
		Oriente	0,71	0,63	0,79	a	0,03 C	0,30 M
		Suroeste	0,81	0,71	0,79	a		
		CP	0,73	0,65	0,80	a	0,08 M	0,18 C
		CT	0,78	0,70	0,85	a		
	Ácido oleico	CP Norte	68,70	63,10	74,30	a		
		CT Norte	60,70	55,10	66,30	b		
		CP Oriente	63,20	59,30	67,20	b	0,12 M	0,38 M
		CT Oriente	59,30	55,40	63,20	b		
		CP Suroeste	50,70	45,10	56,20	c		
		CT Suroeste	53,00	47,40	58,50	c		
	Ácido palmítico	CP Norte	13,20	10,20	16,20	c		
		CT Norte	17,50	14,50	20,50	b		
		CP Oriente	16,20	14,00	18,30	b	0,15 L	0,42 L
		CT Oriente	18,90	16,80	21,00	b		
		CP Suroeste	21,70	18,80	24,70	a		
		CT Suroeste	20,20	17,20	23,20	a		
	Suma ácidos grasos monoinsaturados	CP Norte	74,40	70,30	78,60	a		
		CT Norte	67,20	63,00	71,30	b		
CP Oriente		70,40	67,40	73,40	ba	0,27L	0,61L	
CT Oriente		67,40	67,40	73,40	b			
CP Suroeste		62,00	57,80	66,20	c			
CT Suroeste		67,1	62,90	71,30	b			
Suma ácidos grasos poliinsaturados	CP Norte	12,20	9,99	14,50	c			
	CT Norte	15,20	12,91	17,40	a			
	CP Oriente	13,30	11,73	14,90	b	0,25 L	0,58 L	
	CT Oriente	13,50	11,87	15,10	b			
	CP Suroeste	16,10	13,81	18,30	a			
	CT Suroeste	12,50	10,27	14,80	c			
Suma de ácidos grasos saturados	CP Norte	13,30	10,30	16,30	c			
	CT Norte	17,70	14,70	20,70	b			
	CP Oriente	16,30	14,20	18,40	b	0,15 L	0,42 L	
	CT Oriente	19,10	17,00	21,20	b			
	CP Suroeste	22,00	19,00	24,90	a			
	CT Suroeste	20,40	17,40	23,40	a			
Relación saturados insaturados	CP Norte	0,15	0,17	0,20	c			
	CT Norte	0,22	0,17	0,26	b			
	CP Oriente	0,20	0,16	0,23	b	0,14 L	0,4 L	
	CT Oriente	0,24	0,2	0,27	b			
	CP Suroeste	0,28	0,24	0,33	a			
	CT Suroeste	0,26	0,21	0,31	a			

\*Efecto Size: C= Pequeño, M= Mediano, L= Grande y ML= Muy grande

\*\* CP= Cosecha Principal y CT= Cosecha Traviesa



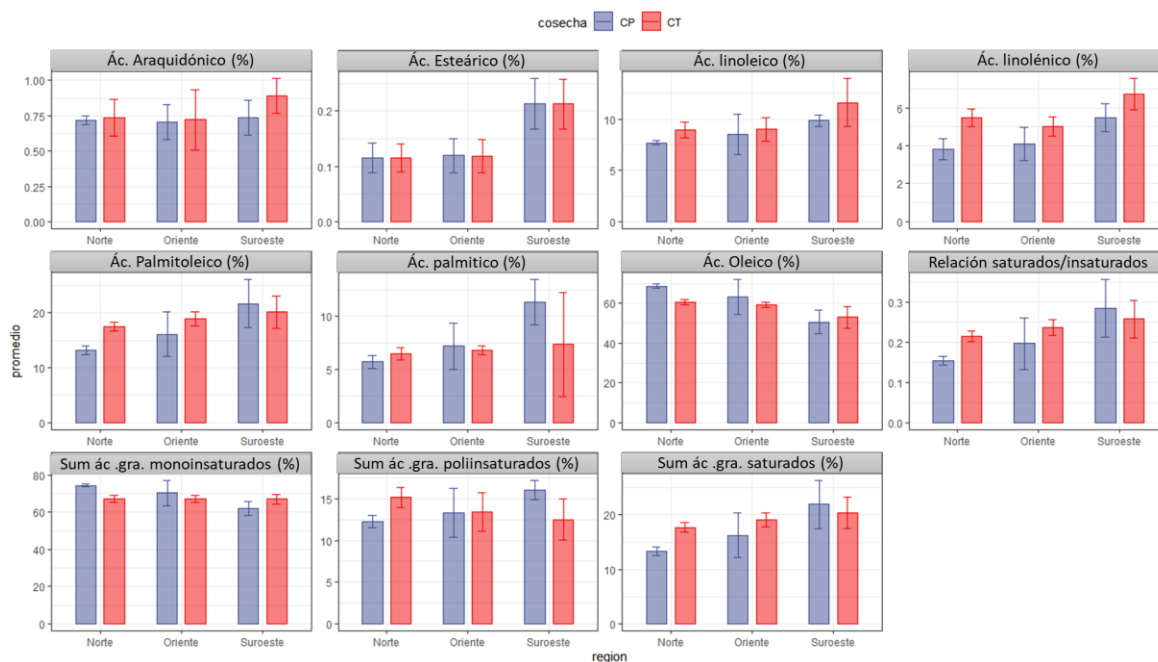
Modelo	Variable en % relativo	Fuente de Variación	Media	Intervalo de Confianza		Sig. al 0,05%	Tamaño del efecto	
				Límite inferior	Límite superior		Eta <sup>2</sup> *	Cohen's's Index *

**Nota:** En las comparaciones el n para la cosecha principal y travesía fue de 48, para la región Oriente el n=48, para la región Norte n=24 y Suroeste n=24. Para el caso de la interacción entre regiones y cosechas para el Norte n=12, Suroeste n=12 y para el Oriente n=24.

Para la suma de ácidos grasos poliinsaturados el modelo 4 (interactivo) también fue el mejor, los valores más altos fueron los de la cosecha principal del Suroeste (16,1%) y travesía del Norte (15,2%) seguidos por las cosechas travesía (13,3%) y principal del Oriente (13,5%). Los valores significativamente menores se hallaron en la cosecha travesía del Suroeste (12,5%) y en la principal del Norte (12,2%). El tamaño del efecto de la interacción (Eta<sup>2</sup> e I Cohen's) fue grande (**Tabla 2-3; ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

La suma de los ácidos grasos saturados presentó la concentración significativamente mayor en las cosechas del Suroeste (principal 22,0% y travesía 20,4%) sin diferencias significativas entre ellas. Estos valores fueron seguidos por los de las cosechas del Oriente travesía (19,1%) y principal (16,3%) y por la travesía del Norte (17,7%) sin que se presentaran diferencias significativas entre estos tres promedios. El valor significativamente menor se detectó en la cosecha principal del Norte (13,3%). El tamaño del efecto fue grande con ambos índices (Eta<sup>2</sup> e I de Cohen's) (**Tabla 2-3; ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

La relación de ácidos grasos saturados/ insaturados tuvo un comportamiento similar a la anterior variable, siendo estos significativamente mayores en las cosechas del Suroeste (principal 0,28 y travesía 0,26), sin diferencias significativas entre ellas. Estos valores fueron seguidos por los de las cosechas del Oriente travesía (0,24) y principal (0,20%) y por la travesía del Norte (0,22), sin que se presentaran diferencias significativas entre estos tres promedios. El valor significativamente menor se detectó en la cosecha principal del Norte (0,15). El tamaño del efecto fue grande con ambos índices (Eta<sup>2</sup> e I de Cohen's) (**Tabla 2-3; ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



**Figura 2-3** Resultados de la interacción de los ácidos grasos de la pulpa de aguacate cv. Hass en las cosechas principal (2016b) y travesía (2017a) y de las regiones Norte, Oriente y Suroeste en el departamento de Antioquia.

La mayor concentración de ácidos grasos se presentó en la cosecha travesía para el caso del ácido araquidónico, linoleico, esteárico, linolénico, para todas las regiones; en el caso del Norte la cosecha travesía presente una mayor concentración para el ácido araquidónico, esteárico, linoleico, linolénico, palmítico, palmitoleico, relación saturados insaturados, suma de ácidos poliinsaturados y la suma de ácidos grasos saturados. Por su parte, el ácido araquidónico, esteárico, palmítico, palmitoleico, la suma de ácidos grasos poliinsaturados, saturados presentan las mayores concentraciones en la región suroeste con respecto a las regiones Norte y Oriente; la suma de ácidos grasos monoinsaturados, y el ácido oleico presentaron el mayor contenido en la región Norte muy cerca de la del Oriente. Con respecto a las cosechas se encontró una mayor concentración de ácidos grasos en la cosecha travesía para el ácido linoleico, relación de ácidos saturados/insaturados, suma de poliinsaturados y suma de ácidos grasos saturados; con respecto a los ácidos grasos poliinsaturados, la suma de monoinsaturados, contenido de ácido oleico, y palmítico, las concentraciones mayores se reportaron en la cosecha principal (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

---

## **Correlación entre las concentraciones de los ácidos grasos de la pulpa de aguacate cv. Hass y variables edafo-ambientales**

Se encontró que la concentración de ácido palmítico, linoleico, palmitoleico, la suma de ácidos grasos saturados y la relación de ácidos grasos saturados/insaturados presentó una correlación positiva con las variables edáficas Al y acidez intercambiables en la P1 y negativa con el pH en ambas profundidades (P1 y P2). El ácido palmítico tuvo una correlación positiva con la concentración de Fe en el suelo en P1 y negativa con las concentraciones de Mg y Ca en la P2. Así mismo, hubo una correlación positiva con las variables ambientales temperaturas máxima, media y mínima y negativa con la altitud.

Por otra parte, hubo una correlación positiva entre la concentración del ácido oleico y pH y Mn en la P1 y negativa con la acidez y Al intercambiable en P1. En contraste, en la P2 hubo correlaciones positivas con Mg, Ca y pH y negativa con Zn. Con relación a las variables ambientales se detectó una correlación positiva con la altitud y negativa con la temperatura. El ácido esteárico presentó el mayor número de correlaciones a ambas profundidades del suelo; con las variables ambientales presentó correlación positiva con la temperaturas máxima, mínima y media y negativa con la humedad relativa y el promedio de radiación solar (Anexo C, D y E).

Por su parte, la suma de ácidos grasos monoinsaturados se correlacionó positivamente con el pH en la P2 y con la altitud y la radiación solar. Su correlación fue negativa con el máximo de temperatura. De otra parte, el ácido linoleico se correlacionó positivamente en P1 con la acidez intercambiable, Mn, Fe y Al y negativamente con el pH; en la P2 se correlacionó negativamente con pH, Mg y Ca; con respecto a las variables ambientales la correlación fue negativa con la altitud y la temperatura máxima. En el caso de la suma de ácidos grasos poliinsaturados no hubo correlaciones significativas con ninguna de las variables edáficas y ambientales (Anexo C, D y E).

### 2.5.4 Relación entre los contenidos de minerales y vitamina E de la pulpa de aguacate cv. Hass y el tipo de cosecha (principal y traviesa) y las regiones Norte, Oriente y Suroeste

En la **Tabla 2-4** observamos que el modelo 1 (factor cosecha) fue el mejor modelo para explicar la variación en la concentración de S y Na en el fruto maduro; pero no se detectaron diferencias significativas para ambas variables entre las cosechas principal y traviesa; los tamaños del efecto  $\eta^2$  fueron pequeños para ambas variables y el I. de Cohen's fue pequeño para el S y medio para el Na. El modelo 2 (factor región) fue el mejor modelo para la concentración de Mn, Cu, N, Fe, Zn y P en el fruto; el contenido Mn, Cu, Zn y P fue significativamente mayor en la región Norte con respecto al Oriente y Suroeste. No se detectaron diferencias significativas para el contenido de Fe y N entre las regiones. Con respecto al tamaño del efecto  $\eta^2$  e I. de Cohen's fue grande para el Mn, Cu, Zn y P y mediano para Fe y N (**Tabla 2-4**).

El modelo 3 (región + cosecha) fue el mejor modelo para explicar los contenidos de Ca, Mg y K en la fruta, con un valor significativamente mayor de Ca y K en la región Norte con respecto a lo detectado en el Oriente y Suroeste; para el Mg no se presentaron diferencias significativas entre las regiones. Para el caso de las cosechas se presentó diferencia significativa en la concentración, pero no de Mg y K. El tamaño de los efectos  $\eta^2$  e I. de Cohen's para el Ca y K fue grande entre regiones y cosechas y para el Mg fue grande para las regiones y mediano para las cosechas (**Tabla 2-4; ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

El modelo 4 (interacción cosecha x región) fue el mejor modelo para el contenido de B en la fruta; se presentó diferencias significativas en la interacción siguiendo el siguiente orden decreciente: CP Norte > CT Norte > CTSuroeste > CT Oriente, CP Oriente > CP Suroeste. El tamaño del efecto  $\eta^2$  e I. de Cohen's fue grande la interacción (**Tabla 2-4; ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Para el caso del contenido de la Vitamina E no se ajustó a ninguno de los cuatro modelos inicialmente planteados, siendo necesario probar un modelo heterocedástico (modelo 5).

En este no se encontró diferencias significativas entre las cosechas; el tamaño del efecto  $\eta^2$  e I Cohen's fue pequeño para ambos índices (**Tabla 2-4**).

**Tabla 2-4** Análisis de varianza de las variables asociadas a contenidos de Vitamina E y elementos minerales de la pulpa de aguacate cv. Hass respecto a las cosechas y regiones del departamento de Antioquia

Modelo	Variable en % relativo	Fuente de variación	Media	Intervalo de Confianza		Sig. al 0.05%	Tamaño del efecto	
				Límite inferior	Límite superior		$\eta^2$ *	I. Cohen's *
Modelo 1	Azufre	CP	0,12	0,11	0,14	a	0,00 C	0,05 C
		CT	0,13	0,11	0,14	a		
	Sodio	CP	0,03	0,00	0,06	a	0,03 C	0,16 M
		CT	0,01	0,02	0,04	a		
Modelo 2	Manganeso	Norte	10,91	7,93	13,89	a	0,31 L	0,67 L
		Oriente	4,47	2,37	6,58	b		
		Suroeste	6,95	3,97	9,93	b		
	Cobre	Norte	6,75	2,38	8,13	a	0,24 L	0,56 L
		Oriente	4,32	3,34	5,29	b		
		Suroeste	4,64	3,27	6,02	b		
	Nitrógeno	Norte	0,92	0,83	1,01	a	0,1 M	0,33 M
		Oriente	0,84	0,78	0,90	a		
		Suroeste	0,83	0,74	0,91	a		
	Hierro	Norte	24,00	18,70	29,30	a	0,12 M	0,37
		Oriente	21,20	17,50	25,00	a		
		Suroeste	16,80	11,50	22,00	b		
Zinc	Norte	23,80	20,40	27,20	a	0,30 L	0,66 L	
	Oriente	16,70	14,30	19,10	b			
	Suroeste	17,70	14,30	21,10	b			
Fósforo	Norte	0,18	0,15	0,20	a	0,47 L	0,94 L	
	Oriente	0,11	0,10	0,13	b			
	Suroeste	0,12	0,10	0,14	b			
Modelo 3	Calcio	Norte	0,04	0,03	0,06	a	0,22 L	0,53 L
		Oriente	0,07	0,06	0,08	b		
		Suroeste	0,05	0,03	0,06	b		
	Magnesio	CP	0,04	0,03	0,05	a	0,2 L	0,49 L
		CT	0,06	0,05	0,08	b		
		Norte	0,10	0,09	0,12	a		
Oriente	0,10	0,09	0,12	a				
		Suroeste	0,08	0,07	0,10	a		

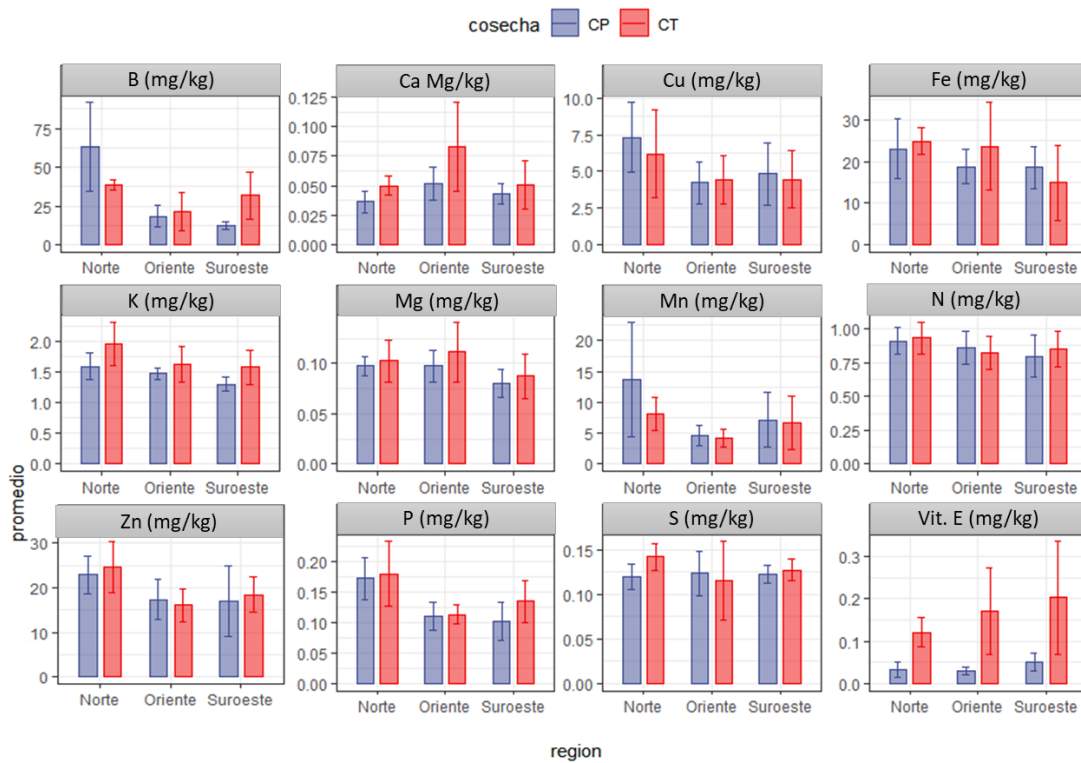
Modelo	Variable en % relativo	Fuente de variación	Media	Intervalo de Confianza		Sig. al 0.05%	Tamaño del efecto	
				Límite inferior	Límite superior		Eta <sup>2</sup> *	L. Cohen's *
		CP	0,09	0,08	0,10	a	0,06 M	0,26 M
		CT	0,10	0,09	0,11	a		
		Norte	1,78	1,61	1,95	a	0,24 L	0,56 L
		Oriente	1,55	1,43	1,67	b		
	Potasio	Suroeste	1,44	1,27	1,61	b		
		CP	1,47	1,35	1,59	a	0,23 L	0,55 L
		CT	1,71	1,59	1,83	a		
		CP Norte	63,20	49,48	76,80	a		
		CT Norte	38,50	24,87	52,20	b		
		CP Oriente	18,50	8,81	28,10	d	0,31 L	0,66 L
		CT Oriente	21,50	11,86	31,20	d		
		CP Suroeste	12,20	1,48	25,90	e		
		CT Suroeste	31,80	18,16	45,50	c		
		CP	0,12	0,10	0,13	a	0,000 C	0,1 C
		CT	0,12	0,11	0,13	a		

\*Efecto Size: C= Pequeño, M= Mediano, L= grande y ML= Muy grande

\*\* CP= Cosecha Principal y CT= Cosecha Traviesa

**Nota:** En las comparaciones el n para la cosecha principal y traviesa fue de 48, para la región Oriente el n=48, para la región Norte n=24 y Suroeste n=24. Para el caso de la interacción entre regiones y cosechas para el Norte n=12, Suroeste n=12 y para el Oriente n=24.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra las interacciones de los elementos del fruto maduro con las regiones y las cosechas, encontrando una relación entre regiones y cosechas para el B, Cu, Fe, Mn, Na, P, S, y Zn, en al menos una de las regiones. La Región que presenta mayores concentraciones de K, Mg, P, N y S es el Norte en la cosecha traviesa y el B y Cu en la misma región en la cosecha principal. La concentración de Ca en la fruta fue mayor en el Oriente en ambas cosechas. Por su parte, la vitamina E fue mayor su concentración en el Suroeste en ambas cosechas seguidas del Oriente y el Norte.



**Figura 2-4** Resultados de la interacción de los elementos y la vitamina E de la pulpa de aguacate cv. Hass cosechas principal y travesía y las regiones Norte, Oriente y Suroeste del departamento de Antioquia.

## Análisis de correlación entre el contenido de minerales en la pulpa de la fruta y las variables edafo-ambientales

### Anexo C, Anexo G y Anexo H.

Se encontró que el Boro (B) presentó correlación negativa para la CICE en la P2 y con las variables ambientales humedad relativa y temperatura media. El calcio (Ca) de la pulpa se correlacionó de forma positiva en P1 con el Cu y negativa con Fe, Mn y S en P1 con acidez, Al, Cu y Mn en la P2 y con el PAR de manera positiva. Por su parte el cobre (Cu) de la pulpa se correlacionó de manera positiva con Cu en P1 y P2 y negativa con el B en P1 y B y CICE en la P2 sin correlación significativa para las variables ambientales. Así mismo, el Fe de la pulpa se correlacionó con el Cu en P1 y con el pH y el Cu en la P2 y negativa con el B en ambas profundidades y con las variables ambientales se correlacionó de forma positiva con la humedad relativa (Anexo C, G y H).

---

En el caso del K de la pulpa se observó correlación negativa en la P2 para la CE y de manera positiva con la precipitación. El Mg de la pulpa se correlacionó de manera negativa en la P2 con la acidez y el Al y positiva con la radiación solar. Por su parte el Mn se correlacionó positivamente con el Cu en ambas profundidades y negativa con el B en la P2 y de manera negativa con el PAR. El N de la pulpa se correlacionó de forma positiva con el Fe en P1 y con Cu en la P2 y negativa con B y Na en P1 y K en la P2 y positivamente con la radiación solar. Por su parte el Na de la pulpa se correlacionó de manera negativa con la P1 con el Al y positivamente con la precipitación (Anexo C, G y H).

El mineral P de la pulpa se correlacionó de forma positiva con Cu y Fe en P1 y Cu, Fe y Mn en la P2 y de manera negativa con la CE, Ca, K y Na en P1 y CE, K y S en la P2; con respecto a las variables ambientales se correlacionó positivamente con la altitud y la humedad relativa y negativamente con las temperaturas máxima, media y mínima. Por su parte el S de la pulpa presentó correlación negativa en la P2 con el B, Ca y la CICE y no se correlacionó de manera importante con las variables ambientales. La vitamina E de la pulpa se correlacionó positivamente en P1 con la acidez, y el Al y en P2 con el Cu y Ca y negativamente en P2 con CICE y el B y CE relacionó positivamente con la suma de la precipitación. El mineral Zn de la pulpa se correlaciono en P1 positivamente con Cu y Fe y en P2 con el Cu y negativamente en P1 con B, Ca, CE y K y en P2 con B, CE, Ca, CICE, Na K y S y positivamente con la humedad relativa (Anexo C, G y H).

## 2.6 Discusión

Los resultados de esta investigación sustentan la hipótesis de que la calidad de la pulpa del fruto de aguacate cv. Hass es afectada por factores edáficos y ambientales, adicionalmente, cambia por aspectos espaciales (región de ubicación del lote) y la estacionalidad de la cosecha (principal y traviesa). Estos factores influyen en formas diversas sobre la concentración de macro y micronutrientes, así como en la proporción de los ácidos grasos y los compuestos bromatológicos.

Es importante resaltar que el análisis de componentes principales sugiere que no existen diferencias en los resultados de los análisis de suelos a través de los tres años (2015, 2016 y 2017). Sin embargo, los suelos si cambiaron significativamente entre las profundidades



---

P1 (0-30 cm) y P2 (31-60 cm). Así, una mayor concentración de los elementos Ca y Mg en P2 tienen importancia en la producción, tamaño y la calidad de la fruta por la interacción de estos elementos con el equilibrio entre el crecimiento vegetativo y reproductivo (Gardiazábal *et al.*, 2007). Por su parte, el mayor contenido de Fe y Al detectados en P1 genera mayor acidez del suelo. Estos resultados sugieren que hay una estrecha relación de algunos parámetros edáficos en la P2 (31-60 cm) con algunos parámetros de la calidad del fruto como la el pH y los contenidos de Ca y Mg, lo que podría indicar que la interpretación de los análisis del suelo y las recomendaciones para fertilización deberían considerar no sólo los análisis hechos en la profundidad más superficial (0-30 cm), como tradicionalmente se hace, sino también tener en cuenta los resultados de los análisis de suelos de mayor profundidad (31-60 cm), tal como lo sugiere Peña (2013) para cultivos permanentes. además de considerar la relación entre los diferentes elementos nutritivos presentes en el suelo.

Adicionalmente, los resultados hallados indican que con el cambio de la profundidad del suelo se afecta la disponibilidad de B, Cu, K, el contenido de MO y el valor de la CE. En un estudio realizado por Valbuena-Calderón *et al.* (2008) en mango (*Mangifera indica* L.) encontró que la distribución espacial de las propiedades edáficas influyó en el rendimiento, siendo las variables K, Ca, CIC, pendiente del terreno, relación Ca+Mg/K y altitud son las variables más relevantes.

La composición bromatológica estuvo fuertemente influenciada por la región, siendo los contenidos de fibra cruda y carbohidratos significativamente mayores en el Suroeste que en el Norte y en el caso de la proteína mayor concentración en la región del Norte. Este comportamiento podría ser considerado al momento de adquirir fruta como materia prima en el proceso de obtención de metabolitos secundarios, tal como lo propone Ceballos & Montoya (2013). Es claro que la mayor parte del aguacate se consume en fresco, pero no se debería descartar conociendo las concentraciones de metabolitos secundarios su aprovechamiento para uso en las industrias cosmética o de salud que podrían representar mayores ingresos al productor. Es claro que el Mg intercambiable del suelo afectó positivamente la concentración de proteína, ceniza, contenido de humedad y la fibra cruda en la pulpa del aguacate cv. Hass. Resultado similar fue hallado por Henao-Rojas *et al.*

---

(2019) quienes reportaron que el contenido de Mg intercambiable tuvo un efecto positivo sobre el contenido de carbohidratos.

Los otros parámetros bromatológicos no presentaron correlación positiva con ninguna de las dos profundidades, lo cual confirma los planteamientos realizados por Thomas *et al.* (2008), quien afirma que la composición de metabolitos secundarios y las cualidades nutricionales de las frutas son muy variables y se ven influenciadas por factores como el suelo y variables ambientales como temperatura, humedad, cantidad de lluvia durante el desarrollo del fruto, diferencias genóticas (Liu *et al.*, 2019), entre otras variables.

La variable ambiental que más afectó positivamente la concentración de ácidos grasos fue la altitud, la cual presentó una relación directamente proporcional con el contenido del ácido oleico, la suma de ácidos grasos monoinsaturados, e inversamente proporcional a la relación ácidos grasos saturados/insaturados, en todos los casos son características deseadas en la fruta del aguacate. En contraste, a una baja altitud se incrementó la suma de ácidos grasos saturados, lo cual no es favorable; estos resultados coinciden con los reportes para condiciones tropicales y subtropicales del aguacate cv Hassa (Carvalho *et al.*, 2015; Ferreyra *et al.*, 2016). Por otro lado, es claro que la concentración de ácidos grasos fue afectada por la variación del suelo principalmente por las concentraciones de Mg y K intercambiables. Ciertamente, los ácidos grasos se ven afectados por la región Norte y Oriente considerados en donde hay una mayor concentración de ácidos grasos buenos (mono y poliinsaturados) (Ferreyra *et al.*, 2016). Resultados obtenidos con otras especies por Wacal *et al.* (2019) indican que Mg y K puede controlar en algún nivel la concentración de ácidos grasos.

Los contenidos de ácidos grasos presentes en la pulpa de aguacate presentados en esta investigación son superiores a los reportados a nivel mundial (Defilippi *et al.*, 2015; Donetti & Terry, 2014; Herrera *et al.*, 2017; Martín-Torres *et al.*, 2020). Estos autores afirman que en aguacate cv. Hass el ácido oleico se encuentra en mayor concentración (53%) seguido en orden decreciente por ácido palmítico (20%), ácido linoleico (14%), ácido palmitoleico (7%) y ácido linolénico (4%). En la presente investigación el contenido promedio de ácido oleico fue de 59.76% y el ácido palmítico 17.84%, generando así una menor relación entre ácidos grasos saturados sobre insaturados. De esta manera, el aguacate en las regiones

---

del Departamento Antioquia presenta las mayores concentraciones de ácidos grasos mono y poliinsaturados y menor relación de saturados/insaturados, convirtiéndolo en un fruto con mejor perfil lipídico. Lo anterior, podría ser aprovechado por los productores para acceder a nichos de mercado que estén dispuestos a pagar un mejor precio por estas mejores características de calidad nutraceútica. Lo anterior coincide con lo sugerido por varios autores (Carvalho *et al.*, 2015; Donetti & Terry, 2014; Henao-Rojas *et al.*, 2019) y que se asocian con variables edafo-ambientales (altitud, temperatura mínima, media y máxima y precipitación y radiación solar y el contenido de bases intercambiables en el suelo como el Ca, Mg, K y la relación entre ellas), como las encontradas en el presente estudio.

Los resultados obtenidos confirman lo reportado por varios autores en relación al origen del aguacate (Donetti & Terry, 2014; Migliore *et al.*, 2017) y la presencia de ácidos grasos saturados, así la región (y su oferta edafo-ambiental) permite diferenciar la composición de estos, específicamente del ácido palmítico, la suma de ácidos grasos saturados y la relación entre ácidos grasos saturados/insaturados. Esto en parte debido a la relación detectado entre estos y variables tales como baja la altitud, mayores temperaturas máxima, media y mínima y menor precipitación, variables ambientales que se en cuentan en las unidades productivas de la región Suroeste.

Respecto a la influencia del tipo de cosecha y la región de cultivo, los ácidos grasos también se ven afectados por el tipo de cosecha, siendo mayor la concentración en la cosecha principal que en la traviesa. Resultados que concuerdan con el reporte de Salazar-García *et al.* (2016) quienes encontraron diferencias en los resultados entre regiones y cosechas en Jalisco, Nayarit y Michoacán.

La mayor concentración de ácidos grasos insaturados se presentó en el Norte seguida del Oriente y luego al Suroeste. Este comportamiento permite afirmar que los aguacates de la subregión Norte de Antioquia, presentan una mejor composición nutricional en términos de los compuestos bromatológicos, ácidos grasos monoinsaturados y minerales.

Vale la pena mencionar que, si bien no se consideró en este estudio, existen otros factores como el manejo y la relación patrón copa que además de los factores edafo-ambientales, pueden afectar la composición de ácidos grasos en frutos. Por ejemplo, Sadat *et al.* (2021)

---

encontraron que las aplicaciones de vermicompost y la inoculación micorrizas influyeron en la concentración de ácidos grasos en comino negro (*Nigella sativa*).

En investigaciones previas, ha sido común relacionar los contenidos de elementos minerales con el rendimiento y la calidad de la fruta, en términos de la incidencia de enfermedades en postcosecha (Mar & Hurtado, 2013; Ferreyra *et al.*, 2016; Ramírez-Gil *et al.*, 2021; Escobar *et al.*, 2021;) pero no es común la relación del contenido nutrientes del fruto con el contenido de minerales del suelo y su relación en términos espaciales.

En esta investigación se encontró que a mayor acidez del suelo hubo menor concentración de Ca intercambiable en el suelo, por lo que es importante reiterar en el manejo del calcio en el cultivo. Se ha reportado que una mayor concentración de Ca en la fruta está asociada a una menor incidencia de desórdenes fisiológicos en pre- y postcosecha, de antracnosis y otras enfermedades y una mayor duración de la fruta en postcosecha (Ramírez-Gil *et al.*, 2021; Bonomelli *et al.*, 2019; Witney *et al.*, 1990). Esto se puede hacer a través del uso de enmiendas calcáreas (p.e., cal agrícola) o fertilizantes cálcicos (p.e., nitrato de calcio) (Osorio, 2018).

Llama la atención que el aumento en el contenido de B en el suelo estuvo asociado negativamente la concentración de los nutrientes mayores N y S y de los micronutrientes Cu, Zn, Fe y Mn en el fruto. Esto sugiere la necesidad de monitorear la presencia de B en suelo, en los tejidos foliares y en los planes de fertilización, sobre todo cuando se hacen aplicaciones de B (edáfica o foliar) que son muy comunes en las etapas de prefloración y floración. El resultado obtenido indicaría que las aplicaciones de B deberían ser periódicas y estar acompañadas de otros micronutrientes (principalmente en forma quelatada) con el fin de mantener el equilibrio nutricional de los árboles y debido al efecto directo sobre forma, el tamaño, el contenido de ácidos grasos y el ablandamiento de los frutos en poscosecha por ser un componente de la pared celular (Salazar-García *et al.*, 2014).

Los resultados obtenidos a partir de los análisis de correlación, y con los análisis de varianza que mostraron una baja acidez, alta CICE y la mayor concentración de bases balanceadas (Ca, Mg, K y sus relaciones) se puede obtener un mejor perfil lipídico. Esto es particularmente aplicable a la obtención de una mayor concentración de ácido oleico y

---

suma de ácidos grasos monoinsaturados y a una más baja relación de ácidos grasos saturados/insaturados. Es importante aclarar que la concentración de ácidos grasos no solo está determinada por factores edáficos susceptibles a ser controlados, al menos parcialmente, con el manejo de la fertilización, sino que también existen un conjunto de variables ambientales, no sometidas a control. Por lo anterior, es necesario tener en cuenta estas variables ambientales (altitud, precipitación, temperaturas máxima, media y mínima) al momento de escoger la ubicación del cultivo.

Finalmente, los resultados obtenidos indican que tanto las variables edáficas como ambientales pueden tener un impacto considerable sobre la calidad nutricional de frutos de aguacate cv. Hass. Por lo anterior, se recomienda que se realice una revisión minuciosa de los datos históricos ambientales a la hora de escoger una zona de cultivo y una vez establecido, recomendar a los agricultores ser rigurosos con los análisis de suelo y foliares, para ser analizado no solo por su potencial efecto en la dinámica del suelo, sino, por sus potenciales efectos sobre la calidad nutricional del fruto de aguacate.

## **2.7 Conclusiones**

Los resultados obtenidos con esta investigación confirman nuestra hipótesis que la calidad de la pulpa del fruto de aguacate cv. Hass es afectada por factores edáficos y ambientales, adicionalmente, cambia por aspectos espaciales (región de ubicación del lote) y la estacionalidad de la cosecha (principal y traviesa).

Se resalta la relación directa del contenido de ácidos grasos, particularmente los monoinsaturados, y dentro de ellos el ácido oleico, en función de la altitud, la precipitación y las bajas temperaturas máxima, media y mínima e inversamente relacionado con las temperaturas máxima, media y mínima y la menor altitud.

La concentración de ácidos grasos fue afectada por la variación del suelo principalmente por las concentraciones de Mg y K intercambiables. Los ácidos grasos también se ven afectados por el tipo de cosecha, siendo mayor su concentración en la cosecha principal que en la traviesa. La composición bromatológica estuvo fuertemente influenciada por la

---

región, siendo los contenidos de carbohidratos y fibra cruda significativamente mayores en el Suroeste de Antioquia.

El contenido de Mg intercambiable del suelo estuvo positivamente relacionado con la concentración de proteína, ceniza y la fibra cruda en la pulpa del aguacate cv. Hass.

Los resultados encontrados indican que los contenidos en el fruto de P, K, Mg, Na, S, Zn y B aumentaron su acumulación cuando el fruto procedía de huertos ubicados a mayores alturas, mientras que los contenidos de Ca, Fe, Mn y Cu aumentaron cuando la altura fue menor. Esto puede ser debido a que, a mayores alturas, suele haber mayor lixiviación de nutrientes o deposición de cenizas volcánicas. Es decir, no un efecto directo del clima.

Los resultados de esta investigación permiten concluir que hay una estrecha relación de algunos parámetros edáficos en la P2 (31-60 cm) con algunos parámetros de la calidad del fruto, lo que podría indicar que la interpretación de los análisis del suelo y las recomendaciones para fertilización deberían considerar no sólo los análisis hechos en la profundidad más superficial (0-30 cm), como tradicionalmente se hace, sino también tener en cuenta los resultados de los análisis de suelos a mayor profundidad (31-60 cm).

## **2.8 Recomendaciones**

Realizar investigaciones similares con más zonas contrastantes de Colombia para validar los modelos propuestos.

Identificar zonas con parámetros edáficos y ambientales con mayor potencial para la siembra de cultivos de aguacate cv. Hass que permitan maximizar la calidad en términos del contenido de ácido grasos.

Diseñar e implementar planes de manejo de suelo y nutrición que permitan la maximización la calidad nutricional de los frutos de aguacate.

Buscar estrategias valorización que faciliten el acceso a mercados relacionadas con el origen del aguacate cv. Hass a nichos específicos

---

## 2.9 Agradecimientos

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia al Sistema nacional de Regalías y a la secretaria de Agricultura de Antioquia por financiar esta investigación.

## 2.10 Referencias

Albornoz, Y., Sulbarán, B., Graciela, O., Nava, R., Fernández, V., Delgado, J., Berradre, M., & Peña, J. (2008). Caracterización Físicoquímica Y Contenido De Minerales En Pulpas De Níspero (*Achras sapota* L.). *Boletín Del Centro De Investigaciones Biológicas*, 42(2), 229–242.

AOAC. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International*. (A. International (ed.); 18th ed.).

AOAC. (2016). *Official Methods of Analysis* (A. International. (ed.); 20th Editi).

Ben-shachar, M. S., Lüdecke, D., & Makowski, D. (2020). effect size : Estimation of Effect Size Indices and Standardized Parameters. 5, 1–7. <https://doi.org/10.21105/joss.02815>

Bonomelli, C., Gil, P. M., & Schaffer, B. (2019). Effect of soil type on calcium absorption and partitioning in young avocado (*Persea americana* Mill.) trees. *Agronomy*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy9120837>

Carvalho, C., Bernal, J., Velásquez, M., & Cartagena, J. (2015). Fatty acid content of avocados (*Persea americana* Mill. cv. Hass) in relation to orchard altitude and fruit maturity stage. *Agronomia Colombiana*, 33(2), 220–227. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.49902>

Carvalho, C. P., Velásquez, M. A., & Van Rooyen, Z. (2014). Determination of the minimum dry matter index for the optimum harvest of 'Hass' avocado fruits in Colombia. *Agronomia Colombiana*, 32(3), 399–406. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n3.46031>

---

Ceballos, A., & Montoya, S. B. (2013). Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cascara en tres variedades de aguacate. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 103–112.

Cohen's, J. (2012). Using Effect Size—or Why the P Value Is Not Enough. September, 279–282.

Defilippi, B. G., Robledo, P., Ferreyra, R., Soto, S., & Saavedra, J. (2015). Preharvest factors influencing “Hass” avocado (*Persea americana* Mill.) quality during long term storage. *Acta Horticulturae*, 1071, 137–142.  
<https://doi.org/10.17660/actahortic.2015.1071.13>

Donetti, Manuela, & Terry, L. (2014). Biochemical markers defining growing area and ripening stage of imported avocado fruit cv. Hass. *Journal of Food Composition and Analysis*, 34(1), 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.011>

Dreher, M. L., & Davenport, A. J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(7), 738–750.  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>

Escobar, J. V., Cortes, M., Correa, G., Rondon, T., & Rodríguez, P. (2021). ‘Hass’ avocado internal disorders under simulated export conditions and its relationship with flesh mineral content and preharvest variables. *Horticulturae*, 7(4).  
<https://doi.org/10.3390/horticulturae7040077>

FAO. (2019). Análisis del mercado de las principales frutas tropicales 2019. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.  
<http://www.fao.org/3/cb0834es/CB0834ES.pdf>

Ferreyra, R., Sellés, G., Saavedra, J., Ortiz, J., Zúñiga, C., Troncoso, S. A., Rivera, M. González-Agüero, & B.G.Defilippi. (2016). Identification of pre-harvest factors that affect



---

fatty acid profiles of avocado fruit (*Persea americana* Mill) cv . ' Hass ' at harvest. South African Journal of Botany, 104(May), 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.10.006>

Fulgoni, V., Dreher, M. Y, Davenport, A. J., Iij, V. L. F., Dreher, M. y, Davenport, A. J., Fulgoni, V., Dreher, M. Y, & Davenport, A. J. (2013). Avocado consumption is associated with better diet quality and nutrient intake , and lower metabolic syndrome risk in US adults : results from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2001 – 2008. Nutrition, 1–6.

Gardiazábal, F., Mena, F., & Magdahl, C. (2007). Efecto de la fertilización en base a N-P-K-Ca-Mg-B-Zn en palto (*Persea americana* Mill.) cV Hass sobre su desarrollo productivo y poscosecha de la fruta. 978. <http://www.avocadosource.com/wac6/es/extenso/3a-98.pdf>

Hamurcu, M., Arslan, D., Hakki, E. E., Musa Özcan, M., Pandey, A., Khan, M. K., & Gezgin, S. (2019). Boron application affecting the yield and fatty acid composition of soybean genotypes. Plant, Soil and Environment, 65(5), 238–243. <https://doi.org/10.17221/679/2018-PSE>

Henao-Rojas, J., Lopez, J. H., Osorio, N. W., & Ramírez-Gil, J. G. (2019). Fruit quality in Hass avocado and its relationships with different growing areas under tropical zones. Revista Ceres, 66(5), 341–350. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201966050003>

Kyriacou, M. C., & Roupael, Y. (2018). Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. Scientia Horticulturae, 234(August), 463–469. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.046>

Liu, L., Shu, B., Jue, D., Wang, Y., Wei, Y., & Shi, S. (2019). Avocado fruit pulp transcriptomes in the after-ripening process. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 47(2), 308–319. <https://doi.org/10.15835/nbha47211346>

Lüdecke, D., Patil, I., Ben-shachar, M. S., Wiernik, M., Waggoner, P., & Makowski, D. (2021). see : An R Package for Visualizing Statistical Models Statement of Need. 6, 1–10. <https://doi.org/10.21105/joss.03393>

---

Magwaza, L. S., & Tesfay, S. Z. (2015). A review of destructive and non-destructive methods for determining avocado fruit maturity. *Food and Bioprocess Technology*, 8(10), 1995–2011. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1568-y>

Granados Hurtado, A. (2014). Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) Cv. Lorena en San Sebastián de Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia.

Martín-Torres, S., Jiménez-Carvelo, A. M., González-Casado, A., & Cuadros-Rodríguez, L. (2020). Authentication of the geographical origin and the botanical variety of avocados using liquid chromatography fingerprinting and deep learning methods. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 199 (January). <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2020.103960>

Migliore, G., Farina, V., Tinervia, S., Matranga, G., & Schifani, G. (2017). Consumer interest towards tropical fruit: factors affecting avocado fruit consumption in Italy. *Agricultural and Food Economics*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40100-017-0095-8>

Milne, D. L. (1997). Avocado Quality Assurance : Who ? Where ? When ? How ? Joint Meeting of the Australian Avocado Grower's Federation, Inc. and NZ Avocado Growers Association, Inc.: Searching for Quality, September, 14–37.

Nakagawa, S., & Cuthill, I. C. (2007). Effect size , confidence interval and statistical significance : a practical guide for biologists. 82, 591–605. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00027.x>

Noorul, H., Nesar, A., Zafar, K., Khalid, M., Zeeshan, A., & Vartika, S. (2016). Health benefits and pharmacology of *Persea americana* mill . (Avocado). *International Journal of Research in Health Benefits and Pharmacology of Persea americana Mill. (Avocado)*. April.

OECD/FAO. (2021). OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>

---

Osorio, N. W. (2018). Manejo de nutrientes en suelos del tropico (Tercera Ed).

Pedreschi, R., Uarrota, V., Claudia, F., Alvaro, J., Olmedo, P., Defilippi, B., Meneses, C., & Campos-Vargas, R. (2019). Primary metabolism in avocado fruit. In: *Frontiers in Plant Science* (Vol. 10, Issue June). <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00795>

Peña, R. (2013). Manual técnico para la interpretación de análisis de suelos y fertilización de cultivos (Universidad de La Salle (ed.).

Pepin, N., Bradley, R. S., Diaz, H. F., Baraer, M., Caceres, E. B., Forsythe, N., Fowler, H., Greenwood, G., Hashmi, M. Z., Liu, X. D., Miller, J. R., Ning, L., Ohmura, A., Palazzi, E., Rangwala, I., Schöner, W., Severskiy, I., Shahgedanova, M., Wang, M. B., ... Yang, D. Q. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, 5(5), 424–430. <https://doi.org/10.1038/nclimate2563>

Procolombia. (2021). El aguacate Hass colombiano LV del 'Super Bowl' con más. Recuperado 15 octubre 2021, de <https://procolombia.co/noticias/el-aguacate-hass-colombiano-estara-presente-en-la-edicion-lv-del-super-bowl-con-mas-de-43-toneladas>.

Ramírez-Gil, J. G., Henao-Rojas, J. C., & Morales-Osorio, J. G. (2021). Postharvest diseases and disorders in avocado cv. Hass and their relationship to preharvest management practices. *Heliyon*, 7(1), e05905. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05905>

Ramírez-Gil, J., Franco, G., & Henao-Rojas, J. (2019). Review of the concept of quality in Hass avocado and the pre-harvest and harvest factors that determine it under tropical conditions. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(3), 359–370. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i3.10503>

Ramírez-Gil, J., Morales, J. G., & Peterson, A. T. (2018). Potential geography and productivity of “Hass” avocado crops in Colombia estimated by ecological niche modeling. *Scientia Horticulturae*, 237, 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.021>

---

Rivera, S., Ferreyra, R., Robledo, P., Selles, G., Arpaia, M. L., Saavedra, J., & Defilippi, B. G. (2017). Identification of preharvest factors determining postharvest ripening behaviors in 'Hass' avocado under long term storage. *Scientia Horticulturae*, 216 (February), 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.024>

Sadat Darakeh, S. A. S., Weisany, W., Diyanat, M., & Ebrahimi, R. (2021). Bio-organic fertilizers induce biochemical changes and affect seed oil fatty acids composition in black cumin (*Nigella sativa* Linn). *Industrial Crops and Products*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113383>

Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R.E., & Álvarez-Bravo, A. (2016). Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 277–289.

Salazar-Garcia, S., Ibarra-Estrada, M., Gutierrez-Martínez, P., & Medina-Torres, R. (2014). Fertilización con (Zn) y boro en huertos de aguacate 'Hass' sin riego en Nayarit / (Zn) and boron fertilization in rainfed "Hass" avocado orchards in Nayarit. Libro Técnico Núm 02, 106.

[https://www.researchgate.net/publication/292610442\\_Fertilizacion\\_con\\_zinc\\_y\\_boro\\_en\\_huertos\\_de\\_aguacate\\_'Hass'\\_sin\\_riego\\_en\\_Nayarit\\_Zinc\\_and\\_boron\\_fertilization\\_in\\_rainfed\\_'Hass'\\_avocado\\_orchards\\_in\\_Nayarit](https://www.researchgate.net/publication/292610442_Fertilizacion_con_zinc_y_boro_en_huertos_de_aguacate_'Hass'_sin_riego_en_Nayarit_Zinc_and_boron_fertilization_in_rainfed_'Hass'_avocado_orchards_in_Nayarit).

Santana, I., Castelo-Branco, V. N., Guimarães, B. M., Silva, L. de O., Peixoto, V. O. D. S., Cabral, L. M. C., Freitas, S. P., & Torres, A. G. (2019). Hass avocado (*Persea americana* Mill.) oil enriched in phenolic compounds and tocopherols by expeller-pressing the unpeeled microwave dried fruit. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.014>

Silva, C. (1994). Composición y evaluación de los componentes químicos de la palta (*Persea americana* Mill) durante su maduración. *Revista de la Sociedad Chilena de Tecnología de Alimentos*, 19(5–6). [http://www.avocadosource.com/papers/chile\\_papers\\_a-z/s-t-u/silvacarlos1994.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/chile_papers_a-z/s-t-u/silvacarlos1994.pdf)

---

Thomas, R. H., Woods, F. M., Dozier, W. A., Ebel, R. C., Nesbitt, M., Wilkins, B., & Himelrick, D. G. (2008). Cultivar variation in physicochemical and antioxidant activity of Alabama-grown blackberries. [https://Doi.Org/10.1300/J301v04n02\\_07](https://doi.org/10.1300/J301v04n02_07), 4(2), 57–71. [https://doi.org/10.1300/J301V04N02\\_07](https://doi.org/10.1300/J301V04N02_07)

Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., & González-Aguilar, G. A. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of “Hass” avocado. *Food Research International*, 44(5), 1231–1237. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.012>

Valbuena-Calderón, C., Martínez-Martínez, L., & Henao-Giraldo, R. (2008). Variabilidad espacial del suelo y su relacion con el rendimiento de mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(4), 1146–1151. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000400049>

Wacal, C., Ogata, N., Basalirwa, D., Sasagawa, D., Kato, M., Handa, T., Masunaga, T., Yamamoto, S., & Nishihara, E. (2019). Fatty Acid composition of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds in relation to yield and soil chemical properties on continuously monocropped upland fields converted from paddy fields. *Agronomy*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy9120801>

Witney, G. W., Hofman, P. J., & Wolstenholme, B. N. (1990). Mineral distribution in avocado trees with reference to calcium cycling and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 44(3–4), 279–291. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(90\)90128-2](https://doi.org/10.1016/0304-4238(90)90128-2)



---

## 3. Capítulo: Discusión general

Los resultados confirman la hipótesis de esta investigación de que la calidad del fruto (física - química) del aguacate cv. Hass es afectada por variables edafo-ambientales asociadas a la localidad, la región en donde se cultiva la fruta y el tipo de cosecha (principal y traviesa).

La definición de calidad está relacionada con muchos factores, entre los que se destacan aspectos estéticos asociados a la ausencia de daños físicos, el tamaño y la forma, características nutricionales, sensoriales y de inocuidad. Todos ellos son influenciados por factores productivos de precosecha, cosecha y postcosecha, que a su vez dependen en gran medida de aspectos ambientales, económicos, culturales y sociales. Dichos parámetros se pueden relacionar incluso con criterios de calidad éticos y morales justificadas en la protección del medio ambiente, criterios de mercado justo, distribución equitativa de beneficios, la exclusión del trabajo de menores y procesos de inclusión social, entre otros. Todos ellos, en última instancia buscan satisfacer las necesidades y expectativas de clientes y consumidores. (Ramírez *et al.*, 2019).

Las anteriores consideraciones hacen de la calidad un concepto altamente complejo, el cual se hace necesario simplificar para hacerlo más aplicable. Para efectos del presente trabajo, la calidad fue definida en términos fisicoquímicos de forma, tamaño, color, peso, volumen y de la composición nutracéutica expresada en la concentración de compuestos bromatológicos, ácidos grasos, minerales y vitamina E del fruto de aguacate cv. Hass.

El conocimiento de los factores relacionados con el incremento de la calidad y el proceso productivo que incorpora aspectos edáficos y ambientales sirve de base para orientar la toma de decisiones relacionadas con el establecimiento del cultivo de aguacate cv. Hass y su manejo. Esto de acuerdo con la tendencia de evaluación de calidad de los mercados

destino para fruta en fresco o procesada (pulpa o extracción de compuestos de interés en la industria medicinal cosmética) y así, reducir las pérdidas económicas.

Para el caso de la variable rendimiento en cáscara, los resultados encontrados en frutos de aguacate cv. Hass cultivados en Antioquia son comparables a los reportados en algunas localidades de México con valores entre 12.3-16.6% (Salazar-García *et al.*, 2016). Igualmente, con pocas variaciones con respecto a otras regiones en Colombia (Buevas Salgado *et al.*, 2012). Para esta variable, se presenta un marcado comportamiento en función de la elevación, con menores porcentajes de cáscara a elevaciones superiores, indicando que el fruto de aguacate cv. Hass tiende a engrosar su epidermis para así disminuir la pérdida de agua en climas más cálidos y con menor humedad relativa.

Para las relaciones entre color, variables geométricas (volumen y peso del fruto), porcentaje de pulpa, porcentaje de semilla, y pérdida de peso durante madurez, presentaron diferencias entre las localidades evaluadas. Dichas variaciones se asociaron a condiciones ambientales, edáficas y de manejo diferentes (Gálvez-Cendegui *et al.*, 2016; Ramírez-Gil *et al.*, 2017; Ramírez-Gil, 2017).

En el caso de la variable rendimiento de pulpa, en todas las localidades evaluadas fueron superiores a los reportados en las localidades mexicanas de Jalisco, Michoacán y Nayarit, con valores de 60.3, 59.2 y 58.7%, respectivamente (Salazar-García *et al.*, 2017). En este sentido se reporta que para las condiciones de producción en Antioquia por encima de 1.770 m de altitud el contenido de pulpa es (64-70%), superior en 12% al promedio internacional, mientras que en alturas inferiores disminuye notablemente a contenidos cercanos a 63% (Bernal, 2016). Dichos resultados indican que a menor altitud no solo disminuye el peso del fruto, sino también el contenido de pulpa del fruto.

En el caso del perfil de ácidos grasos encontrado en los frutos de aguacate cv. Hass fueron altamente relacionados con la región biogeográfica en la cual se ubicaron las fincas, de tal manera que a mayor altura mejor calidad de parámetros asociados. Vale la pena resaltar que la concentración de ácidos grasos fue afectada por variaciones del suelo principalmente por las concentraciones de Mg y K intercambiables. Así mismo, el contenido de Mg intercambiable del suelo afectó positivamente la concentración de proteína, ceniza y la fibra cruda en la pulpa del aguacate cv. Hass.



Por lo anterior, el contenido y tipo de ácidos grasos se han considerado como posibles biomarcadores para determinar áreas con un potencial adecuado para expandir el desarrollo de plantaciones de este frutal (Donetti & Terry, 2014; Ferreyra, *et al.*, 2016).

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten afirmar que la mayoría de las localidades estudiadas superan los estándares internacionales en parámetros de calidad de la fruta de aguacate, con excepción del ácido linoleico, el cual en todas las localidades estuvo por debajo de los reportes internacionales (11-15%) (Donetti & Terry, 2014; Takenaga *et al.*, 2008). La importancia de la cantidad y la tipología de ácidos grasos en el fruto de aguacate, especialmente los ácidos grasos que contienen insaturaciones en su estructura, radican en que estos se han asociado con una disminución en el riesgo de enfermedades cardiovasculares, en control de peso e hiperlipidemias (Pérez-Méndez & García-Hernández, 2007; Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2015), además de que son determinantes en la calidad, especialmente relacionada con sus atributos sensoriales.

De acuerdo con diversos autores, los ácidos grasos en el aguacate cv. Hass se distribuyen de la siguiente manera: 71% ácidos monoinsaturados, 13% poliinsaturados y 16% de ácidos grasos saturados (Farina & Reig, 2018; Fulgoni *et al.*, 2013; González *et al.*, 2017; Kilaru *et al.*, 2015; Ozdemir & Topuz, 2004). El ácido graso más abundante es el ácido oleico (53%) seguido en orden decreciente por el palmítico (20%), linoleico (14%), palmitoleico (7%) y el linolénico (4%) (Donetti & Terry, 2014; Defilippi *et al.*, 2015; Pedreschi, Hollak, Harkema, Otma, Robledo, Westra, Somhorst, Ferreyra, & Defilipp, 2016; González *et al.*, 2017; Martín-Torres *et al.*, 2020;). Esta variación en la concentración está asociada con el origen (localidad-región) y el tipo de cosecha (principal y traviesa) (Donetti & Terry, 2014).

En la **Tabla 3-1** Composición de frutos de aguacate cv. Hass proveniente de diferentes orígenes. se observan las principales variables asociadas a la calidad nutricional reportados en la pulpa del aguacate cv. Hass según diferentes países de Origen.

**Tabla 3-1** Composición de frutos de aguacate cv. Hass proveniente de diferentes orígenes.

Grupo de parámetros	Compuesto	Nomenclatura	Contenido en el fruto (%)				
			Australia	México	Nueva Zelanda	Estados Unidos	Colombia
Contenido de ácidos grasos	Ácido palmítico	C16:0	25,63	22,59	20,61	22,24	17,84
	Ácido Palmitoleico	C16:1	7,29	11,63	10,31	13,14	7,36
	Ácido Esteárico	C18:0	0,45	0,24	0,3	0,93	0,14
	Ácido Oleico	C18:1	42,59	49,19	50,97	47,69	59,76
	Ácido linoleico	C18:2	20,87	14,72	16,1	14,47	9,15
	Ácido Linolénico	C18:3	3,19	1,63	1,72	1,54	4,97
	Suma de ácidos grasos saturados		26,07	22,83	20,91	23,16	18,28
	Suma de ácidos grasos monoinsaturados		49,88	60,83	61,28	60,83	67,12
	Suma de ácidos grasos poliinsaturados		24,06	16,35	17,81	16,01	14,12
	Relación saturados insaturados		0,35	0,29	0,26	0,30	0,23
Índices bromatológicos	Extracto etéreo (g)		N.D..	N.D.	N.D.	63	64,03
	Ceniza (g)		N.D.	N.D.	1,2	1,58	11,36
	Carbohidratos (g)		N.D.	N.D.	5,6	8,53	6,21
	Fibra (g)		N.D.	N.D.	1,4	6,7	15,18
	Proteína (g)		N.D.	N.D.	1,8	2,0	6,76
Contenido de minerales	Nitrógeno		N.D.	0,9	N.D.	N.D.	0,86
	Fósforo (mg)		N.D.	0,2	0,27	0,54	0,13
	Calcio (mg)		N.D.	0,09	1,4	1,2	0,03
	Hierro (mg)		N.D.	0,31	0,7	0,55	0,20
	Magnesio (mg)		N.D.	0,2	23	29	0,1
	Potasio(mg)		N.D.	1,7	4,80	4,85	1,58
	Boro		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2,82
	Sodio (mg)		N.D.	N.D.	2,0	7	0,02
	Zn (mg)		N.D.	0,17	0,5	0,64	1,87
	S (mg)		N.D.	0,045	N.D.	N.D.	0,12
	Cobre (mg)		N.D.	8,5	N.D.	0,17	5,01
	Manganeso (mg)		N.D.	8,5	N.D.	0,15	6,7
Vitamina E (mg)		N.D.	N.D.	N.D.	0,2	0,1	

Fuente: Yahia & Woolf, 2011; Dreher & Davenport, 2013; Tan *et al.*, 2017; Hurtado-Fernández *et al.*, 2018; Lye *et al.*, 2020; García-Martínez *et al.*, 2021;) The associated data in Colombia are self-produced.

N.D.: No determinado

Es claro que el aguacate cv. Hass colombiano es el que presenta mayor concentración de ácidos oleico (monoinsaturado) con una concentración de 59.76%; con 40.31% más que el reportado en Australia, 25.31% más que en Estados Unidos, 21.34% más que en México. Con respecto al ácido palmítico (saturado) la mayor concentración se tiene en Australia (30.39% más que Colombia), seguida por México, Estados Unidos y Nueva Zelanda.

En la suma de ácidos grasos monoinsaturados la mayor concentración la tiene Colombia (67.12 %), seguida por la de Nueva Zelanda, México, Estados Unidos y por último Australia (49.88 %). La mayor concentración de ácidos grasos saturados se encuentra en Australia, seguido por Estados Unidos, Nueva Zelanda y México. Con respecto a la sumatoria de ácidos grasos polinsaturados, la mayor concentración se reporta en la fruta precedente de Australia y la menor de Colombia; la relación de ácidos grasos saturados presenta la menor relación en Colombia (0.23), seguida de Nueva Zelanda (0.26), México (0.29), Estados Unidos (0.30) y Australia (0.35). Características como la mayor concentración de ácidos grasos monoinsaturados, menores de ácidos grasos saturados y la menor relación entre saturados/insaturados le confieren al aguacate colombiano características especiales que permitirían su comercialización en los mercados internacionales, posiblemente con un sello de origen por su mayor concentración compuestos que benefician la salud de los consumidores.

Los hallazgos reportados en esta investigación demuestran la relación de las condiciones edáficas y ambientales, de las regiones con respecto a la concentración de los compuestos bromatológicos, ácidos grasos, elementos minerales y vitamina E. Sin embargo, para obtener un mayor provecho de este conocimiento, es necesario establecer las prácticas de manejo agronómico que puedan privilegiar factores químicos deseables en los climas tropicales como el de Colombia.

En la presente investigación se demostró un efecto sustancial del ambiente sobre la composición nutricional de la pulpa de fruto de aguacate cv. Hass procedente de diferentes regiones del departamento de Antioquia, ubicadas entre los 1753 a 2453 m de altitud. Los resultados encontrados indican que los contenidos en el fruto de P, K, Mg, Na, S, Zn y B aumentaron su acumulación cuando el fruto procedía de huertos ubicados a mayores alturas, mientras que los contenidos de Ca, Fe, Mn y Cu aumentaron cuando la altura fue

menor. Por otra parte, el contenido de N en el fruto no fue significativamente influenciado por las condiciones ambientales, lo cual confirma los hallazgos obtenidos por Bernal (2016).

Por su parte, el déficit en el contenido de B está asociado con el ablandamiento de la fruta posterior a la cosecha (Smith *et al.*, 1997) y con una maduración más rápida ya que el 95% del boro se encuentra en la pared celular (Hernández *et al.*, 2016). Los nutrientes N y Mg están relacionados con el contenido de ácido palmítico (Pedreschi *et al.*, 2016). Escobar *et al.* (2021) reportaron que el contenido en la fruta de B, Ca, N, Mn, K, y Mg tenían relación significativa con la calidad de la pulpa del aguacate de cv. Hass y que el aumento del contenido de B, Ca, y Mn reducía los desórdenes encontrados en la pulpa de la fruta. Ferreyra *et al.* (2016) señalan que la composición química de la fruta se ve afectada por el estado nutrimental del suelo en el que se desarrolla, afectando así su vida de almacenamiento. Así mismo, el conocimiento de las características de suelo y ambiente relacionadas con el contenido de lípidos en aguacate permitirían estimular el desarrollo del cultivo en áreas geográficas con alto potencial.

Los resultados encontrados también indican que la fruta del aguacate cv. Hass que crece en un ambiente más frío y a mayores altitudes presenta una forma más redondeada, mayor tamaño, concentración superior de ácidos mono y poliinsaturados y menores concentraciones de ácidos grasos saturados. Lo anterior confirma los resultados obtenidos por varios autores (Cuevas, 2007; Dubrovina & Bautista, 2014; Carvalho & Velásquez, 2015; Guzmán-Maldonado *et al.*, 2016; Medina-Carrillo, Salazar-García, & González-Valdivia, 2017; Rivera *et al.*, 2017). Además, también se demuestra que la altitud del sitio y su relación con la precipitación y las temperaturas media y máxima también tiene un efecto marcado en el contenido de minerales y ácidos grasos del mesocarpio de aguacate (Carvalho & Velásquez, 2015; Pedreschi, *et al.*, 2016; Salazar-García *et al.*, 2016).

Los resultados que relacionan las variables humedad relativa y precipitación se explican principalmente porque el agua cumple un papel fundamental en el desarrollo del cultivo e incide directamente en los procesos funcionales estructurales y metabólicos. Adicionalmente, un déficit hídrico en etapas críticas puede tener consecuencias como pérdida o retraso de una floración, caída de fruta, reducción en el calibre de la fruta, dificultad para el transporte de nutrientes (especialmente Ca), cierre de estomas (K) y

problemas de calidad en poscosecha (Ca, B, Mn) . Sin embargo, el exceso de humedad en el ambiente puede ocasionar el incremento de problemas sanitarios en el cultivo, anegamiento de árboles (Milne, 1997; Bertling & Bower, 2005; Salgado *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2016; Holzapfel *et al.*, 2017; y Holzapfel *et al.*, 2017).

En el primer capítulo de la presente investigación, se encontró una estrecha relación entre la concentración de ácido linolénico y las concentraciones en suelo de N, Zn y P, así como una relación entre la concentración de ácidos grasos poliinsaturados y las concentraciones de S en los aguacates. Los resultados obtenidos indican que tienen la capacidad de discriminar los frutos de aguacate en función de las variables químicas y su origen (localidad-región). Las variables con mayor poder discriminante fueron la concentración de Zn, S, Mg, N, P, ácido oleico, ácido linoleico, ácido linolénico y ácido palmítico.

Dentro de una ubicación geográfica, las frutas de temporada tardía tienen una concentración de aceite mucho más alta que los aguacates de temporada temprana, pasando del 9% al comienzo de la temporada al 14% al final de la misma (Hernández *et al.*, 2016). Resultados similares fueron obtenidos por Villa-Rodríguez *et al.* (2011) al estudiar el efecto de la etapa de madurez sobre el contenido de ácidos grasos en los aguacates cv. Hass encontrando aumento significativo de los ácidos grasos monoinsaturados y saturados durante la maduración del aguacate, mientras que el contenido de ácidos grasos poliinsaturados disminuyó. Por su parte, García-Martínez *et al.* (2021) y Witney *et al.* (1990) encontraron en un estudio en varias localidades que la calidad, la productividad y la maduración de los frutos de aguacate cv. Hass dependen del estado nutricional del árbol y de la disponibilidad de nutrientes del suelo, así mismo del periodo de cuajado (Hernández *et al.*, 2016), de la distribución de la fruta dentro del árbol y el nivel de exposición al sol (Woolf *et al.*, 1999). En estos mismos términos, Rivera *et al.* (2017) afirma que la amplia gama de condiciones bajo las cuales se cultivan los árboles de aguacate, en particular las relacionadas al ambiente, el suelo y el manejo agronómico, pueden influir en la heterogeneidad de la maduración.

En resumen, los resultados encontrados en este trabajo demuestran dos aspectos importantes que deben tenerse en cuenta en la industria aguacatera colombiana. En primer lugar, se encuentra el hecho de que los parámetros físicos - químicos muestran que la fruta producida en las regiones de Antioquia, Colombia, presenta altos estándares de calidad

que la convierte en un factor de diferenciación del producto. Esto podría facilitar acceder a nichos de mercado especializados en productos de alta calidad, tratando de mejorar otros parámetros precosecha, cosecha y poscosecha que determinan la calidad de la fruta (Ferreyra, *et al.*, 2016; Hernández *et al.*, 2016; Pedreschi *et al.*, 2016). Como un segundo punto de importancia está el hecho de que, bajo las condiciones edáficas, ambientales y de manejo de las fincas evaluadas existe una diferenciación marcada en la calidad de la fruta, lo cual puede ser una alternativa para mejorar la rentabilidad de algunos sistemas productivos, especialmente aquellos ubicados a altitudes superiores a los 2300 m de elevación, donde los rendimientos son más bajos en comparación con lotes ubicados a elevaciones más bajas (Bernal, 2016). Sin embargo, bajo estas características ambientales se presentan mejores estándares de calidad, por lo cual se podrían desarrollar modelos de producción con denominación de “aguacates especiales” e incluso a futuro concebir una zonificación de regiones con vocación hacia la producción de aguacates de origen.

### 3.1 Bibliografía

- Bernal, J. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/50844/>
- Bertling, I., & Bower, J. P. (2005). Sugars as energy sources – is there a link to avocado fruit quality? *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 28, 24–27.
- Bill, M., Sivakumar, D., Thompson, A. K., & Korsten, L. (2014). Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International*, 30(October), 37–41. <https://doi.org/10.1080/87559129.2014.907304>
- Buelvas Salgado, G. A., Patiño Gómez, J. H., & Cano-Salazar, J. A. (2012). Evaluation of the oil extraction from hasavocado (*Persea americana* Mill) by the use of an enzymatic treatment. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2), 138–150.
- Carvalho, C., & Velásquez, M. (2015). Fatty acid content of avocados (*Persea americana* Mill. cv. Hass) in relation to orchard altitude and fruit maturity stage. *Agronomía*

*Colombiana*, 33(2), 220–227. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.49902>

Cuevas, M. (2007). Influencia del manejo y condiciones edafoclimáticas sobre la calidad del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. “Semil 34” en República Dominicana. *Actas VI Congreso Mundial Del Aguacate*, 978.

Defilippi, B. G., Robledo, P., Ferreyra, R., Soto, S., & Saavedra, J. (2015). Preharvest factors influencing “Hass” avocado (*Persea americana* Mill.) quality during long term storage. *Acta Horticulturae*, 1071, 137–142. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2015.1071.13>

Donetti, M., & Terry, L. (2014). Biochemical markers defining growing area and ripening stage of imported avocado fruit cv. Hass. *Journal of Food Composition and Analysis*, 34(1), 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.011>

Dreher, M. L., & Davenport, A. J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(7), 738–750. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>

Dubrovina, I. A., & Bautista, F. (2014). Analysis of the suitability of various soil groups and types of climate for avocado growing in the state of Michoacán, Mexico. *Eurasian Soil Science*, 47(5), 491–503. <https://doi.org/10.1134/S1064229314010037>

Escobar, J. V., Cortes, M., Correa, G., Rondon, T., & Rodríguez, P. (2021). ‘Hass’ Avocado Internal disorders under simulated export conditions and Its relationship with flesh mineral content and preharvest variables. *Horticulturae*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/horticulturae7040077>

Farina, V., & Reig, C. (2018). Fatty acids and sugar composition of avocado fruit during

harvesting time and post-harvest ripening period: A review. In: *Italus Hortus* (Vol. 25, Issue 1, pp. 1–11). <https://doi.org/10.26353/j.itahort/2018.1.111>

Ferreya, R., Selles, G., Saavedra, J., Ortiz, J., Zuñiga, C., Troncoso, C., Rivera, S. A., Gonzalez-Aguero, M., Defilippi, B., Sellés, G., Saavedra, J., Ortiz, J., Zúñiga, C., Troncoso, C., Rivera, S. A., González-Agüero, M. Defilippi, B., González-Agüero, M., & Defilippi, B. G. (2016). Identification of pre-harvest factors that affect fatty acid profiles of avocado fruit (*Persea americana* Mill) cv.'Hass' at harvest. *South African Journal of Botany*, 104 (May), 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.10.006>

Fulgoni, V., Dreher, M. y, & Davenport, A. (2013). Avocado consumption is associated with better diet quality and nutrient intake , and lower metabolic syndrome risk in US adults : results from the National Health and Nutrition Examination Survey ( NHANES ) 2001 – 2008. *Nutrition*, 1–6.

Gálvez-Cendegui, L., Peñaloza, P., Oyanedel, E., & Castro, M. (2016). Caracterización del tamaño de semilla nodriza de aguacate Esther y el desarrollo de sus plántulas. *Revista Fitotecnía Mexicana*, 39(1), 79–85.

García-Martínez, R., Cortés-Flores, J. I., López-Jiménez, A., Etchevers-Barra, J. D., Carrillo-Salazar, J. A., & Saucedo-Veloz, C. (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>

González, Y. N., González, J. A. H., Maldonado, S. H. G., & Bravo, A. Á. (2017). Influencia del clima y rugosidad sobre la tolerancia a refrigeración del aguacate 'Hass.' *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 3911–3921. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263153823006>



- Guzmán-Maldonado, S. H., Osuna-garcía, J. A., Herrera-gonzález, J. A., Osuna García, J. A., & Herrera-González, J. A. (2017). Efecto de localidad y madurez sobre el perfil de ácidos grasos del fruto de aguacate ' Hass .' *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19(1), 3885–3896. <https://doi.org/doi.org/10.29312/remexca.v0i19.657>.
- Hartill, W. F. T., & Everett, K. R. (2002). Inoculum sources and infection pathways of pathogens causing stem-end rots of 'Hass' avocado (*Persea americana*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 30(4), 249–260. <https://doi.org/10.1080/01140671.2002.9514221>
- Hernández, I., Fuentealba, C., Olaeta, J. A., Lurie, S., Defilippi, B. G., Campos-Vargas, R., & Pedreschi, R. (2016). Factors associated with postharvest ripening heterogeneity of "Hass" avocados (*Persea americana* Mill). *Fruits*, 71(5), 259–268. <https://doi.org/10.1051/fruits/2016016>
- Holzapel, E., de Souza, J. A., Jara, J., & Guerra, H. C. (2017). Responses of avocado production to variation in irrigation levels. *Irrigation Science*, 35(3), 205–215. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0533-0>
- Hurtado-Fernández, E., Fernández-Gutiérrez, A., & Carrasco-Pancorbo, A. (2018). Avocado fruit — *Persea americana*. In: *Exotic Fruits* (pp. 37–48). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00001-0>
- Lye, H. S., Ong, M. K., Teh, L. K., Chang, C. C., & Wei, L. K. (2020). Chapter 4. Avocado. In *Valorization of Fruit Processing By-products*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817106-6.00004-6>
- Martín-Torres, S., Jiménez-Carvelo, A. M., González-Casado, A., & Cuadros-Rodríguez, L. (2020). Authentication of the geographical origin and the botanical variety of avocados using liquid chromatography fingerprinting and deep learning methods. *Chemometrics*

*and Intelligent Laboratory Systems*, 199(January).

<https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2020.103960>

Medina-Carrillo, R. E., Salazar-García, S., & González-Valdivia, J. (2017). Phytochemicals, nutrients and environmental factors associated with the roughness of avocado ‘ Hass’ skin in three. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 3869–3884. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6348000>

Milne, D. L. (1997). Avocado Quality Assurance : Who ? Where ? When ? How ? *Joint Meeting of the Australian Avocado Grower’s Federation, Inc. and NZ Avocado Growers Association, Inc.: Searching for Quality*, September, 14–37.

Ozdemir, F., & Topuz, A. (2004). Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chemistry*, 86(1), 79–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.012>

Pedreschi, R., Hollak, S., Harkema, H., Otma, E., Robledo, P., Westra, E., Somhorst, D., Ferreyra, R., & Defilippi, B. G. (2016). Impact of postharvest ripening strategies on “Hass” avocado fatty acid profiles. *South African Journal of Botany*, 103, 32–35. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.09.012>

Pérez-Méndez, O., & García-Hernández, L. (2007). High-density lipoproteins (HDL) size and composition are modified in the rat by a diet supplemented with “Hass” avocado (*Persea americana* Miller). *Archivos de Cardiología de México*, 77(1), 17–24.

Ramírez-Gil, J. G. (2017). Calidad del fruto de aguacate con aplicaciones de ANA, boro, nitrógeno, sacarosa y anillado. *Agron. Mesoam*, 28(3), 591–603. <https://doi.org/doi:10.15517/ma.v28i3.23688>

- Ramírez-Gil, J. G., Franco, G., & Henao-Rojas, J. C. (2019). Review the concept of quality in Hass avocado and the pre-harvest and harvest factors that determine it under tropical conditions. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(3), 359–370. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i3.10503>
- Ramírez-Gil, J., Gilchrist Ramelli, E., & Morales Osorio, J. (2017). Economic impact of the avocado (cv. Hass) wilt disease complex in Antioquia, Colombia, crops under different technological management levels. *Crop Protection*, 101, 103–115. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.023>
- Rivera, S., Ferreyra, R., Robledo, P., Selles, G., Arpaia, M. L., Saavedra, J., & Defilippi, B. G. (2017). Identification of preharvest factors determining postharvest ripening behaviors in 'Hass' avocado under long term storage. *Scientia Horticulturae*, 216 (February), 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.024>
- Rodriguez-Sanchez, D. G., Flores-García, M., Silva-Platas, C., Rizzo, S., Torre-Amione, G., De la Peña-Díaz, A., Hernández-Brenes, C., & García-Rivas, G. (2015). Isolation and chemical identification of lipid derivatives from avocado (*Persea americana*) pulp with antiplatelet and antithrombotic activities. *Food & Function*, 6(1), 193–203. <https://doi.org/10.1039/c4fo00610k>
- Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R. E., & Álvarez-Bravo, A. (2017). Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate 'Hass.' *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2565. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i13.483>
- Salazar-García, S., Raquel Enequina Medina-Carrillo, & Álvarez-Bravo, A. (2016). Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 277–289.

- Salgado, J. M., Danieli, F., Regitano-D'Arce, M. A. B., Frias, A., & Mansi, D. N. (2008). The avocado oil (*Persea americana* Mill) as a raw material for the food industry. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 28, 20–26.
- Sharma, G., Maymon, M., & Freeman, S. (2017). Epidemiology, pathology and identification of Colletotrichum including a novel species associated with avocado (*Persea americana*) anthracnose in Israel. *Scientific Reports*, 7(1), 15839. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15946-w>
- Smith, T. E., Asher, C. J., Stephenson, R. A., & Hetherington, S. E. (1997). Boron deficiency of avocado. 2. Effects on fruit size and ripening. *Boron in Soils and Plants*, 135–137. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-5564-9\\_26](https://doi.org/10.1007/978-94-011-5564-9_26)
- Takenaga, F., Matsuyama, K., Abe, S., Torii, Y., & Itoh, S. (2008). Lipid and fatty acid composition of mesocarp and seed of avocado fruits harvested at Northern range in Japan. *Journal of Oleo Science*, 57(11), 591–597. <https://doi.org/http://doi.org/10.5650/jos.57.591>
- Tan, C. X., Tan, S. S., & Tan, S. T. (2017). Influence of geographical origins on the physicochemical properties of Hass avocado oi, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(12), 1431–1437. <https://doi.org/10.1007/s11746-017-3042-7>
- Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., & González-Aguilar, G. A. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of “Hass” avocado. *Food Research International*, 44(5), 1231–1237. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.012>
- Witney, G. W., Hofman, P. J., & Wolstenholme, B. N. (1990). Effect of cultivar, tree vigour

- and fruit position on calcium accumulation in avocado fruits. *Scientia Horticulturae*, 44(3–4), 269–278. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(90\)90127-Z](https://doi.org/10.1016/0304-4238(90)90127-Z)
- Woolf, A. B., Ferguson, I. B., Boyd, L., Laing, W. A., White, A., Science, H., Bag, P., North, P., & Zealand, N. (1999). *Impact of sun exposure on harvest quality of Hass avocado fruit*. 353–358. [http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4\\_p353.pdf](http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4_p353.pdf)
- Yahia, E. M., & Woolf, A. B. (2011). Capítulo 8. Avocado (*Persea americana* Mill). In: *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Volume 2: Açai to citrus* (pp. 125-186e). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.125>



## 4. Capítulo: Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

El aguacate cultivado en diferentes regiones del departamento de Antioquia, Colombia, posee características físicas y composición nutricional diferencial, siendo posible discriminar los frutos por su localidad y región de origen.

Las variables que más discriminan los frutos de aguacate cv. Hass por su origen son: la concentración de ácido oleico, ácido linolénico y las concentraciones de N, Zn y P; al igual que una relación entre la concentración de ácidos grasos poliinsaturados (Suma de ácidos grasos poliinsaturados) y las concentraciones de S en frutos de aguacate.

Los factores edafo-ambientales tienen incidencia sobre la composición bromatológica, cantidad y tipología de ácidos grasos y elementos minerales del aguacate cv. Hass en las regiones estudiadas y fueron altamente relacionados con la región biogeográfica en la cual se ubicaron las fincas.

Los resultados obtenidos en esta investigación han contribuido con nuevo conocimiento que relaciona la calidad del aguacate cv. Hass con los factores edafo-ambientales permitiendo a emprendedores, empresarios y tomadores de decisiones disponer de mejores elementos para generar valor agregado.

Los resultados encontrados indican que los contenidos en el fruto de P, K, Mg, Na, S, Zn y B aumentaron su acumulación cuando el fruto procedía de huertos ubicados a mayores alturas, mientras que los contenidos de Ca, Fe, Mn y Cu aumentaron cuando la altura fue menor.

## 4.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar replica de este ensayo en más localidades a nivel nacional para confirmar los resultados obtenidos y validar modelos propuestos empleando un mayor número de árboles por parcela.

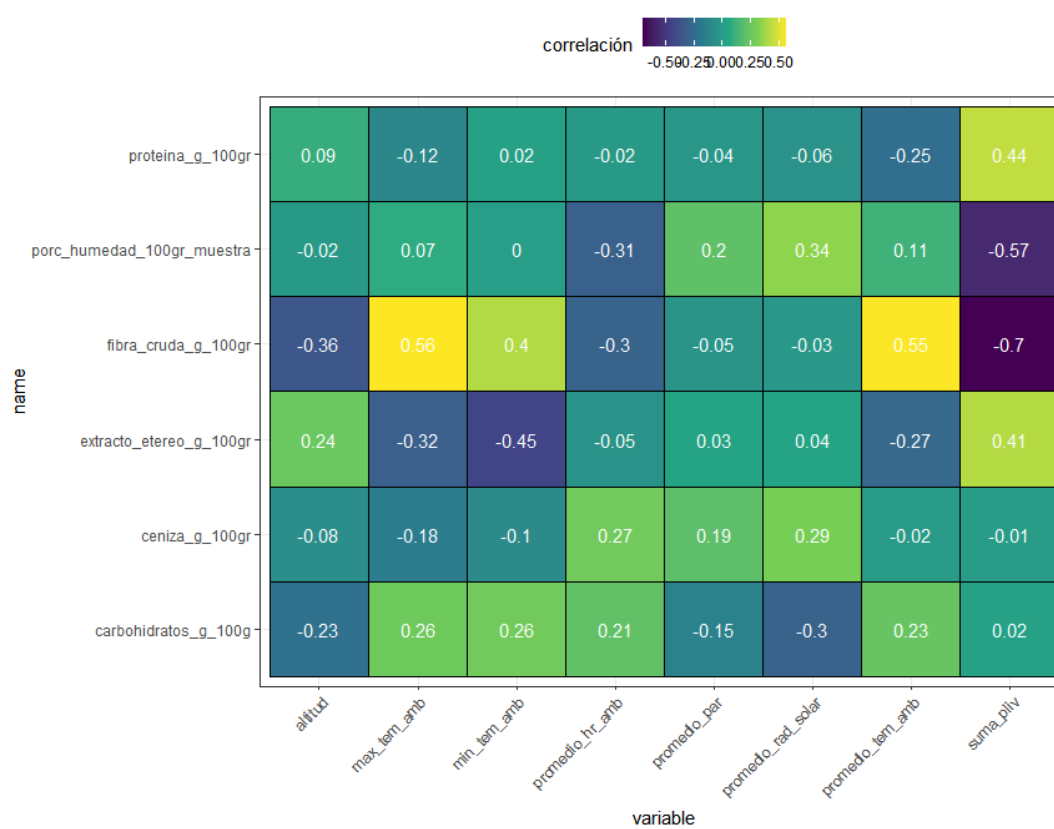
La calidad nutricional del aguacate cv. Hass colombiano tiene una oportunidad valiosa para diferenciarse de otros orígenes, dadas sus características en términos de la composición bromatológica, de ácidos grasos y elementos minerales, lo cual le permitiría acceder a nichos de mercado que valoren esa mejor calidad

Profundizar en futuras ocasiones en precisar el concepto de calidad desde los puntos de vista del productor, empacador, comercializador y consumidor con el propósito de facilitar la comunicación entre los diferentes eslabones de la cadena de valor de aguacate cv. Hass para Colombia, ya que así se permitirá satisfacer la demanda de los consumidores finales.

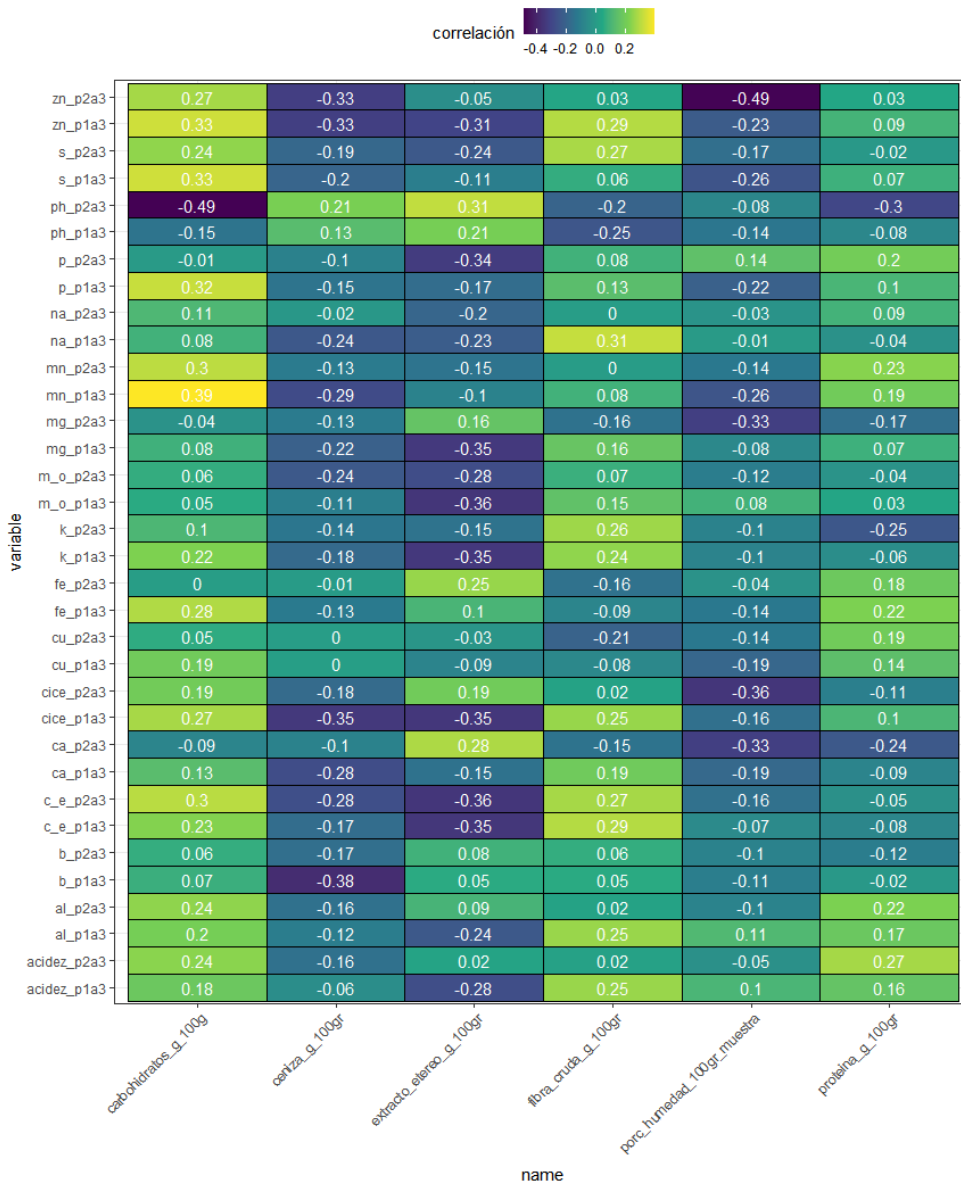
Incluir en futuras investigaciones el análisis de la interacción de factores edáficos y climáticos empleando herramientas de machine learning que permitan entregar pautas para el establecimiento de cultivos que optimicen el rendimiento y la calidad de las cosechas mediante la propuesta de modelos predictivos para la obtención de compuesto de interés industrial, alimentario, salud o cosmético.



## Anexos



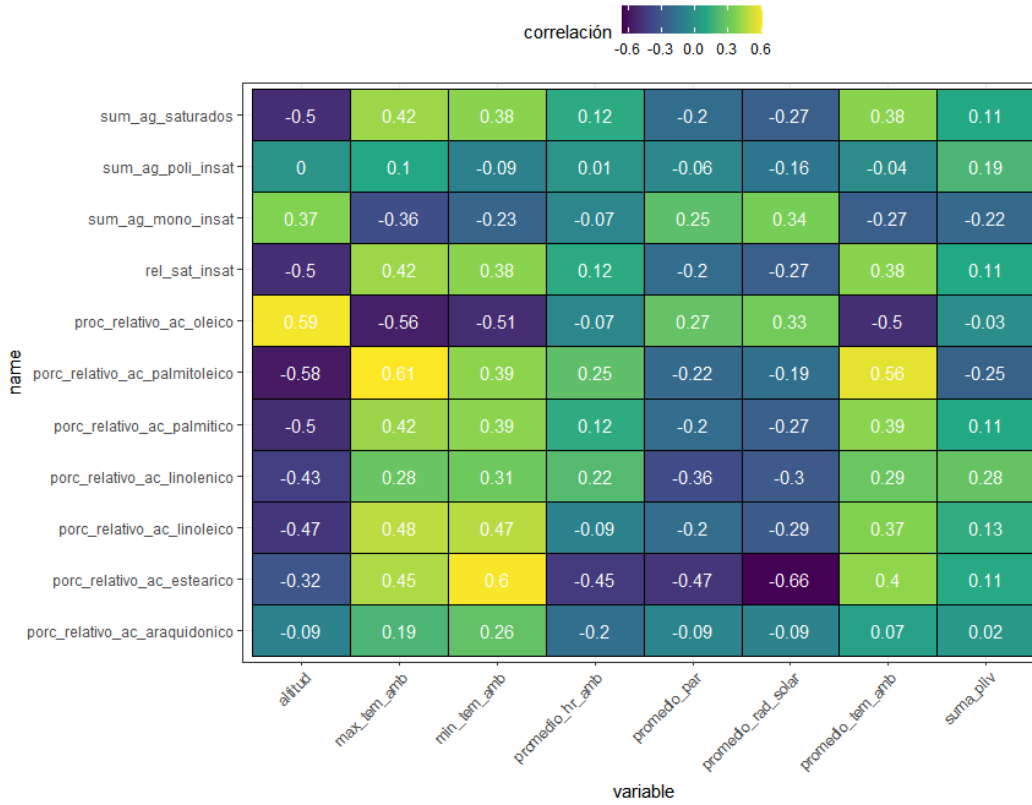
**Anexo A** Correlación de las variables ambientales con el contenido de algunas variables bromatológicas en la pulpa de aguacate cv. Hass en tres regiones productoras en Antioquia Colombia durante los años 2016b y 2017a



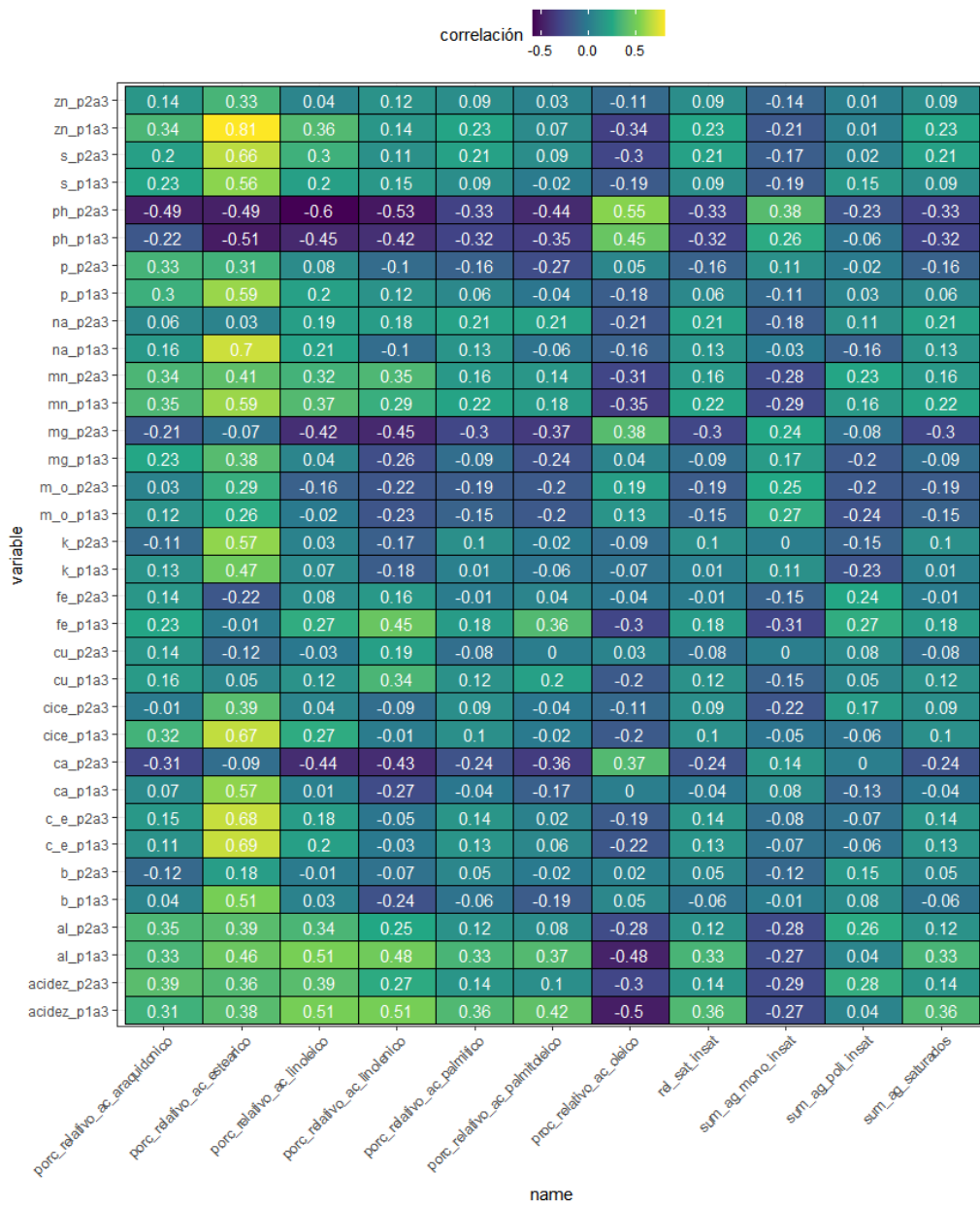
**Anexo B** Correlación suelos P1 y P2 con variables bromatológicas, en tres regiones productoras de aguacate cv. Hass en Antioquia Colombia en durante los años 2016b y 2017a

**Anexo C** Coeficientes de correlación de los ácidos grasos del fruto de aguacate cv. Hass con variables edáficas y ambientales.

Variable	Profundidad del suelo	Correlaciones variables edáficas		Correlaciones variables ambientales	
		Correlación positiva	correlación negativa	Correlación (+)	correlación (-)
Ácido palmítico	P1	0,36 acidez y 0,32 Al	-0,32 pH	0,42 max tem	-0,5 altitud
	P2			-0,33 pH	0,39 min tem 0,39 promedio tem amb
Ácido linoleico	P1	0,51 Al, 0,51 Acidez, 0,39 acidez	-0,45 pH	0,48 max tem	-0,47 altitud
	P2		-0,6 pH, 0,42 Mg y -0,44 Ca	0,47 min tem 0,37 prome tem amb	
Suma ácidos grasos saturados	P1	0,33 al y 0,36 acidez	-0,32 pH	0,42 max tem	-0,5 altitud
	P2		-0,33 pH	0,38 min tem 0,38 promedio temp amb	
relación ácidos grasos saturados/insaturados	P1	0,33 al y 0,36 acidez	-0,32 pH	0,42 max tem	-0,5 altitud
	P2		-0,33 pH	0,38 min tem 0,38 promedio tem amb	
Ácido Palmitoleico	P1	0,42 acidez, 0,37 Al y 0,36 Fe	-0,35 pH	0,61 max tem	-0,58 altitud
	P2		-0,44 Ph, -0,37 Mg y -0,36 Ca	0,56 min tem 0,39 promedio tem amb	
Ácido oleico	P1	0,45 pH y 0,37 Mn	-0,5 acidez y -0,48 Al	0,49 altitud	-0,56 max tem
	P2		0,38 Mg, 0,37 Ca y 0,55 pH	-0,34 Zn	-0,51 min tem -0,5 promedio tem
Ácido esteárico	P1	0,81 Zn, 0,7 Na, 0,67 CICE, 0,69 CE y 0,57 Ca	-0,49 pH	0,45 max tem	-0,56 promedio H.R
	P2			0,66 S, 0,68 CE y 0,39 CICE	0,60 min tem 0,4 promedio tem amb -0,66 promedio rad solar
Ácido araquidónico	P1	0,33 Al y 0,35 Mn.	-0,49 pH	0,26 min tem amb	
	P2			0,35 Mn, 0,35 Al y 0,39 acidez	
Suma de ácidos grasos monoinsaturados	P1			0,37 altitud	-0,34 Max tem amb
	P2	0,38 pH		0,34 prome rad solar	
Suma ácidos grasos poliinsaturados	P1				
	P2				
Ácido linolénico	P1	0,51 acidez, 0,37 Mn, 0,45 Fe 0,48 Al	-0,42 pH		-0,43 Altitud
	P2		-0,53 pH, -0,45 Mg y -0,43 Ca		-0,48 Max tem amb



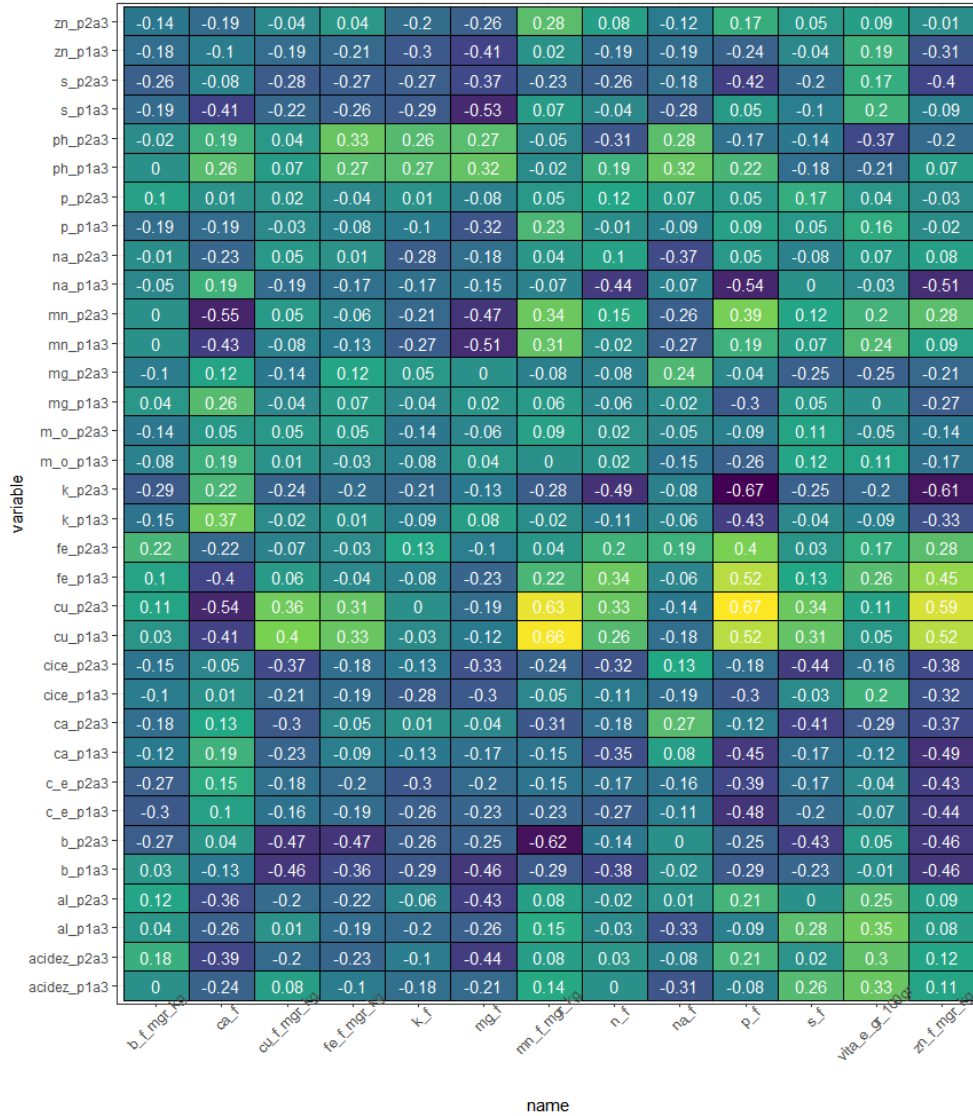
**Anexo D** Correlación de las variables ambientales con el contenido de ácidos grasos en la pulpa de aguacate cv. Hass en tres regiones productoras en Antioquia Colombia durante los años 2016b y 2017a



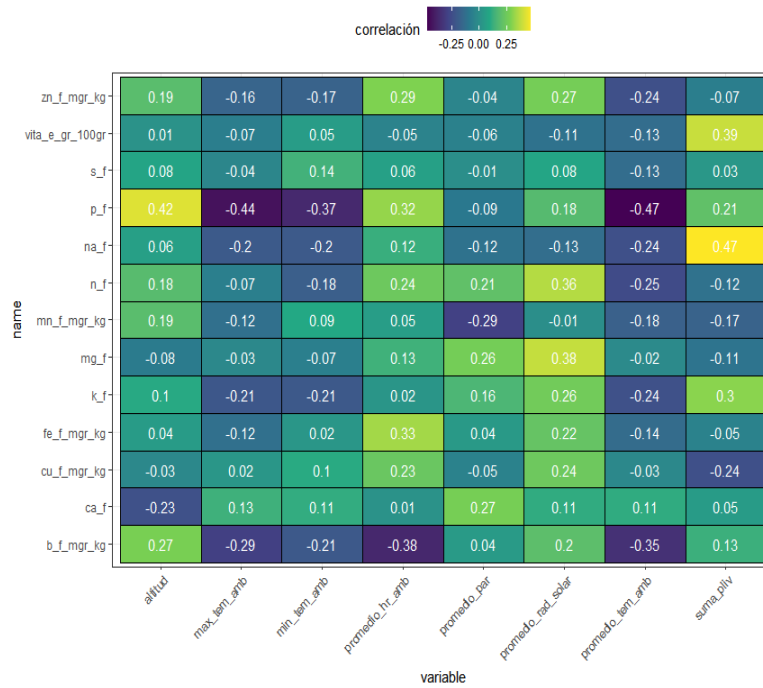
**Anexo E** Correlación de los resultados del análisis de suelos en las profundidades P1 y P2 con los contenidos de ácidos grasos en la pulpa de aguacate cv. Hass en tres regiones productoras en Antioquia Colombia durante los años 2016b y 2017a

**Anexo F** Coeficientes de correlación del contenido de minerales y vitamina E del fruto de aguacate cv. Hass con las variables edáficas y ambientales.

Variable	Profundidad del suelo	Correlaciones variables edáficas		Correlaciones variables ambientales	
		Correlación positiva	correlación negativa	Correlación +	correlación negativa
<b>B</b>	P1				-0,38 promedio H R.
	P2		-0,3 CE		-0,35 promedio tem
<b>Ca</b>	P1	0,41 Cu	-0,4 Fe, -0,43 Mn y -0,41 S	0,27 promedio par	
	P2		-0,39 acidez, -0,59 Cu y -0,55 Mn		
<b>Cu</b>	P1	0,4 Cu	-0,46 B		
	P2	0,36Cu	-0,47 B y -0,37 CICE		
<b>Fe</b>	P1	0,33 Cu	-0,36 B	0,33 promedio H. R.	
	P2	0,33 pH y 0,31 Cu	-0,46 B		
<b>K</b>	P1			0,3 suma precip	
	P2		-0,3 CE		
<b>Mg</b>	P1			0,38 promedio Radiación solar	
	P2		-0,44 acidez y -0,43 Al		
<b>Mn</b>	P1	0,66 Cu			-0,29 promedio par
	P2	0,63 Cu	-0,62 B		
<b>N</b>	P1	0,34 Fe	-0,38 B y -0,44 Na	0,36 promedio radiación solar	
	P2	0,36 Cu	-0,49 K		
<b>Na</b>	P1		-0,33 Al	0,47 suma precip	
	P2				
<b>P</b>	P1	0,52 Cu y 0,52 Fe	-0,48 CE, -0,45 Ca, -0,43 K y -0,54 Na	0,42 altitud	-0,44 máximo temp amb
	P2	0,67 Cu, 0,4 Fe y 0,39 Mn	-0,59 Ce, -0,67 K y -0,42 S	0,32 promedio H R.	-0,37 min temp -0,47 promedio ambiente
<b>S</b>	P1				
	P2		-0,43 B, -0,41 Ca y -0,44 CICE		
<b>Vita E</b>	P1	0,33 acidez y 0,35 Al		0,39 suma precipitación	
	P2		-0,44 CICE y -0,43 B		
<b>Zn</b>	P1	0,52 Zn y 0,45 Fe	-0,46 Cu, -0,43 CE, -0,49 Ca y -0,33 K	promedio H.R.	
	P2	0,59 Cu	-0,45 B, 0,61 K, -0,43 Ca y -0,44 CE y -0,51 Na		



**Anexo G** Correlación de los resultados del análisis de suelo en las profundidades P1 y P2 con los minerales y vitamina E de la pulpa de aguacate cv. Hass en tres regiones productoras en Antioquia Colombia durante los años 2016b y 2017a



**Anexo H** Correlación de las variables ambientales con el contenido de minerales y vitamina E en la pulpa de aguacate cv. Hass en tres regiones productoras en Antioquia Colombia durante los años 2016b y 2017a