

**Evaluación de parámetros de calidad y residualidad en frutos de aguacate Hass
cultivados en el departamento de Antioquia**

**Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Innovación Alimentaria y
Nutrición**

Ana María Aristizábal Montoya

Asesor

Pablo Emilio Rodríguez Fonseca

Doctor en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Corporación Universitaria Lasallista

Facultad de Ingeniería

Maestría en Innovación Alimentaria y Nutrición

Caldas – Antioquia

2020

Tabla de Contenido

	pág.
Resumen	6
Introducción	8
Justificación	11
Objetivos.....	13
Objetivo General	13
Objetivos específicos	13
Marco Teórico.....	14
Aguacate Hass (<i>Persea americana Mill cv. Hass</i>).....	14
Producción de aguacate en el mundo.....	15
Producción de aguacate en Colombia	16
Determinación de los índices de cosecha	17
Composición	20
Vitamina E.....	21
Polifenoles.....	23
Capacidad Antioxidante	24
Usos de los plaguicidas	25
Límites máximos de residualidad de pesticidas (LMR).....	28
Metodología	29
Determinación del contenido de materia grasa como indicador de madurez de cosecha en frutos de aguacate Hass recolectados en diferentes momentos de desarrollo del fruto hasta el punto de cosecha	29
Preparación de las muestras	29

Análisis de materia grasa	30
Medición de las variables climáticas	32
Análisis Estadístico	32
Identificación de plaguicidas en frutos de aguacate Hass en estado de madurez de cosecha	33
Preparación de las muestras	33
Análisis multiresiduo	34
Caracterización de frutos de Aguacate Hass en contenido de vitamina E, Capacidad antioxidante y polifenoles en frutos con madurez de consumo	35
Materiales y métodos	35
Material vegetal	35
Preparación de las muestras	35
Vitamina E	36
Capacidad antioxidante	36
Polifenoles	37
Análisis Estadístico	37
Resultados y análisis	39
Determinación del contenido de materia grasa como indicador de madurez de cosecha en frutos de aguacate Hass recolectados en diferentes momentos de desarrollo del fruto hasta el punto de cosecha	39
Identificación de plaguicidas en frutos de aguacate Hass en estado de madurez de cosecha	47
Caracterización de frutos de Aguacate Hass en contenido de vitamina E, Capacidad antioxidante y polifenoles en frutos con madurez de consumo	50
Vitamina E	50
Capacidad antioxidante (ORAC)	53

Polifenoles	56
Conclusiones	59
Referencias	61

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del Aguacate (<i>Persea americana</i> Mill)	15
Tabla 2. Principales productores de Aguacate en el mundo (promedio 2015-2016)	16
Tabla 3. Participación departamental en la producción de Aguacate	17
Tabla 4. Composición del Aguacate	21
Tabla 5. Recomendación de consumo de vitamina E en las etapas de la vida	23
Tabla 6 Comparativo de los Límites máximos de residualidad (LMR) del Codex y la regulación colombiana	27
Tabla 7. Descripción de las Fincas evaluadas, cosecha y periodo de evaluación	30
Tabla 8. Correlación entre la MG y la MS evaluadas en el Departamento	40
Tabla 9. Pronósticos de MG al 23% MG para Antioquia para la cosecha principal y travesía.....	41
Tabla 10 Resultados del análisis de regresión múltiple variables climáticas vs % MG.	46
Tabla 11. Efecto del IC y tiempo de almacenamiento sobre el contenido promedio de vitamina E en frutos con madurez de consumo	50
Tabla 12 Efecto del IC y tiempo de almacenamiento sobre la Capacidad Antioxidante promedio en frutos con madurez de consumo	53
Tabla 13 Efecto del IC y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de Polifenoles promedio en frutos con madurez de consumo	56

Resumen

Este trabajo de investigación se llevó a cabo para evaluar los parámetros de calidad y residualidad de los frutos de aguacate Hass cultivados en el departamento de Antioquia. Como primer objetivo el estudio pretende determinar el un índice de cosecha (IC) o índice de madurez de cosecha del aguacate Hass para la región antioqueña mediante el contenido de Materia Grasa (MG) y su correlación con la materia seca (MS) evaluando diferentes estadios de desarrollo del fruto *Persea americana* Mill., así como la relación que puede tener sobre estas variables las condiciones climáticas y el tiempo de desarrollo del fruto en cada una las regiones evaluadas. El IC se estimó durante dos periodos de cosecha (principal y travesía), en 8 fincas distribuidas en tres regiones del departamento de Antioquia (norte, oriente y suroeste), con frutos cosechados desde la semana 20 después de la transición de flor a fruto hasta la semana 58, a estos se les evaluó comportamiento de madurez a través del contenido de materia grasa (MG) por Soxhlet método AOAC 963.15 (AOAC, 2006) y materia seca (MS). Los resultados mostraron una alta correlación lineal entre MS y MG ($R^2 > 78.43$) y una relación significativa entre MG, precipitación, tiempo de desarrollo del fruto y temperatura ambiente. Se destaca que para Antioquia los frutos a partir de la semana 30 después de la pos antesis alcanzan un óptimo porcentaje de MG 11.2% y tienen efectos positivos sobre la acumulación de compuestos como es la vitamina E. Con los resultados de ambos periodos de cosecha se definió la ecuación con la que se espera calcular el momento óptimo de cosecha evaluando el %MS en una muestra de frutos. Los resultados también mostraron que el aguacate cosechado entre 22 y 30% de contenido de MS, conservan un alto valor nutritivo en componentes que representan beneficios

para la salud humana, aunque se encuentra una amplia variabilidad en los contenidos de Vitamina E, de los polifenoles y la capacidad antioxidante en los frutos evaluados. Para el análisis de residualidad de plaguicidas la preparación de muestras se realizó bajo la metodología QuEChERS y la cuantificación por Cromatografía Líquida Acoplada a Espectrometría de Masas en Tándem, monitoreando 276 plaguicidas, los cuales fueron validados de acuerdo con la guía SANTE/11945/2015 de la Unión Europea, los plaguicidas cumplen con los criterios de aceptación. Teniendo en cuenta los resultados de este estudio que es de interés tanto para la industria como para los consumidores en los procesos de cosecha, poscosecha, almacenamiento y consumo. Para la evaluación de residualidad se encontró Difenconazol, Procloraz, Tebuconazol y Tiacloprid, ninguno regulado por la Resolución 2906 de 2007 del Ministerio de Protección Social, sin embargo, el Tiacloprid con 0,07 mg/kg superó los LMR de la UE que es de 0,01 mg/kg bajo el reglamento 2019/50, los demás se encuentran por debajo de los límites máximos de residualidad permitidos, por lo que estos no representan un riesgo para la salud del consumidor y se asegura la calidad e inocuidad cumpliendo con requisitos de exportación. Se necesitan más estudios para evaluar éstos mismos criterios en otras regiones debido al aumento de la producción en otros departamentos del país, teniendo en cuenta que las normas de exportación son cada vez más exigentes en cuanto a parámetros de calidad y plaguicidas.

Palabras clave:

Capacidad antioxidante, Índice de cosecha, polifenoles, residualidad, vitamina E

Introducción

El aguacate (*Persea americana Mill*) es un fruto tropical, polimórfico, de la familia de las lauráceas, nativo de México y Centro América (cita Gutierrez-contreras 2010). La variedad Hass es un híbrido originado en California (Araújo, Rodríguez-Jasso, Ruiz, Pintado, & Aguilar, 2018). El árbol puede alcanzar unos 20 m de altura, es de hojas pedunculadas, la primera floración ocurre cerca al año y medio de la plantación, con miles de flores verdes y amarillas, el fruto es una baya con una sola semilla, de corteza rugosa de color verde brillante en el árbol y se torna purpura cuando madura en la poscosecha, el peso oscila entre 150 a 400 g, posee una pulpa cremosa de color verde y amarillo, cuya textura es blanda cuando madura (Zapata J, Ochoa A, Ceja E, Gómez V, & Ríos M, 2014) (Instituto Colombiano de Agricultura (ICA), 2012)

Para la cosecha del fruto se ha establecido el estándar de un 11,2% de contenido Materia Grasa (MG) (C. P Carvalho, Velásquez, & Van Rooyen, 2015) que puede determinarse usando diversas metodologías (S.-K. Lee, 1981), sin embargo estas pueden resultar costosas y de difícil implementación para los productores. Por lo que, establecer un Índice de cosecha (IC) a través del análisis de Materia Seca (MS) es posible ya que se ha encontrado correlación entre estas variables y la capacidad de madurez del fruto en la poscosecha (Araújo et al., 2018).

La composición de los frutos depende de las condiciones agronómicas de cultivo así como del grado de madurez de los frutos (Dorantes-Alvarez, Ortiz-Moreno, & García-Ochoa, 2012). Además del contenido de lípidos y el perfil de ácidos grasos, el aguacate contiene carbohidratos, proteínas, minerales y vitaminas (Ranade & Thiagarajan, 2015), dentro de los componentes fitoquímicos bioactivos se resalta el contenido de vitamina E,

carotenoides, esteroides y otros que han demostrado su potencial protector contra los radicales libres (J. Lee, Koo, & Min, 2004). Estos atributos han llevado a que sea considerado un alimento funcional, valorado no solo por su versatilidad, características sensoriales y de composición que permite diversos usos desde lo gastronómico hasta lo industrial con fin alimentario, cosmético y farmacéutico (Cowan & Wolstenholme, 2016)

El aguacate es cultivado alrededor del mundo, sin embargo, la producción la lidera América con el 73,1%, seguido de África el 12,3%, Asia el 11,5%, Europa y Oceanía con el 1,6 y 1,5% respectivamente. Lo que a 2018 equivalió una producción de aproximadamente 6 millones de toneladas. México el principal productor aportó cerca de 2 millones de toneladas, mientras que Colombia en el quinto lugar registró una producción de 309 768,25 toneladas (FAOSTAT, 2020). El país en los últimos años no solo ha aumentado la producción, sino también la exportación de los frutos (Bernal Estrada et al., 2014). Especialmente de la variedad Hass, de la que se estima a 2020 cierre con una producción de 65 000 toneladas, con una extensión cultivada de 22 000 hectáreas. El departamento de Antioquia ocupa el primer lugar como productor y exportador del fruto. Los mercados destino son el continente europeo, principalmente a Países Bajos, España, Reino Unido y Bélgica, mientras que empiezan a consolidarse nuevas exportaciones a Estados Unidos y el continente asiático (Agronegocios, 2020)

El objetivo de esta investigación es evaluar los parámetros de calidad; índice de cosecha (IC) a través de la relación entre Materia Seca (MS) y Materia Grasa (MG), la composición en vitamina E, polifenoles y capacidad antioxidante, así como la residualidad de los frutos cultivados en el departamento de Antioquia, para aportar nuevo conocimiento que proporcione estándares de calidad e inocuidad que permitan el

reconocimiento del aguacate Hass colombiano por su aporte nutricional y baja residualidad, atributos que son bien valorados por el mercado.

Justificación

El Aguacate Hass es una fruta tropical reconocida en el mundo, que atrae a los consumidores no solo por sus características sensoriales (aroma, sabor, textura y color) (M. Wang, Zheng, Khuong, & Lovatt, 2016), sino también por su aporte nutricional, rico en vitaminas, minerales, folatos, potasio y fibra, además de un contenido único de lípidos, así como destacada concentración de componentes bioactivos en los que sobresalen los tocoferoles y carotenoides (Ortiz-Viedma et al., 2018)

En Colombia no solo ha aumentado las hectáreas de cultivo del aguacate Hass, sino también la producción y con ello la apertura de nuevos mercados para estos frutos, lo que ha llevado a que gran cantidad de ellos sean exportados, principalmente a territorio europeo y las expectativas de apertura a nuevos mercados en el mundo crece. Lo anterior genera retos para los productores, como por ejemplo garantizar la calidad del fruto durante toda la cadena de valor y no sobrepasar los límites máximos de residualidad de plaguicidas, ligado a ambos factores, el cumplimiento de estos criterios de calidad el aguacate cv. Hass colombiano podría posicionarse en el mercado.

Esta investigación busca evaluar los parámetros de calidad y residualidad de los frutos de aguacate Hass cultivados en el departamento de Antioquia, que permitan la implementación de estándares de calidad para la cosecha del fruto y que proteja la salud pública desde el punto de vista de la inocuidad y que responda a los requerimientos de los consumidores con frutos que puedan incluir en la dieta confiados en que contribuirá con una alimentación saludable y de aporte nutricional destacado. Para establecer un índice de madurez de cosecha que permita definir el momento óptimo de recolección. La calidad composicional evaluando la residualidad de plaguicidas en los frutos cosechados

y cuantificando el contenido de vitamina E, capacidad antioxidante y polifenoles en frutos con madurez de consumo sometidos a condiciones que simulan las de exportación, para evaluar el comportamiento de esta durante la maduración y almacenamiento.

La materia seca (MS) es un indicador cuya metodología puede fácilmente implementarse en finca para establecer el estado de desarrollo del fruto, y correlacionarse con el contenido de materia grasa (MG). Para determinar esta última variable, es necesario emplear gran cantidad de solventes, disponer de tiempo y un equipo especializado, por esta razón para el productor determinar el momento adecuado de cosecha el método Soxhlet no es factible. Es por ello, que a través del análisis de comportamiento en las cosechas principal y travesa en cuanto a la acumulación de MS y MG, así como la evaluación del tiempo de desarrollo del fruto y las variables climáticas en cada una de las fincas, se busca establecer un indicador de cosecha (IC) confiable y práctico para el productor. Los frutos cosechados en las fincas para exportación se analizarán por cromatografía líquida de ultra alta eficiencia acoplada a espectrometría de masas en tándem (UPLC/MS/MS) para determinar la residualidad de plaguicidas y verificar el cumplimiento de los lineamientos normativos del exigente mercado al cual va dirigido. La evaluación del contenido de vitamina E como alfa tocoferol en frutos de las fincas con contenidos de MS de 22, 26 y 30%, dentro del rango de aceptación del mercado (Henao & Rodriguez, 2016), sometidos a condiciones de almacenamiento y maduración similares a las condiciones de exportación se realizó mediante HPLC thermo usando metanol como fase móvil, una columna RP-18 4.6 mm × 250 mm como fase estacionaria y un detector de UV-Vis fijado en 293 nm.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar los parámetros de calidad y residualidad en frutos de aguacate Hass cultivados en el departamento de Antioquia.

Objetivos específicos

- Determinar el contenido de materia grasa como indicador de madurez de cosecha en frutos de aguacate Hass recolectados en diferentes momentos de desarrollo del fruto hasta el punto de cosecha.
- Analizar la residualidad de plaguicidas en frutos de aguacate Hass en estado de madurez de cosecha destinados al mercado de exportación.
- Caracterizar en los frutos de aguacate Hass con madurez de consumo el contenido de vitamina E, capacidad antioxidante y polifenoles como indicador de calidad composicional.

Marco Teórico

Aguacate Hass (*Persea americana* Mill cv. Hass)

El aguacate (*Persea americana* Mill) fue originado en California por Rudolph G. Hass y aunque se desconoce sus progenitores (Bernal & Díaz, 2005), las razas de las que provienen se ubican en América central de los países de Guatemala y México, donde además fue domesticado hace miles de años (Instituto Colombiano de Agricultura (ICA), 2012). En la actualidad grandes extensiones de cultivos se distribuyen alrededor del mundo, siendo México el principal productor y países como Colombia, Perú, Brasil y Chile crecen en áreas cultivadas. Esta diversidad en la ubicación de cultivos, diferentes condiciones climáticas y otros factores precosecha propias de cada región, hacen que el fruto presente tanto en su composición química como vida útil variaciones (R Ferreyra et al., 2016)

El Aguacate es una planta de la familia de las Lauráceas, de las cuales algunas variedades representan importancia económica (Alcaraz Arco, 2009), su clasificación taxonómica es detalla en la Tabla 1. El fruto es una gran drupa que después de la aceituna es la fruta con mayor contenido de aceite (López Cobo et al., 2016).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del Aguacate (*Persea americana* Mill)

Jerarquía	Descripción
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Manoliopsida
Subclase	Magnoliidae
Orden	Lurales
Familia	Luraceae
Género	Persea Mill
Especie	Persea americana Mill
Nombres comunes	Aguacate, Avocado, Palta

Fuente (USDA, 2016).

Producción de aguacate en el mundo

De acuerdo con las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2018) la producción de aguacate alcanzó 5,5 millones de toneladas métricas y el área destinada para la cosecha llegó a 563,916 hectáreas en 2016 en todo mundo. El cultivo predominante es el aguacate Hass entre múltiples variedades de frutos existentes (Alcaraz & Hormaza, 2009).

Colombia se encuentra entre los principales productores de aguacate, por debajo de México, República Dominicana, Perú e Indonesia, y superior comparado con países como Estados Unidos, Brasil y Chile, como puede verse en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales productores de Aguacate en el mundo (promedio 2015-2016)

	País	Producción (ton)
1	México	1 766 790,0
2	Republica Dominicana	563 893,5
3	Perú	411 252,0
4	Indonesia	343 734,0
5	Colombia	309 641,5
6	Brasil	188 072,0
7	Estados Unidos de América	187 919,5
8	Kenya	15 232,5
9	Chile	141 784,5
10	China, Continental	120 440,0

Adaptado de: FAOSTAT. Fecha de consulta: 27-03-2018

Producción de aguacate en Colombia

En Colombia el aguacate se produce en más de 15 departamentos, para finales del 2016 el área total cultivada llegó a las 40,982.64 hectáreas con una producción anual de 335,882.15 toneladas. Sin embargo, los cultivos se concentran mayoritariamente en los departamentos de Antioquia, Tolima, Caldas, Valle del Cauca, Santander, Bolívar y el Eje cafetero (AGRONET, 2018). Predominando en estas zonas las plantaciones del Aguacate Hass, que ubican hasta los 2600 msnm sin inconvenientes en la adaptación del cultivo (C. P Carvalho & Velásquez, 2015), en la Tabla 3. Se muestra en detalle el área cultivada por departamento, la producción y rendimiento del Aguacate hasta 2016. Fuente: AGRONET, (2018).

Las plantaciones de aguacate Hass en Colombia siguen en aumento, como la producción y exportación, de acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y Procolombia durante el primer semestre de 2019 las exportaciones

crecieron un 37,6% con relación al mismo periodo del año anterior. Antioquia es líder con un crecimiento del 20.7%, equivalente a un mercado de US\$27 millones (Dinero, 2019)

El 52,8% de los frutos que se exportan de aguacate hass son producidos en el departamento de Antioquia, el municipio con mayor extensión cultivada es Urrao con 1171 hectáreas en un total de 105 predios, mientras que en municipios como Amagá, El Peñol, Guarne, La Ceja y Rionegro los cultivos tienen entre 7 y 8 hectáreas por propietarios, son alrededor de 4000 predios los que comercializan sus cosechas para exportación (El Colombiano, 2020).

Tabla 3. Participación departamental en la producción de Aguacate

Departamento	Área (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
Antioquia	5 780,2	67 031,92	11,6
Tolima	10 516,0	58 482,90	5,6
Caldas	4 773,5	42 574,80	8,9
Valle del Cauca	1 927,9	26 388,60	13,7
Santander	3 433,5	21 771,25	6,3
Bolívar	2 112,0	20 996,00	9,9
Risaralda	1 604,0	17 200,26	10,7
Quindío	2 058,6	26 011,00	7,8

Adaptado de: AGRONET. Fecha de consulta: 27-03-2018

Determinación de los índices de cosecha

Diversos estudios muestran que han establecidos metodologías para determinar la madurez y momento de cosecha óptimos a través del análisis del contenido de materia seca y el contenido de grasa en el fruto de aguacate (Hofman, Jobin-Décor, & Giles, 2000). También se han evaluado los cambios en concentración de nutrientes como los azúcares, proteína y aceite en el fruto durante la maduración (Blakey, Tesfay, Bertling, & Bower, 2012), en la cosecha y poscosecha (Ozdemir & Topuz, 2004a).

En Colombia carecemos de información suficiente que permita establecer los índices de cosecha adecuados que garanticen la calidad sensorial y el grado de madurez óptimo del aguacate, siendo pertinente además evaluar las condiciones precosecha.

Encontrar el contenido mínimo de grasa en el aguacate Hass facilitaría el control de calidad, permitiría mayor competitividad y disminuiría las pérdidas postcosecha.

Determinar el contenido de grasa en aguacate, además de requerir la adecuación de un espacio, equipos, implementos y sustancias químicas, es un procedimiento lento y costoso (S. Lee, 1981), con lo cual la apropiación de los productores en campo se hace muy complejo.

Para la determinación del contenido de lípidos en Aguacate Hass se pueden emplear diferentes técnicas sobre las que se debe evaluar ventajas y limitantes al momento de implementarlas en campo (cultivos) para determinar el momento adecuado de cosecha, las cuales serán detalladas a continuación.

Índice refractométrico es una metodología oficial para California Avocado Association (Christie, 1937) para determinar el contenido de aceite en aguacate usando como disolvente aceite Halowax® (monocloronaftaleno), insumo que se estima que no estará disponible en el mercado ya que es catalogado como carcinogénico (Magwaza & Tesfay, 2015). Otra de las desventajas que presenta el método son el costo del equipo y que las lecturas pueden afectarse por variaciones en la temperatura, lo que no lo hacen muy fiable (Requejo-Tapia, Woolf, Roughan, Schroeder, & Young, 2000), (S. Lee, 1981).

Método de extracción directa con solventes en frío, que consiste en homogenizar la muestra con una mezcla de agua, metanol y cloroformo, centrifugar, separar y volatilizar los solventes (Bligh & Dyer, 1959). Esta metodología disminuye tiempo de

análisis y no implica complejo tratamiento de la muestra. Se ha usado con éxito para obtener muestra de aceite para determinar perfil de ácidos grasos en aguacate (R Ferreyra et al., 2016).

Soxhlet es un método de extracción directo de grasa, aplicado a la muestra seca previamente que se disuelve en un solvente orgánico en un equipo soxhelt, los tiempos de preparación de muestra, inmersión, lavado y recuperación del solvente hacen de esta metodología no efectiva para el análisis de gran cantidad de muestras en campo (Requejo-Tapia et al., 2000). Es el método de referencia para los análisis de grasa AOAC y será la metodología por emplear para la determinación del contenido mínimo de grasa en aguacate cv. Hass para buscar el grado de madurez óptimo, garantizar la calidad sensorial poscosecha del fruto de acuerdo con las características propias del fruto.

La relación entre Materia Seca (MS) y Materia Grasa (MG) permite establecer el índice de cosecha adecuado para los frutos de aguacate, según Lee, 1981, la MG es el indicador que mejor muestra el desarrollo del fruto, sin embargo los equipos e insumos necesarios para realizarlo dificultan la apropiación de la metodología por el productor. Para los años ochenta en California se estableció el contenido de 11.2% de MG como estándar de calidad (S K Lee, Young, Schiffman, & Coggins, 1983), y sobre el cual se ha afirmado que se obtienen mejores características sensoriales en frutos maduros (Raúl Ferreyra et al., 2012). En Chile, la madurez de los frutos se considera cuando la MS tiene un contenido mínimo de 23%, pues los frutos alcanzan una madurez homogénea durante la comercialización (Waissbluth & Valenzuela, 2007). El asocio entre las variables MS y MG es usado para determinar el momento de cosecha (Meyer & Terry, 2010).

Composición

Los frutos de aguacate Hass se cosechan cuando alcanzan un tamaño óptimo y la cascara pierde su brillo, este no madura en el árbol (Gamble et al., 2010). El aguacate Hass se caracteriza por presentar una superficie rugosa, forma ovalada a redonda, como puede apreciarse en la Figura 1. Fuente: Magwaza & Tesfay, (2015)

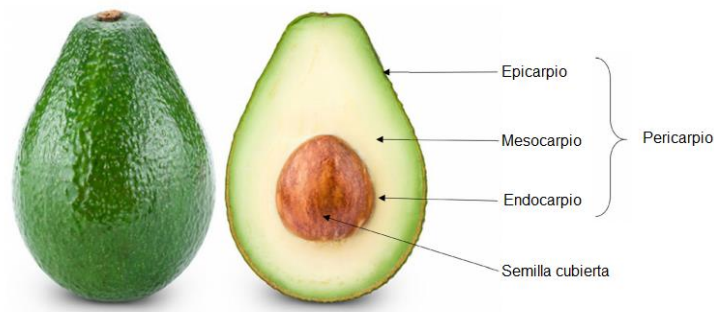


Figura 1. Aguacate Hass (*Persea Americana Mill*)

El mesocarpio parte pulposa comestible del aguacate constituye la mayor porción en el fruto y es en la cual se encuentran gran cantidad de compuestos de interés por su valor nutricional y efectos funcionales sobre la salud como reducción de riesgos de cáncer, prevención de enfermedades cardiovasculares (disminuye la formación de trombos) y diabetes. Estos beneficios están relacionados a bajos niveles en colesterol, alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, y alto contenido de fitoquímicos y polifenoles de la fruta (Ding, Chin, Kinghorn, & D'Ambrosio, 2007). La composición detallada del fruto en la Tabla 4. Por su alto valor nutricional la Asociación Americana de Dietética (ADA, 1999) lo clasifico como un alimento funcional.

Tabla 4. Composición del Aguacate

Nutriente	Unidad	100 g
Agua	g	73,23
Energía	kcal	160
Proteína	g	2
Lípidos totales (grasa)	g	14,66
Carbohidratos por diferencia	g	8,53
Fibra total dietaria	g	6,7
Azúcar, total	g	0,66
Minerales		
Calcio, Ca	mg	12
Hierro, Fe	mg	0,55
Magnesio, Mg	mg	29
Fósforo, P	mg	52
Potasio, K	mg	485
Sodio, Na	mg	7
Zinc, Zn	mg	0,64
Vitaminas		
Vitamina C, ácido ascórbico total	mg	10
Tiamina	mg	0,067
Riboflavina		0,13
Niacina		1,738
Vitamina B-6		0,257
Folato, DFE	µg	81
Vitamina B-12	µg	0
Vitamina A, RAE	µg	7
Vitamina A, UI	UI	146
Vitamina E (alfa tocoferol)	mg	2,07
Vitamina D (D2 + D3)	µg	0
Vitamina D	UI	0
Vitamina K (filoquinina)	µg	21
Lípidos		
Ácidos grasos, saturados totales	g	2,126
Ácidos grasos, insaturados totales	g	9,799
Ácidos grasos, poli insaturados totales	g	1,816
Ácidos grasos, trans totales	g	0
Colesterol	mg	0

Vitamina E

En la nutrición humana la vitamina E es considerada un micronutriente esencial, por lo cual es importante su incorporación en la dieta a través de la ingesta de alimentos

fuelle, que aportan pequeñas cantidades. Los organismos fotosintéticos sintetizan y almacenan cuatro tocoferoles (α , β , γ y δ) en hojas y semillas (Azzi, 2017). De los cuales desde su descubrimiento el α -tocoferol ha sido considerado el más importante debido a su mayor actividad biológica (Torquato et al., 2016)

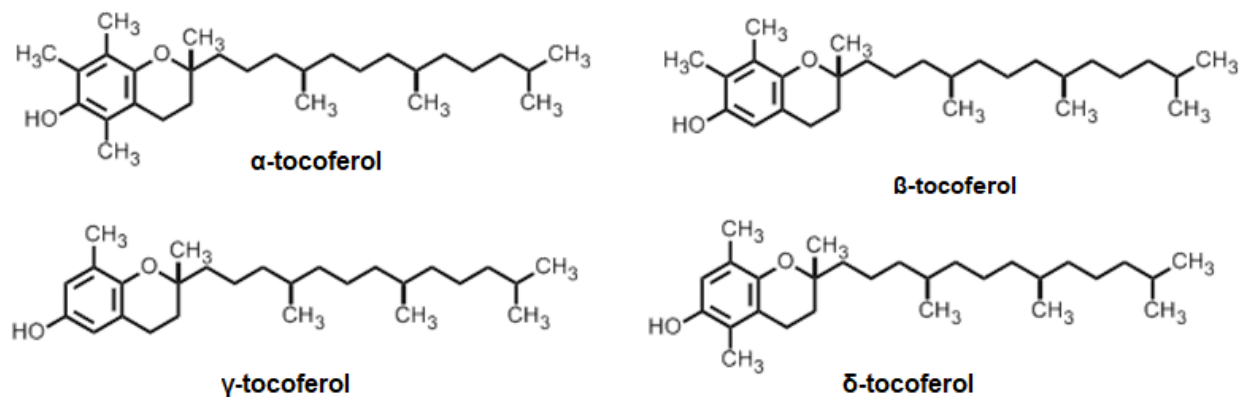


Figura 2. Estructura química de los tocoferoles (α , β y δ)

La vitamina E cumple con la función antioxidante al impedir o retrasar la degradación principalmente de los ácidos grasos (J. Lee et al., 2004). Dadas sus propiedades antioxidantes, en los sistemas biológicos una molécula de Vitamina E puede proteger hasta 10.000 moléculas de ácidos grasos insaturados (Londoño, 2012) . Importante función que ayudaría a disminuir alteraciones que desencadenan en diversos tipos de enfermedades de origen degenerativo, como la incidencia de enfermedades cardiovasculares, diabetes y algunos tipos de cáncer (Davì, Santilli, & Patrono, 2010)

El aguacate Hass es considerado buena fuente de vitamina E, según reportes en la base de datos de nutrientes del United States Department of Agriculture (USDA, 2016) se encuentra en un contenido de 2.07 mg por 100 g de fruta fresca.

De acuerdo con la Res. 0333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social el valor diario recomendado de ingesta diaria de la vitamina E para niños mayores de 4

años y adultos es de 20 mg día, basados en una dieta de 2000 calorías, sin embargo los requerimiento de ingesta varían de acuerdo con la edad, como puede observarse en el reporte del Instituto Nacional de Salud (NIH, 2018) relacionada en la Tabla 5.

Tabla 5. Recomendación de consumo de vitamina E en las etapas de la vida

Etapas de la vida	Cantidad recomendada
Bebés hasta los 6 meses	4 mg
Bebés de 7 a 12 meses	5 mg
Niños de 1 a 3 años	6 mg
Niños de 4 a 8 años	7 mg
Niños de 9 a 13 años	11 mg
Adolescentes de 14 a 18 años	15 mg
Adultos	15 mg
Mujeres y adolescentes embarazadas	15 mg
Mujeres y adolescentes en periodo de lactancia	19 mg

Polifenoles

Los polifenoles son compuestos de origen natural que se encuentran en las plantas como producto de su metabolismo secundario y que en su estructura presentan uno o más anillos fenólicos (Quiñones, Miguel, & Aleixandre, 2012). En aguacate Hass los compuestos se encuentran en la pulpa, cascara y semilla (López Cobo et al., 2016) con potencial aplicación en la industria cosmética, de alimentos y nutraceuticos. La catequina y epicatequina algunas de los compuestos polifenólicos presentes en la pulpa del aguacate Hass, su estructura química se muestra en la Figura 3.

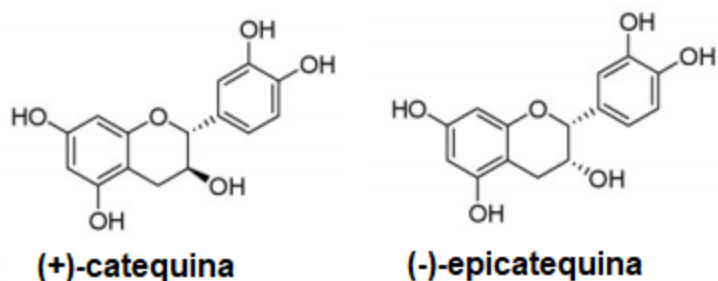


Figura 3. Estructura química de algunos compuestos fenólicos del Aguacate Hass

La incorporación de estas sustancias en la dieta a través los alimentos que los contienen naturalmente o el enriquecimiento de productos fabricados está en auge dados los beneficios que pueden representar para la salud (Segovia, Corral-Pérez, & Almajano, 2016).

El método de Folin-Ciocalteu es mundialmente aceptado para la determinación del contenido total de compuestos fenólicos (AOAC 1997), los resultados se expresan como equivalentes de ácido gálico (GAE), es decir la concentración de ácido gálico que genera una respuesta equivalente a la producida por los compuestos fenólicos presentes en la muestra.

Capacidad Antioxidante

La actividad antioxidante de los compuestos presentes en el aguacate como los flavonoides y procianidinas (catequina y epicatequina) se mide como la capacidad de inhibir los radicales libres o evitar la formación de los mismos (Villa-Rodríguez, Molina-Corral, Ayala-Zavala, Olivas, & González-Aguilar, 2011a). Uno de los métodos convencionales para determinar la capacidad antioxidante es un ensayo fluorimétrico denominado método de la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), que

mide la capacidad del compuesto de atrapar los radicales peróxido, con un indicador de proteína fluorescente añadido a la muestra y que se va atenuando hasta que la proteína se ha oxidado. La capacidad antioxidante de la muestra se obtiene de la descomposición de la fluorescencia en comparación con una solución de control es reportada en micromoles de equivalentes de Trolox por Kilogramo (Rutkowski, Santiag, Ben-Jebria, & Ultman, 2011), por la suma del ORAC por fracciones, es decir del lipofílico e hidrofílico (Stockham, Paimin, Orbell, Adorno, & Buddhadasa, 2011).

Plaguicidas

El uso de plaguicidas es una práctica tradicional en la producción de vegetales, dada la susceptibilidad de las plantas a los ataques de hongos, malezas y plagas, que causan enfermedades tanto en esta como en el fruto. Las condiciones climáticas son un factor que favorece el establecimiento y diseminación en el cultivo (Ramírez-Gil, Martínez Giraldo, & Morales Osorio, 2018). La aplicación de plaguicidas es una estrategia fitosanitaria para garantizar la calidad de los frutos, evitar pérdidas económicas y de la producción.

Para garantizar la calidad del aguacate Hass, tanto en la producción en campo, como en poscosecha se requiere control de las enfermedades provocadas por plagas, hongos y malezas que pueden afectar la productividad del cultivo ocasionando pérdidas económicas significativas. Bajo las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y las recomendaciones de los técnicos son aplicados en los cultivos herbicidas, fungicidas e insecticidas denominados genéricamente como pesticidas o plaguicidas con el fin de erradicarlas o controlarlas para evitar el deterioro de la planta y los frutos.

Por décadas el uso de plaguicidas en la producción agrícola se ha mantenido debido a la propagación plagas y prevalencia de enfermedades en los cultivos, para combatir patologías como pudrición de raíz, marchitamiento de la planta, enfermedades en los frutos como roña, mancha angular, pudrición y cantidad de daños ocasionados por insectos, durante el cultivo o la poscosecha. Pese a su utilidad estos representan un potencial riesgo para el medio ambiente, la salud humana y los alimentos (Zhang, Zeiss, & Geng, 2015). La mayoría de estas sustancias son altamente lipofílicas (Madej, Kalenik, & Piekoszewski, 2018) por lo que alimentos con alto contenido de grasa como el aguacate podrían contener altas cantidades de residuos de plaguicidas, acumulándose en los frutos y representar un riesgo para la salud.

Es necesario cumplir con los tiempos de retiro luego de la aplicación controlada los plaguicidas para el momento de la cosecha y comercialización con miras a garantizar el cumplimiento de los límites máximos de residualidad permitidos (LMR) por diferentes entes de control del mercado destino del producto.

Para el mercado nacional la normativa vigente es la Resolución 2906 de 2007 expedida por el Ministerio de la Protección Social en la cual para el aguacate se establecen límites al bromuro inorgánico 75 mg/kg, metalaxil 0.2 mg/kg, tebufenozida 1.0 mg/kg y tiabendazol 15 mg/kg, es decir solo a 4 componentes. Sin contar que en el mercado y las fincas productores llevan un amplio registro de productos usados que también pueden presentar residualidad.

La Norma Técnica Colombiana (NTC) 6345 de 2019 publicada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), recomienda que los frutos se ajusten a los límites establecidos por la Resolución vigente o en su defecto dar

cumplimiento a los lineamientos del Codex Alimentarius que cuenta con 18 plaguicidas reportados incluidos los mencionados anteriormente, como puede observarse en la Tabla 6.

Los mercados de exportación, por lo general se caracterizan por la exigencia en cuanto a la presencia y contenido de estas sustancias en los frutos de aguacate Hass, la NTC 6345 de 2019 aplicable desde el momento previo de la cosecha hasta la comercialización, indica los links web para realizar la búsqueda de acuerdo al mercado destino, como la Unión Europea (UE) y Estados Unidos (US).

Tabla 6 Comparativo de los Límites máximos de residualidad (LMR) del Codex y la regulación colombiana

Plaguicida	CODEX mg/kg	COLOMBIA (mg/kg)
Abamectin	0,01	---
Bromuro Inorgánico	75	75
Buprofezin	0,1	---
Clotianidin	0,03	---
Cyprodinil	1	---
Difenoconazol	0,6	---
Endosulfan	0,5	---
Espinetoram	0,3	---
Fenpyroximate	0,2	---
Fludioxonil	0,4	---
Fosetyl Al	20	---
Metaloxilo	0,2	0,2
Metoxifenoazida	0,7	---
Spirodiclofen	0,9	---
Spirotetramat	0,4	---
Tebufenozida	1	1
Tiabendazol	15	15
Tiametoxam	0,5	---

Límites máximos de residualidad de pesticidas (LMR)

Los límites máximos de residualidad de pesticidas o LMR se han establecido a nivel mundial con mayor grado de exigencia en la Unión Europea y desde la Dirección General de Salud y Consumidores de la Unión Europea (SANCO) a través del documento 11945 (2015) se establece los procedimientos para el método de validación y control de calidad para el análisis de residuos de pesticidas en alimentos y piensos en busca de la seguridad e inocuidad de los alimentos.

Realizar la determinación en aguacate Hass requiere una extracción y limpieza de la muestra ya que por su alto contenido de grasa genera interferencias en la detección, el método más utilizado para este fin es el QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Robust and Safe) (Benavides & Echeverri, 2014). Permitiendo determinar con éxito la presencia de plaguicidas utilizando cromatografía (LC/MS/MS y GC/MS-SIM) (Chamkasem, Ollis, Harmon, Lee, & Mercer, 2013), o cuantificación por la cromatografía de gases acoplado a detector de micro-captura de electrones (GC- μ ECD) (Benavides & Echeverri, 2014)

Metodología

Determinación del contenido de materia grasa como indicador de madurez de cosecha en frutos de aguacate Hass recolectados en diferentes momentos de desarrollo del fruto hasta el punto de cosecha

Para determinar el contenido de materia grasa como indicador de madurez de cosecha en frutos de aguacate Hass, se recolectaron frutos en ocho fincas exportadoras del departamento de Antioquia las cuales tienen certificación global GAP, ubicadas en las subregiones norte (2), oriente (4), y suroeste (2), durante la cosecha principal y travesía (2016 - 2017) como se muestra en la Tabla 7.

Para el muestreo se seleccionaron 30 árboles por finca, para su identificación se marcaron frutos con diámetros de 20 a 23 mm. Una vez alcanzadas las 24 semanas después de la floración se realizaron cosechas cada 15 días hasta la semana 52, evaluando el contenido de materia grasa.

Preparación de las muestras

A los frutos de aguacate Hass se les retiró la cáscara, se partió en cuartos, se tomaron las partes opuestas. Se homogeneizaron las muestras en una licuadora para la reducción del tamaño. las muestras se deshidrataron en una estufa de convección forzada (Brinder FD 115-UL) a 105 °C hasta peso constante.

Tabla 7. Descripción de las Fincas evaluadas, cosecha y periodo de evaluación

Región	Municipio	Finca	Altura msnm	Cosecha	Periodo evaluación
Norte	San Pedro de los milagros	EB	2464	Principal	19/07/2016 - 22/11/2016
					02/08/2016 - 20/12/2016
		17/08/2016 - 20/12/2016			
	El Retiro	CS	2411	Travesía	08/03/2016 - 09/08/2016
					18/04/2016 - 21/09/2016
		03/05/2016 - 04/10/2016			
Oriente	El Peñol	EG	2288	Travesía	13/04/2016 - 19/07/2016
					07/09/2016 - 24/01/2017
		07/09/2016 - 24/01/2017			
	Rionegro	LA	2004	Principal	20/09/2016 - 24/01/2017
					05/04/2016 - 27/06/2016
		13/04/2016 - 30/08/2016			
Suroeste	Amagá	LE	2167	Principal	26/04/2016 - 13/09/2016
					13/09/2016 - 17/01/2017
		13/09/2016 - 17/01/2017			
	Jardín	IM	1786	Principal	27/09/2016 - 17/10/2017
					08/03/2016 - 12/07/2016
		06/04/2016 - 09/08/2016			
Jardín	BV	2025	Travesía	28/06/2016 - 01/11/2016	
				28/06/2016 - 01/11/2016	
	Principal	12/07/2016 - 29/11/2016			
		09/08/2016 - 13/12/2016			
Principal	03/02/2016 - 28/06/2016				
	08/03/2016 - 26/07/2016				
Principal	29/03/2016 - 09/08/2016				
	19/07/2016 - 05/12/2016				
Principal	02/08/2016 - 05/12/2016				
	02/08/2016 - 05/12/2016				

Código de fincas: EB (El banco), CS (Cantabria la Sierra), EC (El Cebadero), EG (El Guarango), LA (Los Abuelos), LE (La Escondida), IM (Imperio), BV (Bella Vista).

Análisis de materia grasa

Para la cuantificación del extracto etéreo se utilizó el método internacional AOAC 963.15 (AOAC, 2006) y el manual operativo del equipo Velp Scientifica (serie 148/6) extracción por solvente de 6 posiciones. Tomando aproximadamente 3 g (P1) de muestra

seca homogenizada en un cartucho de extracción, se adicionaron al vaso de extracción seco y pesado previamente (P_0) 80 ml de hexano grado analítico, en el cual el cartucho queda sumergido, se enciende el equipo soxhlet (Velp Scientifica) con las siguientes condiciones de operación: temperatura 130 °C, tiempo de inmersión 60 min, lavado 60 min y recuperación 30 min. Una vez terminado el proceso, los recipientes con el extracto se llevaron a la estufa para evaporar las trazas de hexano y agua residual durante 1 hora a 103 °C, la muestra se dejó enfriar en un desecador y posteriormente se tomó el peso del vaso de extracción con el residuo (P_2). El porcentaje de extracto etéreo se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\%EE = \frac{P_1 - P_0}{P_2}$$

Ecuación 1. Porcentaje de extracto etéreo

Dónde:

P_0 : Peso del vaso de extracción

P_1 : Peso de la muestra

P_2 : Peso del residuo

Las extracciones por Soxhlet para determinar el extracto etéreo se realizaron por duplicado y los resultados de MG se expresaron como promedio, en base húmeda.

Medición de las variables climáticas

Los datos de las variables climáticas de cada una de las fincas donde se llevó a cabo el estudio fueron monitoreados a través de estaciones meteorológicas (WatchDog, 2900ET, Spectrum Technologies, Plainfield, IL, U.S.) registradas automáticamente cada 15 minutos, con mediciones de temperatura (°C) mínima, máxima y promedio, humedad relativa (%), radiación solar (w/m^2), radicación fotosintética activa (RFA) ($\mu\text{mol}/m^2s$) y precipitación (mm).

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion XVII (Statpoint Technologies, Inc. Estados Unidos). Los datos de MS y MG se sometieron a un análisis de regresión simple con un nivel de confianza del 95%, obteniendo un P-Valor, coeficiente de correlación R^2 y una ecuación ajustada para el modelo, por finca, región y departamento.

El análisis de líneas de regresión con el fin de establecer si presentaban diferencias significativas entre el intercepto y la pendiente de los datos de la cosecha principal y travesía fueron comparadas con un nivel de confianza del 95%.

Para evaluar el efecto de las variables climáticas (temperatura, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa, precipitación) y tiempo de desarrollo del fruto se realizó un el análisis de regresión múltiple por pasos con un nivel de confianza del 95%.

Identificación de plaguicidas en frutos de aguacate Hass en estado de madurez de cosecha.

Para identificar y cuantificar la residualidad de plaguicidas en frutos de aguacate Hass en estado de madurez de cosecha fueron recolectados muestras de frutos durante la cosecha travesía 2017 de las ocho fincas en estudio y que emplean en el proceso productivo diversos plaguicidas para mantener la calidad de los frutos.

Para el muestreo se seleccionaron 10 frutos con madurez de cosecha con los criterios comerciales MS entre 20 y 30%, al azar en cada una de las 8 fincas del estudio, durante la cosecha travesía de 2017 (periodo de junio a agosto), estos tomados de la parte media del árbol, no expuesto a luz directa del sol, ni ubicado en la parte interna del mismo. Las muestras se tomaron siguiendo el sentido de las manecillas del reloj (muestra al norte, luego al este, después al sur y por ultimo al oeste) (SENASICA, 2012). Cada fruto fue almacenado en bolsa con cierre hermético (Ziploc) y rotulado para la identificación de la muestra. Las muestras fueron trasladadas al Centro de Investigación la Selva – Agrosavia (Rionegro, Antioquia) y almacenadas a -20 °C. Posteriormente, las muestras fueron llevadas al laboratorio del Instituto de Ciencia y Tecnología INTAL (Itagüí, Antioquia), donde fueron almacenados a -20 °C hasta la preparación de muestras para el análisis.

Preparación de las muestras (plaguicidas)

La preparación de muestras en el laboratorio del Instituto de Ciencia y Tecnología INTAL (Itagüí, Antioquia) fue adaptada de la Norma Española UNE-EN 15662 de 2009 para determinar de residuos de plaguicidas utilizando GC-MS y/o LC MS/MS seguido de extracción/división de acetonitrilo y método de purificación dispersiva SPE-QuEChERS.

Para lo cual, se toman los frutos congelados de cada finca por separado, se retira la semilla y se homogeniza en un procesador de vegetales la pulpa y la cáscara, tomando 15 g de muestra por duplicado de cada finca, se pesan 15 g de muestra blanco (matriz libre de interferencia) suministrada por el laboratorio, para obtener la curva de calibración, al azar son dopadas dos muestras a analizar con los estándares LC Multiresidue Pesticide Kit y GC Multiresidue Pesticide Kit, en iguales concentraciones, se prepara un blanco reactivo en el cual se incluye todo menos la muestra, en su lugar lleva 15 ml de agua. Para iniciar el proceso de extracción se adiciona a todas las muestras 15 ml de acetonitrilo solvente de extracción, se realiza una agitación mecánica durante un minuto. Pasado el tiempo de agitación, se adicionan las sales para extracción QuEChERS (4,0 g de sulfato de magnesio, $MgSO_4$, sin agua de hidratación, 1,0 g de cloruro de sodio, $NaCl$, 1,0 g de citrato de sodio tribásico dihidratado, 0,5 g de citrato de sodio dibásico sesquihidrato) a cada muestra, se hace una agitación mecánica por dos minutos, centrifugar a 4000 rpm durante 5 minutos.

Análisis multiresiduo

Para la evaluación de residualidad de plaguicidas se utilizó cromatografía líquida de ultra alta eficiencia acoplada a espectrometría de masas en tándem (UPLC/MS/MS) y se monitorearon 276 plaguicidas, los resultados se expresaron en mg/kg. Con un criterio de aceptación del porcentaje de recuperación entre el 70% al 120%, de acuerdo con lo establecido en la guía SANTE/11945/2015,

Caracterización de frutos de Aguacate Hass en contenido de vitamina E, Capacidad antioxidante y polifenoles en frutos con madurez de consumo.

Materiales y métodos

Material vegetal

Se recolectaron frutos con un índice de cosecha de 22, 26 y 30% de MS, aleatoriamente de los árboles marcados por finca, se identificaron y almacenaron en refrigeración a una temperatura de 5 °C y 90% de humedad relativa (HR), durante 0, 3, 4 y 5 semanas. Posteriormente, la maduración se realizó en condiciones controladas 20 °C y 90% de humedad relativa (HR) y hasta grado 5 de madurez: color 75% púrpura en la epidermis y firmeza al tacto suave (Escobar et al., 2019). De los frutos madurados fueron seleccionados 3 frutos por cada tratamiento para analizar el contenido de Vitamina E, capacidad antioxidante y polifenoles.

Preparación de las muestras (vitamina E, capacidad antioxidante y polifenoles)

De cada uno de los frutos aguacate Hass seleccionados, se pesaron por triplicado 3 g de muestra de la pulpa retirada con espátula y envasada en tubos de ensayo cubierto de papel aluminio para proteger las muestras de la luz, y adicionadas de 6 ml de hexano para su conservación, las cuales fueron trasladadas en un recipiente termoaislante en condiciones de refrigeración (4 ± 2 °C) al laboratorio de la Corporación Universitaria Lasallista, donde fueron almacenados en congelación -20 °C hasta el análisis.

Se realizó un proceso de extracción, la muestra con la adición de hexano es mezclada por agitación mecánica en un vortex por 2 min a 3000 rpm. Se llevó a un baño de ultrasonido UC 300 (Scientz, Ningbo City, China) por 5 min a una temperatura de 25

°C, pasado este tiempo la muestra es centrifugada a 3000 rpm durante 5 minutos. Se retira el sobrenadante en otro tubo de ensayo y se dejan las muestras dentro de la campana de extracción usando una corriente de nitrógeno para evaporar el hexano residual. Se realiza por muestra 2 ciclos más de extracción. La muestra es reconstituida con 900 µl de metanol grado HPLC, es envasada en tubos eppendorf y almacenada en congelación -20 °C hasta su análisis, de acuerdo con los protocolos de trazabilidad y residualidad de la Corporación Universitaria Lasallista.

Vitamina E

Se tomaron 400 µl de muestra reconstituida (procedimiento anterior), se centrifugó a 3000 rpm, el sobrenadante se llevó a un vial ámbar de 2 ml. El análisis se realizó por cromatografía mediante HPLC en equipo Thermo UltiMate TM 3000 (Dionex, Thermo Scientific, Estados Unidos) usando metanol como fase móvil, una columna RP-18 4.6 mm x 250 mm (Thermo Scientific, Estados Unidos) como fase estacionaria y un detector de UV-Vis fijado en 293 nm (de Lucas, Martínez de la Ossa, Rincón, Blanco, & Gracia, 2002), con un volumen de inyección de 10 µL. La identificación del α -tocoferol se hace por el tiempo de retención.

Capacidad antioxidante

Para el análisis de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) de los frutos de aguacate Hass con madurez de consumo, se adaptó el método descrito por Cao y col (Cao, Alessio, & Cutler, 1993). Se empleó una microplaca costar UV de 96 pozos, adicionado de 150 µL de fluoresceína a cada pozo, 25 µL de ciclodextrina sólo en los pozos correspondientes al blanco, 25 µL de dilución respectiva de trolox (5, 10, 25, 50, 100, 150, 200 µM) 25 µL de muestra del extracto de aguacate previamente diluido en

acetona y ciclodextrina. Posteriormente se pre incubó durante 30 min a 37°C y un de pH 7,4 en el espectrofluorometro Synergy HT (Biotek Instruments Inc, USA). Se adicionó también una solución de 25µl de AAPH (2, 2'-azobis (2-amidino-propano) diclorohidrato en tampón fosfato, y se midió la intensidad de fluorescencia cada 2 minutos durante 2 horas. Dicho estudio se realizó por triplicado durante 2 horas con longitud de onda de excitación y emisión de 485 y 520 nm respectivamente. Los resultados finales se reportaron como micro moles de equivalentes Trolox por 100 gramos de muestra (µLmolTE/g).

Polifenoles

Para analizar los compuestos fenólicos a partir de la muestra desengrasada (Sales & A. Resurreccion, 2010) del extracto almacenado se filtró una alícuota de 5 ml a través de una membrana de nylon de 0.45 µm, almacenó a 4 °C y protegido de la luz. Se realizaron diluciones de 1:10 y/o 1:100 del sobrenadante y agua destilada. Para analizar en Synergy HT (Biotek Instruments Inc, USA), se adicionó en estricto orden 225 µL de agua destilada a cada pozo, 45 µL de agua destilada (B), 30 µL de dilución respectiva de ácido gálico (10, 20, 40, 60, 80, 100 µg/mL) 30 µL muestra (M), 30 µL de Na₂CO₃ a todos los pozos. Se adicionan 15 µL del reactivo de Folin a todos los pozos excepto al blanco (B). Es llevado al equipo y dejado a 25 °C durante 60 minutos. Se registró la absorbancia a 760 nm, y las mediciones se realizaron por triplicado (Kähkönen et al., 1999).

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion XVII (Statpoint Technologies, Inc. Estados Unidos). Los resultados de Vitamina E mg/100 g,

Capacidad antioxidante $\mu\text{LmolTE/ 100 g}$, Polifenoles GAE mg/100 g fueron evaluados mediante un análisis de varianza multifactorial con un nivel de confianza del 95%

Resultados y análisis

Determinación del contenido de materia grasa como indicador de madurez de cosecha en frutos de aguacate Hass recolectados en diferentes momentos de desarrollo del fruto hasta el punto de cosecha.

A los frutos de aguacate seleccionados se les determinó los contenidos de MS y MG con miras a evaluar la acumulación en el desarrollo de los frutos en el tiempo. Así como la posible incidencia de algunas de las variables climáticas para identificar los valores de madurez de cosecha para Antioquia, lo cual es de importancia para la toma de decisión de cosecha en campo.

En la Tabla 8 se observan los resultados obtenidos a través del análisis de regresión lineal simple entre la MG y la MS. Donde los valores P obtenidos para Antioquia y las regiones del departamento estudiadas fueron inferiores al 0.05, indicando una relación lineal significativa entre ambas variables con un nivel de confianza del 95%. La relación fuerte entre las variables se identifica dados los coeficientes de correlación que arrojan valores de 0.88 a 0.99. Con valores de R cuadrado que varían del 78.43% al 98.92%. Con lo que es posible explicar por encima de un 78% la variabilidad de la MG con el valor de MS.

Tabla 8. Correlación entre la MG y la MS evaluadas en el Departamento

Región	Municipio	Finca	Ecuación	Cofiente correlación	R Cuadrado	P-Valor	%MS
Norte	San Pedro	EB	$MG (\%) = -4.78073 + 0.640582 * MS (\%)$	0.88	78.88	0.0006	24.95
	San Pedro	CS	$MG (\%) = -4.90439 + 0.682726 * MS (\%)$	0.89	80.69	0.0001	23.59
	El Retiro	EC	$MG (\%) = -3.08225 + 0.618651 * MS (\%)$	0.93	87.62	0.0000	23.09
Oriente	El Retiro	EG	$MG (\%) = -6.79594 + 0.725734 * MS (\%)$	0.99	98.92	0.0054	24.8
	El Peñol	LA	$MG (\%) = -4.21057 + 0.640631 * MS (\%)$	0.93	87.67	0.0000	24.06
	Rionegro	LE	$MG (\%) = -2.64133 + 0.57211 * MS (\%)$	0.88	78.43	0.0015	24.19
Suroeste	Amagá	IM	$MG (\%) = -4.15431 + 0.646619 * MS (\%)$	0.91	83.68	0.0000	23.75
	Jardín	BV	$MG (\%) = -6.1396 + 0.755119 * MS (\%)$	0.94	89.58	0.0000	22.96
Antioquia (todas las regiones)			$MG (\%) = -4.28518 + 0.655209 * MS (\%)$	0.93	87.27	0.0000	23.63
Norte			$MG (\%) = -5.69737 + 0.702432 * MS (\%)$	0.92	84.74	0.0000	24.05
Oriente			$MG (\%) = -3.44151 + 0.617005 * MS (\%)$	0.93	87.26	0.0000	23.73
Sur oeste			$MG (\%) = -4.40125 + 0.666863 * MS (\%)$	0.93	87.04	0.0000	23.39

Con los datos de ambas cosechas y tomando como referente de calidad el contenido de MG 11.2% para la variedad Hass (Lee et al., 1983) se calcularon los valores de MS con las ecuaciones que propone el modelo de regresión simple, obteniendo datos que oscilaron entre un 22.96% en la finca BV (Región suroeste) y el 24.95% en la finca EB (Región norte), semejantes a los reportados por Carvalho, Velásquez, & Van Rooyen, (2014) y cercanos al valor del indicador de madurez de 24% MS reportado en Nueva Zelanda (Pak, Dawes, & North, 2002). Las fincas EB (R. Norte) y LE (R. Oriente) según la ecuación presentaron un contenido de MS más alto (24,95% y 24,19%), comparados con los resultados EC (Región Oriente) y BV (Región Suroeste) 23,09% y 22,96%, respectivamente.

Estos contenidos de MG se ajustan a los requerimientos que las comercializadores en Colombia tienen para el mercado de exportación del aguacate Hass el cual se está en un rango de aceptación del 23% al 30% (Henao & Rodríguez, 2016), lo que puede significar una amplia variación en el contenido de MG en los frutos que llegan al consumidor.

En la Tabla 9. Se muestran los pronósticos del contenido de MG con el valor de MS de 23% para Antioquia y las subregiones por cosecha. Para la cosecha principal tanto el norte como el oriente se prevé un contenido MG de 9.95%, mientras que el suroeste presenta un comportamiento bastante similar para ambas cosechas del 11.04 y 10.98%, el cual fue superior en comparación con las otras regiones. Luego de hacer el análisis estadístico se evidencia que existe diferencia estadísticamente significativa entre las cosechas más no entre las regiones.

Tabla 9. Pronósticos de MG al 23% MG para Antioquia para la cosecha principal y traviesa

	Cosecha	Ecuación	R Cuadrado	P- Valor	MG al 23%MS	Límite predicción 95%	
Antioquia	Principal	$MG (\%) = -5,3487 + 0,710169 * MS (\%)$	87.82	0	10.98	7.82	14.14
	Traviesa	$MG (\%) = -3,46142 + 0,617273 * MS$	87.82	0	10,73	7,55	13,91
Norte	Traviesa	$MG (\%) = -3,46142 + 0,617273 * MS$	87.82	0	10,73	7,55	13,91
	Principal	$MG (\%) = -4,78073 + 0,640582 * MS (\%)$	85.54	0	9,95	6,04	13,86
Oriente	Traviesa	$MG (\%) = -4,90439 + 0,682726 * MS (\%)$	85.54	0	10,79	6,92	14,66
	Principal	$MG (\%) = -4,78073 + 0,640582 * MS (\%)$	88.67	0	9.95	6.04	13.86
Suroeste	Principal	$MG (\%) = -5,98623 + 0,740606 * MS (\%)$	87.87	0	11.04	7.52	14.57
	Traviesa	$MG (\%) = -3,2713 + 0,619984 * MS (\%)$	87.87	0	10.98	7.36	14.61

En la Figura 4 se presentan la comparación de las líneas de regresión simple obtenidas para el departamento, las fincas y los periodos de cosecha principal y traviesa (2016 – 2017) evaluadas en las tres regiones del departamento, en la cual las pendientes de las líneas de regresión en todos los casos muestran que no hay diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). Sin embargo, el comportamiento de acumulación no es el mismo y presenta una diferencia en comportamiento después de un tiempo.

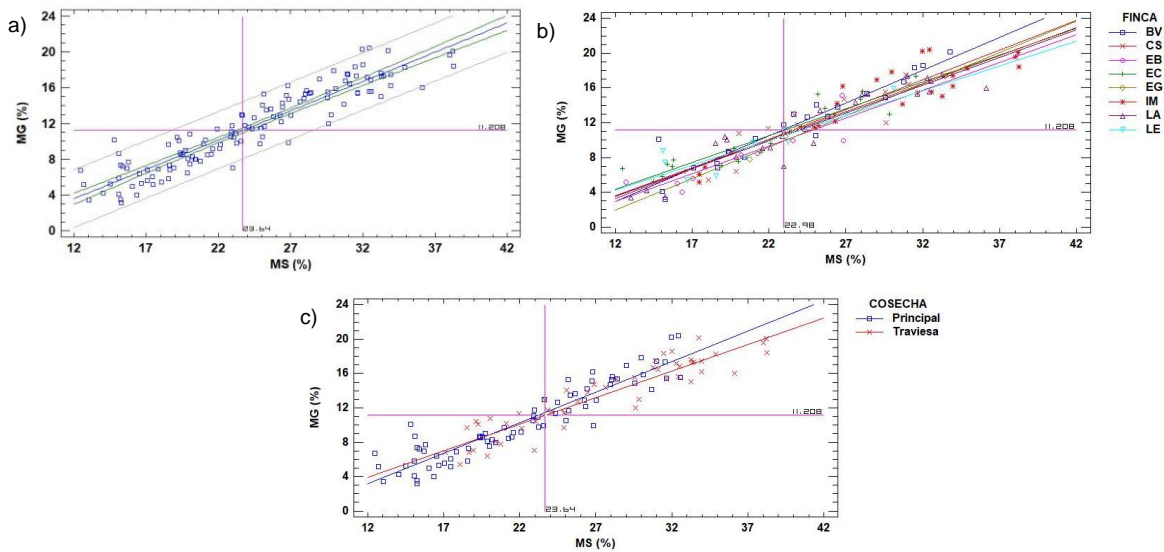


Figura 4. Líneas de regresión entre la MG y la MS a) Antioquia, b) entre las fincas, c) entre los periodos de cosecha (2016-2017)

En la Figura 5. Se observa el comportamiento de la acumulación de la MG (y) respecto al tiempo de cosecha (x) del fruto en semanas obtenido mediante regresión lineal simple. Donde los valores P para Antioquia, las cosechas y las regiones fueron inferiores al 0.05, lo que indica una relación lineal significativa entre ambas variables con un nivel de confianza del 95%. Los valores de los coeficientes de correlación se encuentran entre 0.73 hasta 0.88, indicando una relación moderadamente fuerte entre la MG y el tiempo de desarrollo del fruto, Los valores de R^2 son variables, van del 54.14% en la cosecha traviesa, hasta el 78.78% en la región norte.

Ozdemir & Topuz, 2004b hallaron aumentos significativos en el contenido de MG en frutos de aguacate Hass con el avance en el tiempo de desarrollo del fruto, así como Ferreyra et al., 2012 muestran los resultados del estudio llevado a cabo en Chile donde los frutos presentan mejores atributos sensoriales de acuerdo al contenido MG medido

a través de la MS, el tiempo para alcanzar el 23% de MS varía entre regiones, tardando 55 días más en la zona de la región costa (70 msnm), respecto a la zona media alta de los valles (1300 msnm) de acuerdo con los autores, dichas variaciones podrían explicarse por las condiciones climáticas de los cultivos respecto a la altitud sobre el nivel del mar. En contraste, de acuerdo con la estimación que arroja el estadístico, tomando un 11.2% de MG como IC, nuestro tiempo de cosecha varía entre las regiones, siendo más rápido en la región suroeste y más lento en la región norte donde se acercó a las 38 semanas.

Cerdas, 2014 reporta que la cosecha puede realizarse entre las semanas 39 y 40 después del inicio del desarrollo del fruto, para la zona de producción intermedia de Los Santos en Costa Rica (1750 msnm), donde se desarrolló la investigación. El estudio en el departamento de Antioquia presenta una variabilidad entre regiones más amplia considerando las diferencias topográficas y condiciones climáticas en las cuales están cada uno de los cultivos. De acuerdo al estudio de Ferreyra et al. (2016) y Pedreschi et al. (2016) la ubicación del cultivo puede influenciar la composición del contenido lipídico en los frutos de aguacate, específicamente del ácido oleico, que es el ácido graso principal con una proporción aproximada del 70% (Villa-Rodríguez, Molina-Corral, Ayala-Zavala, Olivas, & González-Aguilar, 2011b), siendo variable de acuerdo al origen (Landahl, Meyer, & Terry, 2009) y no se tienen indicios de afectación del contenido en la poscosecha por retraso en la maduración (Meyer & Terry, 2010). Para Requejo-Tapia et al., 2000, tanto la ubicación de los cultivos como los cambios en la temperatura pueden afectar el metabolismo de los lípidos y el tiempo para que el fruto alcance su madurez. Por ende, como puede verse en la figura 5. la acumulación de MG es continua hasta la

cosecha, los frutos cosechados para el análisis tardíamente muestran el contenido más alto de MG, respecto a los cosechados en menor tiempo.

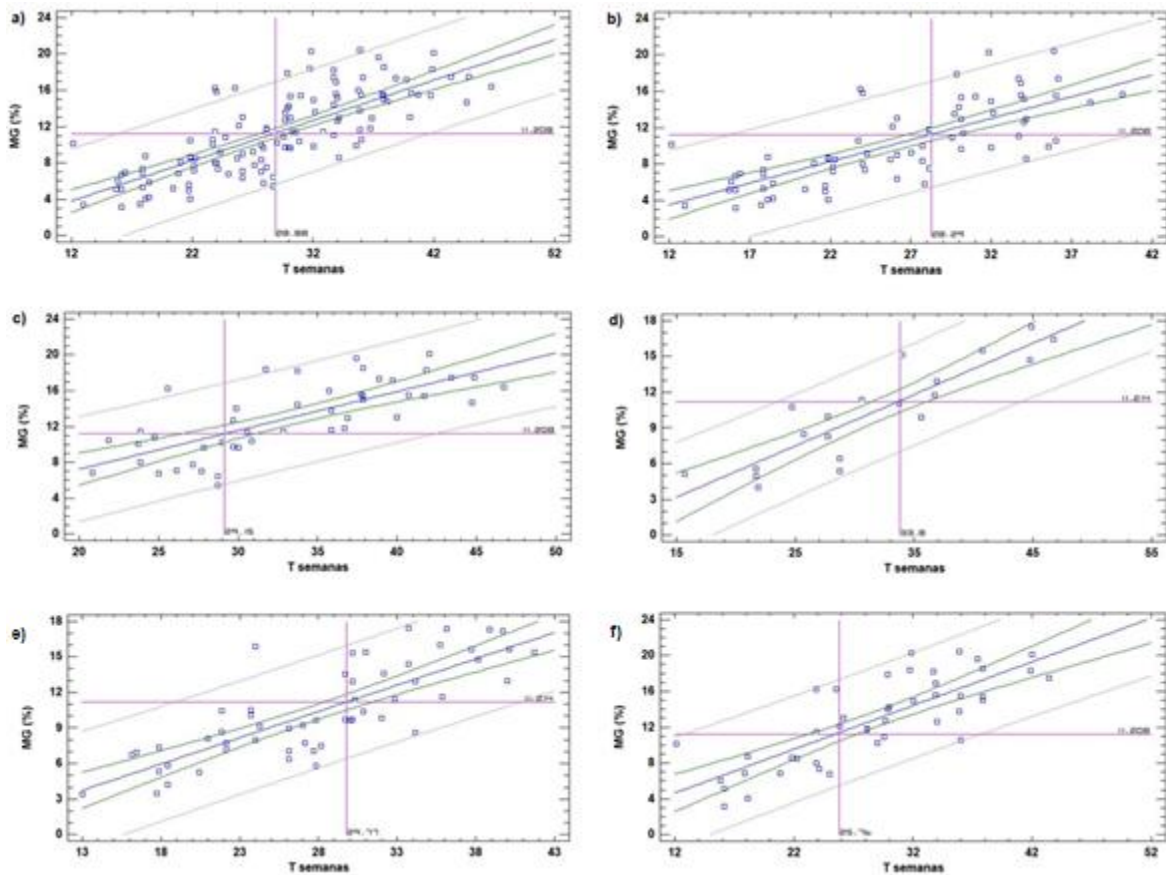


Figura 5. Acumulación de %MG respecto al tiempo de desarrollo del fruto en semanas.
a) Antioquia, b) cosecha principal, c) cosecha traviesa, d) región norte, e) región oriente, f) región suroeste.

Para Bernal Estrada et al., 2014, las condiciones de altura adecuadas para el cultivo de aguacate Hass se encuentra entre los 1700 y 2500 msnm donde se adapta mejor, las fincas del estudio ubicadas en los municipios de Amagá, Jardín, El Peñol, El Retiro, San Pedro de los Milagros y Rionegro se encuentran en esta altitud y que además han presentado un crecimiento en de las hectáreas cultivadas en los últimos años.

Para analizar el efecto de las variables climáticas y el tiempo de desarrollo del fruto respecto a la acumulación de MG se aplicó un análisis de regresión múltiple con la MG como variable dependiente. En la tabla 8 se muestran las variables predictoras y las ecuaciones que arrojan el modelo para Antioquia y las regiones estudiadas. De las variables incluidas en el análisis, tres presentaron una relación significativa con la MG ($P \leq 0.05$). Para la región norte, el tiempo de desarrollo del fruto presentó una relación directamente proporcional en comparación con la MG ($R = 78.78\%$). En las demás regiones evaluadas el comportamiento fue similar, en la medida en que se desarrolla el fruto va en aumento el contenido de MG. Tanto en la región Oriente como Suroeste adicional al tiempo de desarrollo del fruto, la temperatura máxima mostró una relación estadísticamente significativa con relación a la acumulación de MG con valores de R^2 de 68.88% y 74.13%, respectivamente.

Tabla 10 Resultados del análisis de regresión múltiple variables climáticas vs % MG

Región	Parámetro de estimación	Magnitud	P-valor	R Cuadrado
Antioquia	β_0	-17.7241	0	73.46
	β_1 (Prom. T)	0.839006	0	
	β_2 (tiempo)	0.0574921	0	
	β_3 (Precipitación)	0.00220042	0.0397	
Norte	β_0	-3.27427	0.0723	78.78
	β_1 (tiempo)	0.0615577	0	
Oriente	β_0	-13.6985	0.0267	68.88
	β_1 (tiempo)	0.0642495	0	
	β_2 (T. máx)	0.411868	0.0475	
Suroeste	β_0	-29.1658	0.0002	74.13
	β_1 (tiempo)	0.0070562	0	
	β_2 (T. máx)	0.234252	0.0003	

Mediante el análisis de regresión múltiple, se obtienen las variables que además del contenido de MS inciden sobre el contenido de MG, para el aguacate Hass, en la Tabla 10. Se muestra generalizado para el departamento de Antioquia y las regiones (norte, oriente y suroeste). Para Antioquia, así como para la región norte la temperatura máxima y promedio, respectivamente mostraron efecto significativo. La temperatura máxima durante la cosecha principal estuvo entre 23,8 a 32,7 °C, mientras que la cosecha traviesa se elevó de 26,5 °C a 32,7 °C. Para la región norte la temperatura promedio osciló entre 15,18 °C y 16,29 °C. Para Antioquia además del tiempo y la temperatura, las variables de promedio de humedad relativa y la precipitación muestran un efecto significativo. Para la región Oriente estas variables son también significativas junto con el promedio de radiación solar. En la región Suroeste solo el tiempo de desarrollo del fruto y el promedio de la humedad relativa tendrían incidencia de acuerdo con el análisis. En el caso de la región norte además del tiempo, promedio de temperatura, la precipitación afecta el proceso de acumulación de materia grasa.

Identificación de plaguicidas en frutos de aguacate Hass en estado de madurez de cosecha.

A los frutos de aguacate Hass recolectados en las fincas del estudio se les analizó la residualidad de 276 plaguicidas y el cumplimiento de los LMR establecidos por la normativa colombiana (Res. 2906/2007), Codex Alimentarius, la Unión Europea, EPA (*Enironmental Protection Agency*), requeridos en los mercados destino, para comprender el potencial riesgo para la salud del consumidor.

En fincas evaluadas en el departamento, solo en dos de ellas se identificó la presencia de residuos de los plaguicidas difenoconazol, procloraz, tebuconazol, tiacloprid. La no residualidad de muchos de los compuestos analizados puede ser un indicativo del cumplimiento de los tiempos de carencia en los cultivos, dado la cantidad de moléculas incluidas y los productos usados en campo (Quiceno et al., 2018).

La Resolución 2906 de 2007 (Min. Protección Social) establece los límites máximos de residualidad para el bromuro inorgánico, metalaxil, tebufenozida y tiabendazol, es decir los plaguicidas identificados en los frutos no tienen LMR en el país, tampoco incluye deltametrina, dimetoato y malatión cuyo análisis de residualidad fue validado en un estudio realizado por Benavides & Echeverri, 2014, y que también son regulados en los mercados de exportación.

Para el difenolconazole de acuerdo con la EU el LMR es de 0,6 mg/kg, la residualidad encontrada en los frutos de la finca LE fue de 0,010 mg/kg, por lo cual no supera los límites establecidos.

En la finca LA se identificó residualidad de procloraz de 0,010 mg/kg, por debajo del LMR establecido por la EU (5 mg/kg) y tebuconazol de 0,009 mg/kg por debajo del LMR

de la UE 0,02 mg/kg. Sin embargo, los resultados de residualidad para la misma finca de Tiacloprid con 0,07 mg/kg supera los LMR de la UE 0,01 mg/kg que bajo el reglamento 2019/50 que modifico los límites, considerando el riesgo que representa para la salud.

No se encontraron estudios de residualidad en aguacate, sin embargo, para algunos alimentos de origen vegetal se han reportado resultados, como Mac Loughlin et al., 2018, quienes evaluaron la presencia de 35 plaguicidas en 135 muestras de frutas y vegetales (lechuga, tomate, pepinos, naranja y zanahoria) en el mercado argentino, detectaron residuos de plaguicidas en el 65% de las muestras, de los cuales un 56% estaban por encima de los LMR, con lo cual se recomienda la implementación de programas diseñados para capacitar y realizar monitoreos frecuentes.

La exposición a los plaguicidas supone un potencial riesgo para la salud, pero se requieren más estudios modelos humanos in vitro (de Albuquerque, Carrão, Habenschus, & de Oliveira, 2018 y Habenschus et al., 2019)

La disminución en el uso de plaguicidas es una tendencia a nivel mundial en la búsqueda de proteger la salud humana, los animales y el medio ambiente (OECD, 2016), incluso para hacer frente al cambio climático se promueven estrategias como el control biológico, así como conocer más de la interacción de factores abióticos y ecológicos para la reducción en el uso de plaguicidas y la disminución de los impactos ambientales (Guzmán et al., 2016)

Los límites máximos de residualidad se convierten en la barrera comercial en el mercado del aguacate Hass en el mundo, lo que hace pensar en la necesidad de evaluar la disminución en el uso de los plaguicidas, evaluación de alternativas limpias de

producción, para comercializar frutos libres de defectos y enfermedades, pero seguros para la salud (Bill et al., 2014)

**Caracterización de frutos de Aguacate Hass en contenido de vitamina E,
Capacidad antioxidante y polifenoles en frutos con madurez de consumo.**

Vitamina E

La Vitamina E es un micronutriente esencial en la dieta, cumple funciones biológicas importantes en el organismo, se reconoce por los efectos benéficos en la salud y prevención de enfermedades (Galli et al., 2017; Mène-Saffrané & DellaPenna, 2010).

En la tabla 11 se observa el efecto significativo ($p < 0,05$) del índice de cosecha (IC) y tiempo de almacenamiento (TA) sobre el contenido de vitamina E en los frutos con madurez de cosecha para las fincas CS, EB, LE, para la finca LA no tuvieron efecto ambas variables, mientras que para BV solo el IC.

Tabla 11. Efecto del IC y tiempo de almacenamiento sobre el contenido promedio de vitamina E en frutos con madurez de consumo

	BV		CS		EB		LA		LE	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
IC	3,44	0,0363	9,30	0,0002	17,55	0,0000	0,77	0,4680	3,33	0,0403
TA	0,32	0,8135	3,93	0,0109	9,92	0,0000	1,09	0,3589	6,39	0,0006
IC X TM	5,92	0,0000	3,21	0,0066	3,62	0,0028	4,02	0,0013	1,45	0,2031

El contenido de vitamina E (α -tocoferol), es expresado como mg por 100 g de fruta, en la Figura 6 se muestran los contenidos promedio por finca, de acuerdo con el índice de madurez en el que fueron cosechados los frutos (22, 26 y 30 %MS) y los tiempos de almacenamiento a los que se sometieron los frutos (0, 3, 4 y 5 semanas). Puede apreciarse la variabilidad en el contenido de vitamina E tanto entre las fincas como en los tiempos de almacenamiento. Los frutos de la finca LA con IC 26% MS y almacenamiento por 3 semanas presentaron valores promedio de vitamina E 2.25

mg/100 g, los más altos registrados en el estudio, para esta misma finca y frutos con IC de 30% MS al momento de cosecha y 0 semanas de almacenamiento se hallaron contenidos de 1,54 mg/100 g, cercano a los valores de los frutos cosechados en 26% MS de la finca EB con 1,52 mg/100 g con tiempos de almacenamiento de 0 y 5 semanas. Sin embargo, para los IC de 22 y 30% MS de esta finca los valores fueron mucho más bajos registrados entre 0,3 y 0.7 mg/100 g.

Comparando el aporte de vitamina E de frutas y vegetales, el aguacate Hass es la fruta con más alto contenido (Fernandes N, Oliveira, Gomes, & Rodrigues, 2016), 100 g de fruta fresca contienen 2.06 mg (USDA Nutrient Database), superando a los arándanos y el kiwi que contienen 1.20 y 1.46 mg respectivamente y valores muy similares a los reportados para los champiñones 2,14 mg y espinacas 2,03 mg. Datos cercanos a los obtenidos en algunas de las fincas del estudio. De acuerdo con la recomendación de energía y nutrientes para la población colombiana en la RIEN (Res. 3803 de 2016), la ingesta aceptable de Vitamina E para los niños y niñas de 1 a 8 años es de 5 mg/día, para desde hombres de los 9 y hasta > de 70 años es de 10 mg/día, en las mujeres desde los 9 y hasta > 70 años es de 7,5 mg/día, incluidos los periodos de gestación y lactancia. Pudiendo considerarse el aguacate excelente fuente dietaria de vitamina E, o buena fuente según el requerimiento diario para niños mayores de 4 años hasta adultos de 20 mg día establecido en la Res. 0333 de 2011.

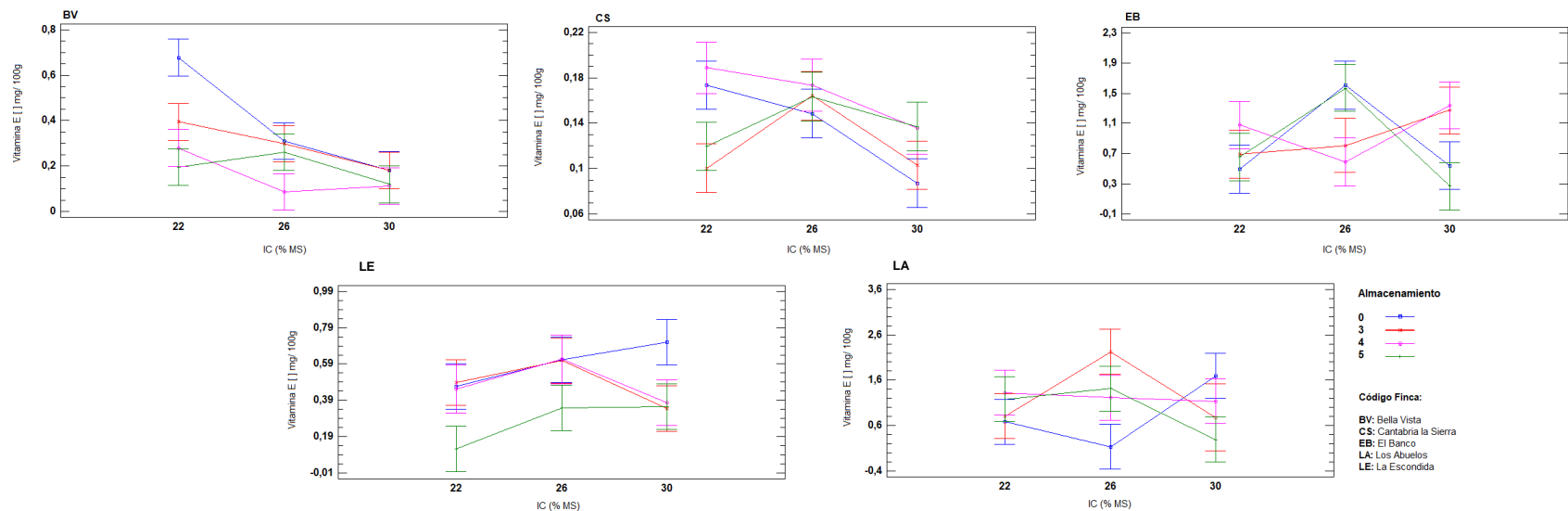


Figura 6. Contenido de vitamina E (α -tocoferol) mg/100 g en frutos con diferente índice de cosecha (IC) en las fincas (BV, CS, EB, LA y LE). Líneas de colores indican el tiempo de almacenamiento (Azul = 0, Rojo = 3, Rosado = 4 y Verde 5 semanas)

Capacidad antioxidante (ORAC)

Los compuestos antioxidantes presentes en los frutos de aguacate Hass presentan una naturaleza hidrofílica y lipofílica por lo que la capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno (ORAC) de ambas fracciones es expresada en micromoles de equivalentes trolox (TE) por gramo (Stockham et al., 2011).

En la Tabla 12 se encuentran las diferencias significativas ($p < 0,05$) del índice de cosecha (IC) y tiempo de almacenamiento (TA) sobre la capacidad antioxidante de los frutos con madurez de cosecha para todas las fincas del estudio.

Tabla 12 Efecto del IC y tiempo de almacenamiento sobre la Capacidad Antioxidante promedio en frutos con madurez de consumo

	BV		CS		EB		LA		LE	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
IC	54,83	0,0000	5,49	0,0056	54,83	0,0000	3,28	0,0421	10,69	0,0001
TA	3,53	0,0177	25,71	0,0000	3,53	0,0177	19,39	0,0000	7,16	0,0002
IC X TM	2,23	0,0468	6,29	0,0000	2,23	0,0468	5,20	0,0001	1,07	0,3849

La capacidad antioxidante promedio de los frutos del estudio se muestran, en la Figura 7 graficados por finca con los diferentes índices de madurez en que fueron cosechados (22, 26 y 30 %MS) y tiempos de almacenamiento a los que se sometieron de los frutos.

Todos los frutos analizados presentaron actividad antioxidante, algunos en mayor grado respecto a otros. Los mejores resultados se dieron especialmente en los almacenados durante 0 semanas y con índice de cosecha de 22 y 26% MS. Así, la actividad antioxidante de los aguacates Hass osciló en promedio entre 200 $\mu\text{mol TE}/100$ g y 800 $\mu\text{mol TE}/100$ g. Sin incluir la finca CS que en la semana 0 de almacenamiento, los frutos con IC 26% MS alcanzó un valor promedio de 1400 $\mu\text{mol TE}/100$ g.

Junto a la finca CS, que para frutos con IC 22% MS y almacenamiento de 0 semanas presentó valores promedio de 800 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$, se destaca los promedios de las fincas BV, LA y LE que compartiendo las mismas características de almacenamiento e IC llegando a valores de 380, 630 y 600 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ respectivamente. Los cuales pueden deberse al alto contenido de ácido ascórbico y compuestos fenólicos como el ácido gálico, catequinas, ácido p-cumárico, epicatequinas, rutina, quercetina, y ácido clorogénico identificados en aguacate (Oboh et al., 2015; Villa-Rodríguez et al., 2011b)

Resulta difícil comparar los resultados obtenidos con otros estudios ya que las metodologías para medir la capacidad antioxidante difieren (López Cobo et al., 2016; M. Wang et al., 2016). De los estudios con resultados comparables, encontramos que los frutos de aguacate hass analizados, en general están por debajo de $11,6 \pm 0,4\ \mu\text{mol TE}/\text{g}$ reportados por W. Wang, Bostic, & Gu, 2010.

En el análisis estadístico de la varianza (ANOVA) para los datos de la capacidad antioxidante (ORAC) en los frutos de aguacate Hass, se encontró que no existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre las fincas del estudio, sin embargo, si entre los tratamientos de almacenamiento e IC en cada finca.

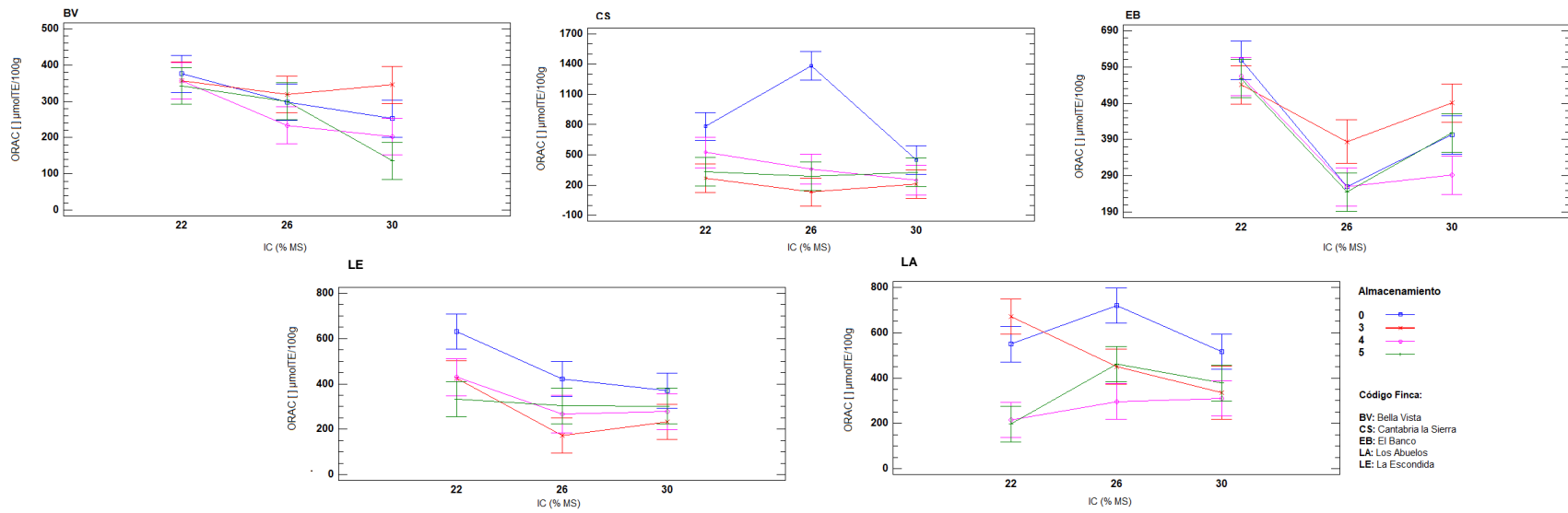


Figura 7. Capacidad Antioxidante ORAC [] $\mu\text{molTE}/100\text{g}$ en frutos con diferente *Índice de cosecha (IC)* en las fincas (BV, CS, EB, LA y LE). Líneas de colores indican el tiempo de almacenamiento (Azul = 0, Rojo = 3, Rosado = 4 y Verde 5 semanas)

Polifenoles

En la Tabla 13 se muestra el efecto significativo ($p < 0,05$) del índice de cosecha (IC) y tiempo de almacenamiento (TA) sobre el contenido de polifenoles en los frutos con madurez de cosecha para las fincas BV, CS, EB, LE, el IC tuvo un efecto significativo, mientras que no se observaron cambios significativos por el tiempo de almacenamiento en las fincas BV y CS

Tabla 13 Efecto del IC y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de Polifenoles promedio en frutos con madurez de consumo

	BV		CS		EB		LA		LE	
	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P	Razón-F	Valor-P
IC	46,58	0,0000	44,67	0,0000	37,58	0,0000	0,41	0,6671	3,25	0,0433
TA	2,35	0,0772	1,11	0,3506	4,28	0,0070	5,24	0,0022	3,26	0,0249
IC X TM	2,12	0,0580	7,66	0,0000	5,50	0,0001	2,79	0,0153	2,63	0,0212

La cantidad de polifenoles, se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 g de fruta, en la Figura 8 se muestran los contenidos promedio por finca en los índices de madurez cosechados (22, 26 y 30 %MS) y tiempos de almacenamiento de los frutos.

Los frutos de aguacate Hass evaluados contienen compuestos fenólicos cuyo rango promedio es de 100 y 170 GAE mg en 100 g.

Los valores más altos los encontramos en la finca EB en frutos cosechados con IC 22% MS y almacenamiento de 5 semanas con 170 GAE mg/100 g y de 162,5 GAE mg/100 g de la finca LE con IC 30% MS y almacenamiento de 0 semanas. Estos elevados valores pueden deberse al contenido de vitamina C y betacarotenos en los aguacates

(Kähkönen et al., 1999). En la finca CS los frutos con IC 22% MS y almacenamiento de 3 semanas presentaron contenidos promedios de 148 GAE mg/100 g, otro contenido significativo de 137 GAE mg/100 g se registraron en EB y LE con IC 30 y 26% MS, almacenamiento de 0 y 4 semanas respectivamente. En comparación con datos encontrados de estudios anteriores, los valores fueron menores a los reportados por Moreno, Ortiz, & Restrepo, 2014, de $582,96 \pm 18,83$ mg GAE/100 g en los frutos. Pero superiores, comparados con los obtenidos por Villa-Rodríguez et al., 2011, para frutos evaluados en almacenamiento y con diferente grado de madurez que estuvieron por debajo de los 40 mg GAE/100 g.

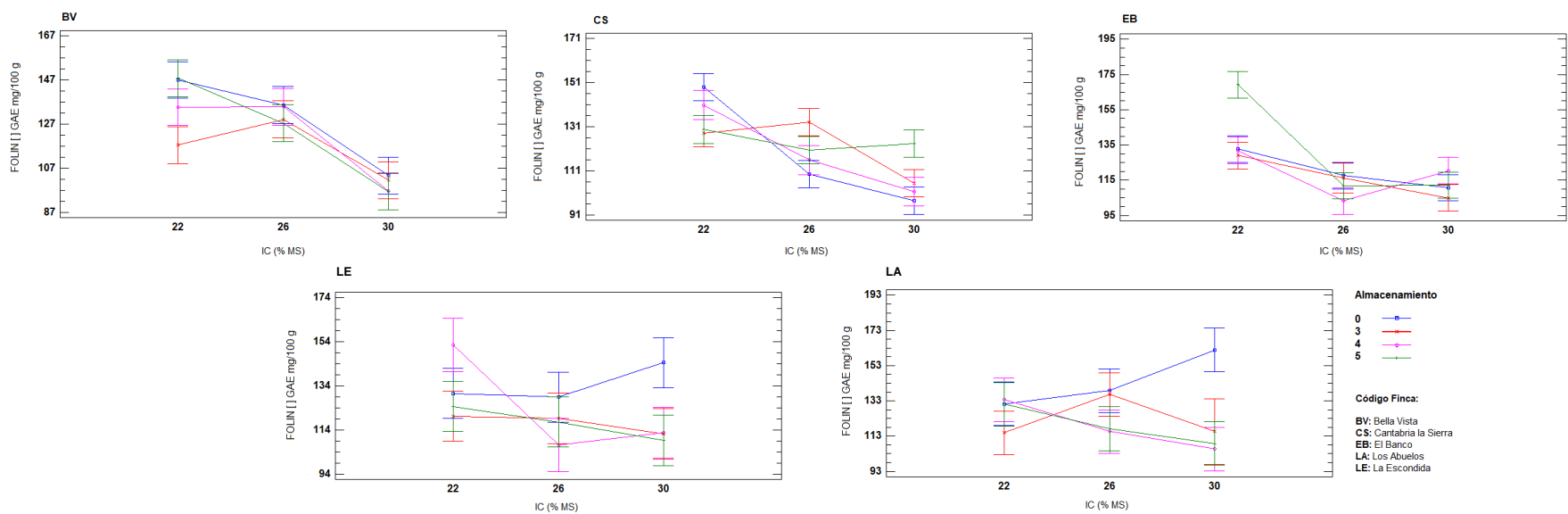


Figura 8. Contenido de polifenoles FOLIN [] GAE/100 g en frutos con diferente índice de cosecha (IC) en las fincas (BV, CS, EB, LA y LE). Líneas de colores indican el tiempo de almacenamiento (Azul = 0, Rojo = 3, Rosado = 4 y Verde 5 semanas)

Conclusiones

Un estándar de calidad para estimar el momento adecuado de recolección de los frutos de aguacate Hass en el campo, puede ser el indicador de madurez de cosecha (IC) definido a través del valor de Materia Seca (MS) y correlacionado el contenido de Materia Grasa (MG). En la región suroeste se alcanzan los contenidos óptimos de MG en menor tiempo después del cuaje (inicio de desarrollo del fruto), mientras que la región oriente y norte estos toman unas semanas más, situación que puede verse influenciada por factores agroambientales.

Las condiciones ambientales como la precipitación, tiempo de desarrollo del fruto y temperatura ambiente influyeron en la concentración de MG alcanzada por los frutos en las regiones evaluadas. Las variables climáticas presentan una alta significancia en la concentración del contenido de MG en los frutos para las regiones evaluadas.

La residualidad de plaguicidas evaluados en frutos con madurez de cosecha en las 8 fincas del departamento de Antioquia, solo arrojó presencia de residuos en dos de las fincas ubicadas en la región oriente (LA y LE), las moléculas encontradas Difenconazol, Procloraz, Tebuconazol y Tiacloprid no cuentan con valores de referencia establecidos en la normativa colombiana, sin embargo, los valores encontrados no sobrepasan los Límites Máximos de Residualidad (LMR) regulados por la Unión Europea UE, mercado destino de dichos frutos, a excepción del Tiacloprid que superó los LMR de la UE reglamento 2019/50. Este es un hallazgo positivo considerando que se evaluaron 279 moléculas en los frutos, que mayoritariamente no representan un riesgo para la salud del consumidor, se asegura la calidad e inocuidad. Es necesario realizar más estudios

para evaluar éstos mismos criterios en otras regiones debido al crecimiento de la producción en otros departamentos del país. Así como el monitoreo constante de los requisitos normativos de los países destino de la exportación.

Vitamina E presentó variaciones entre las fincas y regiones evaluadas las cuales se asocian a las condiciones agroambientales y ubicación de los cultivos. Destacando los frutos evaluados con el IC 26% MS y almacenamiento por 3 semanas que alcanzaron valores promedio de vitamina E 2.25 mg/100 g para la finca LA.

El contenido de polifenoles en los frutos de aguacate evaluados en diferentes %MS (22, 26 y 30%), así como las condiciones de almacenamiento de 0, 3, 4 y 5 semanas, mostro variación tanto por finca como por tratamiento, sin embargo, los mayores contenidos se encontraron en el índice de cosecha de 26% MS.

Referencias

- ADA. (1999). Ada reports. Position of the American Dietetic Association: Functional foods. *Journal of the American Dietetic Association*, 99(1999), pp. 1278-1285
- Alcaraz Arco, M. L. (2009). *Biología reproductiva del aguacate (Persea americana Mill.). Implicaciones para optimización del cuajado.*
- Alcaraz, M. L., & Hormaza, J. I. (2009). Selection of potential pollinizers for “Hass” avocado based on flowering time and male-female overlapping. *Scientia Horticulturae*, 121(3), 267–271. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.02.001>
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 80(July), 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Azzi, A. (2017). Many tocopherols, one vitamin E. *Molecular Aspects of Medicine*, 61, 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2017.06.004>
- Benavides, S., & Echeverri, J. (2014). Validación de un método para el análisis de residualidad de plaguicidas en aguacate Hass, 94–107.
- Bernal Estrada, J., Diaz Diez, C., Osorio Toro, C., Tamayo Velez, A., Osorio Vega, W., Cordoba Gaona, O., ... Londoño Bonilla, M. (2014). *Manual técnico actualización tecnología y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate.* Corpoica. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Bernal, J., & Díaz, C. (2005). *Generalidades del cultivo. Tecnología para el Cultivo del Aguacate.* Retrieved from

<http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/tecnologacultivoaguacate.pdf>

Bill, M., Sivakumar, D., Thompson, A. K., Korsten, L., Sivakumar, D., & Thompson, K. (2014). Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain.

Blakey, R. J., Tesfay, S. Z., Bertling, I., & Bower, J. P. (2012). Changes in sugars, total protein, and oil in 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) fruit during ripening. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87(4), 381.

Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37, 911–917.

Cao, G., Alessio, H. M., & Cutler, R. G. (1993). Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, 14(3), 303–311.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0891-5849\(93\)90027-R](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0891-5849(93)90027-R)

Carvalho, C. P., & Velásquez, M. A. (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>

Carvalho, C. P., Velásquez, M. A., & Van Rooyen, Z. (2015). Porcentaje mínimo de materia seca para una cosecha adecuada del aguacate cv. 'Hass' en Colombia, 417–423.

Carvalho, Catarina Pedro, Velásquez, M. A., & Van Rooyen, Z. (2014). Determination of the minimum dry matter index for the optimum harvest of "Hass" avocado fruits in

Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(3), 399–406.

<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n3.46031>

Cerdas, M. (2014). Verificación del contenido de materia seca como indicador de cosecha para aguacate (*Persea americana*) Cultivar Hass en zona intermedia de producción de Los Santos, Costa Rica. ... *Costarricense: Revista de ...*, 38(1), 207–214. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4860039>

Chamkasem, N., Ollis, L. W., Harmon, T., Lee, S., & Mercer, G. (2013). Analysis of 136 pesticides in avocado using a modified QuEChERS method with LC-MS/MS and GC-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(10), 2315–2329.

<https://doi.org/10.1021/jf304191c>

Christie, A. W. (1937). Using the Refractometer to Quickly Determine the Percentage of Oil in Avocados, 86–87.

Cowan, A. K., & Wolstenholme, B. N. (2016). Avocado. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 294–300). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00049-0>

Davì, G., Santilli, F., & Patrono, C. (2010). Nutraceuticals in diabetes and metabolic syndrome. *Cardiovascular Therapeutics*, 28(4), 216–226.

<https://doi.org/10.1111/j.1755-5922.2010.00179.x>

de Lucas, A., Martínez de la Ossa, E., Rincón, J., Blanco, M. ., & Gracia, I. (2002). Supercritical fluid extraction of tocopherol concentrates from olive tree leaves. *The Journal of Supercritical Fluids*, 22(3), 221–228. <https://doi.org/10.1016/S0896->

8446(01)00132-2

Ding, H., Chin, Y. W., Kinghorn, A. D., & D'Ambrosio, S. M. (2007). Chemopreventive characteristics of avocado fruit. *Seminars in Cancer Biology*, 17(5), 386–394.

<https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2007.04.003>

Dorantes-Alvarez, L., Ortiz-Moreno, A., & García-Ochoa, F. (2012, November 20).

Avocado. *Tropical and Subtropical Fruits*.

<https://doi.org/doi:10.1002/9781118324097.ch23>

Escobar, J. V., Rodriguez, P., Cortes, M., Correa, G., Escobar, J. V., Rodriguez, P., ...

Correa, G. (2019). Influencia de la Materia Seca como Índice de Madurez de Cosecha y Tiempo de Almacenamiento en Frío sobre la Calidad del Aguacate cv.

Hass Producido en la Región del Trópico Alto. *Información Tecnológica*, 30(3),

199–210. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300199>

Fernandes N, F., Oliveira, V., Gomes, W. F., & Rodrigues, S. (2016). Degradation

kinetics of vitamin E during ultrasound application and the adjustment in avocado.

Ferreira, R., Sellés, G., Saavedra, J., Ortiz, J., Zúñiga, C., Troncoso, C., ... 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>

Ferreira, R., Defilippi, B., Saavedra, J., Sellés, G., Robledo, P., Arpaia, M. L., ...

Troncoso, C. (2012). Factores de Precosecha que Afectan la Postcosecha de la

Palta Hass. *Clima, Suelo y Manejo*. *Casilla*, 3, 100.

- Galli, F., Azzi, A., Birringer, M., Cook-Mills, J. M., Eggersdorfer, M., Frank, J., ... Özer, N. K. (2017). Vitamin E: Emerging aspects and new directions. *Free Radical Biology and Medicine*, 102(November 2016), 16–36.
<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.09.017>
- Gamble, J., Harker, F. R., Jaeger, S. R., White, A., Bava, C., Beresford, M., ... 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(1), 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.01.001>
- Guzmán, C., Aguilar-Fenollosa, E., Sahún, R. M., Boyero, J. R., Vela, J. M., Wong, E., ... Montserrat, M. (2016). Temperature-specific competition in predatory mites: Implications for biological pest control in a changing climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.024>
- Habenschus, M. D., Nardini, V., Dias, L. G., Rocha, B. A., Barbosa, F., & Moraes de Oliveira, A. R. (2019). In vitro enantioselective study of the toxicokinetic effects of chiral fungicide tebuconazole in human liver microsomes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 181(June), 96–105.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.071>
- Henao, J. C., & Rodriguez, P. (2016). Evaluación del color durante la madurez de consumo del Aguacate (Persea Americana Mill cv Hass). *Agronomía Colombiana*, 5(February), 876–879. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.58092>
- Hofman, P. J., Jobin-Décor, M., & Giles, J. (2000). Percentage of dry matter and oil content are not reliable indicators of fruit maturity or quality in late-harvested “Hass”

avocado. *HortScience*, 35(4), 694–695.

Instituto Colombiano de Agricultura (ICA). (2012). Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.). Medidas para la temporada invernal. *LLinea Agrícola*, 1, 73.

Kähkönen, M. P., Hopia, a I., Vuorela, H. J., Rauha, J. P., Pihlaja, K., Kujala, T. S., & Heinonen, M. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), 3954–3962.
<https://doi.org/10.1021/jf990146l>

Landahl, S., Meyer, M. D., & Terry, L. A. (2009). Spatial and Temporal Analysis of Textural and Biochemical Changes of Imported Avocado cv. Hass during Fruit Ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(15), 7039–7047.
<https://doi.org/10.1021/jf803669x>

Lee, J., Koo, N., & Min, D. B. (2004). Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3(1), 21–33. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2004.tb00058.x>

Lee, S.-K. (1981). A Review and Background of the Avocado Maturity Standard. *California Avocado Society*, 65(1939), 101–109.

Lee, S. (1981). Methods for Percent Oil Analysis of Avocado Fruit. *California Avocado Society Yearbook*, 133–141.

Lee, S K, Young, R. E., Schiffman, P. M., & Coggins, C. W. (1983). Maturity Studies of Avocado Fruit Based on Picking Dates and Dry Weight. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*,

108(3), 390–394.

Lee, Seung Koo. (1981). Methods for Percent Oil Analysis of Avocado Fruit. *California Avocado Society Yearbook*, 133–141.

Londoño, J. L. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. *Corporación Universitaria Lasallista*, 129–162.

López Cobo, A., Gómez Caravaca, A. M., Pasini, F., Caboni, M. F., Segura Carretero, A., & Fernández Gutiérrez, A. (2016). HPLC-DAD-ESI-qTOF-MS and HPLC-FLD-MS as valuable tools for the determination of phenolic and other polar compounds in avocado edible part and its by-products, 73.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.049>

Mac Loughlin, T. M., Peluso, M. L., Etchegoyen, M. A., Alonso, L. L., de Castro, M. C., Percudani, M. C., & Marino, D. J. G. (2018). Pesticide residues in fruits and vegetables of the argentine domestic market: Occurrence and quality. *Food Control*, 93(May), 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.05.041>

Madej, K., Kalenik, T. K., & Piekoszewski, W. (2018). Sample preparation and determination of pesticides in fat-containing foods. *Food Chemistry*, 269(April 2017), 527–541. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.07.007>

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>

Mène-Saffrané, L., & DellaPenna, D. (2010). Biosynthesis, regulation and functions of

tocochromanols in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(5), 301–309.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.11.004>

Meyer, M. D., & Terry, L. A. (2010). Fatty acid and sugar composition of avocado, cv. Hass, in response to treatment with an ethylene scavenger or 1-methylcyclopropene to extend storage life. *Food Chemistry*, 121(4), 1203–1210.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.005>

Moreno, E., Ortiz, B. L., & Restrepo, L. P. (2014). Contenido total de fenoles y actividad antioxidante de pulpa de seis frutas tropicales . *Revista Colombiana de Química*, 43(3), 41–48.

NIH, N. I. of H. (2018). Datos sobre la vitamina E. *National Institutes of Health*, 1–3.
Retrieved from <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/VitaminD-DatosEnEspanol.pdf>

Oboh, G., Ademosun, A. O., Akinleye, M., Omojokun, O. S., Boligon, A. A., & Athayde, M. L. (2015). Starch composition, glycemic indices, phenolic constituents, and antioxidative and antidiabetic properties of some common tropical fruits. *Journal of Ethnic Foods*. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.05.003>

OECD. (2016). Pesticides and sustainable pest management: Vision for the future, 10.
Retrieved from <https://www.oecd.org/chemicalsafety/pesticides-biocides/OECD-Pest-Vision-Final.pdf>

Ortiz-Viedma, J., Rodriguez, A., Vega, C., Osorio, F., Defillipi, B., Ferreira, R., & Saavedra, J. (2018). Textural, flow and viscoelastic properties of Hass avocado (*Persea americana* Mill.) during ripening under refrigeration conditions. *Journal of Food Engineering*, 219, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.014>

- Ozdemir, F., & Topuz, A. (2004a). 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>
- Ozdemir, F., & Topuz, A. (2004b). 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>
- Pak, H. A., Dawes, H. M., & North, F. (2001). Monitoring Rates of Dry Matter, *1*, 1–6.
- Pedreschi, R., Hollak, S., Harkema, H., Otma, E., Robledo, P., Westra, E., ... 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>
- Perez de Albuquerque, N. C., Blascke Carrão, D., Habenschus, M. D., & Moraes de Oliveira, A. R. (2018). Metabolism studies of chiral pesticides: A critical review. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *147*, 89–109. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.08.011>
- Quiceno, J., Alfonso, G., Barrera, E., Estrada, E., Gómez, D., Cardona, L., ... Jimenez, C. (2018). *Pesticidad, residualidad y períodos de carencia: aplicaciones en el cultivo del aguacate*. (S. Servicio Nacional de Aprendizaje, Ed.). Rionegro, Antioquia.
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria : Organo Oficial de La Sociedad Española de Nutrición Parenteral y*

Enteral, 27(1), 76–89. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.1.5418>

Ramírez-Gil, J. G., Martínez Giraldo, G. O., & Morales Osorio, J. G. (2018). Design of electronic devices for monitoring climatic variables and development of an early warning system for the avocado wilt complex disease. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153(August), 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.002>

Ranade, S. S., & Thiagarajan, P. (2015). A review on Persea Americana Mill.

(Avocado)- Its fruit and oil. *International Journal of PharmTech Research*, 8(6), 72–77.

Requejo-Tapia, L. ., Woolf, A. B., Roughan, G., Schroeder, R., & Young, H. (2000).

Avocado Postharvest Research: 1998/99: Seasonal Changes in Lipid Content and Fatty Acid Composition of “Hass” Avocados. *NZ Avocado Industry Council*, 1–27.

Rutkowski, J. M., Santiag, L. Y., Ben-Jebria, A., & Ultman, J. S. (2011). Comparison of ozone-specific (OZAC) and oxygen radical (ORAC) antioxidant capacity assays for use with nasal lavage fluid. *Toxicology in Vitro*, 25(7), 1406–1413.

<https://doi.org/10.1016/j.tiv.2011.04.008>

Sales, J. M., & A. Resurreccion, A. V. (2010). Maximizing phenolics, antioxidants and sensory acceptance of UV and ultrasound-treated peanuts. *LWT - Food Science and Technology*, 43(7), 1058–1066. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.009>

Segovia, F. J., Corral-Pérez, J. J., & Almajano, M. P. (2016). Avocado seed: Modeling extraction of bioactive compounds. *Industrial Crops and Products*, 85, 213–220.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.005>

- SENASICA, Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, A. y P. (2012). Manual Técnico de Muestro de productos Agrícolas para Determinación de Residuos de Plaguicidas, 16.
- Stockham, K., Paimin, R., Orbell, J. D., Adorno, P., & Buddhadasa, S. (2011). Modes of handling Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) data and reporting values in product labelling. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(4–5), 686–691. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.11.007>
- Torquato, P., Ripa, O., Giusepponi, D., Galarini, R., Bartolini, D., Wallert, M., ... Galli, F. (2016). Analytical strategies to assess the functional metabolome of vitamin E. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 124, 399–412. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2016.01.056>
- Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., & González-Aguilar, G. A. (2011a). 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>
- Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., & González-Aguilar, G. A. (2011b). 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>
- Waissbluth, R., & Valenzuela, J. (2007). Determinación Del Porcentaje Mínimo De Materia Seca Para Autorizar La Cosecha De Paltas Cv. Hass Para Ser Exportadas. Determination of the Minimum Percentage of Dry Matter To Authorize the Harvest

of Hass Avocado Pears for Export, (978), 12–16.

Wang, M., Zheng, Y., Khuong, T., & Lovatt, C. J. (2016). Developmental differences in antioxidant compounds and systems in normal and small-phenotype fruit of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). *Scientia Horticulturae*, 206, 15–23.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.029>

Wang, W., Bostic, T. R., & Gu, L. (2010). Antioxidant capacities , procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars, 122, 1193–1198.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.114>

Zapata J, E., Ochoa A, S., Ceja E, J., Gómez V, F., & Ríos M, A. (2014). *Manual técnico poscosecha del aguacate Hass (Persea americana Mill)*. Corporación para Investigaciones Biológicas - CIB.

Zhang, M., Zeiss, M. R., & Geng, S. (2015). Agricultural pesticide use and food safety: California's model. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(11), 2340–2357.

[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61126-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61126-1)