

Fitoquímicos, nutrimentos y factores ambientales asociados a la rugosidad de la piel del aguacate ‘Hass’ en tres regiones de México*

Phytochemicals, nutrients and environmental factors associated with the roughness of avocado ‘Hass’ skin in three regions of Mexico

Raquel Enedina Medina-Carrillo¹, Samuel Salazar-García^{2§} y José González-Valdivia³

¹Universidad Autónoma de Nayarit-Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas y Farmacéuticas. Ciudad de la Cultura ‘Amado Nervo’, Tepic, Nayarit, México. CP. 63190. (raquel.medina@uan.edu.mx). ²Campo Experimental Santiago Ixcuintla-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Internacional Tepic-Mazatlán Desv. Santiago Ixcuintla km 6, Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. CP. 63300. ³Investigador independiente. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. [§]Autor para correspondencia: salazar.avocado@gmail.com.

Resumen

El ambiente en el que se desarrolla el fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass determina las características de su piel la cual representa la primera barrera natural y el tejido que interactúa directamente con el ambiente. El fruto está expuesto a muchos tipos de estrés y para protegerse produce una amplia variedad de fitoquímicos, llamados metabolitos secundarios. Se desconoce si aspectos como la composición nutrimental y morfología de la piel también podrían ser afectados. El estudio se realizó en huertos comerciales de aguacate ‘Hass’ con el manejo estándar de cada productor con el objetivo de determinar las concentraciones de fitoquímicos (compuestos fenólicos totales, clorofilas totales, carotenoides totales y lignina) y nutrimentos (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn y B), y establecer su relación con la rugosidad de la piel de los frutos durante su desarrollo en tres regiones con distinto tipo de clima. El tipo de clima (cálido, semicálido o templado) influyó sobre la producción de fitoquímicos y en la rugosidad de la piel de ‘Hass’. El análisis global mostró que los frutos del clima cálido presentaron la mayor concentración de carotenoides totales y mayor rugosidad, mientras que en el clima templado, la

Abstract

The environment in which the fruit of avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Hass determines the characteristics of your skin which represents the first natural barrier and the tissue that interacts directly with the environment. The fruit is exposed to many types of stress and to protect itself produces a wide variety of phytochemicals, called secondary metabolites. It is unknown if aspects such as nutritional composition and skin morphology could also be affected. The study was carried out in commercial Avocado “Hass” orchards with the standard management of each producer in order to determine phytochemical concentrations (total phenolics, total chlorophylls, total carotenoids and lignin) and nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn and B), and to establish their relationship with the roughness of the fruit skin during its development in three regions with different types of climate. The type of climate (warm, semi-warm or temperate) influenced the production of phytochemicals and the roughness of ‘Hass’ skin. The global analysis showed that the fruits of the warm climate presented the highest concentration of total carotenoids and greater roughness, while in the temperate climate, the roughness was lower.

*Recibido: julio de 2017

Aceptado: septiembre de 2017

rugosidad fue menor. El grosor de las protuberancias de la piel y el corcho se correlacionó significativamente con la concentración de lignina y macronutrientes.

Palabras clave: *Persea americana*, ecofisiología, exocarpo, metabolitos secundarios.

Introducción

La composición y estructura de los tejidos superficiales de las frutas tiene una notable influencia en su potencial de almacenamiento poscosecha ya que constituyen una barrera contra la pérdida de agua, ataque químico, daños mecánicos e infección microbiana (Lara *et al.*, 2014). La solución a algunos de los problemas de almacenamiento del aguacate podría encontrarse en el conocimiento de la anatomía de su piel (Schroeder, 1950) o en la concentración de fitoquímicos y nutrientes. En este último aspecto, se encontró en la piel de ‘Hass’ que los macronutrientes más abundantes son N, K, Cu, B y Fe (Salazar *et al.*, 2011), mientras que en referencia a la características anatómicas, la rugosidad de la piel del fruto de ‘Hass’ a la cosecha es mayor en las regiones con clima cálido que en las de clima templado (Salazar *et al.*, 2016).

Para adaptarse a su ambiente, las plantas producen metabolitos secundarios (Mazid *et al.*, 2011), tales como fenólicos, alcaloides, saponinas, terpenoides y flavonoides que tienen múltiples atributos biológicos, tales como actividad antioxidante, microbicida y antifúngica (Naseer *et al.*, 2014). La exposición de la piel (exocarpo) a factores de estrés propicia altas concentraciones de compuestos fenólicos en este órgano (Tsfay *et al.*, 2011).

Existen pocos estudios que reporten las variaciones en las concentraciones de fitoquímicos en diferentes tejidos durante el desarrollo del fruto de aguacate (Tsfay *et al.*, 2010) y se desconoce si el tipo de clima afecta la anatomía y la presencia de fitoquímicos en la piel. El objetivo de este trabajo fue cuantificar las concentraciones de fitoquímicos (compuestos fenólicos totales, clorofilas totales, carotenoides totales y lignina) y nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn y B) y establecer su relación con la rugosidad de la piel de frutos de aguacate ‘Hass’ durante su desarrollo en tres regiones con distinto tipo de clima.

The thickness of the protuberances of the skin and the cork was significantly correlated with the concentration of lignin and macronutrients.

Keywords: *Persea americana*, ecophysiology, exocarp, secondary metabolites.

Introduction

The composition and structure of the surface tissues of fruits has a significant influence on their postharvest storage potential since they constitute a barrier against water loss, chemical attack, mechanical damage and microbial infection (Lara *et al.*, 2014). The solution to some of the storage problems of avocado could be found in the knowledge of the anatomy of their skin (Schroeder, 1950) or in the concentration of phytochemicals and nutrients. In the latter aspect, the most abundant macronutrients are found in the skin of Hass, N, K, Cu, B and Fe (Salazar *et al.*, 2011), whereas in relation to the anatomical characteristics, the roughness of the skin of ‘Hass’ fruit at harvest is higher in regions with warm climate than in temperate climates (Salazar *et al.*, 2016).

To adapt to their environment, plants produce secondary metabolites (Mazid *et al.*, 2011), such as phenolics, alkaloids, saponins, terpenoids and flavonoids that have multiple biological attributes, such as antioxidant, microbicidal and antifungal activity (Naseer *et al.*, 2014). Exposure of skin (exocarp) to stress factors leads to high concentrations of phenolic compounds in this organ (Tsfay *et al.*, 2011).

There are few studies that report variations in phytochemical concentrations in different tissues during avocado fruit development (Tsfay *et al.*, 2010) and it is unknown whether the type of climate affects the anatomy and presence of phytochemicals in the skin. The objective of this work was to quantify phytochemical concentrations (total phenolics, total chlorophylls, total carotenoids and lignin) and nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn and B) and to establish its relationship with the roughness of the skin of avocado ‘Hass’ fruits during its development in three regions with different types of climate.

Materiales y métodos

Huertos seleccionados

Se trabajó con un huerto comercial con fertirriego por cada región productora de los estados de Jalisco (Jal), Michoacán (Mich) y Nayarit (Nay), que presentan diferentes características altitudinales y de clima. La región de clima "caliente" es el municipio de Tepic, Nayarit, con el huerto "El Parejo", clima cálido subhúmedo, altitud de 1 151 m, temperatura media de 21.1 °C y precipitación anual de 1 287 mm. En la región de clima "intermedio" se seleccionó el huerto "Paso de carretas", en el municipio de Gómez Farías, Jalisco, con clima semicálido subhúmedo, altitud de 2 180 m, temperatura media de 19.8 °C y precipitación anual de 717.8 mm. La región con clima "frío" es Uruapan, Michoacán con el huerto "El Parejo", en clima templado, altitud de 1,579 m, temperatura media de 19.3 °C y precipitación anual de 1 427.1 mm.

Muestreo de frutos

En cada huerto fue seleccionado un grupo de 30 árboles (5 repeticiones de 6 árboles cada una), en los cuales se marcaron frutos correspondientes a la floración principal ocurrida en enero-febrero 2015. Durante 2015, se muestrearon frutos en varias etapas de desarrollo, según su diámetro (ϕ): etapa aceituna (20-30 mm ϕ ; Nay: 15 abr, Jal: 15 mayo, Mich: 29 mar), etapa I (35-45 mm ϕ ; Nay: 22 mayo, Jal: 03 jun, Mich: 25 mayo), etapa II (50-60 mm ϕ ; Nay: 16 jun, Jal: 15 jul, Mich: 22 jun), etapa III (60-70 mm ϕ ; Nay: 06 ago, Jal: 25 ago, Mich: 29 jul), y cosecha, cuando el contenido de materia seca (MS) de la pulpa (mesocarp) alcanzó $\geq 21.5\%$ (Nay: 10 sep, Jal: 12 nov, Mich: 29 sep). En cada muestreo los frutos se lavaron con agua corriente y destilada para después pesarlos y medirlos.

De cada árbol se colectaron al menos cuatro frutos por fecha de muestreo y para reducir variaciones debido a la exposición al sol, estos fueron seleccionados al suroeste de la parte media y exterior de la copa del árbol. La piel fue separada con un pelador de verduras y almacenada a -80 °C hasta su análisis. Para la determinación de fitoquímicos se integraron muestras compuestas por la piel de los frutos colectados en los seis árboles que conformaron cada repetición.

Análisis de fitoquímicos

Para la cuantificación de fitoquímicos se extrajeron los compuestos fenólicos totales (CFT), clorofilas totales (CT) y carotenoides totales (CAT) de la piel con una

Materials and methods

Selected orchards

A commercial orchard with fertigation for each producing region of the states of Jalisco (Jal), Michoacan (Mich) and Nayarit (Nay), which presented different altitudinal and climate characteristics, was worked. The region of "hot" climate is the municipality of Tepic, Nayarit, with the orchard "El Parejo", warm subhumid climate, altitude of 1 151 m, average temperature of 21.1 °C and annual rainfall of 1 287 mm. In the "intermediate" region, the orchard "Paso of Carretas" was selected, in the municipality of Gómez Farías, Jalisco, with a subhumid climate, altitude of 2 180 m, average temperature of 19.8 °C and annual rainfall of 717.8 mm. The region with "cold" climate is Uruapan, Michoacán with the orchard "El Parejo", in temperate climate, altitude of 1 579 m, average temperature of 19.3 °C and annual rainfall of 1 427.1 mm.

Fruit sampling

In each orchard a group of 30 trees (5 replicates of 6 trees each) were selected, in which fruits corresponding to the main flowering occurred in January-February 2015. During 2015, fruits were sampled in several stages of development, according to its diameter (ϕ): olive stage (20-30 mm ϕ ; Nay: 15 Apr, Jal: 15 May, Mich: 29 Mar), stage I (35-45 mm ϕ ; Nay: 22 May, Jal: 03 Jun, Mich., 25 May), stage II (50-60 mm ϕ ; Nay: 16 Jun, Jal: 15 Jul, Mich: 22 Jun), stage III (60-70 mm ϕ ; Nay: 06 Aug, Jal: 25 Aug, Mich., 29 Jul), and harvest, when the dry matter (MS) content of the pulp (mesocarp) reached $\geq 21.5\%$ (Nay: 10 Sep, Jal: 12 Nov, Mich: 29 Sep). At each sampling, the fruits were washed with distilled tap water and then weighed and measured.

From each tree, at least four fruits were collected per sampling date and to reduce variations due to sun exposure, these were selected to the southwest of the middle and outer part of the tree crown. The skin was separated with a vegetable peeler and stored at -80 °C until analyzed. For the determination of phytochemicals composites composed by the skin of the fruits collected in the six trees that conformed each repetition were integrated.

Phytochemical analysis

For the quantification of phytochemicals the total phenolics (CFT), total chlorophylls (CT) and total carotenoids (CAT) of the skin were extracted with an acetone: water solution

disolución acetona:agua (80:20) (Rodríguez *et al.*, 2011). Los CFT se cuantificaron con el método de Folin-Ciocalteu (Stintzing *et al.*, 2005) y se expresan en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de piel seca (mg EAG g⁻¹ PS). Las clorofilas se determinaron según Donetti y Terry (2012) y se expresan en mg g⁻¹ PS. La concentración de CAT (mg g⁻¹ PS) se calculó según Lichtenthaler y Buschmann (2001). La concentración de lignina se determinó en piel seca y molida sometida a hidrólisis ácida con ácido sulfúrico 72% (Ankom Technology, 2013) y se expresó como porcentaje.

Grosor de la piel

Se colectaron cinco frutos por repetición y se tomaron porciones de piel de las partes superior (cercana al pedicelo), media e inferior del fruto. La muestras de piel se fijaron en FAA (5 formaldehído: 5 ácido acético glacial: 90 etanol, v/v) y después se deshidrataron por transferencia secuencial a series de solución de etanol (70%, 85% y 95%), se infiltraron y polimerizaron en glicol metacrilato (Leica embedding Kit Histo-resin). Las muestras polimerizadas de piel se seccionaron transversalmente a 5-8 micrómetros de grosor en un micrótopo rotatorio (HM 350 S MICROM), se montaron en agua sobre portaobjetos, se secaron en plancha térmica, se tiñeron por inmersión en azul de toluidina 0.05% y se fotografiaron con un microscopio compuesto. A las secciones de piel obtenidas se les midió con un micrómetro, instalado en el ocular del microscopio, el grosor de la piel y el corcho, en las zonas planas y donde había protuberancias, a través del desarrollo del fruto.

Análisis nutrimental y materia seca

Se usó la piel de cinco frutos por repetición. La cuantificación de nutrimentos se hizo en piel deshidratada en un horno con aire forzado a 65 °C y pulverizada en un molino de acero inoxidable con malla 40. Las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn y B, se determinaron en un laboratorio comercial bajo programa de intercalibración del Programa NAPT (Soil Science Society of America). La materia seca se determinó por diferencia de peso entre la muestra fresca y seca y se expresó como porcentaje.

Medición de la rugosidad

Se seleccionaron 20 frutos por repetición para cada etapa de desarrollo del fruto. Se adquirieron tres imágenes de cada fruto: sección ecuatorial lateral ventral, superior frontal dorsal y superior frontal ventral (Figura 1). En un

(80:20) (Rodríguez *et al.*, 2011). The CFT were quantified using the Folin-Ciocalteu method (Stintzing *et al.*, 2005) and expressed in mg equivalents of gallic acid per gram of dry skin (mg EAG g⁻¹ PS). The chlorophylls were determined according to Donetti and Terry (2012) and expressed in mg g⁻¹ PS. The concentration of CAT (mg g⁻¹ PS) was calculated according to Lichtenthaler and Buschmann (2001). The lignin concentration was determined on dry and ground skin subjected to acid hydrolysis with 72% sulfuric acid (Ankom Technology, 2013) and expressed as a percentage.

Thickness of skin

Five fruits were collected per repetition and portions of skin were taken from the upper (near the pedicel), middle and lower parts of the fruit. The skin samples were fixed in FAA (5 formaldehyde: 5 glacial acetic acid: 90 ethanol, v/v) and then dehydrated by sequential transfer to sets of ethanol solution (70%, 85% and 95%), infiltrated and polymerized in glycol methacrylate (Leica embedding Kit Histo-resin). The polymerized skin samples were cross-sectioned to 5-8 micrometers in thickness on a rotary microtome (HM 350 S MICROM), mounted in water on slides, dried on a hot plate, dip-stained in 0.05% toluidine blue and were photographed with a composite microscope. The obtained sections of skin were measured with a micrometer, installed in the eyepiece of the microscope, the thickness of the skin and the cork, in the flat areas and where there were protuberances, through the development of the fruit.

Nutritional analysis and dry matter

The skin of five fruits was used per replicate. The nutrient quantification was done in dehydrated skin in an oven with forced air at 65 °C and pulverized in a 40 mesh stainless steel mill. The concentrations of N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn and B were determined in a commercial laboratory under the NAPT (Soil Science Society of America) program. The dry matter was determined by weight difference between the fresh and dry sample and expressed as a percentage.

Measurement of roughness

Twenty fruits were selected per replicate for each stage of fruit development. Three images of each fruit were acquired: ventral lateral equatorial section, upper dorsal front and ventral frontal superior (Figure 1). A 2x2 cm (3 648 x 2 736 pixels) image was obtained on a stereoscopic microscope (Zeiss model Stemi 2000-C; Barrington, NJ,

microscopio estereoscópico (Zeiss modelo Stemi 2000-C; Barrington, NJ, USA) con cámara fotográfica digital (Canon modelo Power Shot G11; NY, USA) se obtuvo una imagen de 2 x 2 cm (3 648 x 2 736 píxeles) para cada una de las secciones de los frutos. Cada imagen fue incorporada al sistema de información geográfica Arc View versión 3.2 y mediante el módulo "Spatial Analyst" se cuantificó la superficie con una pendiente mayor a 20%. La rugosidad se expresó como la superficie rugosa (cm²) respecto al área total de la imagen analizada (superficie rugosa/superficie total, cm² cm⁻²).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, con cinco repeticiones (6 árboles por repetición). Las variables incluidas en el análisis estadístico fueron materia seca de la piel (MS piel), concentración de compuestos fenólicos totales (CFT), clorofilas totales (CT), carotenoides totales (CAT), lignina, concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn y B; grosor de las protuberancias de la piel (GPRP), grosor de la sección plana de la piel (GPLP), grosor de las protuberancias del corcho (GPRCO), grosor de la sección plana del corcho GPLCO), rugosidad de la sección ecuatorial lateral ventral (ELV), rugosidad de la sección superior frontal dorsal (SFD) y rugosidad de la sección superior frontal ventral (SFV). Se realizó un análisis multivariado por componentes principales (ACP) para los datos obtenidos en el muestreo a cosecha y uno global.

Con este análisis se relacionaron las concentraciones de fitoquímicos, nutrimentos y rugosidad de la piel de los frutos de 'Hass' en madurez fisiológica ($MS \geq 21.5\%$) y a través del desarrollo del fruto, en las tres regiones productoras con distinto clima. Se seleccionaron los dos primeros componentes principales que acumularon al menos 50% de la variación total, y con valores característicos $>|0.25|$. Las variables también fueron analizadas de manera independiente mediante análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Waller-Duncan ($p \leq 0.05$) por etapa de muestreo y global. Para establecer la posible asociación entre la concentración de fitoquímicos y nutrimentos con la rugosidad de la piel, se realizó un análisis de correlación entre las variables involucradas para cada característica. El análisis se hizo con el programa estadístico SAS versión 9.0.

USA) with a digital still camera (Canon Power Shot G11 model; NY, USA) for each section of the fruit. Each image was incorporated into the ArcView version 3.2 geographic information system and the "Spatial Analyst" module quantified the surface with a slope greater than 20%. The roughness was expressed as the rough surface (cm²) with respect to the total area of the analyzed image (rough surface/total area, cm² cm⁻²).

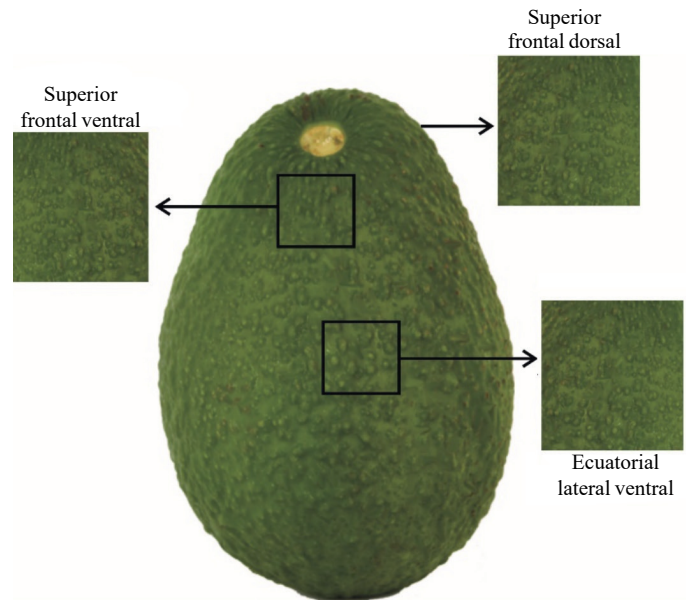


Figura 1. Secciones evaluadas del fruto de aguacate 'Hass'.
Figure 1. Sections evaluated for 'Avocado "Hass" fruit.

Statistic analysis

The experimental design was completely random, with five replicates (6 trees per replicate). The variables included in the statistical analysis were skin dry matter (MS skin), concentration of total phenolic compounds (CFT), total chlorophylls (TC), total carotenoids (CAT), lignin, concentrations of N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn and B; thickness of the protrusions of the skin (GPRP), thickness of the flat section of the skin (GPLP), thickness of the cork protrusions (GPRCO), thickness of the flat section of the cork GPLCO), roughness of the ventral lateral equatorial section (ELV), dorsal frontal superior surface roughness (SFD) and ventral frontal superior section (SFV) roughness. A multivariate analysis by main components (ACP) was performed for the data obtained in the sampling to harvest and a global one.

Resultados

Características climáticas

Los parámetros meteorológicos mostraron una marcada variación, tanto temporal como en intensidad. La temperatura media anual entre regiones se diferenció por casi 2 °C, Nayarit tuvo el valor más alto y Michoacán el más bajo. La temperatura media mensual fue mayor en Nayarit durante todo el año. En Michoacán el verano fue el más frío, comparado con las otras dos regiones; sin embargo, los meses más fríos se presentaron en Jalisco (diciembre y enero). Enero fue el mes más frío en las tres regiones, con variaciones de 1.5 °C entre ellas.

Con relación a la precipitación, en las tres regiones se identificó que en el verano (junio a septiembre) llueve arriba del 75% de la lluvia anual. Los meses más lluviosos fueron julio en Nayarit y agosto para Jalisco y Michoacán. En las tres regiones el mes con menor precipitación pluvial fue abril (media menor a 5 mm). La lluvia invernal acumulada (diciembre, enero y febrero) varió entre 40 y 88 mm entre regiones. En Jalisco ocurrió la menor cantidad de lluvia anual y estas diferencias fueron más evidentes de julio a septiembre. La precipitación pluvial fue el parámetro con mayores contrastes. La región de Michoacán recibió 50% más lluvia que Jalisco, aun cuando presentó casi la misma cantidad de días con lluvia que Nayarit. Los 1 427 mm de precipitación al año en Michoacán lo ubican como la región más lluviosa (Figura 2).

Diferencias en la concentración de fitoquímicos y rugosidad de la piel entre regiones productoras y etapas de desarrollo del fruto

Para los diversos parámetros evaluados la piel de 'Hass' mostró diferencias entre las regiones productoras y para cada etapa de desarrollo del fruto. En etapa aceituna, la piel de los frutos de Nayarit tuvo mayor concentración de carotenoides totales y menor concentración de CFT y clorofilas. Los frutos de Michoacán tuvieron la menor concentración de lignina en la piel. Los frutos de Nayarit tuvieron la concentración más baja de N, K, Ca, Mg, Cu y B; mientras que de Michoacán mostraron mayor concentración en N, Ca, Mg y Zn. Las características físicas (grosor de las secciones plana y con protuberancias de la piel y el corcho) no mostraron diferencia entre regiones. La rugosidad en las tres zonas del fruto analizadas, fue menor en los procedentes de Michoacán (Cuadro 1).

With this analysis, the concentrations of phytochemicals, nuances and skin roughness of 'Hass' fruits in physiological maturity ($MS \geq 21.5\%$) and fruit development were related in the three producing regions with different climate. The first two main components were selected which accumulated at least 50% of the total variation, and with characteristic values $>|0.25|$. Variables were also analyzed independently by analysis of variance and comparison of means with the Waller-Duncan test ($p \leq 0.05$) per sampling stage and overall. To establish the possible association between the concentration of phytochemicals and nutrients with skin roughness, a correlation analysis was performed between the variables involved for each characteristic. The analysis was done with the statistical program SAS version 9.0.

Results

Climatic characteristics

The meteorological parameters showed a marked variation, both temporal and intensity. The average annual temperature between regions differed by almost 2 °C, Nayarit had the highest value and Michoacán the lowest. The average monthly temperature was higher in Nayarit throughout the year. In Michoacán the summer was the coldest, compared to the other two regions; however, the coldest months were in Jalisco (December and January). January was the coldest month in the three regions, with variations of 1.5 °C between them.

Regarding precipitation, in the three regions it was identified that in the summer (June to September) it rains above 75% of the annual rainfall. The rainiest months were July in Nayarit and August for Jalisco and Michoacán. In the three regions, the month with the lowest rainfall was april (mean less than 5 mm). The accumulated winter rain (December, January and February) varied between 40 and 88 mm between regions. In Jalisco, the lowest annual rainfall occurred and these differences were more evident from July to September. Rainfall was the parameter with greater contrasts. The region of Michoacán received 50% more rain than Jalisco, even though it presented almost the same amount of rainy days as Nayarit. The 1 427 mm of precipitation a year in Michoacán locates it as the rainiest region (Figure 2).

Cuadro 1. Concentración de fitoquímicos, nutrimentos y características físicas de la piel de frutos de aguacate 'Hass' en etapas aceituna, I y II, en tres regiones productoras.**Table 1. Concentration of phytochemicals, nutrients and physical characteristics of the skin of avocado "Hass" fruits in stages olive, I and II, in three producing regions.**

	Aceituna (20 - 30 mm ø)			Etapa I (25 - 35 mm ø)			Etapa II (40 - 50 mm ø)		
	Nay	Jal	Mich	Nay	Jal	Mich	Nay	Jal	Mich
Materia seca (%)									
MS	23.9 a	13.5 c	18.5 b	20.34 a	14 c	20.8 b	19.9 b	17.9 c	22.1 a
Fitoquímicos ^z									
CFT	58.1 c ^y	115.8 b	146.1 a	71.9 b ^z	105.4 a	62.6 b	61 b ^z	84.7 a	53 b
CT	0.51 c	1.01 a	0.73 b	0.69 b	0.86 a	0.65 b	0.72 a	0.64 a	0.67 a
CAT	0.42 a	0.22 c	0.31 b	0.4 a	0.31 b	0.29 b	0.31 a	0.32 a	0.31 a
Lignina	23.3 a	24.6 a	15.2 b	30.9 a	31.4 a	30.7 a	30.5 ab	28.6 b	31.9 a
Macronutrimentos (g 100 g ⁻¹)									
N	1.18 c	1.35 b	1.73 a	1.07 a	1.13 a	0.94 b	0.92 a	0.87 a	0.87 a
P	0.15 b	0.18 ab	0.19 a	0.14 a	0.14 a	0.1 b	0.11 a	0.11 a	0.08 b
K	1.60 b	1.77 a	1.78 a	1.18 b	1.51 a	1.63 a	0.97 c	1.29 b	1.68 a
Ca	0.28 c	0.4 b	0.47 a	0.24 a	0.3 a	0.28 a	0.15 b	0.19 a	0.18 a
Mg	0.12 c	0.16 b	0.2 a	0.12 b	0.15 a	0.14 a	0.09 a	0.1 a	0.1 a
S	0.12 b	0.2 a	0.12 b	0.12 b	0.16 a	0.09 c	0.17 a	0.16 a	0.08 b
Micronutrimentos (mg kg ⁻¹)									
Fe	17.75 b	37.49 a	30.2 ab	21.68 a	31.44 a	20.44 a	25.57 a	23.1 a	17.32 a
Cu	4.49 c	37.7 a	13.35 b	4.41 c	34.3 b	88.77 a	20.29 a	10.09 b	24.54 a
Mn	16.44 b	18.8 ab	23.16 a	14.5 a	12.11 a	15.55 a	8.79 b	8.11 b	11.71 a
Zn	17.44 b	16.77 b	24.76 a	12.43 b	14.32 a	12.6 ab	15.28 a	8.35 b	9.44 b
B	24.56 b	20.76 a	28.77 a	24.91 a	17.98 b	22.28 a	24.4 a	14.31 b	15.41 b
Grosor de la piel (mm)									
GPRP	0.86 a	0.73 a	0.9 a	1.33 a	1.2 a	1.5 a	1.58 a	1.23 b	1.09 b
GPLP	0.66 a	0.91 a	0.7 a	0.98 a	1.22 a	1.09 a	1.1 a	1.27 a	1.11 a
GPRCO	0.83 a	0.69 a	0.88 a	1.29 a	1.17 a	1.47 a	1.55 a	1.19 a	1.07 a
GPLCO	0.63 a	0.88 a	0.68 a	0.95 a	1.17 a	1.06 a	1.05 a	1.24 a	1.07 a
Rugosidad ^x									
ELV	0.62 a	0.59 a	0.41 b	0.68 a	0.51 c	0.59 b	0.61 a	0.45 b	0.51 ab
SFD	0.53 a	0.46 b	0.27 c	0.68 a	0.62 ab	0.57 b	0.55 a	0.53 a	0.5 a
SFV	0.53 a	0.62 a	0.3 b	0.61 a	0.58 a	0.55 a	0.54 a	0.58 a	0.55 a

^z= CFT (mg EAG g⁻¹); CT (clorofilas mg g⁻¹); CAT (mg g⁻¹); lignina (%); ^y= medias con la misma letra en cada renglón, para cada característica y etapa de desarrollo, no muestran diferencia estadística significativa (Waller-Duncan, $p \leq 0.05$); ^x= superficie rugosa/superficie total medida (cm² cm⁻²).

Los frutos en etapa I provenientes de Jalisco presentaron los valores más altos para los CFT y las clorofilas totales. Los CAT presentaron la mayor concentración en la piel de los frutos de Nayarit. La lignina no presentó diferencia entre las regiones productoras. Los frutos de Michoacán presentaron una menor concentración de N, P y S, y la mayor de Cu. Los frutos de Nayarit mostraron la menor concentración en K, Mg y Cu, mientras que el B en Jalisco fue menor que en las otras regiones productoras. El grosor de la piel no mostró diferencia entre las regiones. Respecto a la rugosidad, la ELV fue mayor en Nayarit (Cuadro 1).

En la etapa II, los frutos de Jalisco se diferenciaron en una mayor concentración de CFT. Los pigmentos no mostraron diferencia entre regiones.

La piel de los frutos de Michoacán mostró la menor concentración de P y S, y la mayor de K y Mn. Nayarit tuvo la mayor concentración de Zn y B, y la menor de K y Ca. El Cu mostró la concentración más baja en Jalisco. El grosor de la piel sólo difirió en la sección de las protuberancias en la piel, los frutos de Nayarit presentaron el mayor valor en esta característica. La rugosidad ELV fue la única sección del fruto con diferencia entre las regiones, Nayarit mostró el nivel más alto y Jalisco el menor, Michoacán no difirió con las otras dos zonas de producción (Cuadro 1).

La piel de los frutos de Jalisco en la Etapa III se diferenció en una mayor concentración de CFT y menor de CAT, éstos últimos sin diferencia con Michoacán. Las clorofilas totales y la lignina no mostraron diferencia entre regiones. Los frutos de Michoacán presentaron la menor concentración de P y Fe y la mayor concentración de S y Cu, mientras que en Jalisco, K, Ca, Mg y Mn tuvieron los valores más altos. Los frutos de Nayarit mostraron la mayor concentración de Fe Zn y B y la menor de Ca. Las características físicas diferenciaron a los frutos de Jalisco, en los cuales la piel mostró mayor GPLCO (Cuadro 2).

A la cosecha, la piel de los frutos de Nayarit mostró una concentración mayor de CFT y clorofilas, mientras que en los de Jalisco lo hizo en CAT y lignina. La concentración de N, P, Mg y S presentó los valores más altos en los frutos de Jalisco, mientras que el Fe lo fue en los de Nayarit, en esta última zona productora se presentaron las concentraciones más bajas de Mg y Cu. Los frutos obtenidos en Michoacán presentaron la mayor concentración de Cuy y Ca y la menor de P (Cuadro 2).

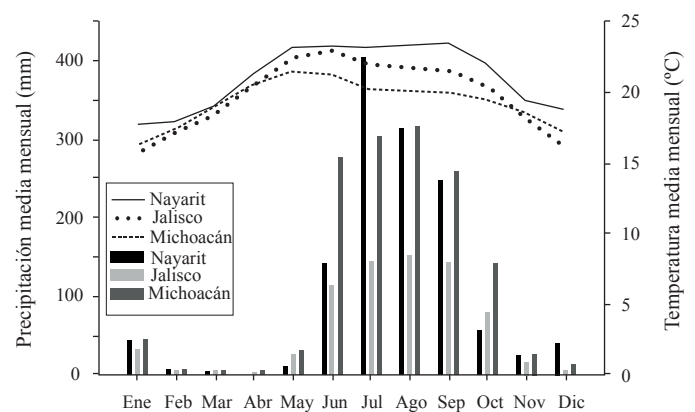


Figura 2. Precipitación y temperatura media mensual de las tres regiones productoras durante el desarrollo del fruto.
Figure 2. Precipitation and monthly average temperature of the three producing regions during the development of the fruit.

Differences in phytochemical concentration and skin roughness between producing regions and stages of fruit development

For the various parameters evaluated the ‘Hass’ skin showed differences between the producing regions and for each stage of development of the fruit. In the olive stage, the skin of Nayarit fruits had a higher concentration of total carotenoids and a lower concentration of CFT and chlorophylls. The fruits of Michoacán had the lowest concentration of lignin in the skin. The fruits of Nayarit had the lowest concentration of N, K, Ca, Mg, Cu and B; while those from Michoacán showed the highest concentration in N, Ca, Mg and Zn. The physical characteristics (thickness of the flat sections and with protuberances of the skin and the cork) did not show difference between regions. The roughness in the three zones of the analyzed fruit was smaller in the ones coming from Michoacán (Table 1).

The phase I fruits from Jalisco presented the highest values for CFT and total chlorophylls. The CAT showed the highest concentration in the skin of Nayarit fruits. Lignin showed no difference between the producing regions. The fruits of Michoacán presented a lower concentration of N, P and S, and the higher of Cu. The fruits of Nayarit showed the lowest concentration in K, Mg and Cu, while the B in Jalisco was lower than in the other producing regions. The thickness of the skin showed no difference between the regions. Regarding the roughness, ELV was higher in Nayarit (Table 1).

Cuadro 2. Concentración de fitoquímicos, nutrientes y características físicas de la piel de frutos de aguacate ‘Hass’ en etapa III y a cosecha, en tres regiones productoras.**Table 2. Concentration of phytochemicals, nutrients and physical characteristics of the skin of avocado “Hass” fruits in stage III and harvest in three producing regions.**

	Etapa III (60 - 70 mm ø)			Cosecha (MS ≥ 21.5%)		
	Nayarit	Jalisco	Michoacán	Nayarit	Jalisco	Michoacán
	Materia seca (%)					
MS	26.1 a	19.2 c	24.2 b	22.1 b	21.4 c	27.2 a
	Fitoquímicos ^z					
CFT	47.36 b ^y	85.96 a	58.42 b	53.03 a	41.86 b	37.77 b
CT	0.6 a	0.76 a	0.68 a	0.88 a	0.59 b	0.66 b
CAT	0.34 a	0.26 b	0.3 ab	0.26 b	0.34 a	0.29 b
Lignina	30.19 a	31.9 a	31.83 a	29.88 b	32.93 a	32.25 b
	Macronutrientos (g 100 g ⁻¹)					
N	0.58 a	0.8 a	0.59 a	0.65 b	0.97 a	0.63 b
P	0.07 a	0.08 a	0.05 b	0.09 b	0.13 a	0.05 c
K	0.81 b	1.17 a	0.8 b	0.88 a	1.01 a	0.89 a
Ca	0.16 c	0.22 a	0.18 b	0.15 b	0.16 b	0.18 a
Mg	0.08 b	0.09 a	0.08 b	0.09 c	0.11 a	0.1 b
S	0.05 b	0.06 b	0.09 a	0.046 b	0.16 a	0.04 b
	Micronutrientos (mg kg ⁻¹)					
Fe	31.31 a	26.77 b	22.88 c	34.39 a	16.94 b	21.69 b
Cu	14.69 c	47.6 b	68.02 a	13.99 c	32.68 b	73.53 a
Mn	9.18 b	14.62 a	11.22 b	13.06 a	12.09 a	11.39 a
Zn	18.19 a	11.5 b	11.27 b	20.14 a	17.94 a	12.61 a
B	21.37 a	18.06 b	15.88 b	23.55 a	15.69 b	19.34 ab
	Grosor de la piel (mm)					
GPRP	1.51 a	1.56 a	1.47 a	1.51 a	1.58 a	1.57 a
GPLP	1.09 a	1.25 a	1.23 a	1.12 a	1.03 a	1.34 a
GPRCO	1.47 a	1.51 a	1.43 a	1.48 a	1.53 a	1.53 a
GPLCO	1.06 b	1.36 a	1.19 b	1.09 b	1.53 a	1.3 ab
	Rugosidad ^x					
ELV	0.6 a	0.49 ab	0.45 b	0.52 a	0.41 ab	0.3 b
SFD	0.49 a	0.38 b	0.48 ab	0.56 a	0.3 c	0.43 b
SFV	0.52 a	0.49 a	0.42 a	0.51 a	0.36 b	0.31 b

^z= CFT (mg EAG g⁻¹); clorofilas (mg g⁻¹); CAT (mg g⁻¹); lignina (%); ^y= medias con la misma letra en cada renglón, para cada característica y etapa de desarrollo, no muestran diferencia estadística significativa (Waller-Duncan, $p \leq 0.05$); ^x= superficie rugosa/superficie total medida (cm² cm⁻²).

En el análisis global, los frutos de Jalisco mostraron la concentración más alta de clorofilas totales. La concentración de lignina no mostró diferencia significativa entre regiones productoras. Los frutos de Nayarit presentaron la concentración más alta de CAT y B y las más bajas en K, Ca, Mg y Cu. La piel de Michoacán mostró el mayor contenido de Cu. En Jalisco, la piel mostró la mayor concentración de S y la menor de B, y la sección plana de corcho fue significativamente más gruesa. La rugosidad ELV y SFD fue mayor en los frutos procedentes de Nayarit, mientras que los de Michoacán mostraron la rugosidad menor en las secciones SFD y SFV (Cuadro 3).

La MS de la piel en todos los muestreos fue menor en los frutos de Jalisco.

Análisis de componentes principales

A la cosecha, los dos primeros CP explican 65.6% de la variabilidad de la piel de los frutos de 'Hass' (Cuadro 4). El CP 1 (48.2%) incluyó al P, Mg, Zn, Fe, Ca y los CFT y CT; los frutos de Nayarit se diferenciaron de los provenientes de las otras dos regiones en presentar una mayor concentración de P, Zn, Fe y fitoquímicos y menor de Mg y Ca, mientras que el CP 2 incluyó a los grosores de la piel, y las concentraciones de N y K (Figura 3).

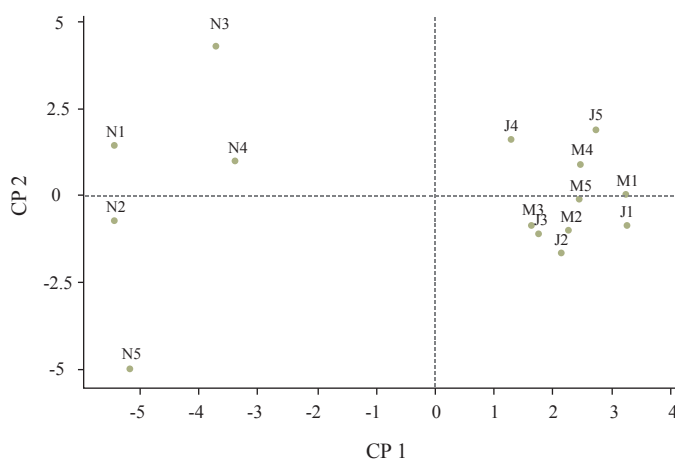


Figura 3. Componentes principales para la piel de frutos de 'Hass' a cosecha procedentes de tres regiones productoras. Las letras N, J, M y el número indican la región productora y la repetición.

Figure 3. Principal components for the skin of 'Hass' fruits to harvest from three producing regions. The letters N, J, M and the number indicate the producing region and the repetition.

In stage II, Jalisco fruits differed in a higher concentration of CFT. Pigments showed no difference between regions.

The skin of the fruits of Michoacán showed the lowest concentration of P and S, and the highest of K and Mn. Nayarit had the highest concentration of Zn and B, and the lowest concentration of K and Ca. Cu showed the lowest concentration in Jalisco. The thickness of the skin only differed in the section of the protuberances in the skin, the fruits of Nayarit presented the greatest value in this characteristic. The ELV roughness was the only section of the fruit with a difference between the regions, Nayarit showed the highest level and Jalisco the lowest, Michoacán did not differ with the other two production zones (Table 1).

The skin of Jalisco fruits in Stage III differed in a higher concentration of CFT and lower in CAT, the latter without difference with Michoacán. Total chlorophylls and lignin showed no difference between regions. The fruits of Michoacán had the lowest concentration of P and Fe and the highest concentration of S and Cu, while in Jalisco, K, Ca, Mg and Mn had the highest values. The fruits of Nayarit showed the highest concentration of Fe Zn and B and the lowest of Ca. The physical characteristics differentiated the fruits of Jalisco, in which the skin showed higher GPLCO (Table 2).

At harvest, the skin of the Nayarit fruits showed a higher concentration of CFT and chlorophylls, while in Jalisco it was found in CAT and lignin. The concentration of N, P, Mg and S presented the highest values in the fruits of Jalisco, while the Fe was in the Nayarit, in this last producing area the lowest concentrations of Mg and Cu were present. The fruits of Michoacán presented the highest concentration of Cu and Ca and the lowest of P (Table 2).

In the overall analysis, Jalisco fruits showed the highest concentration of total chlorophylls. Lignin concentration showed no significant difference between producer regions. Nayarit fruits had the highest concentration of CAT and B and the lowest concentration in K, Ca, Mg and Cu. The skin of Michoacán showed the highest Cu content. In Jalisco, the skin showed the highest concentration of S and the lowest concentration of B, and the flat section of cork was significantly thicker. The ELV and SFD roughness was higher in fruits from Nayarit, while those from Michoacán showed the lowest roughness in the SFD and SFV sections (Table 3).

Cuadro 3. Diferencias entre regiones productoras para la concentración fitoquímicos, nutrimentos y características físicas de la piel de frutos de aguacate ‘Hass’.

Table 3. Differences between producing regions for the concentration of phytochemicals, nutrients and physical characteristics of the skin of Avocado ‘Hass’ fruits.

	Nayarit	Jalisco	Michoacán
Materia seca (%)			
MS	22.4 a	18.3 b	22.6 a
Fitoquímicos ^z			
CFT	58.29 b ^y	86.75 a	71.58 ab
CT	0.68 b	0.77 a	0.68 b
CAT	0.35 a	0.29 b	0.3 b
Lignina	28.97 a	29.9 a	28.38 a
Macronutrimentos (g 100 g ⁻¹)			
N	0.88 a	1.02 a	0.95 a
P	0.11 ab	0.13 a	0.09 b
K	1.09 b	1.35 a	1.36 a
Ca	0.19 b	0.26 a	0.26 a
Mg	0.1 b	0.12 a	0.12 a
S	0.1 b	0.15 a	0.08 b
Micronutrimentos (mg kg ⁻¹)			
Fe	26.14 a	27.15 a	22.5 a
Cu	11.58 c	32.47 b	53.64 a
Mn	12.4 a	13.15 a	14.61 a
Zn	16.75 a	13.78 a	14.14 a
B	23.76 a	17.16 c	20.34 b
Grosor de la piel (mm)			
GPRP	1.36 a	1.26 a	1.31 a
GPLP	0.99 a	1.14 a	1.09 a
GPRCO	1.32 a	1.22 a	1.28 a
GPLCO	0.95 b	1.23 a	1.06 b
Rugosidad ^x			
ELV	0.61 a	0.49 b	0.45 b
SFD	0.56 a	0.48 b	0.42 c
SFV	0.54 a	0.53 a	0.43 b

^zCFT (mg EAG g⁻¹); clorofilas (mg g⁻¹); CAT (mg g⁻¹); lignina (%). ^y Medias con la misma letra en cada renglón, para cada característica y etapa de desarrollo, no muestran diferencia estadística significativa Waller-Duncan, *p* 0.05). ^xSuperficie rugosa/superficie total medida (cm² cm⁻²).

The MS of the skin in all samples was lower in the fruits of Jalisco.

Principal component analysis

At harvest, the first two CPs explain 65.6% of the skin variability of ‘Hass’ fruits (Table 4). The CP 1 (48.2%) included P, Mg, Zn, Fe, Ca and CFT and CT; the fruits of Nayarit differed from those from the other two regions in presenting a higher concentration of P, Zn, Fe and phytochemicals and lower Mg and Ca, whereas CP 2 included skin thicknesses, and concentrations of N and K (Figure 3).

In the overall analysis the first two main components explained 53.6% of the variation among fruits (Table 4). The CP 1 (P, N, Ca, Mg, CFT and lignin) distinguished the fruits of the first two stages of development, in which fruit skin presented the highest concentrations of these nutrients and chemical compounds (Figure 4, solid line). The CP 2 included TC, MS and GPLP and differentiated fruits from Jalisco, which presented lower MS and higher CT concentration and thickness of the flat section of the skin (Figure 4, dotted line).

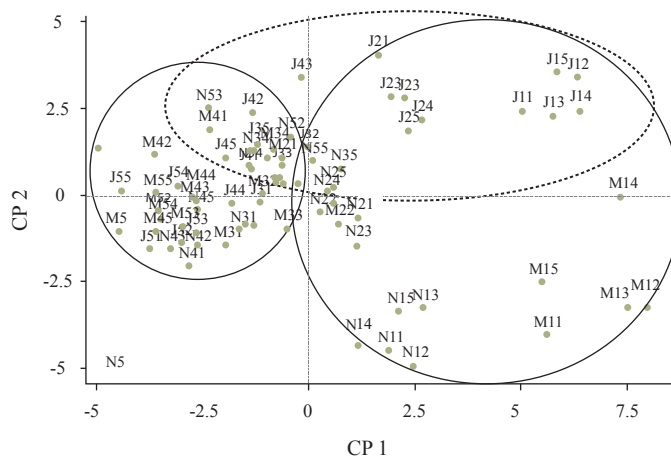


Figura 4. Componentes principales para la piel durante el desarrollo de frutos de ‘Hass’ procedentes de tres regiones productoras. Las letras N, J, M indican la región productora y los números indican la etapa de muestreo y la repetición, respectivamente.

Figure 4. Principal components for the skin during the development of ‘Hass’ fruits from three producing regions. The letters N, J, M indicate the producing region and the numbers indicate the sampling stage and the repetition, respectively.

Cuadro 4. Vectores propios y varianza de los dos primeros componentes principales de fitoquímicos, nutrimentos y características físicas de la piel de aguacate ‘Hass’.**Table 4. Eigenvectors and variance of the first two main components of phytochemicals, nutrients and physical characteristics of Avocado “Hass” skin.**

Variable	A la cosecha		Global	
	CP1	CP 2	CP 1	CP 2
MS	0.122	-0.04	-0.214	-0.289
CFT	-0.256	-0.039	0.273	0.106
CT	-0.252	-0.06	0.144	0.398
CAT	0.176	-0.014	-0.023	-0.219
Lignina	0.235	-0.075	-0.258	0.199
N	0.01	0.355	0.29	-0.056
P	-0.273	0.066	0.296	-0.025
K	0.037	0.33	0.247	-0.015
Ca	0.254	-0.032	0.28	-0.035
Mg	0.256	-0.008	0.277	-0.026
S	-0.046	0.197	0.187	0.153
Fe	-0.255	0.097	0.098	0.192
Cu	0.026	-0.062	-0.119	0.084
Mn	-0.145	0.059	0.222	-0.111
Zn	-0.256	0.076	0.175	-0.134
B	-0.171	0.124	0.142	-0.213
GPRP	0.063	0.452	-0.239	0.096
GPLP	0.054	0.345	-0.178	0.272
GPRCO	0.057	0.453	-0.239	0.095
GPLCO	0.178	0.327	-0.218	0.233
ELV	0.177	0.011	0.066	-0.014
SFD	0.225	-0.057	0.013	-0.103
SFV	0.245	-0.154	-0.052	-0.207
Valor propio	12.044	4.346	9.5469	2.8477
Varianza proporcional (%)	48.2	17.4	38.2	15.4
Varianza acumulada (%)	48.2	65.6	38.2	53.6

En el análisis global los dos primeros componentes principales explicaron 53.6% de la variación entre frutos (Cuadro 4). El CP 1 (P, N, Ca, Mg, CFT y lignina) distinguió a los frutos de las dos primeras etapas de desarrollo, en las cuales la piel de los frutos presentó las concentraciones más altas de esos nutrimentos y compuestos químicos (Figura 4, línea sólida). El CP 2 incluyó a las CT, la MS y el GPLP y diferenció a los frutos procedentes de Jalisco, los cuales presentaron una menor MS y mayor concentración de CT y grosor de la sección plana de la piel (Figura 4, línea punteada).

Correlation analysis

Linear correlation analysis showed that CFT correlated negatively with fruit skin thickness measurements, while total chlorophylls were related only to SFV roughness. Lignin, on the other hand, showed a positive correlation with skin and cork thickness and SFD roughness. The correlation coefficients greater than $|0.5|$ were presented between lignin, N, P, K and Ca, with thicknesses of the section with protrusions of the skin and cork (GPRP and GPRCO).

Análisis de correlación

El análisis de correlación lineal mostró que los CFT se correlacionaron en forma negativa con las mediciones de grosor de la piel del fruto, mientras que las clorofilas totales estuvieron relacionadas sólo con la rugosidad SFV. La lignina, por su parte, mostró correlación positiva con los grosores de piel y corcho y con la rugosidad SFD. Los coeficientes de correlación mayores a $|0.5|$ se presentaron entre la lignina, N, P, K y Ca, con los grosores de la sección con protuberancias de la piel y el corcho (GPRP y GPRCO). La rugosidad, aunque se relacionó significativamente con algunos nutrimentos y fitoquímicos, lo hizo en forma más baja ($r < |0.44|$) (Cuadro 5).

Discusión

Tesfay *et al.* (2010) reportaron que durante el desarrollo de 'Hass', la concentración de fitoquímicos en sus tejidos se va modificando; en la piel los CFT presentan su nivel más alto en la etapa III de desarrollo, lo cual coincide con lo encontrado en este estudio. Los compuestos fenólicos de la piel de los frutos tienen un papel importante como agentes protectores del material interno del fruto contra insectos y microorganismos. Estos fitoquímicos tienen la capacidad de proteger los componentes celulares contra radicales libres debido a sus efectos antioxidantes y de atrapamiento de radicales libres (Mallek *et al.*, 2017).

The roughness, although it was significantly related to some nutrients and phytochemicals, did it in a lower form ($r < |0.44|$) (Cuadro 5).

Discussion

Tesfay *et al.* (2010) reported that during the development of 'Hass', the concentration of phytochemicals in their tissues is changing; in the skin CFT present its highest level in stage III development, which coincides with what was found in this study. Phenolic compounds of fruit skin have an important role as protective agents of the fruit's internal material against insects and microorganisms. These phytochemicals have the ability to protect cellular components against free radicals due to their antioxidant and free radical entrapment effects (Mallek *et al.*, 2017).

This would explain that these compounds appear as determinants in the ACP for the early stages of fruit development. De la Cruz *et al.* (2013) mentioned that secondary metabolites produced during the early stages of plant development contribute to their survival and are involved in the interaction of plants with the environment in which they are grown. The plants develop mechanisms based on the synthesis of carotenoids to dissipate excess energy absorbed as heat (Gandolfo, 2008), which would explain the higher concentration of these pigments in the skin of the fruits of the warm Nayarit climate.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson con significancia estadística para fitoquímicos y nutrimentos vs. características físicas de la piel de aguacate 'Hass'.

Table 5. Pearson correlation coefficients with statistical significance for phytochemicals and nutrients vs. physical characteristics of Avocado "Hass" skin.

	GPRP ^z	GPLP	GPRCO	GPLCO	ELV	SFD	SFV
CFT	-0.49, <0.01	-0.28, 0.02	-0.49, <0.01	-0.35, <0.01			
CT							0.24, 0.04
Lignina	0.58, <0.01	0.53, <0.01	0.58, <0.01	0.64, <0.01		0.26, 0.02	
N	-0.54, <0.01	-0.4, <0.01	-0.54, <0.01	-0.53, <0.01			
P	-0.61, <0.01	-0.44, <0.01	-0.61, <0.01	-0.61, <0.01	0.29, 0.01		0.33, <0.01
K	-0.65, <0.01	-0.34, <0.01	-0.65, <0.01	-0.47, <0.01			0.27, 0.02
Ca	-0.58, <0.01	-0.43, <0.01	-0.58, <0.01	-0.48, <0.01			
Mg	-0.5, <0.01		-0.37, <0.01	-0.27, 0.02	0.26, 0.03	-0.25, 0.03	0.44, <0.01
S	-0.37, <0.01		-0.37, <0.01	-0.27, 0.02	0.26, 0.03		0.44, <0.01
Cu	0.32, 0.01		0.32, 0.01	0.41, <0.01	-0.29, 0.01		-0.27, 0.02
Mn	-0.39, <0.01	-0.42, <0.01	-0.39, <0.01	-0.44, <0.01			
Zn	-0.44, <0.01	-0.41, <0.01	-0.23, 0.05	-0.47, <0.01			
B		-0.43, <0.01		-0.45, <0.01			

^z= el valor después de la coma corresponde al valor de *p*.

Esto explicaría el que estos compuestos aparezcan como determinantes en el ACP para las primeras etapas de desarrollo del fruto. De la Cruz *et al.* (2013) mencionaron que los metabolitos secundarios producidos durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas contribuyen a su supervivencia y están involucrados en la interacción de las plantas con el ambiente en el que se desarrollan. Las plantas desarrollan mecanismos basados en la síntesis de carotenoides para disipar el exceso de energía absorbida en forma de calor (Gandolfo, 2008), lo que explicaría la concentración más alta de estos pigmentos en la piel de los frutos del clima cálido de Nayarit.

La lignificación de la pared celular está regulada en el espacio y tiempo, varía de acuerdo a la especie, edad y tejido (Ceballos y Montoya, 2013; Lagunes y Zavaleta, 2016), concuerda con el aumento en la concentración de lignina durante el desarrollo del fruto encontrado en el presente estudio.

Las concentraciones de Ca, K y Cu estuvieron presentes en el ACP. Esto coincide parcialmente con lo reportado por Mallek *et al.* (2017) para la piel de melón (*Cucumis melo*), la cual contiene cantidades significativas de Ca, K, Mg y Na, y con lo encontrado en la piel de tomate y cítricos, en donde K, Ca y Mg fueron los minerales presentes en mayor cantidad (Rudge-de-Moraes *et al.*, 2012; Elbadrawi y Sello, 2016).

Las características de la superficie de frutos y vegetales frescos presentan una amplia variedad que depende del tipo, variedad, madurez y condiciones de cultivo (Wang *et al.*, 2007). La rugosidad es una característica importante de aceptabilidad y calidad en los frutos de cítricos y manzana (Sugiura *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2016). La rugosidad de la piel de mandarina 'Satsuma' disminuyó conforme se desarrollaba el fruto (Kubo y Hiratsuka, 1998). Esto coincidió con lo encontrado en la presente investigación ya que los frutos de 'Hass' de las tres regiones presentaron menor rugosidad hacia la cosecha.

La mayor rugosidad de los frutos de 'Hass' procedentes de la región de clima más cálido podría ser un mecanismo de protección del fruto ante condiciones menos favorables para el cultivo, como en Nayarit, que presenta una temperatura media anual de 21.1 °C la cual es superior a los 17.9 a 19.7 °C mencionados por Wolstenholme (2007) como más favorables para la producción de 'Hass'. Estos últimos valores de temperatura ocurren en las regiones de Jalisco y Michoacán.

The lignification of the cell wall is regulated in space and time and varies according to species, age and tissue (Ceballos and Montoya, 2013; Lagunes and Zavaleta, 2016). This agrees with the increase in lignin concentration during the development of the fruit found in the present study.

Concentrations of Ca, K and Cu were present in the ACP. This coincides partially with that reported by Mallek *et al.* (2017) for melon skin (*Cucumis melo*), which contains significant amounts of Ca, K, Mg and Na, and found in the skin of tomatoes and citrus, where K, Ca and Mg were the minerals present in greater quantity (Rudge-de-Moraes *et al.*, 2012; Elbadrawi and Sello, 2016).

The characteristics of the surface of fresh fruits and vegetables present a wide variety that depends on the type, variety, maturity and culture conditions (Wang *et al.*, 2007). Roughness is an important characteristic of acceptability and quality in citrus and apple fruits (Sugiura *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2016). The roughness of the 'Satsuma' mandarin skin decreased as the fruit developed (Kubo and Hiratsuka, 1998). This coincided with what was found in the present research since the fruits of 'Hass' of the three regions showed less roughness towards the harvest.

The greater roughness of 'Hass' fruits from the warmer climate region could be a mechanism to protect the fruit from less favorable conditions for cultivation, as in Nayarit, which has an average annual temperature of 21.1 °C which is higher than the 17.9 to 19.7 °C mentioned by Wolstenholme (2007) as more favorable for the production of 'Hass'. These last temperature values occur in the regions of Jalisco and Michoacán. However, the differences in the skin roughness of the fruits found in the present study, this characteristic does not seem to affect the organoleptic characteristics of the 'Hass' fruits produced in the regions included in this research (Salazar *et al.*, 2016).

Conclusions

The environment in which the fruit of 'Hass' develops determines the characteristics of your skin. The fruits of the warm climate (Nayarit) presented a higher concentration of total carotenoids and greater roughness. In the temperate climate (Michoacán), the roughness was smaller. The

No obstante, las diferencias en la rugosidad de la piel de los frutos encontradas en el presente estudio, esta característica parece no afectar las características organolépticas de los frutos de 'Hass' producidos en las regiones incluidas en esta investigación (Salazar *et al.*, 2016).

Conclusiones

El ambiente en el que se desarrolla el fruto de 'Hass' determina las características de su piel. Los frutos del clima cálido (Nayarit) presentaron una concentración mayor de carotenoides totales y mayor rugosidad. En el clima templado (Michoacán), la rugosidad fue menor. El grosor de las protuberancias de la piel y el corcho se correlacionó significativamente ($r > 0.5$, $p < 0.001$) con la concentración de lignina y macronutrimentos en la piel. La rugosidad de la piel fue significativa pero baja ($r < 0.45$, $p < 0.02$) con las clorofilas totales, la lignina, P, K, Mg, S y Cu. El análisis multivariado sólo diferenció a los frutos de las dos primeras etapas de desarrollo (aceituna y etapa I), en las cuales las concentraciones de P, N, Ca, Mg y CFT fueron mayores y la de lignina menor, que en el resto de los muestreos. Los frutos de Jalisco presentaron mayor concentración de clorofilas totales y menor contenido de materia seca y grosor de la sección plana de la piel, comparado con las otras dos zonas productoras.

Agradecimientos

Se reconoce el financiamiento del INIFAP (Proyecto SIGI: 116132972), así como el apoyo de la SPR de RL. Agro González (Jalisco), la SPR PARGUT (Nayarit) y a José Manuel Báez (Michoacán) por proporcionar los frutos para esta investigación. Agradecemos la colaboración del M. C. Arturo Álvarez-Bravo por su apoyo con la información climatológica.

Literatura citada

Ankom Technology. 2013. Method 8 - determining acid detergent lignin in beakers. Analytical methods. 1-2 pp.
 Ceballos, P.A. M. y Montoya, B. S. 2013. Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. Colombia. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 11(1):103-112.

thickness of the protuberances of the skin and cork was significantly correlated ($r > 0.5$, $p < 0.001$) with the concentration of lignin and macronutrients in the skin. The skin roughness was significant but low ($r < 0.45$, $p < 0.02$) with total chlorophylls, lignin, P, K, Mg, S and Cu. The multivariate analysis only differentiated the fruits of the first two stages of development (olive and stage I), in which the concentrations of P, N, Ca, Mg and CFT were higher and that of lignin lower than in the rest of the samplings. The fruits of Jalisco presented the highest concentration of total chlorophylls and lower content of dry matter and thickness of the flat section of the skin, compared to the other two producing areas.

End of the English version



- De La Cruz, C. I.; Riley, S. C. A. and González-Esquinca, A. R. 2013. Secondary metabolites during early development in plants. Netherlands. Phytochemistry reviews. 12:47-64.
 Donetti, M. and Terry, L. A. 2012. Investigation of skin colour changes as non-destructive parameter of fruit ripeness of imported 'Hass' avocado fruit. Belgium. Acta Hort. 945:189-196.
 Elbadrawi, E. and Sello, A. 2016. Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. Saudi Arabia. Arabian J. Chem. 9:S1010-S1018.
 Gandolfo, W. S. P. 2008. Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 211 p.
 Kubo, T. and Hiratsuka, S. 1998. Effect of bearing angle of satsuma mandarin fruit on rind roughness, pigmentation and sugar and organic acid concentration in the juice. Japan. Journal of the Japanese Soc. Hortic. Sci. 67(1):51-58.
 Lagunes, F. E. y Zavaleta, M. E. 2016. Función de la lignina en la interacción planta-nemátodos endoparásitos sedentarios. México. Rev. Mex. Fitopatol. 34(1):43-63.
 Lara, I.; Belge, B. and Goulao, L. F. 2014. The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality. Netherlands. Postharvest Biol. Technol. 87:103-112.
 Li, J.; Liang, C.; Liu, X.; Huai, B.; Chen, J.; Yao, Q.; Qin, Y.; Liu, Z. and Luo, X. 2016. Effect of Zn and NAA co-treatment on the occurrence of creasing fruit and the peel development of 'Shatangju' mandarin. Netherlands. Sci. Hortic. 201:230-237.
 Lichtenthaler, H. K. and Buschmann, C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-Vis spectroscopy. In: current protocols in food analytical chemistry. Wrolstad, R. E.; Acree, T. E.; Decker, E. A.; Penner, M. H.; Reid, D. S.; Schwartz, S. J.; Shoemaker, C. F.; Smith, D. M. and Sporns, P. (Eds). John Wiley and Sons, Inc. New York, USA. F.4.3.1-F.4.3.8. pp.
 Mallek, A. S.; Bahloul, N. and Kechaou, N. 2017. Characterization, phenolic compounds and functional properties of *Cucumis melo* L. peels. Netherlands. Food chemistry. 221:1691-1697.

- Mazid, M.; Khan, T. A. and Mohammad, F. 2011. Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. USA. *Biol. Medicine*. 3(2):232-249.
- Naseer, R.; Sultana, B.; Kahn, M. Z.; Naseer, D. and Nigam, P. 2014. Utilization of waste fruit-peels to inhibit aflatoxins synthesis by *Aspergillus flavus*: a biotreatment of rice for safer storage. Netherlands. *Bio. Technol.* 172:423-428.
- Rodríguez C. J. G.; Morcuende, D. and Estévez, M. 2011. Avocado by-products as inhibitors of color deterioration and lipid and protein oxidation in raw porcine patties subjected to chilled storage. Netherlands. *Meat Sci.* 89(2):166-173.
- Rudge-de-Moraes, B. H.; Pinto de Castro Ferreira, T. A. and Genovese, M. I. 2012. Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. Netherlands. *Food Chem.* 134(4):1892-1898.
- Salazar G. S.; González-Durán, I. J. L. y Tapia-Vargas, L. M. 2011. Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutrimental de frutos de aguacate "Hass" en Michoacán, México. México. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17(2):183-194.
- Salazar G. S.; Medina-Carrillo, R. E. y Álvarez-Bravo, A. 2016. Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(2):277-289.
- Schroeder, C. A. 1950. The structure of the skin or rind of the avocado. USA. California Avocado Society 1950. Yearbook. 34:169-176.
- Stintzing, F. C.; Herbach, K. M.; Mosshammer, M. R.; Carle, R.; Yi, W.; Sellapan, S.; Akoh, C. C.; Bunch, R. and Felker, P. 2005. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. USA. *J. Agric. Food Chem.* 53(2):442-451.
- Sugiura, T.; Ogawa, H.; Fukuda, N. and Moriguchi, T. 2013. Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change. U.S.A. *Scientific Reports*. 3:1-7.
- Tesfay, S. Z.; Bertling, I. and Bower, J. P. 2010. Antioxidants levels in various tissues during maturation of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). United Kingdom. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 85(2):106-112.
- Tesfay, S. Z.; Bertling, I. and Bower, J. P. 2011. Effects of postharvest potassium silicate application on phenolics and other antioxidant systems aligned to avocado fruit quality. Netherlands. *Postharvest Biol. Technol.* 60:92-99.
- Wang, H.; Feng, H.; Zhang, A. and Luo, Y. 2007. Produce surface characteristics affect product quality and safety. *In: Conference Proceedings International Congress on Quality Management of Fresh Cut Products*. Kanlayanarat, S. *et al.* (Eds.). Inter. Soc. Hortic. Sci. Bangkok, Thailand. 131-138 pp.
- Wolstenholme, B. N. 2007. Ecología: el clima y el ambiente edáfico. *In: el Palto. Botánica, producción y usos*. Wiley, A. W.; Schaffer, B. and Wolstenholme, B. N. (Eds.) Ediciones Universitarias de Valparaíso. Chile. 75-101 pp.