

EVALUACIÓN DEL COLOR EXTERNO Y DAÑOS EN EL MESOCARPIO DE AGUACATE (*Persea americana* Mill. cv. Hass) BAJO CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO EN FRÍO Y MADURACIÓN CONTROLADA

Victoria, Escobar¹; Rodríguez, Pablo²; Cortes, Misael¹; Correa, Guillermo¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Correo: jovescoarca@unal.edu.co. ²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Área de postcosecha en frutas.

Resumen

La heterogeneidad en la maduración de los frutos de aguacate 'Hass' y los daños internos son los principales problemas de calidad en el mercado europeo. Colombia es un país de incursión reciente en dicho mercado y no se tiene suficiente información sobre esta problemática. Por estas razones, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes valores de índices de madurez de cosecha y tiempos de almacenamiento (5°C/90% HR), sobre la heterogeneidad en la maduración y la calidad interna de frutos. Se muestrearon frutos de tres fincas de exportación en el Departamento de Antioquia (F1, F2, F3). En cada una se cosecharon frutos a tres contenidos de materia seca (MS) (22, 26 y 30%, respectivamente) y se almacenaron durante 21, 28 y 35d. Se determinó el color de la cáscara (CIE La*b*, C*, h*) y se cuantificó el área afectada (AA) por daños en el mesocarpio, mediante análisis de imágenes. La coordenada de color b* reflejó la disminución de la heterogeneidad en la maduración, en los tratamientos que recibieron refrigeración para F2 y F3; para F1 se observó con un almacenamiento más prolongado. El mínimo de defectos para las tres fincas se obtuvo con un 26 ± 2% de MS. Las fincas F1 y F2 tuvieron AA por debajo del 1%, incluso tras 35d de almacenamiento. En conclusión, el almacenamiento redujo la heterogeneidad en la maduración de los frutos, mientras el índice de recolección pudo disminuir la presencia de daños de pulpa.

Palabras clave adicionales: Postcosecha, exportación, almacenamiento, heterogeneidad, daños internos

EVALUATION OF THE EXTERNAL COLOR AND DAMAGE TO THE AVOCADO MESOCARP (*Persea americana* Mill. cv. Hass) UNDER COLD STORAGE AND CONTROLLED MATURATION CONDITIONS

Abstract

Fruit ripening heterogeneity and internal damage are the most important quality parameters demanded by the European market for 'Hass' avocado. Colombia is in recent incursion into this exporting market, and there is not enough valuable information about it. The aim of this work was to evaluate the effect of different maturity index values and storage time (5°C/90% RH) on the ripening heterogeneity and fruit internal quality. Fruits from three exporting farms from the Department of Antioquia were statistically sampled and coded as F1, F2, and F3. In each one, the fruits were harvested with three different dry matter content (DM: 22, 26 and 30%, respectively) and stored during 21, 28 and 35d (TS). The color peel was determinate (CIE La*b*, C*, h*) and the affected area (AA) was quantified on the mesocarp damaged (by images analysis). Color coordinate b* allowed to observed that the color heterogeneity have decreased during the ripening in those fruits under treatment of refrigeration for F2 and F3. While fruit coded as F1 were maintained in longer storage. The minimum of defects on fruits from the three farms were obtained with 26 ± 2% DM. F1 and

F2, showed an AA below 1%, even at 35d of TS. In conclusion, the storage reduced the fruit ripening heterogeneity, while the harvest index can decreased the internal damage.

Additional key words: Postharvest, exporting, storage, heterogeneity, internal damage.

Introducción

El aguacate es un fruto muy apetecido a nivel mundial por las características funcionales y sensoriales de su pulpa, debido al contenido de vitaminas, grasas poliinsaturadas, minerales y componentes activos que posee, lo que lo identifican como un alimento funcional (Dreher y Davenport, 2013; Morillas-Ruiz y Delgado-Alarcón, 2012). El aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass) se ha convertido en uno de los frutos de mayor importancia en la economía colombiana, incrementando sus exportaciones principalmente a Europa durante el periodo del 2010 al 2016 desde 52.7 a 17,829t y con perspectivas de mayor expansión en el mercado internacional (Agronet, 2017). En Colombia, el cultivo del aguacate cv Hass inicio desde el año 2000 y desde entonces, ha reflejado el importante ascenso que ha tenido, lo cual ha generado la necesidad de un mayor control en sus parámetros de calidad con el fin de ser competitivos frente a los demás países exportadores (“Aguacate: el oro verde de la economía colombiana”, 2017).

Uno de los problemas de calidad más comunes para los frutos de exportación de diferentes orígenes (Chile, Perú, Sudáfrica, entre otros) identificados después de llegar al mercado de destino, es la heterogeneidad en la madurez, lo cual se evidencia por el color externo del producto (tablero de ajedrez) y el tiempo de ablandamiento para alcanzar la madurez de consumo. Este fenómeno puede ser promovido por las diferentes floraciones, tiempos prolongados de llenado de fruto y por el hecho de que el aguacate no madura en el árbol, lo cual genera problemas logísticos a nivel de comercialización de la fruta e incremento de costos en la distribución (Fuentealba y Defilippi, 2016; Pedreschi et al., 2014). Adicionalmente, se presentan cambios en la apariencia de la pulpa, la cual es provocada por distintos desórdenes fisiológicos en el fruto, los cuales se observan al momento en el que el aguacate es cortado para ser consumido.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia del índice de madurez de cosecha del aguacate y el tiempo de almacenamiento (5°C/90% HR), sobre el color externo (piel) y los daños en el mesocarpio durante la maduración.

Materiales y Métodos

Muestreo. Los frutos fueron cosechados mediante muestreos dirigidos en tres fincas de producción de aguacate de exportación ubicadas en las regiones Norte, Suroeste y Oriente

del Departamento de Antioquia (Colombia). En 30 árboles seleccionados con edades entre 7 a 10 años y monitoreados por cada finca, se marcaron alrededor de 400 frutos a inicios del año 2016. Previo a la cosecha, se realizaron muestreos aleatorios a la fruta marcada (Figura 1), con el fin de hacer seguimiento a la materia seca para obtener los tres índices de madurez deseados (20, 26 y 30%), en las tres fincas seleccionadas: F1 (región suroeste), F2 (región norte) y F3 (región oriente). El Cuadro 1 presenta la ubicación de las fincas y sus condiciones climáticas.

Cuadro 3. Ubicación de las fincas (lotes seleccionados).

Código de Finca	F1	F2	F3
Subregión	Suroeste	Norte	Oriente
Fecha de cosecha 22%	07-10-2016	29-11-16	30-12-2017
Fecha de cosecha 26%	11-11-2016	28-12-2016	10-01-2017
Fecha de cosecha 30%	18-01-2017	25-01-2016	03-02-1017
Latitud	05°35'51.2"	06°29'41.5"	6°05'53"
Longitud	75°48'39.3"	75° 31' 42"	75°26'31"
msnm ²	1932	2473	2248
Temperatura anual promedio	19.02	15.68	15.99
Humedad relativa anual promedio	79.46	78.11	75.57
Radiación anual promedio	202.39	213.65	204.36

²Metros sobre el nivel del mar

Una vez que se alcanzaron los valores requeridos de materia seca, se recolectaron 60 frutos aproximadamente, de los cuales se dejaron cinco frutos al azar para obtener el porcentaje de materia seca inicial y se utilizaron los 35 restantes en el experimento.

Almacenamiento. En esta etapa, los frutos se acondicionaron, simulando las condiciones de exportación comercial de Antioquia, realizando la recepción y desinfección con un fungicida comercial (Prochloraz al 0.05% p/v, Mirage ADAM ANDINA), secado al ambiente y empacado en cajas comerciales de cartón corrugado. Se revisó que cada fruto tuviera un peso entre 120 y 300 g y que no tuviera defectos externos significativos (daños físicos o por plagas). Posteriormente, los frutos de aguacate fueron almacenados bajo refrigeración controlada en cámaras climáticas a 5°C y 90% HR, durante 21, 28 y 35d.

Maduración. Luego de cumplir los días de almacenamiento en frío, los frutos fueron a maduración (20°C y 90% HR). El aguacate que no fue sometido a condiciones de refrigeración fue madurado inmediatamente después del acondicionamiento inicial. La determinación de las condiciones de madurez de consumo se evaluó de forma subjetiva

con personal previamente entrenado y siguiendo la metodología descrita por White et al. (2009), para lo cual, se consideró que el color externo presentara por lo menos un 75% de coloración púrpura y la firmeza al tacto fuera aproximadamente una deformación de un mm en la parte peduncular y ecuatorial del fruto.

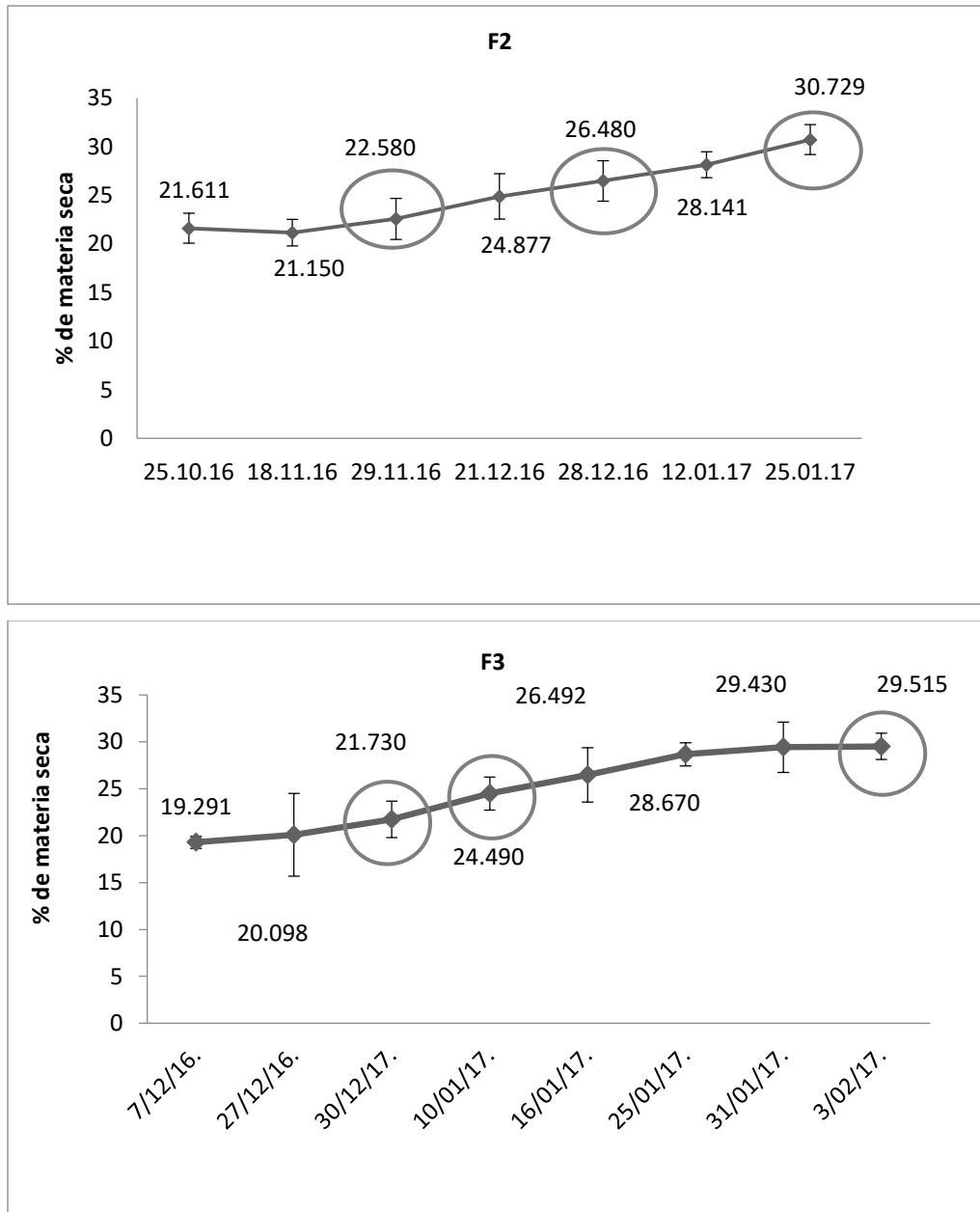


Figura 2. Fechas de cosecha y muestreos de aguacate, con sus correspondientes contenidos de materia seca. Las fechas correspondientes a los círculos indican las fechas de cosecha de 60 frutos en cada lote.

Parámetros de calidad. Después de la maduración, en cada tratamiento se evaluaron ocho frutos, determinando el color de la piel en la zona ecuatorial del fruto (previa marcación durante el acondicionamiento con marcador indeleble), utilizando un espectrofotómetro Minolta CR-400, iluminante C y observador de 2°. El área afectada del fruto de aguacate se determinó con un software de imagen desarrollado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, donde se observó y se cuantificó el daño en el fruto con una escala de 0 a 100%

Análisis estadístico. Los cambios del color en la piel se evaluaron con base en intervalos de confianza del 95% para las medianas de los correspondientes parámetros. El conjunto total de datos, incluyendo el tiempo cero de refrigeración no satisfizo el supuesto de homogeneidad de varianzas, por lo que se excluyó dicho nivel para realizar un ANOVA multifactorial, considerando porcentaje de materia seca (22, 26 y 30) y tiempo de almacenamiento (21, 28, 35d), y bloqueando por finca (F1, F2, F3). Finalmente, se ajustó una superficie de respuesta para el logaritmo del área afectada. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico Statgraphics Centurión XVII.

Resultados y Discusión

En la Figura 2 se presentan intervalos de confianza al 95% para las medianas de la coordenada de color b^* , en diferentes tiempos de almacenamiento en frío. Se observó que para F2 y F3 el almacenamiento a 5 °C disminuyó la heterogeneidad de la fruta en lo que respecta al color, manteniéndose hasta los 35d de almacenamiento evaluado en el ensayo. Para la finca F1 la variabilidad fue similar hasta los 21d de almacenamiento en frío; después de 28d de almacenamiento, la variabilidad del color entre los frutos analizados empezó a disminuir considerablemente. La temperatura y las condiciones climáticas en el cultivo, independientemente de la ubicación geográfica, son variables relevantes a considerar en la heterogeneidad de la maduración de los aguacates cv Hass y Fuerte (Muñoz, 2004). Esto podría explicar que F2 y F3 (15.6 y 15.9 °C respectivamente) sean particularmente más homogéneas que F1 (19.02 °C) y que las coordenadas de color en b^* , tanto para el Norte y el Oriente estén entre 2.7 a 5.9 para los tratamientos que fueron sometidos a enfriamiento. Tal y como se observó en este ensayo y ha sido reportado por distintos autores, la refrigeración es una técnica importante para aumentar la vida en anaquel de la fruta y para disminuir la variabilidad del color entre los aguacate del lote o entre las partes de un solo fruto. En el cultivar Hass las tasas de respiración disminuyen de 40-150 mL CO₂/kg h⁻¹ a temperatura ambiente, a 10-25 mL CO₂/kg h⁻¹ en refrigeración (Ochoa, 2014),

homogeneizando fisiológicamente la respiración de la fruta en un ambiente controlado y sincronizando los frutos y las enzimas de los mismos, en un proceso de maduración más homogéneo y rápido (Blakey et al., 2014; Fuentealba y Defilippi, 2016; Ochoa, 2014).

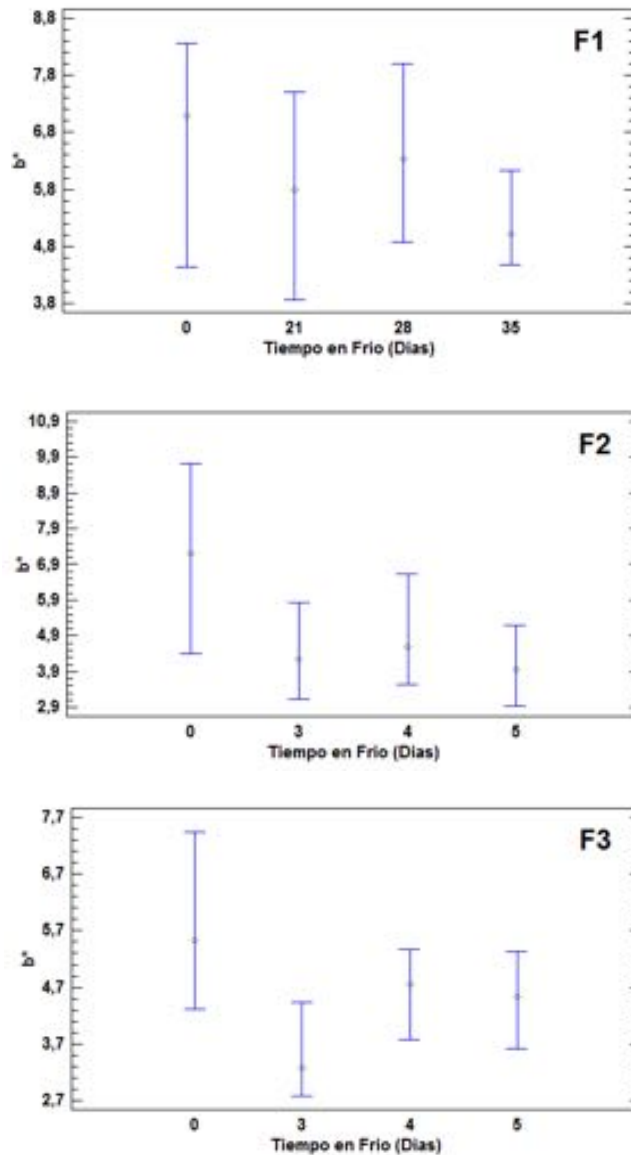


Figura 3. Intervalos del confianza del 95% para las medianas de la coordenada cromática b^* , en diferentes tiempos de almacenamiento, en días.

La mayoría de los efectos son estadísticamente significativos ($p < 0.05$) para la mayoría de variables respuesta estudiadas. El color varió tanto entre fincas como entre índices de madurez. A esto puede deberse la variabilidad de la maduración en el mercado de destino, ya que se mezclan distintas zonas de cultivo y distintos momentos de cosecha. Los

resultados presentados en el Cuadro 2 son similares a los reportados por Fuentealba et al. (2017), quienes indicaron que es importante poder separar en campo o en planta de adecuación los diferentes índices de madurez y asociar características de cultivo similares para disminuir la heterogeneidad de la fruta que se comercializa. La calidad en la postcosecha puede estar definida de distintas maneras, como los daños patológicos, los desórdenes fisiológicos constituidos por los daños internos o daños externos y las heterogeneidades en la maduración (Ferreyra y Defilippi, 2012).

Cuadro 4. Efecto del índice de madurez de cosecha y el tiempo de almacenamiento en refrigeración sobre el color de frutos maduros de aguacate cv Hass en tres lotes seleccionados (todos los frutos fueron evaluados a una madurez lista para consumo).

Almacenamiento en frío (R)	L*	a*	b*	C*	h*
21d	28.06 a	3.76 a	4.78 b	6.47 ab	49.33 a
28d	27.18 b	3.98 a	5.46 b	7.12 b	54.40 b
35d	27.38 b	3.16 b	4.81 b	6.10 a	55.43 b
Índice de madurez (H)					
22%	27.88 a	4.45 a	6.06 a	7.92 a	52.78 a
26%	27.25 b	3.86 b	4.31 b	5.72 b	46.54 b
30%	28.45 c	2.38 c	5.97 a	6.39 b	64.42 c
Lote seleccionado (A)					
F1	28.01 b	2.66 a	6.21 a	7.25 a	63.42 a
F2	27.73 a	4.67 b	5.39 b	7.52 a	46.90 b
F3	27.85 ab	3.36 c	4.76 b	6.06 b	53.41 c
Efecto (Valor-P)					
R	0.0012*	0.0024*	0.0275*	0.0018*	0.0047*
H	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
A	0.0047*	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
RH	0.0000*	0.0000*	0.4515	0.1551	0.0315*
RA	0.0004*	0.0004*	0.1585	0.3655	0.0001*
HA	0.0000*	0.0000*	0.0014*	0.0000*	0.0001*
AHR	0.0001*	0.0068*	0.0014*	0.0007*	0.0013*

(*) Valores efecto significativo para cada variable respuesta. Las medias con letras comunes en una columna, dentro de un factor, denotan diferencias no difieren significativamente al 5%. (L*) Luminosidad: 0 (negro) a 100 (blanco), (a*) Tonalidad o matiz cromática entre colores -60 (verde) a + 60 (rojo), (b*) Tonalidad o matiz cromática entre colores -60(azul) a +60(amarillo), (C*) croma o saturación del color, (h*) índice hue o ángulo de Tono (0° a 360°).

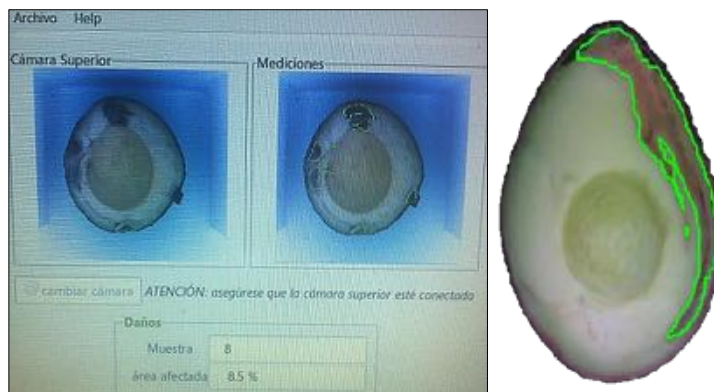


Figura 4. Imagen segmentada obtenida por dispositivo de análisis de imagen "Persea". Cuantificación del área afectada.

La Figura 4 presenta los gráficos de superficie de respuesta para cada finca del logaritmo del área afectada (AA) en función del tiempo de almacenamiento e índice de madurez. Se observó un claro aumento del área afectada relacionada con el oscurecimiento de pulpas, principalmente a mayores tiempos de almacenamiento (5ª semana/35d en frío para las tres fincas). Esta situación se atribuyó a las lesiones por frío, que confiere que la integridad de las membranas celulares que tienen almacenadas las enzimas y los sustratos se pierda en almacenamiento prolongado, provocando que las enzimas peroxidasa y polifenol oxidasa reaccionen con los sustratos fenólicos y se observen las coloraciones marrones en el mesocarpio del fruto (Ferreya y Defilippi, 2012; Hershkovitz et al., 2005; Zauberman y Jobin, 1995).

Sin embargo a 21 d de almacenamiento (tres semanas) en las tres zonas de cultivo estudiadas, se encontró que para un índice de madurez de 26%, la susceptibilidad del daño o el AA estuvo localizada por debajo del 1%, sin utilizar ningún tratamiento diferente a la refrigeración, lo que para otros trabajos realizados sólo se logra con la acción de inhibidores (1-metilciclopropeno) mezclado con el enfriamiento de la fruta (Hershkovitz et al., 2005; Zauberman y Jobin, 1995).

Con este resultado obtenido se demuestra que se debe controlar el almacenamiento de fruta a partir de diferentes edades o cosechas del aguacate, es decir, que si se tienen aguacates con cosechas tardías o muy tempranas (niveles altos o bajos de madurez) deben ser almacenados bajo refrigeración en un tiempo no muy prolongado para que a nivel celular no ocurra ruptura de membranas, lo cual promovería la presencia de daños en la pulpa.

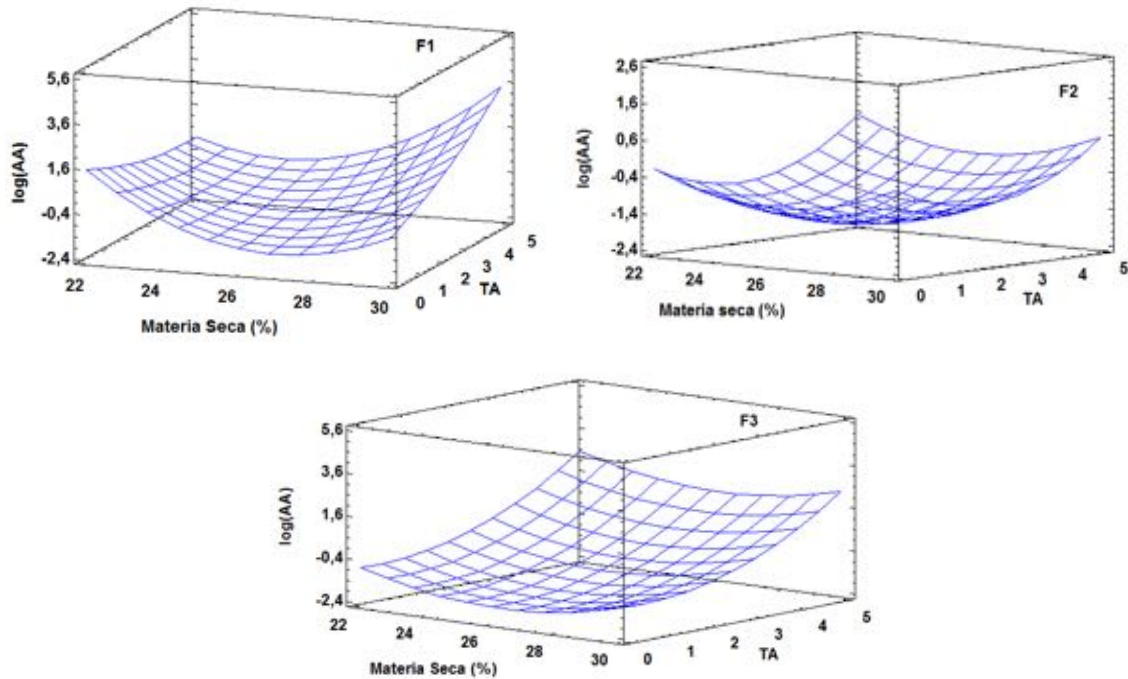


Figura 5. Superficie de respuesta para la variable logaritmo de área afectada en los tres lotes seleccionados: F1 (Suroeste), F2 (Norte), F3 (Oriente). TA: Semanas de almacenamiento (3=21d; 4=28d; 5= 35d).

El AA para el lote F2 fue menor en comparación con el lote F3 y F1, lo que puede estar ligado a las condiciones pre-cosecha como nutrición mineral, condiciones hídricas y prácticas de manejo de cada zona de cultivo, las cuales también juegan un papel importante en la calidad de frutos al final de la cadena (Ferreyra y Defilippi, 2012).

Conclusiones

La heterogeneidad en el color del aguacate cv Hass es reducida por el almacenamiento bajo condiciones de refrigeración. Sin embargo se debe tener en cuenta el índice de madurez y las condiciones de cultivo por finca. El AA es menor cuando los aguacates se encuentran con un $26 \pm 2\%$ de materia seca. Si se tienen frutos con cosecha temprana o cosecha tardía se debe disminuir el almacenamiento en frío para evitar oscurecimientos en pulpa severos.

Literatura Citada

Agronet. 2017. Estadísticas Agronet. Retrieved April 16, 2017, from <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>.

- Aguacate: el oro verde de la economía colombiana. 2017. Retrieved April 16, 2017, from <http://www.dinero.com/edicion-impresia/informe-especial/articulo/aguacate-exportacion-y-mercado-en-colombia/243434>.
- Blakey, R. J., S.Z. Tesfay, I. Bertling and J.P. Bower. 2014. Ripening physiology and quality of "Hass" avocado (*Persea americana* Mill.) after cold storage at 1 oC. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 89(6): 655–662. <http://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513134>.
- Dreher, M. L. and A.J. Davenport. 2013. Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53(7):738–50. <http://doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>.
- Ferreira, R. and B. Defilippi. 2012. Factores de precosecha que afectan la postcosecha de la Palta Hass. *Clima, Suelo y Manejo*. La Cruz, Chile: CORFO, INIA, Ministerio de Agricultura de Chile.
- Fuentealba, C. and B.G. Defilippi. 2016. Factors associated with postharvest ripening heterogeneity of 'Hass' avocados (*Persea americana* Mill.) review article of 'Hass' avocados (*Persea americana* Mill.), (August). <http://doi.org/10.1051/fruits/2016016>.
- Fuentealba, C., R. Predrechi, I. Hernandez, and J. Savedra. 2017. A statistical approach for assessing the heterogeneity of Hass avocados subjected to different postharvest abiotic stresses. *Ciencia E Investigación Agraria*, (December 2016). <http://doi.org/10.4067/S0718-16202016000300002>.
- Hershkovitz, V., S.I. Saguy and E. Pesis. 2005. Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 37(3):252–264. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.05.003>.
- Morillas-Ruiz, J.M. and J.M. Delgado-Alarcón. 2012. Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria* 32(2):8-20.
- Muñoz, D. 2004. Desarrollo de una metodología de muestreo para la medición de aceite en palta (*Persea americana* Mill.) en dos cultivares. Retrieved from http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/M-N-O/MunozDiego2004.pdf.
- Ochoa, S. 2014. Enfermedades y desordenes fisiológicos más comunes del fruto de aguacate en poscosecha. *Guía ilustrada para Técnicos y Empacadores*. (M. Gonzales, Ed.). México: APEAM; A.C.
- Pedreschi, R., P. Muñoz, P. Robledo, C. Becerra, B. G. Defilippi, H. van Eekelen, C. H. de Vos. 2014. Metabolomics analysis of postharvest ripening heterogeneity of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology* 92: 172-179. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.024>.
- White, A., A. Woolf, P. Hofman and M. L. Arpaia. 2009. *The International Avocado Quality Manual*. Auckland, New Zealand: Plan and Food Research.
- Zauberman, G. and M. I. Jobin. 1995. Avocado (*Persea americana* Mill.) quality changes in response to low-temperature storage. *Postharvest Biology and Technology* 5: 235-243.