

MODELO NO DESTRUCTIVO PARA DETERMINAR MADUREZ DE COSECHA EN AGUACATE 'HASS'

Osuna-García, Jorge, Alberto¹; Toivonen, Peter²; Salazar-García, Samuel¹; Goenaga, Ricardo³; Herrera-González, Juan Antonio⁴

¹INIFAP-C.E. Santiago Ixcuintla. Km. 6 entronque carretera Internacional a Santiago. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. C.P. 63300. Correo-e: osuna.jorgealberto@inifap.gob.mx; ²Agriculture and Agri-Food Canadá, Summerland, British Columbia, Canadá; ³USDA-ARS, Tropical Agriculture Research Station, Mayagüez, Puerto Rico; ⁴ INIFAP-C.E. Uruapan. Avenida Latinoamericana 1101, Uruapan, Michoacán, México

Resumen

El cultivo de aguacate es importante para la economía del país, especialmente para Michoacán, donde en 2016 se exportaron 860,000 ton con un valor de 2,024 millones de dólares. El índice de cosecha actual está basado en el contenido de materia seca (MS) del mesocarpio (pulpa) del fruto, el cual se determina relativamente rápido pero es destructivo y costoso. El objetivo del presente trabajo fue generar un modelo para predecir de manera no destructiva el contenido de MS de aguacate 'Hass' para posteriormente validarlo a nivel comercial. Se colectaron 200 frutos con un rango de MS de 12 a 28%. Los frutos se marcaron con un círculo en la parte dorsal del cuello para realizar escaneos con un espectrómetro a tres temperaturas ambientales (15, 25 y 35 °C). Después de los escaneos se determinó la MS mediante estufa de secado a 60 °C por 72 h. Los valores del escaneo y los de referencia fueron cargados al espectrómetro F-750, el cual mediante un software integrado identificó la correlación entre ambos valores. El rango de variabilidad de los frutos de referencia fue el deseado para que el modelo prediga adecuadamente y de manera no destructiva la MS de los frutos y el desempeño del modelo fue satisfactorio. El modelo se encuentra en proceso de validación comercial.

Palabras clave adicionales: *Persea americana*, materia seca, espectrómetro F-750, correlación.

A NONDESTRUCTIVE MODEL TO DETERMINE HARVEST MATURITY OF 'HASS' AVOCADO

Abstract

Avocado crop is very important for Mexico's economy, especially for the state of Michoacan. Last year avocado exportations reached 860,000 ton with a value of 2,024 million dollars. The actual harvest index is based on mesocarp (pulp) fruit dry matter (DM) content, which is determined relatively quickly but it is destructive and expensive. The objective of this study was to generate a non-destructive model to predict the DM content of 'Hass' avocado to further commercial validation. Two hundred fruit were collected with DM contents from 12 to 28%. Fruit were marked with a circle in the back neck to scan them with a spectrometer at three ambient temperatures (15, 25, and 35 °C). Once scanned, pulp DM content was determined using an oven at 60 °C for 72 h. The scanned and reference values were uploaded to the F-750 spectrometer, which identifies the correlation between both values. The range of variability of avocado fruit was good enough so that the model predicted adequately and non-destructively the DM content of the fruit and the performance of the model was satisfactory. The model is under commercial validation.

Additional keywords: *Persea americana*, dry matter, F-750 spectrometer, correlation.

Introducción

México es el principal productor de aguacate en el mundo con el 30% de participación en la producción. El aguacate es un cultivo muy importante en México ya que se cosechan 1.6 millones de ton en una superficie aproximada de 157,000 ha. El 93% de la producción se concentra en los estados de Michoacán, Jalisco, Estado de México, Nayarit y Morelos, siendo Michoacán el más importante con una superficie de 118,607 ha y una producción de 1.2 millones de ton (SIAP, 2015). Para el 2015-2016 el valor de las exportaciones fue de 2,024 millones de dólares americanos. Los principales mercados de exportación son Estados Unidos, Japón y Canadá aunque a Estados Unidos se destina el 80% del volumen exportado (APEAM, 2016). El crecimiento de las exportaciones de aguacate se ha incrementado extraordinariamente al pasar de 173,000 t exportadas en 2006 a 860,000 ton en 2016, con un crecimiento promedio anual del 30%. A decir de los productores y exportadores de aguacate de Michoacán, el éxito de la producción y exportación de aguacate se debe a que se trata de una industria completamente regulada, especialmente en cuanto a la cosecha de fruto fisiológicamente maduro, parcialmente certificada y con los estándares de sanidad e inocuidad más avanzados (www.elfinanciero.com.mx, 2017).

La madurez a la cosecha es indudablemente la variable más importante que determina la calidad comestible del fruto de aguacate (Brown, 1984; Harker et al., 2007) e influye en la calidad después del almacenamiento. Sin embargo, la falta de un método confiable para predecir la madurez de cosecha a través de indicadores externos (Hofman y Jobin-Décor, 1999), propicia que dicho estado de madurez se obtenga de manera destructiva, ya sea mediante la determinación del contenido de aceite o del porcentaje de materia seca (MS) en el mesocarpio (pulpa) del fruto (Ranney et al., 1992). El contenido de MS es internacionalmente aceptado como el indicador de madurez del fruto de aguacate para procesos comerciales, ya que el método de determinación de MS por microondas es más rápido y más económico que la determinación del contenido de aceite. Sin embargo, sigue siendo destructivo y consumidor de tiempo. El porcentaje de MS como índice de madurez fisiológica o "legal" varía en los países productores y se ubica en el intervalo de 20 a 25% MS (Kader y Arpaia, 2000).

Se han realizado diversos intentos para encontrar un método no destructivo confiable para determinar el contenido de MS del fruto de aguacate. Esto beneficiaría a productores y empacadores de aguacate al contar con una técnica rápida, segura y fácil que permitiría entregar fruta de mayor calidad que incrementaría la competitividad y rentabilidad de la industria y beneficiaría directamente al consumidor. A pesar de la obvia necesidad de crear

métodos no destructivos para determinar la madurez interna del fruto de aguacate, los esfuerzos realizados han producido resultados limitados. El campo de la espectrometría puede proporcionar un método rápido y confiable para la industria. La espectroscopía del cercano infrarrojo (NIRS, por sus siglas en inglés), ha mostrado ser un método seguro, preciso, rápido y no destructivo. La precisión del NIRS se basa en la calibración de cientos o miles de conjuntos de datos sobre la absorbancia de muchas longitudes de onda para predecir la composición de una muestra (Moron y Cozzolino, 2003; Batten, 1998). Sin embargo, para desarrollar estas calibraciones son necesarias muchas muestras, muchas horas de trabajo y muchos cálculos computacionales (Davies, 2005). La validez de estos modelos de predicción para evaluar futuras muestras depende de qué tan bien se haya hecho la calibración. El mayor desafío en productos hortofrutícolas es la “robustez” del modelo de calibración, es decir, que se adapte para diferentes regiones y épocas de cosecha. Algunos estudios muestran que el modelo se robustece cuando se usan datos obtenidos de múltiples épocas de cosecha, regiones y tipos de frutos, variación geográfica y estacional. El tiempo prolongado requerido para coleccionar muestras de referencia y la falta de información precisa han sido un factor limitante para la adopción del NIRS (Batten, 2004; Malley y Williams, 2005).

El grupo de trabajo de Frutales del Programa Cooperativo en Investigación y Tecnología Agrícola para la Región Norte (PROCINORTE), ha trabajado desde 2008 para determinar la madurez a cosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ mediante el uso de la espectroscopía, así como el desarrollo de un equipo portátil que permita ser usado en el huerto para determinar contenido de MS de manera no destructiva, fácil, rápida, confiable y precisa (Charlebois et al., 2012). Los resultados indican que el espectrómetro F-750 puede ser un instrumento viable para determinar de manera no destructiva el momento óptimo de cosecha en aguacate ‘Hass’. El objetivo de esta etapa de trabajo fue generar un modelo para predecir de manera no destructiva el contenido de materia seca de aguacate ‘Hass’, para posteriormente validarlo a nivel comercial.

Materiales y Métodos

Frutos de aguacate

El 19 de junio 2017 se cosecharon 300 frutos en un huerto comercial ubicado en Matangarán, Mpio. de Uruapan, Michoacán, con clima semicálido subhúmedo [(A)C(w1)] y altitud de 1580 msnm. Los frutos fueron inmediatamente transportados en termos al INIFAP-Campo Experimental Santiago Ixcuintla, donde al día siguiente se clasificaron de

acuerdo a su contenido de MS en cinco categorías: Cat. 1 = < 15% MS; Cat. 2 = 16-17% MS; Cat. 3 = 18-19% MS; Cat. 4 = 20-21% MS y Cat. 5 > 22% MS, considerando 40 frutos para cada categoría.



Figura 1. Categorías de frutos de aguacate 'Hass' según su contenido de materia seca.

Escaneo de frutos

Una vez seleccionados, los frutos se marcaron individualmente con un círculo en la parte dorsal del cuello. Resultados previos mostraron que al tomar las lecturas en esa parte se obtienen resultados más confiables que en la zona ecuatorial, ya que se disminuye el riesgo de falsas lecturas por interferencias con la semilla. El propósito de marcar los frutos fue para asegurar que los escaneos se hicieran en la misma zona, ya que las lecturas deben realizarse a tres temperaturas ambientales (15, 25 y 35 °C). Para ello, se colocaron los frutos por al menos 4 h en un refrigerador comercial a 15 ± 1 °C y luego se realizaron los escaneos con el espectrómetro F-750 (CID Bio Science, Inc., Felix Instruments – Applied Food Science, Camas, WA, USA; Figura 2). Posteriormente, los frutos se almacenaron durante la noche a 25 ± 2 °C y al día siguiente se tomaron los escaneos correspondientes a dicha temperatura. Luego, en el transcurso del mismo día se almacenaron los frutos por al menos 4 horas en una cámara de crecimiento a 35 ± 1 °C para realizar los escaneos correspondientes. Los frutos se almacenaron esa noche a 22 ± 2 °C para al día siguiente analizar el contenido de MS. Para ello, de la zona marcada en el cuello, se eliminó la cáscara y se tomaron 5 g de pulpa fresca, la cual se deshidrató en una estufa de secado (Binder Mod ED-240, Fulttinger, Germany) a 60 °C durante 72 horas. El cálculo de MS se

realizó mediante la siguiente ecuación: $\% \text{ MS} = (\text{Peso seco} / \text{Peso fresco}) \times 100$ y éstos constituyeron los valores de referencia.



Figura 2. Escaneo de frutos de aguacate 'Hass' mediante espectrómetro F-750.

Los valores obtenidos mediante el escaneo y los valores de referencia fueron cargados al espectrómetro F-750, el cual, con el software 'Model Builder', identifica la correlación entre los escaneos y los valores de referencia usando la regresión no lineal iterativa de los cuadrados mínimos parciales (Sjostrom y Wold, 1983). El resultado es el modelo de predicción que se carga en el espectrómetro y posteriormente se valida en campo realizando cientos o miles de escaneos donde se correlacionan, en este caso, el valor de MS obtenido por el equipo contra el valor de MS obtenido de manera convencional. Si la correlación es > 0.80 , entonces se considera que el modelo es útil para determinar de manera no destructiva el contenido de MS de frutos de aguacate 'Hass' y se tendría una alternativa más rápida y confiable para autorizar cosechas en huertos destinados a la exportación.

Resultados y Discusión

El tamaño de los frutos de aguacate 'Hass' varió desde calibre comercial hasta Extra (NMX-FF-016, 2006). Las dos primeras categorías estuvieron conformadas por calibre comercial (85-135 g), la Categoría 3 por fruto mediano (136-170 g), la Categoría 4 por fruto de primera

(171-210 g) y la Categoría 5 por frutos Extra (211-265 g). Se observó que el contenido de MS determinado de manera destructiva varió de 12 a 28%, donde las Categorías 1 y 2 estuvieron por debajo del punto crítico de madurez legal, la Categoría 3 estuvo en el intervalo de madurez legal y las Categorías 4 y 5 por arriba de ese parámetro. Lo anterior indica que la variabilidad de las muestras de referencia fue adecuada para que el modelo pueda predecir adecuadamente el contenido de MS de frutos comerciales para autorización de cosecha.

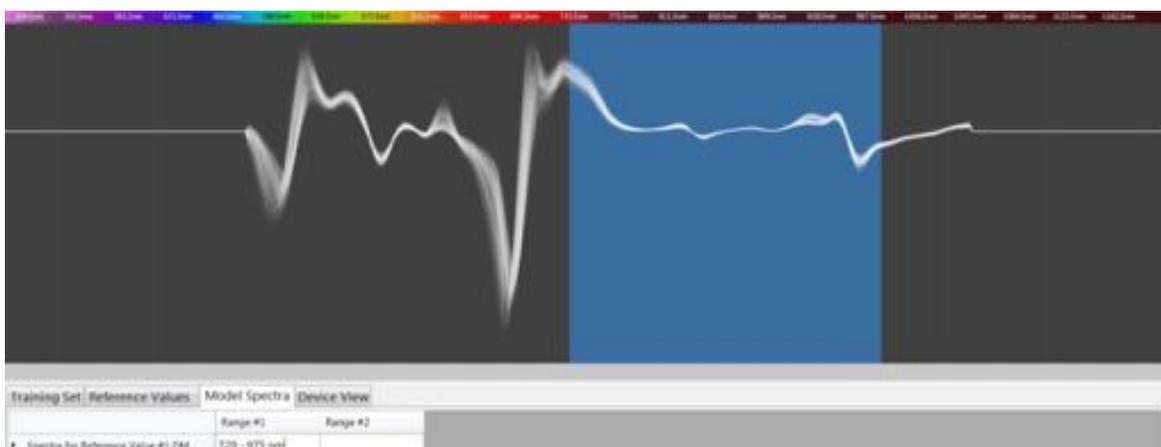


Figura 3. Bandas espectrales de frutos de aguacate 'Hass' de diferente contenido de MS, construidos por el software del espectrómetro F-750.

Cuadro 1. Caracterización de frutos de aguacate 'Hass' utilizados para generar el modelo de predicción con base al contenido de materia seca.

Categoría	Peso (g)		Contenido MS (%)		Tamaño muestra (n)
	Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.	
1	101.9	11.4	14.7	1.2	40
2	120.2	12.6	14.9	1.5	40
3	161.0	18.3	21.9	4.1	40
4	192.0	20.1	23.8	2.0	40
5	215.9	29.1	24.7	2.0	40

Construcción del modelo

El conjunto de los datos brutos se muestra en la Figura 3, donde se observa el espectro de los frutos en el rango de luz visible a cercano infrarrojo. En el rango de luz visible hubo mucha variación; sin embargo, el modelo ajusta automáticamente los datos en el rango de los 729 a 975 nm, donde las bandas se encuentran más uniformes. Lo anterior indica que

ese rango sería el óptimo para la construcción del modelo, ya que es precisamente en esa zona donde se encuentran las bandas de importantes carbohidratos (McGlone y Kawano, 1998).

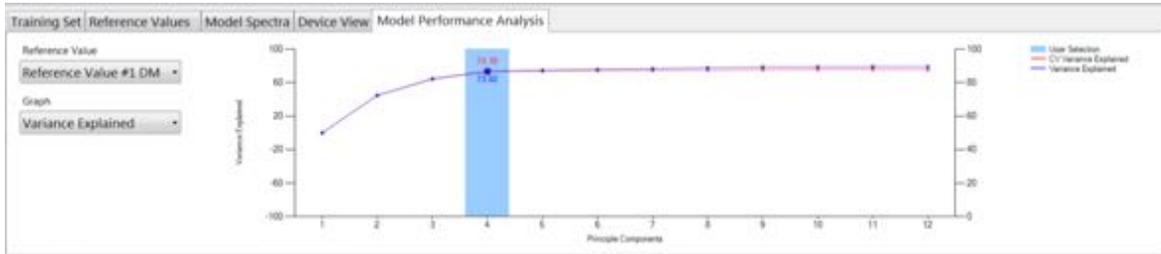


Figura 4. Análisis del desempeño del modelo con relación a la varianza explicada.

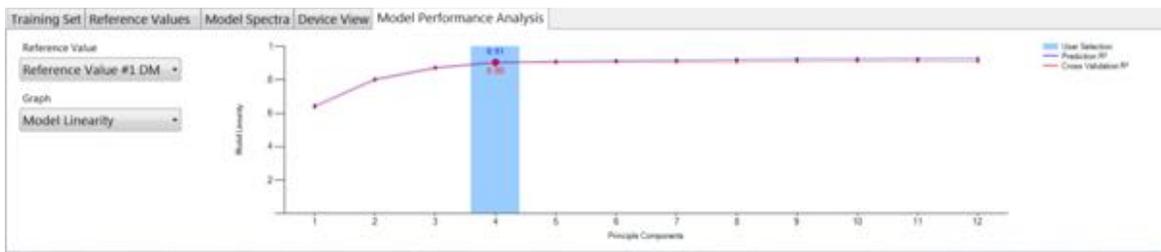


Figura 5. Análisis del desempeño del modelo con relación a la bondad de ajuste de la regresión.

Análisis del desempeño del modelo

Varianza explicada. La varianza de una variable aleatoria es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media. La varianza se mide en la unidad de medida de la variable al cuadrado y mientras mayor sea su valor, mayor es su precisión. El valor obtenido por el modelo es muy aceptable ya que se explica más del 73% de la variación (Figura 4).

Linealidad del modelo. Representa la bondad del ajuste de la regresión. Se indica que valores > 0.71 son deseables. En nuestro caso, se encontró una $R^2 = 0.91$ (Figura 5), la cual se considera muy buena y superior a la reportada por Wedding et al. (2010) para aguacate ‘Hass’ cultivado en Australia.

Error de predicción. Este valor es frecuentemente el más útil. Cuanto más se aproxima el valor de referencia, menor es el error de predicción y por consecuencia, el modelo es más preciso. En la Figura 6 se muestra la gráfica del error de predicción, la cual compara los valores de referencia contra los valores estimados. Su utilidad es que ayuda a determinar cuáles valores de referencia se encuentran fuera de rango y cuáles no ajustan bien dentro

de la regresión. En este estudio se observa que la mayoría de los valores de referencia encajan bien dentro de la regresión.

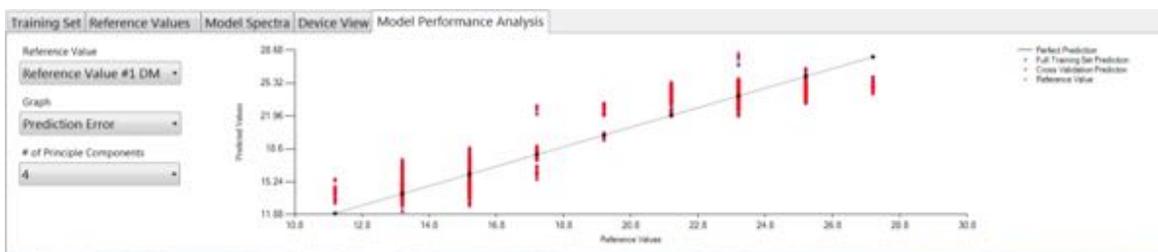


Figura 6. Análisis del desempeño del Modelo con relación al error de predicción.

Conclusiones

El rango de variabilidad de las muestras de referencia es adecuado para que al nivel comercial el modelo pueda predecir adecuadamente el contenido de materia seca en la pulpa de frutos de aguacate 'Hass'. El desempeño del modelo es satisfactorio ya que la varianza explicada, la linealidad y el error de predicción tuvieron valores muy aceptables.

Agradecimientos

Al INIFAP Proyecto 2-1.6-116132972-A-A.1-1 y al IICA-PROCINORTE por el financiamiento parcial para realizar esta investigación.

Literatura Citada

- APEAM, A.C. 2016. Estadísticas de embarques. <https://asociados.apeamac.com/> Consultado el 10 de julio de 2017
- Batten, G.D. 1998. An appreciation of the contribution of NIR to agriculture, *J. Near Infrared Spectroscopy* 6: 105–114.
- Batten, G.D. 2004. Hirschfeld Award Lecture. Near infrared spectroscopy: A key to more food, better food and a safer environment, *NIR News* 15: 4–8.
- Brown, B.I. 1984. Market maturity indices and sensory properties of avocados grown in Queensland. *Food Technol. Aust.* 37: 474–476.
- Charlebois, D., J.A. Osuna-García, C. Vigneault, R. Goenaga and S. Salazar-García. 2012. Reflectance spectroscopy to determine dry matter content in 'Hass' avocado fruit. Annual conference of the American Society for Horticultural Science. July 31-August 3, Miami, Florida.
- Davies, T. 2005. NIR spectroscopy. An introduction to near infrared spectroscopy. Karl H. Norris, *NIR News* 16: 9–11.
- Harker, F.R., S.R. Jaeger, P. Hofman, C. Bava, M. Thompson, and B. Stubbings. 2007. Australian consumers' perceptions and preferences for 'Hass' avocado. Report No. AV06025, Horticulture Australia Ltd, Sydney.
- Hofman, P.J. and M. Jobin-Décor. 1999. Effect of fruit sampling and handling procedures on the percentage dry matter, fruit mass, ripening and skin colour of 'Hass' avocado. *J Hort. Sci. Biotechnol.* 74: 277–282.
- <http://www.elfinanciero.com.mx/rankings/la-importancia-del-aguacate-para-mexico-en-graficas.html>. Recuperado el 10 de Julio de 2017.

- Kader, A.A. and M. L. Arpaia. 2000. Aguacate (Palta): Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Aguacate_Palta/
- Malley, D. and P. Williams. 2005. The future of near infrared spectroscopy: applications for the environment. *NIR News* 16: 20–22.
- McGlone A. V. and S. Kawano. 1998. Firmness, dry-matter and soluble solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 13: 131-141.
- Moron, A. and D. Cozzolino. 2003. Exploring the use of near infra- red reflectance spectroscopy to study physical properties and microelements in soils, *J. Near Infrared Spectroscopy.* 11: 145–154.
- NMX-FF-016-SCFI-2006. Productos alimenticios no industrializados para uso humano – Fruta Fresca – Aguacate (*Persea americana* Mill.) – Especificaciones.
- Ranney, C.A., G. Gillette, A. Brydon, S. McIntyre, O. Rivers, and C. A. Vasquez. 1992. Physiological maturity and percent dry matter of California avocado. In: *Proc. World Avocado Congress II, California*, pp. 379–385.
- SIAP. 2015. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, Producción anual por cultivo. Recuperado el 10 de julio de 2017 de <http://www.siap.gob.mx/agriculturaproduccion-anual/>.
- Sjostrom M. and S. Wold. 1983. A multivariate calibration problem in analytical chemistry solved by partial least-square models in latent variables. *Analytica Chimica Acta.* 150: 61-70.
- Wedding, B.B., R.D. White, S. Grauf, C. Wright, B. Tilse, P. Hofman and P.A. Gadec. 2011. Non-destructive prediction of 'Hass' avocado dry matter via FT-NIR spectroscopy. *J. Sci. Food Agric.* 91: 233-238.