EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Detección del grado de madurez de cosecha del aguacate Hass en ambientes no controlados

Carlos Meneses, Julio Chavarro

Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia

Resumen

El aguacate Hass se ha convertido en un producto fundamental como alternativa para el desarrollo del sector agrícola del país. En nuestro país es un cultivo relativamente nuevo y la calidad en las exportaciones depende en gran medida de lograr un nivel de madurez óptima en el momento de la cosecha. Las herramientas tecnológicas no invasivas que utilizan análisis de imágenes han demostrado ser prometedoras para abordar este problema, aunque su efectividad y características computacionales siguen siendo inciertas.

Estas herramientas utilizan repositorios de imágenes (datasets) del fruto a analizar, el cual contiene características únicas que deben garantizar la calidad del producto a exportar, estas características varían de acuerdo con el tiempo de cosecha y temperatura de almacenamiento, entre otras.

Este estudio propone un modelo computacional para la medición del grado de madurez de cosecha de aguacate Hass mediante el procesamiento digital de imágenes a partir de las características físicas del fruto, basado en repositorios de imágenes procesadas que permitan optimizar el proceso de selección del fruto.

El procesamiento de imágenes contribuye significativamente a proporcionar un método preciso, objetivo y consistente para evaluar la madurez, reducir el error humano y respaldar el proceso general de control de calidad.

Palabras clave: repositorio de imágenes; tiempo de cosecha; procesamiento digital de imágenes

Abstract

Hass avocado has become a fundamental product as an alternative for the development of the country's agricultural sector. In our country, it is a relatively new crop, and export quality depends

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4771

largely on achieving optimal ripeness at harvest. Non-invasive technological tools using image analysis have shown promise in addressing this problem, although their effectiveness and computational capabilities remain uncertain.

These tools utilize image repositories (datasets) of the fruit to be analyzed, which contain unique characteristics that must guarantee the quality of the product for export. These characteristics vary according to harvest time and storage temperature, among others.

This study proposes a computational model for measuring the degree of ripeness of Hass avocado harvests through digital image processing based on the physical characteristics of the fruit. This model is based on repositories of processed images that optimize the fruit selection process.

Image processing contributes significantly to providing an accurate, objective, and consistent method for assessing ripeness, reducing human error, and supporting the overall quality control process.

Keywords*: image repository; harvest time; digital image processing*

1. Introducción

Según (Uribe, 2018) , el cultivo de aguacate Hass es reciente en Colombia, apenas hace aproximadamente 2 décadas iniciativas particulares iniciaron con proyectos productivos de este fruto y recientemente se ha venido transformando en un pilar de desarrollo económico y social del país (Diaz, et al., 2019), (Minagricultura, 2017), donde uno de los propósitos principales es la participación en mercados internacionales. Las exportaciones de aguacate Hass superaron los 200 millones de dólares en 2023 y Colombia se ha convertido en el tercer exportador mundial según cifras de la Asociación Nacional de Comercio Exterior (Analdex, 2024). El panorama es promisorio para la industria aguacatera, sin embargo, la investigación y la adopción de tecnologías para el adecuado acompañamiento técnico del cultivo no crece en la misma proporción (Hurtado & Arias, 2023).

El aguacate es un fruto climatérico donde el nivel de madurez para consumo humano no se produce en el árbol sino después de la cosecha (Hershkovitz, et al., 2009), por esta razón es importante conocer el momento óptimo para cosechar la fruta. Determinar las características físicas del fruto de aguacate Hass para saber que está en su punto óptimo en el que se debe cosechar, se ha convertido en un reto debido a que no es fácil a simple vista determinarlas (Rocha, et al., 2010), (López, 2020). Los mercados internacionales requieren frutos de calidad y durabilidad del producto en el transporte.

De acuerdo con (Cerdas, et al., 2014), si un aguacate se cosecha antes de su punto óptimo para exportar, va tener en el mercado un proceso de maduración prematura, lo cual según (Gamble, et al., 2010) altera su sabor y textura pues al no alcanzar el porcentaje de materia seca adecuada, se presentan defectos internos que inciden en la percepción del consumidor. De otro lado, si

permanece demasiado en el árbol, aumentan los problemas fitosanitarios y su vida útil se verá reducida.

La determinación precisa del estado de madurez del aguacate en cosecha es un aspecto fundamental en la calidad de este. La decisión de cosechar un aguacate es de carácter visual, y depende de la experticia del cosechador. En Colombia por ser un cultivo nuevo, muchos productores no tienen la suficiente experiencia y en su deseo de aumentar volúmenes de exportación, cosechan y agrupan frutos con diversos tiempos deformación.

Para medir el grado de madurez y calidad del fruto se emplean técnicas invasivas como el contenido de materia seca (CMS), el contenido de aceite (CA) y el contenido de clorofila en la cáscara (Hofman, et al., 2013). Estas técnicas por ser técnicas destructivas presentan desventajas pues requieren mucho tiempo para una preparación precisa de la muestra, además del error humano involucrado durante la selección aleatoria de muestras y del análisis manual. Las técnicas analíticas basadas en análisis de imágenes ofrecen ventajas en la detección (no invasiva) de los parámetros de madurez y de calidad del fruto del aguacate (Magwaza & Tesfay, 2015).

La falta de tecnologías automatizadas para realizar una cosecha adecuada del fruto es una problemática actual. La determinación del estado de madurez óptimo del aguacate Hass en el momento de cosecha, se traduce en mayor calidad del fruto y ganancias económicas.

En la mayoría de las soluciones propuestas a partir de imágenes digitales, no se especifican las técnicas utilizadas y en otras, no se indica el modelo computacional subyacente. No se tienen referencias en el ámbito nacional, de estudios soportados en modelos computacionales para determinar el nivel óptimo de madurez en cosecha de un aguacate Hass. Este trabajo propone un modelo computacional que permite conocer el nivel de madurez de cosecha del aguacate Hass en el contexto colombiano, basado en técnicas de procesamiento digital de imágenes.

2. Antecedentes

Un estudio realizado por Herrera et Al. (Herrera, et al., 2017). permite conocer indicadores preliminaries de madurez fisiológica y comportamiento de los frutos durante el proceso de maduración poscosecha, basados en indicadores visuales de madurez como la luminosidad, color y matiz (tonalidad) de la cascara y el tamaño, entre otros.

La clasificación de frutos para exportación se lleva a cabo mediante el aprendizaje automático (Machine Learning) y su objetivo es estudiar y construir algoritmos que pueden aprender y hacer predicciones sobre los datos recolectados. Algunos estudios como el indicado en (Opara, 2020), señalan que los algoritmos más comunes son redes neuronales, regresión no lineal, agrupación jerárquica, árbol de decisión, lógica difusa, análisis discriminante lineal y procesamiento digital de imágenes, entre otros . En la mayoría de las soluciones propuestas a partir de imágenes digitales, no especifican las técnicas utilizadas y en otras, no se indica el modelo computacional subyacente.

Por otro lado, Los datasets de imágenes agrícolas han sido utilizados para mejorar procesos como la clasificación de productos, detección de defectos y predicción de calidad; sin embargo, la disponibilidad de datasets específicos para aguacate Hass es limitada.
Los datasets etiquetados son esenciales para entrenar modelos de IA que automaticen procesos como la clasificación y detección de defectos. Estos modelos han demostrado ser efectivos en otros cultivos, pero su aplicación en aguacate Hass aún está en desarrollo.

Un modelo computacional a partir de un repositorio de imágenes de aguacate Hass puede impulsar la innovación en la agroindustria, facilitando la implementación de tecnologías inteligentes y mejorando la eficiencia en la cadena de suministro.

El desarrollo de tecnologías automatizadas ha permitido la estimación de atributos de algunos productos hortícolas, basadas en características ópticas. Para los frutos de aguacate Hass se han implementado métodos no destructivos que incluyen técnicas basadas en imágenes espectrales (Cubero, et al., 2011) (Guerrero & Benavides, 2014) y se han modelado los cambios de calidad durante el almacenamiento, mediante la implementación de una red neuronal artificial (ANN) y técnicas hiperespectrales (Maftoonazad, et al., 2009).

Diversos estudios se enfocan en la evaluación de atributos de calidad específicos, pero no integran la evaluación cuantitativa de atributos de calidad externos e internos en un solo sistema. Actualmente, se han implementado diferentes estrategias con el fin de encontrar métodos no destructivos, rápidos, seguros y fáciles para la determinación del índice de madurez de cosecha de los frutos de aguacate Hass, basado en el procesamiento de imágenes.

En (Arzate, 2011) se presenta una metodología basada en procesamiento de imágenes mediante un sistema de visión computacional, para la evaluación de parámetros como color, firmeza y pérdida de masa relacionados con proceso de maduración de frutos de aguacate Hass. Igualmente, otra investigación desarrollada propone un algoritmo basado en el procesamiento digital de imágenes de frutos de aguacate Hass para la clasificación de acuerdo con su grado de madurez. De otro lado, se ha realizado un estudio basado en el análisis de imágenes digitales mediante un sistema de visión computacional para mejorar el proceso de inspección de calidad de los frutos de aguacate Hass (Calvo, et al., 2015). Otros estudios muestran la estimación del contenido de materia seca en frutos de aguacate Hass para la determinación de la madurez, mediante la implementación de un modelo de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) con el uso espectroscopía infrarroja (Wedding, et al., s.f.) otro modelo usando espectroscopía (Osuna & Toivonen, 2017).

Con el fin de abordar los desafíos asociados a la forma irregular, tamaño y colores variables de los frutos, se han realizado diversas investigaciones que comprenden adquisición de la información, su procesamiento, extracción de características y algoritmos de clasificación implementados en un solo Sistema (Gongal, et al., 2015).

Para adquisición de datos, se utilizan técnicas no destructivas, que como se mencionó anteriormente, es uno de los requisitos de mayor relevancia, y se adquieren en forma de imágenes, información espectral o valores discretos de tipo numérico o caracteres (Nturambirwe & Opara,

2020). El procesamiento incluye una fase de pre- procesamiento mediante la implementación de diferentes técnicas de estimación geométrica e intensidad, y una fase de segmentación para la extracción de la región de interés de una imagen basada en el brillo, color, escala de valores de grises, textura y bordes. (Hameed, et al., s.f.).

La extracción de características, se relaciona con descriptores de forma, mediante el uso parámetros geométricos que incluyen área, perímetro, varianza circular, diámetro, distancia radial, variancia elíptica, distancias máxima y mínima al centro de masas, entre otras (Hameed, et al., s.f.), además, de las características de color que permite discriminar entre frutos, hojas, ramas y otros objetos de fondo, usando descriptores en formato RGB (Kuś, et al., 2018). La clasificación se lleva a cabo mediante el aprendizaje automático (Rehman, et al., 2019) y su objetivo es estudiar y construir algoritmos que pueden aprender y hacer predicciones sobre los datos recolectados. Algunos de los algoritmos más comunes incluyen redes neuronales, regresión no lineal, agrupación jerárquica, árboles de decisión, lógica difusa, análisis discriminante lineal, entre otros (Nturambirwe & Opara, 2020).

Algunas técnicas de procesamiento digital de imágenes en formato RGB junto con redes neuronales han servido para monitorear los procesos de maduración de los aguacates Hass en poscosecha para ambientes controlados, corroborando su precisión cercana al 88% frente a indicadores de madurez, basados en contenido de materia seca y logrando predecir el tiempo en días para madurez de consumo en condiciones climáticas determinadas (Jaramillo, et al., 2020).

3. Definición del Problema y pregunta de investigación

Definición del problema: Se identifica la carencia de modelos computacionales con procesamiento digital de imágenes para determinar el grado de madurez en cosecha de un aguacate Hass, con la disponibilidad de un repositorio de imágenes de frutos de aguacate Hass, clasificadas y etiquetadas.

Pregunta de Investigación: ¿Existen modelos computacionales para determinar el grado de madurez en cosecha de aguacate Hass, soportado en procesamiento digital de imágenes de frutos, clasificadas y etiquetadas mediante un repositorio?

4. Justificación

Radica en la necesidad de optimizar y mejorar la precisión en la determinación del grado de madurez del aguacate Hass durante su cosecha. Actualmente, los métodos tradicionales para evaluar la madurez pueden ser subjetivos y depender de la experiencia del productor, lo que puede resultar en variabilidad en la calidad del producto final.

El desarrollo de un modelo computacional basado en procesamiento digital de imágenes permitirá una evaluación objetiva y automatizada, reduciendo la incertidumbre en la toma de decisiones y garantizando que los frutos cosechados cumplan con los estándares de calidad requeridos para su

comercialización. Además, esta tecnología podría agilizar el proceso de selección, minimizando pérdidas económicas y optimizando la eficiencia en la cadena de producción.

Este enfoque podrá contribuir a la implementación de técnicas de agricultura de precisión, facilitando el monitoreo y control de la madurez del aguacate de manera no invasiva. Con ello, se favorecerá la competitividad del sector agrícola al integrar herramientas tecnológicas avanzadas que permitan mejorar la calidad del producto y maximizar los rendimientos.

La determinación del estado óptimo de madurez del aguacate Hass en el momento de la cosecha se traduce en una mayor calidad del fruto y en ganancias económicas para el productor. Por ello, la aplicación de tecnologías automatizadas no invasivas, como el procesamiento digital de imágenes, permitiría al productor ofrecer un producto de alta calidad que garantice al consumidor un alimento con los nutrientes ideales.

Adicionalmente, la creación de un dataset garantiza la estandarización en la evaluación de los frutos. Esto facilita la adopción de criterios uniformes en distintas regiones y mercados, mejorando la coherencia en las evaluaciones de calidad. Este repositorio puede ser utilizado como herramienta educativa para estudiantes y profesionales en áreas como visión por computador, IA aplicada y agroindustria, proporcionando un recurso práctico para el aprendizaje.

5. Los Objetivos

Objetivo Principal: Desarrollar un modelo computacional con procesamiento digital de imágenes para determinar el grado de madurez en cosecha de un aguacate Hass.

Objetivos específicos:

a) Construir un Repositorio de imágenes preprocesadas y etiquetadas de aguacate Hass que facilitando la clasificación y uso de este.
b) Determinar el conjunto de elementos inherentes al problema que son identificados mediante el procesamiento digital de imágenes.
c) Determinar las técnicas de procesamiento digital de imágenes para establecer la medición de las características de madurez del aguacate Hass.
d) Definir un modelo para la medición del nivel de madurez de aguacate Hass.
e) Validar el modelo mediante correlación con marcadores fisicoquímicos

6. Metodología

La metodología está diseñada para garantizar un enfoque sistemático y eficiente en el desarrollo del proyecto. Se basa en el planteamiento de actividades que permiten resolver cada uno de los objetivos planteados y deriva en el desarrollo de los productos propuestos.

Objetivo 1: Para alcanzar este objetivo hay que desarrollar las siguientes actividades:

Determinar las variables y condiciones del entorno a considerar en el Dataset (repositorio), a partir de las características físicas del aguacate Hass.
Crear el repositorio a partir de una representativa cantidad de imágenes de aguacate Hass en las condiciones determinadas para garantizar la calidad de los datos obtenidos.

Aplicar técnicas de preprocesamiento para la estandarización y garantía de calidad de las imágenes.

Diseñar el sistema de etiquetado estructurado a partir de metadatos establecidos de las variables consideradas.

Desarrollar el sistema para el manejo y uso del dataset, que facilite la clasificación, el acceso e interfaz de conectividad para otras aplicaciones inteligentes que lo vayan a usar.

Objetivo 2: A partir de este objetivo se definen los atributos relevantes, como color, textura, tamaño y forma, que pueden indicar el estado de madurez del fruto, esto a partir del dataset construido que es loa base para la identificación de las características físicas del fruto.

Objetivo 3: Para determinar las técnicas de procesamiento digital de imágenes que permitan medir las características de madurez del aguacate Hass, es necesario realizar:

El análisis de técnicas existentes sobre procesamiento digital de imágenes aplicado a la agricultura, identificando métodos relevantes para la evaluación de la madurez de frutos.

La selección de algoritmos de procesamiento comparando diferentes técnicas como segmentación de imágenes, análisis de textura, extracción de características y clasificación basada en aprendizaje automático;

La determinación de las técnicas de filtrado, normalización y eliminación de ruido para mejorar la calidad de las imágenes antes del análisis;

Correlacionar las características visuales con el grado de madurez; comparación de los resultados obtenidos con mediciones físicas y químicas de madurez para afinar la precisión de los métodos utilizados.

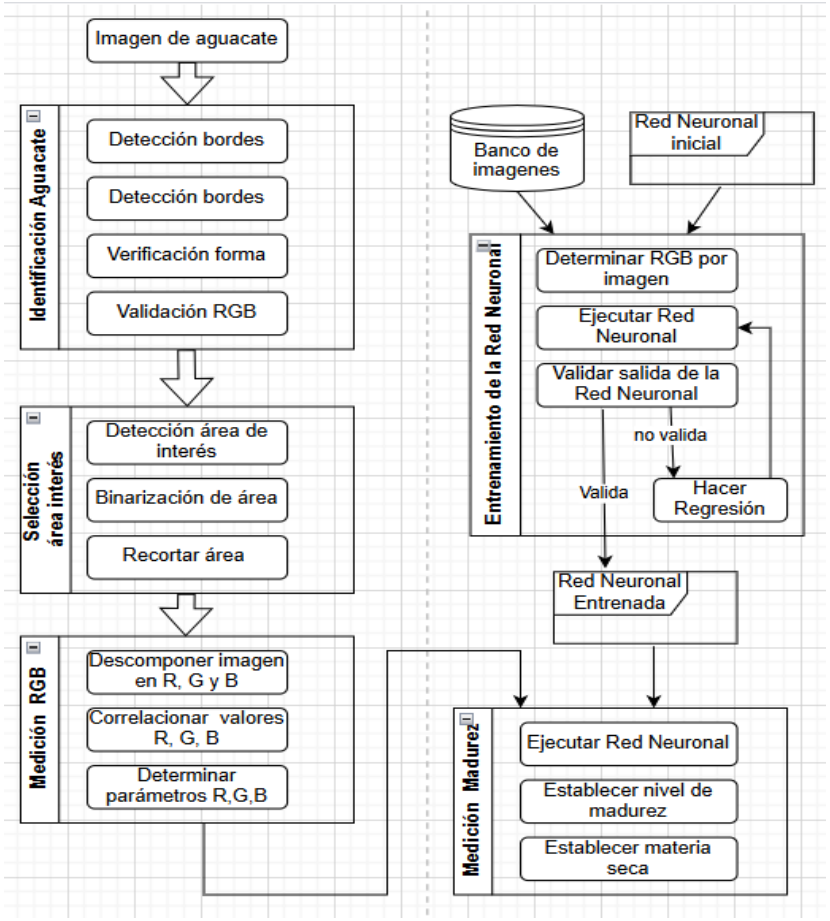
Objetivo 4: Se define la estructura del modelo para la medición del nivel de madurez de aguacate Hass. Se parte del repositorio de imágenes, se realiza el proceso de entrenamiento del sistema determinando del grado de madurez para cada una de las imágenes de entrenamiento.

Objetivo 5: Una vez se tiene el sistema entrenado se debe aplicar para identificar el grado de madurez de un fruto de aguacate Hass a partir de una imagen digital, realizando una verificación a partir de los datos fisicoquímicos del fruto, que sirven de línea base para la validación del modelo.

7. El Modelo propuesto

Se presenta una propuesta inicial del modelo basado en el uso de redes neuronales convolucionales para el entrenamiento del sistema. En el proceso de elaboración del modelo es importante determinar algunas restricciones que se deben tener para garantizar la validez de la imagen a ser considerada. Entre las restricciones, se debe tener el nivel de iluminación de la imagen, el tamaño relativo del objeto de interés, la resolución y el tipo de imagen que se va a analizar, que para este caso se trata es en formato RGB. (ver figura 1)

Una imagen sobrexpuesta a la luz o con bajo nivel de iluminación no permite identificar claramente el objeto de interés y además altera los valores de los datos asociados a este.



El modelo es para determinar el grado de madurez de un aguacate Hass, el cual se considera el objeto de interés dentro de la imagen. El procesamiento de la imagen se realiza en cuatro fases: Entrenamiento, Ajustes iniciales, Segmentación o preprocesamiento y análisis.

En la fase de entrenamiento, se toman imágenes del dataset de aguacates para validar su grado de maduración correlacionando con datos de variables fisco-químicas. Esto con el fin de determinar los rangos válidos de valores en las variables del modelo, las cuales corresponden a coloración roja, verde y azul (extraídas del formato RGB), brillo, luminosidad.

En la fase de ajustes iniciales, a la imagen se le aplica un algoritmo para hacer ajustes de contraste a la imagen. Los colores en una imagen se pueden ver alterados por el tiempo de obturación en la cámara o por el nivel de iluminación del objeto de interés al momento de capturar la imagen. Por lo tanto, es importante adecuar los colores a un rango válido para su procesamiento y análisis de los datos.

La fase de segmentación incluye algoritmos en los que se valida la existencia del objeto de interés en la imagen. Se utiliza un algoritmo de detección de bordes y posteriormente se identifica el aguacate de acuerdo con la forma cerrada y esférica validando en el interior la coloración adecuada y además se selecciona un solo objeto para determinarlo como el objeto de interés.
La tercera fase permite determinar el grado de madurez del aguacate mediante el análisis de las variables de interés en el modelo, contrastadas con los rangos de los valores de las variables establecidas en el procesamiento de las imágenes de entrenamiento para la red neuronal.

8. Contribuciones o aportes esperados

Los aportes esperados con este trabajo de investigación son:

- Repositorio de imágenes preprocesadas y etiquetadas de aguacate Hass
- Modelo computacional desarrollado.
- Socialización con ponencias en eventos científicos:
    - Simposio Doctoral ACOFI 2025
    - XVIII Congreso Colombiano de Computación.
    - XI Jornadas Iberoamericanas de Interacción Humano Computadora (JIHCI)
- Artículos científicos
- Proyecto de Maestría.

9. Referencias

- Analdex, 2024. *Analdex - Retos de producción, logísticos y climáticos, los principales dolores de cabeza para las exportaciones del aguacate Hass.* [En línea] Available at: https://www.analdex.org/2024/05/29/retos-de-produccion-logisticos-y-climaticos-los-principales-dolores-de-cabeza-para-las-exportaciones-del-aguacate-hass/ [Último acceso: 15 jul 2024].
- Arzate, I., 2011. Image Processing Applied to Classification of Avocado Variety Hass (Persea americana Mill.) During the Ripening Process. *Food Bioprocessing Technology,* Volumen 4, pp. 1307-1313. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0595-6
- Calvo, H., Moreno, M. & Godoy, S., 2015. A practical framework for automatic food products classification using computer vision and inductive characterization. *Neurocomputing,* 175(Part B), pp. 911-923. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.06.095
- Cerdas, M., Montero, M. & Somarribas, O., 2014. Verificación del contenido de materia seca como indicador de cosecha para aguacate (Persa americana) cultivar Hass en zona intermedia de producción de de los Santos Costa Rica. *Agronomia Costarricense,* 38(1), pp. 207-214.

- Cubero, S. y otros, 2011. Advances in Machine Visión Applications for Automatic Inspection an Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. *Food and Bioprocess Technology* , 4(4), pp. 487-504. https://doi.org/10.1007/s11947-010-0411-8
- Diaz, J. C., Ardila, C. & Guerra, M. A., 2019. Estudio de caso sobre la admisibilidad del aguacate Hass colombiano en el mercado estadounidense: oportunidades en el Este de Asia. *Revista Mundo Asia Pacífico,* 8(14). https://doi.org/10.17230//map.v8.i14.01
- Gamble, J. y otros, 2010. The impact of dry matter, ripeness and internal defects on consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase. *Postharvest Biology and Technology,* Jul, *57*(1), pp. 35-43. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.01.001
- Gongal, A. y otros, 2015. Sensors and systems for fruit detection and localization: A review. *Computers and Electronics in Agriculture - Elsevier,* Volumen 116, pp. 8-19. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.021
- Guerrero, E. & Benavides, G., 2014. Automated system for classifying Hass avocados based on image processing techniques. *IEEE Colombian Conference on Comunications and Computing, COLCOM 2014 - Conference Proceedings.*
- Hameed, K., Chai, D. & Rassau, A., s.f. A comprehensive review of fruit and vegetable classification techniques. *Image and Vision Computing,* Dec, Volumen 80, pp. 24-44. https://doi.org/10.1016/j.imavis.2018.09.016
- Herrera, J., Salazar, S., Martinez, H. & Ruiz, J., 2017. Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento poscosecha del fruto de aguacate Mendez. *Fitotecnia Mexicana,* 40(1), pp. 55-63. https://doi.org/10.35196/rfm.2017.1.55-63
- Hershkovitz, V. y otros, 2009. Induction of ethylene in avocado fruit in response to chilling stress on tree. *Journal Plant Phisiology,* nov.pp. 1855-1862. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.05.012
- Hofman, P. J., Bower, J. & Woolf, A., 2013. Harvesting, packing, postharvest technology, transport and processing. The avocado: botany, production and uses. *CABI Digital Library,* pp. 489-540. https://doi.org/10.1079/9781845937010.0489
- Hurtado, A. & Arias, J. S., 2023. *Biología reproductiva y alternancia del aguacate Hass en el trópico andino de Caldas,* Manizales: s.n.
- Jaramillo, C., Choque, W., Guerrero, G. & Meneses, C., 2020. Hass avocado ripeness classification by mobile devices using digital image processing and ANN methods. *International Journal of Food,* 16(12). https://doi.org/10.1515/ijfe-2019-0161
- Kuś, Z., Cymerski, J., Radziszewska, J. & Nawrat, A., 2018. Applying Colour Image-Based Indicator for Object Tracking. *Studies in Systems, Decision and Control - Springer International Publishing,* Volumen 106, pp. 23-33. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64674-9_2
- López, E., 2020. *Efecto de la reducción de la floración con ácido giberélico sobre la producción del aguacate,* Valencia: s.n.
- Maftoonazad, N., Karimi, H. & Pradher, H., 2009. Artificial Neural Network Modeling of Hyperspectral Radiometric Data For Quality Changes Associated With Avocados During. *Journal of Food Processing and Preservation,* 35(4), pp. 432-446. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00485.x
- Magwaza, L. S. & Tesfay, S., 2015. A Review of Destructive and Non-destructive Methods for Determining Avocado Fruit Maturity. *Food and Bioprocess Technology,* 01 Oct, 8(10), pp. 1995-2011.
- Minagricultura, 2017. *Memorias al congreso de la República 2018-2019,* s.l.: s.n.
- Nturambirwe, L. & Opara, U., 2020. Machine learning applications to non- destructive defect detection in horticultural products. *Biosystems Engineering,* 01 Jan, Volumen 189, pp. 60-83. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.011
- Opara, J. F. I. N. a. U. L., 2020. Machine learning applications to non-destructive defect detection in horticultural products. *Biosystems Engineering,* pp. 60-83. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.011

- Osuna, J. & Toivonen, S. S. G. R. G. y. J., 2017. Modelo No Destructivo Para Determinar Madurez. *Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate,* 4(420-428), pp. 420-428.
- Rehman, T., Mahmud, M., Chang, Y. & Jin, J., 2019. Current and future applications of statistical machine learning algorithms for agricultural machine vision systems. *Computers and Electronics in Agriculture,* Jan, Volumen 156 Elseiver, pp. 585-605. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.006
- Rocha, J. L., Salazar, S. & Bárcenas, A. E., 2010. Determinación irreversible a la floración del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 1(4).
- Uribe, R., 2018. Cartama, casi dos décadas dedicadas al aguacate Hass. *Semana,* 2 May.
- Wedding, B. y otros, s.f. Effects of seasonal variability on FT-NIR prediction of dry matter content for whole Hass avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology.*

Sobre los autores

- **Carlos Augusto Meneses Escobar**: Ingeniero de Sistemas y Computación, Magister en Instrumentación Física, Especialista en Administración de Sistemas Informáticos, estudiante de Doctorado en Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Pereira. Profesor titular. cmeneses@utp.edu.co
- **Julio César Chavarro Porras**: Ingeniero de Sistemas y Computación, Especialista en Instrumentación Física, Doctor en Ciencias de la Computación de Universidad del Valle. Profesor titular. jchavar@utp.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)