

Clasificación de madurez del Aguacate por medio de la Técnica de Espectroradiometría

RESUMEN: El aguacate es un fruto de gran importancia económica para la agroindustria de México, especialmente en la región occidente, debido a que gran parte de la producción se exporta. Garantizar la calidad del fruto es esencial para cumplir con los parámetros de exportación, que incluyen el grado de maduración y de materia seca (indicador del contenido de aceite). La mayoría de los métodos actuales de verificación de calidad son invasivos, causan daños significativos al fruto, requieren mucho tiempo y no se tiene una metodología estandarizada entre los productores. En este trabajo se propone un método no invasivo que mejore el proceso actual de evaluación de la calidad del aguacate, reduciendo las pérdidas y el tiempo empleado para la evaluación. Para ello, se propone analizar las características ópticas del aguacate mediante un espectrorradiómetro (ER). Esta técnica permite medir la distribución espectral de la radiación electromagnética reflejada por el fruto y proporciona información detallada sobre la intensidad luminosa en función de la longitud de onda. En este trabajo, usamos tres algoritmos de aprendizaje máquina Sequential Minimal Optimization (SMO), Bagging y Random Forest, para construir un modelo con la capacidad de clasificar automáticamente la calidad del aguacate en tres niveles de maduración: inmaduro, sazón y para guacamole. Los resultados preliminares son prometedores, ya que el método propuesto ha demostrado ser efectivo para determinar el grado de maduración y, por ende, la calidad del fruto. El presente trabajo permitió validar el uso de espectroradiometría, combinado con algoritmos inteligentes, como una solución no invasiva para evaluar la calidad del aguacate. Esta metodología podría ayudar a estandarizar el proceso de verificación de calidad, beneficiando a productores y exportadores al reducir pérdidas y tiempos de espera.

PALABRAS CLAVE: Calidad del aguacate, pruebas no destructivas, espectroscopia



Colaboración

Olga Edith Mireles Preciado; Marco Antonio Meza Aguilar; Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán; Humberto Pérez Espinosa, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE); Gregorio Luna-Esquivel, Universidad Autónoma de Nayarit

Fecha de recepción: 13 de marzo 2024

Fecha de aceptación: 11 de julio de 2024

ABSTRACT: The avocado is a fruit of great economic importance for the agro-industry in Mexico, especially in the western region, as a large part of the production is exported. Ensuring the quality of the fruit is essential to meet export parameters, which include the degree of ripeness and dry matter (an indicator of oil content). Most current quality verification methods are invasive, cause significant damage to the fruit, require a lot of time, and lack a standardized methodology among producers. This work proposes a non-invasive method to improve the current avocado quality evaluation process, reducing losses and the time required for evaluation. To this end, we suggest analyzing the optical characteristics of avocado using a spectroradiometer (ER). This technique allows measuring the spectral distribution of electromagnetic radiation reflected by the fruit and provides detailed information about light intensity as a function of wavelength. In this study, we used three machine learning algorithms: Sequential Minimal Optimization (SMO), Bagging, and Random Forest, to build a model capable of automatically classifying avocado quality into three levels of ripeness: immature, ripe, and for guacamole. The preliminary results are promising, as the proposed method has proven effective in determining the degree of ripeness and, therefore, the quality of the fruit. This work validated spectroradiometry and intelligent algorithms as a non-invasive solution for evaluating avocado quality. This methodology could help standardize the quality verification process, benefiting producers and exporters by reducing losses and waiting times.

KEYWORDS: Avocado Quality, Non-Destructive Testing, Spectroscopy.

INTRODUCCIÓN

En en los estados de Jalisco y Michoacán en México, la producción de aguacate ha aumentado significativamente en los últimos 15 años, convirtiéndose en una actividad económica vital para el estado fortaleciendo la economía de la región. México, como principal productor y exportador mundial de aguacate, ha visto incrementada su producción agrícola considerablemente en los últimos años. En términos económicos, la industria del aguaca-

te ha traído muchos beneficios, como el aumento del empleo y la reducción de la pobreza y la migración, [1]. Sin embargo, existen algunas prácticas que relentizan la evaluación de la calidad del producto y generan mermas. Por lo tanto, es necesario hacer más sostenibles los procesos de producción y distribución del aguacate mejorando las prácticas agrícolas. En la actualidad, los productores y distribuidores han implementado diversos métodos para estimar la calidad del aguacate [2], los más comunes son procedimientos manuales que implican partir el fruto y realizar una inspección manual de la pulpa para evaluar su maduración. Estos métodos, aunque son útiles, generan pérdidas significativas tanto en el producto como en los costos de mano de obra, además de requerir un tiempo considerable para obtener los resultados. Esto subraya la importancia de desarrollar técnicas eficientes y no destructivas para estimar automáticamente la etapa de maduración y calidad del fruto especialmente para grandes lotes.

Entre los atributos de calidad del aguacate que deben ser analizados se encuentran la madurez, la textura, la materia seca y el diámetro de la semilla (ARAYA et al., 2006). Evaluar estas características es fundamental para determinar el destino del fruto, ya sea para el mercado nacional o internacional. La espectrorradiometría, en este contexto, surge como una solución prometedora, [3] [4]. En el presente trabajo se presenta un método para determinar la madurez del aguacate utilizando la técnica de espectrorradiometría. Esta técnica puede ser útil para los productores de aguacate, ya que midiendo la madurez del fruto de manera no destructiva podría disminuir la merma, [5].

Se han propuesto diferentes técnicas para verificar la calidad del aguacate sin destruirlo. Por ejemplo, una técnica se basa en el análisis acústico del sonido producido al percutir el aguacate con un material específico, clasificando el fruto sin dañarlo. En el trabajo de [6] [7], se propone una plataforma inteligente que utiliza análisis de audio para estimar de manera no destructiva parámetros clave de calidad del aguacate, como el peso de la semilla, el índice de materia seca, el estado de madurez y la madurez uniforme. Los resultados mostraron alta precisión y correlación en la estimación de la calidad del aguacate. En otro artículo [8], se usa vibración acústica para evaluar la calidad de la fruta de manera no invasiva. El sistema de medición incluye dispositivos de excitación, sensores de detección y módulos de procesamiento de señales. Otros estudios se centran en análisis químicos y organolépticos [9], cuyo objetivo principal es conservar la calidad del aguacate durante el mayor tiempo posible para su transporte. Estos enfoques comparten el objetivo de mejorar la eficiencia y precisión en la evaluación de la calidad del fruto. Por otra parte, la espectrorradiometría ha demostrado ser una técnica versátil con aplicaciones en diversas áreas de estudio [2]. En biología, se utiliza para obtener información química de tejidos biológicos de

manera no destructiva, identificar células cancerígenas y no cancerígenas sin necesidad de marcadores, y detectar microorganismos rápidamente.

En la industria alimentaria, sirve para caracterizar mieles, ácidos grasos, identificar azúcares con estructuras similares y analizar aditivos y colorantes, entre otros [10] [11]. La espectrorradiometría se usa para medir la calidad de diferentes frutos ya que el color es un atributo clave para determinar la calidad y el valor nutricional de un fruto. La cuantificación de los pigmentos responsables de la coloración mediante técnicas no destructivas es muy útil en la industria agroalimentaria para estimar la calidad interna y externa del fruto, definir su etapa de maduración y determinar el tiempo óptimo de cosecha [12]. Como un ejemplo de esto es la valoración de la cantidad de agua en las fresas, ya que este parámetro indica la calidad del fruto [13]. Por otra parte, el método propuesto por [14] evalúa la madurez del aguacate después de la cosecha utilizando imágenes hiperespectrales y aprendizaje profundo. Se entrenó una red neuronal convolucional (CNN) con imágenes de aguacates Hass para predecir los días desde el momento actual hasta la madurez, logrando un error promedio de 1.17 días. Así mismo, se ha evaluado el efecto de recubrimientos de quitosano en la calidad y vida útil de aguacates Hass utilizando imágenes hiperespectrales junto con técnicas de aprendizaje automático para estimar indicadores de calidad [15]. Se encontró que las redes neuronales bayesianas regularizadas superan a otras técnicas de aprendizaje automático en la estimación de atributos de calidad a partir de características de imágenes hiperespectrales, permitiendo una evaluación no destructiva en tiempo real.

Estos antecedentes destacan el potencial de la espectrorradiometría para ser aplicada en la evaluación de la madurez del aguacate. En este artículo se expone el trabajo realizado con espectrorradiometría para determinar la maduración del aguacate en el momento de su corte. Los resultados obtenidos permiten clasificar los frutos en tres categorías: inmaduro, adecuado para guacamole (exportación) y fresco-sazón (mercado nacional). El propósito del estudio es validar que este método es útil para analizar la calidad del fruto sin dañarlo, y que puede ser la base para desarrollar una herramienta valiosa para los productores y empacadoras en la toma de decisiones sobre la cosecha y comercialización del aguacate.

MATERIALES Y METODOS

Dentro de esta sección se definen el procedimiento de adquisición para la toma de muestras en campo, esto es debido a que se tienen diferentes tipos de madurez de fruto dentro de la huerta, esta actividad se llevó a cabo bajo la supervisión del equipo de investigación experta. Además, se indica el método planeado para la captura de imágenes espectrales en el laboratorio con la ayuda de un prototipo de toma de pruebas, este

prototipo nos permite aislar la luz del sol no deseada para solo medir la luz reflejada del fruto. Por último, aquí se definen los materiales utilizados para realizar de este proyecto.

Metodología

Aquí se describen los pasos realizados para la recolección de imágenes, métricas y análisis de datos espectrales. Como primer paso, se definió la clasificación de los aguacates a partir de su madurez en tres tipos: como clase uno “inmaduro” (no cumple con la madurez mínima necesaria), como clase dos “para guacamole” (tiene la madurez adecuada para exportación) y como clase tres “fresco-sazón” (demasiado maduro para exportación, por lo que se designa para consumo local). Esta clasificación es basada en lo establecido en [16], donde indica que la maduración del fruto está directamente relacionada con el tiempo que permanece unida al árbol. Como segundo paso, se procedió a definir la cantidad de muestras requeridas para ser analizadas por cada clase. El conjunto de datos se compuso de 25 aguacates de clase inmaduro, 25 de la clase para guacamole y 25 para la clase fresco-sazón (ver Figura 1).



Figura 1. Recolección y embalaje de aguacates tipo Hass y Méndez de huerta. Fuente: Elaboración propia.

En este punto es muy relevante comentar que la definición de cantidad de muestras está limitada por el ciclo de floración de los huertos, esto es debido a que se requiere tener muestras de las tres clases y para eso debemos de contar con árboles que contengan este tipo de frutos. Es por eso que se obtuvieron 25 aguacates de cada una de las tres clases. Para el tercer paso, se definió el tiempo y lugar adecuado para acudir a cortar las muestras con presencia de miembros del equipo, los cuales son expertos en identificar las muestras adecuadas directamente de los árboles, garantizando en todo momento tener frutos de las tres clases. Además, en este paso, se define el lugar en donde se almacenarán las muestras (laboratorio del CICESE) y la temperatura ambiente idónea para su conservación (en este caso fue de 20° centígrados). Una vez obtenidas las muestras, se define el cuarto paso, en este se procede a realizar una captura de imagen de

cada muestra (utilizando un celular) en formato RGB (del Inglés Red, Green, Blue), a una distancia de 20 cm, con fondo blanco e iluminación artificial, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Captura de imágenes de cada tipo de aguacate. Fuente: Elaboración propia.

El quinto paso consta en realizar, un día después del corte, una serie de pruebas a las primeras 25 muestras. Primeramente, se toman las pruebas espectrales con el espectrorradiómetro dentro de un prototipo (ver Figura 3), el cual nos ayuda a reducir la luz ambiental que afecta directamente a las mediciones espectrales, las mediciones obtenidas en esta prueba son a través del software propio del instrumento (ILT950) y son transferidas a una base de datos en Excel con formato .CSV.

La segunda prueba consta en realizar la medición física de estos 25 frutos, desde la altura, peso, diámetro, grosor de piel, temperatura, peso del núcleo (hueso) y diámetro del núcleo con la ayuda de un instrumento de alta precisión llamado vernier. Para la tercera, se realiza el cálculo de la materia seca de estos frutos (este parámetro nos indica la cantidad de aceite en el fruto) de manera manual (ver Figura 4), para esto nos apoyamos de la fórmula establecida por la Secretaría de Economía y publicada en el Diario Oficial de la federación [17]:

$$\%MS = \frac{(PSF - PP) * 100\%}{PHN} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde los parámetros de la fórmula (1) son los siguientes: Ms es la materia seca, PSF es el peso seco del fruto después de la última deshidratación de la rebanada, PP es el peso del papel donde se coloca la rebanada del aguacate al meterlo al horno, PHN es el peso húmedo neto de la rebanada del fruto antes de ingresar al horno, la cual está definido en 10 gramos como máximo. Una vez que se tiene hechas las pruebas físicas, se procede a vaciar todos los valores obtenidos en la base de datos generada anteriormente, como se muestra en la Tabla 1. Como sexto paso, se procede a realizar las mismas tres pruebas del paso anterior pero esta vez dos días después del corte y tomando las otras 25 muestras, esta cantidad de tiempo se debe a

que el proceso de realizar las pruebas físicas es elevado y además se debe de vaciar los resultados a la base de datos manualmente. El séptimo paso, consta de realizar la misma cantidad de pruebas físicas para los últimos 25 aguacates, pero en el tercer día de su corte y de nuevo agregar estas mediciones a la base de datos generada al principio. A partir de la aplicación de metodología anteriormente mencionada, se generaron 300 muestras espectrales dentro de la base de datos (esto se debe a que se tomaron 4 tomas de cada aguacate de diferentes lados y cada una de estas muestras espectrales es un vector de frecuencias de 176 a 1307 Hz), posteriormente se procede a realizar una depuración de esta, donde el objetivo principal es eliminar toda información no relevante al proceso, principalmente se eliminan vectores que muestran un valor de cero Hz. La dimensión final de los vectores de las muestras quedo en 300 elementos con 402 características (desde 680 a 1307 Hz).

tos. Computadora, necesaria para generar la base de datos y análisis de las muestras. Las herramientas de software usadas para el análisis de los datos fueron: ILT950, este software es utilizado para leer los datos espectrales generados por los frutos. Excel fue empleado para crear la base de datos. Además, se usó una implementación de la técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA), para reducir la dimensionalidad de los datos. El software Weka fue usado crear, analizar y ejecutar experimentos sobre tareas de clasificación o de regresión.



Figura 4. Proceso de obtención de Materia Seca.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Los resultados presentados en esta sección son de las mediciones hechas a cada fruto y de los diferentes experimentos realizados en esta investigación. A continuación, se presenta unas de las mediciones realizadas a los frutos.

Tabla 1. Ejemplos de mediciones físicas del fruto.

No. Aguacate	Peso mg	alto mm	diámetro mm
AI1	138.3	79.5	59.84
AI2	123.7	78.18	57.04
AI3	150.5	82.72	60.26
AI4	178.7	88.8	62.91
AI5	130.4	85.34	55.23

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que las características que se midieron son: peso, alto, diámetro, temperatura, peso del hueso, alto del hueso, diámetro del hueso, grosor de la piel y materia seca.

Como prueba preliminar se realizaron pruebas de clasificación de espectros de tres diferentes frutos obteniendo excelentes resultados con frutos adquiridos para llevar a cabo el proceso antes de cortar los aguacates que se fueran a utilizar para este trabajo de forma definitiva. Dichos resultados preliminares se observan en la Figura 5.



Figura 3. Imagen del prototipo de toma de muestra.
Fuente: Elaboración propia 2023.

Materiales

Para llevar a cabo esta investigación, se necesitó de dos tipos de materiales, unos fueron físicos y otros de software. Dentro de los materiales físicos podemos mencionar los siguientes: tijeras, estas son necesarias para poder cortar los frutos directamente de los árboles sin llegar a lastimar al mismo. Cestas lecheras, en estas se depositan los frutos, ya que tienen una construcción física ideal para que el fruto tenga una mejor ventilación o enfriamiento según sea lo necesario. Vernier, instrumento de medición de alta precisión que permite obtener medidas físicas precisas de las muestras, como altura, diámetro, etc. Espectrorradiómetro-SpectrLight III, este es un instrumento que nos ayuda analizar los espectros generados por un objeto dentro de una banda de frecuencias, desde los 100 Hz hasta 10 GHz. Horno de microondas, es utilizado para deshidratar una porción del fruto dentro del proceso de obtención de materia seca. Bascula digital, es requerida para medir el peso de la porción del fruto utilizada para calcular la materia seca. Termómetro digital, se emplea para medir la temperatura del aguacate en diferentes tiempos del proceso. Cámara fotográfica de alta resolución (108 mega pixeles, con apertura de f/1.9), requerida para capturar las imágenes de los frutos. Prototipo de toma de muestra, este es usado para medir los espectros generados por los fru-



Figura 5. Aguacates adquiridos en mercado con diferencia de color debida la maduración.

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen de la Tabla 2, matriz de confusión, muestra en la primera clasificación (primer dato de columna uno) siendo del tipo de aguacate inmaduro, clasificando cinco instancias correctamente y de los aguacates para guacamole clasifica otras cinco (siendo el dato del centro de la matriz) y por último del tipo sazón clasificando 8 instancias, las tres clasificaciones a la perfección, en la Tabla 3 los resultados de evaluar el modelo; en la Figura 5 se muestran los frutos de esta prueba inicial. A partir de estos resultados tal como se contempló en la metodología se siguió con el proceso de obtener la materia seca de los frutos de prueba del proceso.

Tabla 2. Matriz de Confusión de Pruebas Iniciales.

Clase	Clase Predicha		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3
1	5	0	0
2	0	5	0
3	0	0	8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Resultados de Evaluar el Modelo de clasificación de Pruebas Iniciales.

Clase	Precision	Recall	F1-score	Support
1	1.00	1.00	1.00	3
2	1.00	1.00	1.00	4
3	1.00	1.00	1.00	4
Accuracy			1.00	11
Macro avg	1.00	1.00	1.00	11
Weighted avg	1.00	1.00	1.00	11

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos de los frutos definitivos como se menciona en la metodología se optó por usar el software Weka, para adquirir resultados más rápido, en esta plataforma se llevaron a cabo varios experimentos con los datos espectrales finales y a partir de ello se decidió utilizar tres clasificadores diferentes, Bagging, RandomForest y SMO (Sequential Minimal Optimization), también conocido como método máquina de vector soporte (SVM). Estos clasificadores fueron elegidos debido a su efectividad y se seleccionaron después de realizar experimentos con otros clasificadores como Naives-Bayes, Naives-Bayes Multinomial, IBK(KNN), Multilayer-Perceptron, Trees J48 y RandomForest.

De acuerdo al desempeño con los clasificadores seleccionados (Bagging, RandomForest y SMO) ninguno logró alcanzar una alta precisión en la clasificación durante la evaluación de los datos, el clasificador Bagging mostró la mayor exactitud. Esto se puede observar en la Figura 6, A y B. Al resaltar este hecho, se destaca la eficacia del clasificador Bagging en comparación con los otros clasificadores seleccionados.

Se proporciona una representación visual de los resultados como se ilustra en la Figura 6, donde de manera visual se puede comprender rápidamente la diferencia en el desempeño de los clasificadores y el rendimiento destacado del clasificador Bagging.

Se destaca que se aplicó el mismo preprocesamiento a toda la base de datos, donde el objetivo fue seleccionar las características más significativas para una correcta clasificación. Estos resultados subrayan la complejidad de la tarea de clasificación en este contexto específico y sugieren que aún existen desafíos por superar. Sin embargo, los hallazgos obtenidos a través de esta investigación sientan las bases para futuros estudios y mejoras en el desarrollo de clasificadores más precisos y eficientes.

Trabajo Futuro

En futuros estudios, planeamos abordar las limitaciones en la generalización de los resultados realizando más corridas experimentales y aplicando un diseño experimental mejorado que permita sustentar las conclusiones con mayor precisión y exactitud. Es necesario seguir trabajando para mejorar el porcentaje de exactitud en la clasificación. Esto puede ser mediante el uso de otros métodos inteligentes. Además de utilizar otras características físicas que ayuden a la clasificación de fruto.

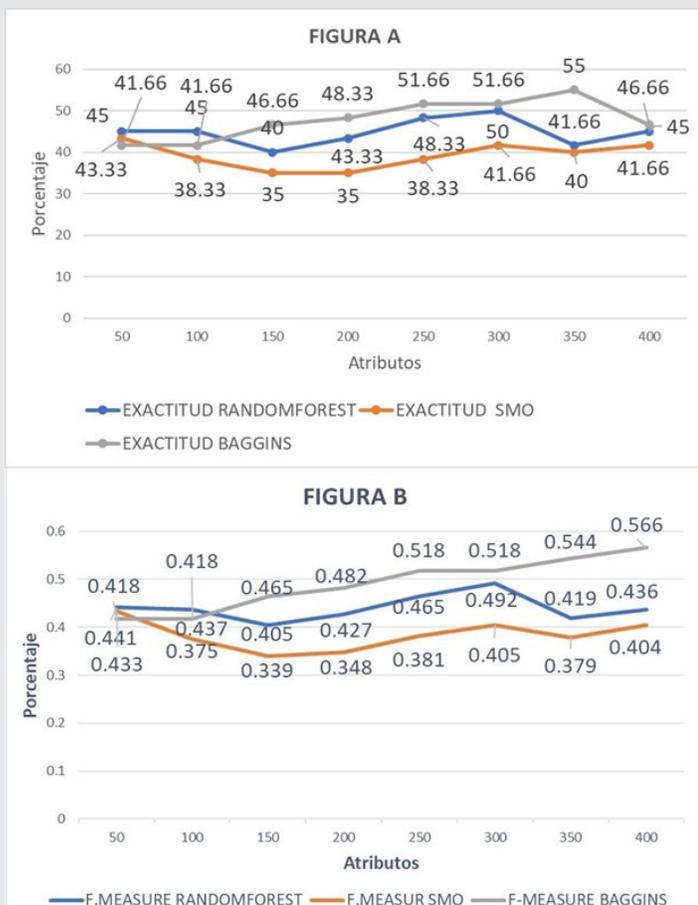


Figura 6. A) Gráfico de la exactitud de los tres tipos de clasificación de aguacates (RandomForest, SMO y Bagging), B) Gráfico de la media de la clasificación de aguacates de los clasificadores (RandomForest, SMO y Bagging). Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En este estudio, se llevó a cabo un análisis exhaustivo del índice de maduración del aguacate con el objetivo de desarrollar una clasificación precisa para los productores. La metodología propuesta abarca desde la selección del fruto en campo, la toma de muestras adecuadas (en este caso, muestras radioespectrales), la aplicación de algoritmos inteligentes idóneos basados en dichas muestras, y la realización de pruebas físicas que permitan comparar la clasificación obtenida por los algoritmos con los resultados de las pruebas físicas. Fueron aplicados tres algoritmos inteligentes Bagging, RandomForest y SMO de los cuales el que presentó mejor desempeño fue el Bagging con un porcentaje de exactitud en la clasificación del 55 %.

Es importante señalar que los resultados presentados en este estudio se basan en una única corrida experimental. Esta limitación se debe a restricciones específicas de recursos y a la disponibilidad de datos. Aunque una sola corrida puede proporcionar información valiosa, es necesario realizar múl-

tiples corridas experimentales y aplicar un análisis estadístico más robusto sería ideal para validar y generalizar los hallazgos obtenidos. A pesar de las limitaciones mencionadas, los resultados obtenidos son prometedores y sugieren que la técnica de espectrorradiometría, combinada con algoritmos de aprendizaje automático, puede ser una herramienta efectiva para la evaluación no invasiva de la calidad del aguacate.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a quienes han contribuido a la realización de este trabajo. Al Director de Tesis, Dr. Marco A. Meza-Aguilar, por su invaluable orientación. Al Codirector, Dr. Humberto Pérez-Espinosa, por su dedicación y aportaciones críticas. Agradezco también al Dr. Gregorio Luna Esquivel por sus enseñanzas y por proporcionar una base sólida de conocimientos en el área agrícola. Su experiencia y su entusiasmo han inspirado y motivado el progreso de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Denvir, A., Arima, E. Y., González-Rodríguez, A., and Young, K. R. (2022). *Ecological and human dimensions of avocado expansion in México: Towards supply-chain sustainability*. *Ambio*, pages 1-15.
- [2] Capel, C. (2020). *Espectroscopía vibracional*. <https://www.scai.uma.es/areas/aqcm/evi/evi.html>.
- [3] Blakey, R. J. (2016). *Evaluation of avocado fruit maturity with a portable near-infrared spectrometer*. *Postharvest Biology and Technology*, 121:101-105.
- [4] Ncama, K., Magwaza, L. S., Poblete-Echeverría, C. A., Nieuwoudt, H. H., Tesfay, S. Z., and Mditshwa, A. (2018). *On-tree indexing of 'hass' avocado fruit by non-destructive assessment of pulp dry matter and oil content*. *Biosystems Engineering*, 174:41-49.
- [5] Gamble, J., Harker, F. R., Jaeger, S. R., White, A., Bava, C., Beresford, M., Stubbings, B., Wohlens, M., Hofman, P. J., Marques, R., and Woolf, A. (2010). *The impact of dry matter, ripeness and internal defects on consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase*. *Postharvest Biology and Technology*, 57(1):35-43.
- [6] Becerra-Sánchez, F. J., Pérez-Espinosa, H., and Meza-Aguilar, M. A. (2024). *Development of non-destructive system for estimating avocado quality parameters*. *Postharvest Biology and Technology*, 212:112886.
- [7] Becerra-Sánchez, F. J., Pérez-Espinosa, H., Meza-Aguilar, M. A., and Sánchez-Cervantes, M.

- G. (2022). Clasificación automática de audio mediante percusión de frutas: hacia una estimación no destructiva de la calidad. In 2022 11.ª Conferencia Internacional sobre Mejora de Procesos de Software (CIMPS), paginas 69-73.
- [8] Ding, C., Feng, Z., Wang, D., Cui, D., and Li, W. (2021). Acoustic vibration technology: Toward a promising fruit quality detection method. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2):1655-1680.
- [9] Karimi, Y., Maftoonazad, N., Ramaswamy, H. S., Prasher, S. O., and Marcotte, M. (2018). Application of hyperspectral technique for color classification avocados subjected to different treatments. *Food and Bioprocess Technology*, 5.
- [10] Terrab, A., González-Miret, L., and Heredia, F. J. (2004). Colour characterisation of thyme and avocado honeys by diffuse reflectance spectrophotometry and spectroradiometry. *European Food Research and Technology*, 218:488-492.
- [11] Dos Santos, C. A. T., Lopo, M., Pascoa, R. N., and Lopes, J. A. (2013). A review on the applications of portable near-infrared spectrometers in the agro-food industry. *Applied spectroscopy*, 67(11):1215-1233.
- [12] Limones, L. (2019) Métodos destructivos y no destructivos para la estimación de atributos (agua) internos y externos de calidad y madurez de un fruto (fresa) una revisión. <https://revistas.uaq.mx/index.php>.
- [13] Liming, X. and Yanchao, Z. (2010). Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and electronics in agriculture*, 71:S32-S39.
- [14] Davur, Y. J., K"amper, W., Khoshelham, K., True- man, S. J., and Bai, S. H. (2023). Estimating the ripeness of hass avocado fruit using deep learning with hyperspectral imaging. *Horticulturae*, 9(5):599.
- [15] Homez-Jara, A., Cárdenas-Roa, H., Montealegre, M., Lim, L.-T., Corradini, M. G., Váquiro-Herrera, H. A., and Sandoval-Aldana, A. (2023). Postharvest treatments of hass avocado (*persea americana* mill.) and estimation of its quality using hyperspectral imaging (hsi). *ACS Food Science & Technology*, 3(5):932-944.
- [16] (Shezi et al., 2020) Shezi, S., Magwaza, L. S., Tesfay, S. Z., and Mditshwa, A. (2020). Biochemical changes in response to canopy position of avocado fruit (cv. 'carmen' and 'hass') during growth and development and relationship with maturity. *Scientia Horticulturae*, 265:109227.
- [17] Secretaria de, E. (2016). Productos alimenticios no industrializados para uso humano-fruta fresca aguacate hass. Secretaría de Economía. Disponible en <https://www.dof.gob.mx/notadetalle.php?codigo = 5468709fecha = 06/01/2017gsc.tab = 0>.
- [18] ARAYA, M.D.M. C., CALDERO'N, M. M., and Cordero, E. D. (2006). Manual de manejo pre y postcosecha de aguacate.

