

**Estimación del volumen de aguacate (*Persea americana*)
utilizando perfilamiento matemático con arduino uno y sensor
ultrasónico**

**Avocado (*Persea americana*) volume estimation using
mathematical profiling with arduino uno and ultrasonic sensor**

Miguel Ángel Lema-Carrera ¹
Universidad Estatal de Milagro “UNEMI” | Universidad de las
Fuerzas Armadas “ESPE” - Ecuador
mlemac2@unemi.edu.ec

Nidia Gabriela Collins-Melgar ²
Unidad Educativa Fiscomisional “Americano” - Ecuador
nidiacollins.uea@gmail.com

Alejandro Sebastián Sánchez-Mendoza ³
Universidad Estatal de Milagro - Ecuador
asanchezm29@unemi.edu.ec

doi.org/10.33386/593dp.2025.1.2858

V10-N1 (ene-feb) 2025, pp 316-325 | Recibido: 15 de octubre del 2024 - Aceptado: 13 de noviembre del 2024 (2 ronda rev.)

1 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7934-8891>

2 ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0618-3162>

3 ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0618-3162>

Miguel Ángel Lema-Carrera, M., Nidia Gabriela Collins-Melgar, N., & Alejandro Sebastián Sánchez-Mendoza, A., (2025). Estimación del volumen de aguacate (*Persea americana*) utilizando perfilamiento matemático con arduino uno y sensor ultrasónico. 593 Digital Publisher CEIT, 10(1), 316-325, <https://doi.org/10.33386/593dp.2025.1.2858>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

El volumen del aguacate (*Persea americana*), se estimó utilizando los métodos de perfilamiento matemático y desplazamiento de agua. En el perfilamiento matemático, se emplearon imágenes digitales que se modelaron mediante funciones polinomiales en el software Geogebra, obteniendo una función promedio que se implementó en una tarjeta Arduino Uno, donde se obtiene el volumen del fruto en función de su longitud, medida por un sensor ultrasónico HCSR04. El volumen estimado fue comparado con el obtenido por desplazamiento de agua, basado en el principio físico de Arquímedes. Se aplicó la prueba estadística t para muestras pareadas y el análisis de Bland-Altman, encontrando que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los métodos ($P > 0.05$), con una diferencia promedio de 5.28 cm^3 (95% CI: -2.78 cm^3 a 13.33 cm^3). El perfilamiento matemático, junto con su implementación en Arduino Uno, provee una solución rápida, económica y portátil para estimar el volumen de aguacates, aplicable en entornos agrícolas.

Palabras claves: aguacate, arduino, perfil matemático, ultrasónico HCSR04, volumen.

ABSTRACT

The volume of avocado (*Persea americana*) was estimated using mathematical profiling and water displacement methods. In the mathematical profiling, digital images were used and modeled using polynomial functions in Geogebra software, obtaining an average function that was implemented in an Arduino Uno card, where the volume of the fruit is obtained as a function of its length, measured by an HCSR04 ultrasonic sensor. The estimated volume was compared with that obtained by water displacement, based on Archimedes' physical principle. The statistical t-test for paired samples and the Bland-Altman analysis were applied, finding that there were no statistically significant differences between methods ($P > 0.05$), with an average difference of 5.28 cm^3 (95% CI: -2.78 cm^3 a 13.33 cm^3). Mathematical profiling, together with its implementation on Arduino Uno, provides a fast, inexpensive and portable solution to estimate the volume of avocados, applicable in agricultural environments.

Keywords: avocado, arduino, mathematical profile, ultrasonic HCSR04, volume.

Introducción

El aguacate (*Persea americana*) es la cuarta fruta tropical más importante en el mundo (Urquiza et al., 2015). Para el año 2022, las exportaciones mundiales de aguacate fueron aproximadamente 2.4 millones de toneladas, siendo los principales países exportadores: México (1 millón Tn), Perú (600 mil Tn), Chile (150 mil Tn), Kenya (110 mil Tn) y Sudáfrica (63 mil Tn) (FAO.2023., 2022)

Los aguacates son una valiosa fuente de nutrientes que incluyen vitaminas A, B6, C, E y K, fibra dietética, ácido fólico y hierro. Ricos en potasio, brindan aporte de carbohidratos, azúcares y fibras solubles e insolubles, y no tienen colesterol. Además, destaca por su contenido de aceite, el cual es rico en grasas monoinsaturadas (Orhevba & Jinadu, 2011)

El tamaño de la fruta es una característica física esencial en la agricultura. Estimar el tamaño promedio durante la pre y postcosecha de la fruta es crucial para cumplir estándares de calidad, prever rendimientos y planificar operaciones de embalaje y transporte (Koc, 2007). Se ha realizado varias investigaciones para determinar el volumen de frutas y verduras, utilizando modelos matemáticos a partir de las dimensiones y atributos geométricos en pimientos (Kadri Bozokalfa & Kilic, 2010), peras (Babic et al., 2012), manzanas (Ziaratban et al., 2017). Utilizando técnicas ópticas de Moiré (Silva et al., 2015). Procesamiento digital de imágenes en zanahorias, melones, sandías, cítricos, kiwis, bananas, mangos, cerezas, patatas. (Hahn & Sanchez, 2000) (Koc, 2007) (Rashidi et al., 2009) (Hu et al., 2015) (Concha-Meyer et al., 2018) (Mon & ZarAung, 2020) (Huynh et al., 2022). Sistemas de reconstrucción 3D en tomates (Jadhav et al., 2019), camotes (Zhang et al., 2020), manzanas (Villordon et al., 2020), naranjas (Zavala de Paz et al., 2021), obteniendo resultados muy satisfactorios que lo demuestran, al aplicar técnicas estadísticas de comparación de medias de volúmenes con el método de desplazamiento de agua universalmente aceptado, basado en el principio físico de Arquímedes.

Con claridad se observa la gran cantidad de estudios sobre el cálculo de volúmenes en frutas y verduras, pero trabajos específicamente en aguacate (*Persea americana*) en sus distintas variedades son limitados. Se ha realizado un estudio de las características físico-químicas y nutricionales del aguacate en Lokoja, Nigeria, donde el volumen del fruto, se determina utilizando el método de desplazamiento de agua de forma manual (Orhevba & Jinadu, 2011). Un estudio contemporáneo menciona específicamente características morfológicas y descriptivas tanto de árbol, como del fruto de aguacate en Ghana, dejando de lado el cálculo de volumen (Abraham et al., 2018). Otro trabajo de investigación se basa en la clasificación de aguacates de variedad Hass por medio del color y realiza el cálculo de volumen utilizando un sensor cinético (Forero et al., 2019).

Arduino es una plataforma electrónica y un entorno de programación basado en C++, que permite a cualquier persona crear prototipos de manera sencilla. Es ideal tanto para principiantes como para expertos, ya que sus instrucciones son fáciles de aprender y utilizar. Ofrece puertos digitales y analógicos para conectar diversos componentes, como botones, LEDs y sensores, y cuenta con un puerto de comunicación para enviar y recibir datos. Sus ventajas principales incluyen su bajo costo, facilidad de uso, software intuitivo y posibilidad de desarrollar proyectos de hardware libre (Uribe et al., 2019).

Al no existir suficiente información y estudios de investigación relacionados con el tamaño y volumen del aguacate (*Persea americana*), variedad Hass y, siendo éste de gran importancia al ser la cuarta fruta tropical más importante del mundo en exportaciones, sin olvidar a las nuevas tecnologías de connotación hardware y software libre como es Arduino Uno de fácil uso, programación, poco espacio de memoria computacional requerida, bajos costos y sobre todo un sistema portable que permita realizar pruebas en campo directamente y con variedad de sensores disponibles en el mercado, desarrollamos la presente investigación.

El objetivo de esta investigación es estimar el volumen de aguacates (*Persea americana*), variedad Hass, utilizando un modelo de perfilamiento matemático en función de la longitud del fruto, obtenido de una imagen de vista superior capturada por una cámara de un equipo móvil y procesada en el software matemático GeoGebra Clásico, conjuntamente con el método de discos de Cálculo Integral, para su posterior implementación en la tarjeta electrónica Arduino Uno, medición de longitud por medio del sensor ultrasónico HCSR04 y visualización de resultados por medio de una pantalla LCD, a su vez, generando un equipo de medición completamente portátil para operar en campo.

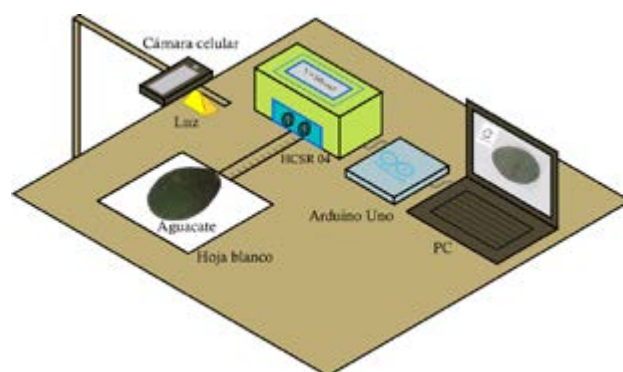
Metodología

Se utilizaron quince aguacates (*Persea americana*) de la variedad Hass, seleccionados al azar de varios tamaños adquiridos en un mercado local. Las dimensiones de longitud, ancho y grosor se midieron utilizando un calibrador vernier marca JTC 3474 con una precisión de ± 0.01 mm y un rango de operación de 150 mm. La masa de cada aguacate se midió utilizando la balanza digital marca Scout Pro con capacidad de 600 g y una precisión de ± 0.01 g. El volumen de cada aguacate fue medido utilizando el método de desplazamiento de agua, basado en el principio físico de Arquímedes. Cada aguacate se sumergió en un vaso de precipitado cilíndrico lleno de agua con capacidad de 1000 ml y precisión de 20 ml, el desplazamiento de agua se corresponde equivalente con el volumen del objeto sumergido. Este procedimiento se realizó a una temperatura promedio ambiente de 27 °C.

El sistema de perfilamiento matemático consistió, de un celular marca Xiaomi Redmi Note 8 con su cámara trasera de 48MP, conectada al computador personal equipada del software: GeoGebra Clásico 5.0.7 (versión 2021), Microsoft Excel (versión 2016), Arduino IDE 1.8.13 y Statgraphics Centurion XIX versión 19.1.2. Una tarjeta electrónica de bajo costo Arduino Uno R3 conectada vía USB al PC, un sensor ultrasónico de distancia HCSR04 con una precisión de 3 mm y rango de medición de 2

cm a 500 cm, ubicado horizontalmente a 20 cm del fruto, un display de cristal líquido LCD de 16x2, conectados al Arduino Uno R3, por medio de un protoboard pequeño y cables de conexión cubiertos por una caja rectangular plástica. El celular fue colocado en la parte superior central de un soporte fijo a una distancia de 40 cm, junto a una fuente de iluminación de 40W de luz blanca y en la parte inferior se coloca una hoja papel bond formato A4, para eliminar la silueta o sombras que genera el aguacate y no afecte en la captura de la imagen. El sistema descrito se muestra en la figura 1 a continuación:

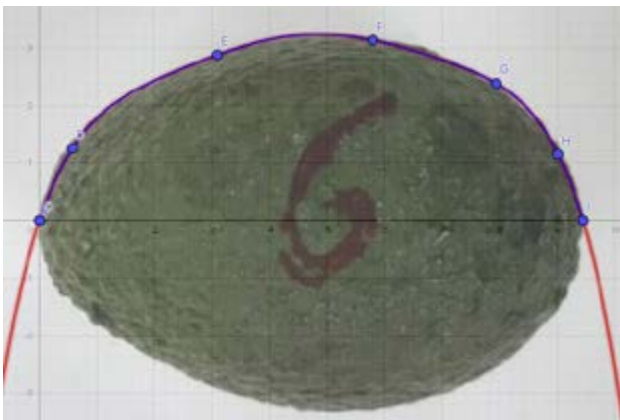
Figura 1
*Sistema de perfilamiento matemático para aguacates (*Persea americana*), con arduino uno y sensor ultrasónico HCSR04.*



Perfilamiento matemático $F(x)$ utilizando Geogebra

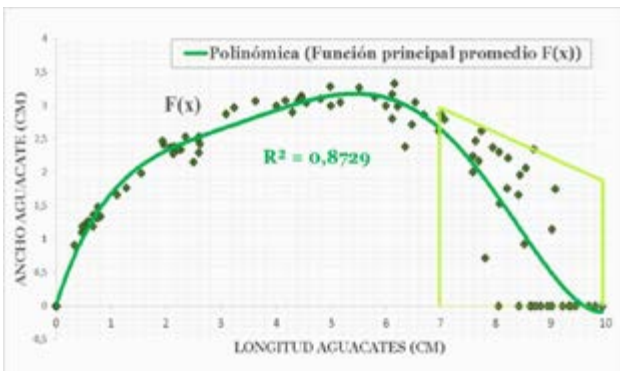
Cada aguacate se numeró y colocó sobre la hoja A4 blanca y en el centro de visión de la cámara, de la cual, se capturó una imagen que es transmitida al PC, la cual fue insertada en el espacio de trabajo de Geogebra Clásico, utilizando la función de transparencia se baja la tonalidad de la fotografía con la finalidad que se observe la cuadrícula numerada del plano cartesiano, la imagen fue estirada hasta el valor de su longitud L . Mediante la función “punto” de Geogebra, se procedió a colocar siete puntos en la parte superior en el contorno del perfil generado entre el aguacate y la hoja de fondo blanco, con la ayuda de la función generar “lista de puntos” más el comando “función”, se determinó la función matemática $F(x)$, un polinomio con grado seis, que describe el perfil superior del aguacate, como se muestra en la figura 2.

Figura 2
 Función matemática polinómica $F(x)$, generada por perfilamiento matemático en Geogebra.



El procedimiento anterior se repitió para los quince aguacates, encontrando de esta manera quince funciones matemáticas polinómicas a partir de siete puntos de perfilamiento. Estas funciones y puntos de perfilamiento fueron ingresados a Microsoft Excel, se procedió a graficar y utilizando el comando línea de tendencia y regresión polinomial, se obtuvo una función principal promedio $F(x)$, como se indica en la figura 3.

Figura 3.
 Función matemática polinómica promedio $F(x)$ generada por los quince aguacates.



Estimación de volumen por perfilamiento matemático, arduino uno y sensor ultrasónico HCSR04

Para la estimación del volumen de cada aguacate, se utilizó la función principal promedio $F(x)$, el método de discos de Cálculo Integral y un porcentaje de volumen de cono truncado proporcional a la longitud del aguacate (Thomas

et al., 2010), mediante la siguiente formulación matemática.

$$V(x) = \pi \int_0^L [F(x)]^2 dx + \% V_{cono_truncado}$$

Donde L es la longitud del aguacate.

Se implementó la figura geométrica de cono truncado para mejorar la aproximación de volumen del aguacate al final del mismo, debido a, la gran variabilidad de los dates en esta región como se observó en la figura 3.

El volumen del cono truncado se determinó por propiedades geométricas (Calvache, 1995), por medio de la siguiente fórmula:

$$V_{cono_truncado} = \frac{1}{3} \pi \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r)$$

Donde h es la altura del cono truncado, R es el radio de la base mayor y r el radio de la base menor, de acuerdo al gráfico de la figura 3, estos valores son: 3 cm, 3 cm, 2 cm respectivamente, generando un valor final de 59.69 cm³. El porcentaje se estima mediante la longitud de cada aguacate, en función de la longitud promedio de los quince aguacates 8.95 cm. De esta manera obtenemos la siguiente fórmula matemática para estimar el volumen de los aguacates variedad hass.

$$V(x) = \pi \int_0^L [F(x)]^2 dx + (L - 8.95) \cdot (59.69)$$

La función matemática de volumen $V(x)$, se programó en la tarjeta electrónica Arduino Uno, mediante el software computacional Arduino IDE 1.8.13. La longitud se determinó utilizando el sensor ultrasónico HCSR04, se calculó el volumen del aguacate, para su posterior visualización en el LCD 16x2. El resumen de lo realizado se muestra en el siguiente diagrama de flujo, ver figura 4.

El esquema eléctrico – electrónico del sistema de perfilamiento matemático con Arduino Uno que se implementó, se muestra en la figura 5. Los pines del 2 al 7 se utilizaron para

la conexión de la pantalla LCD 16x2, los pines 8 y 9 para la conexión de ECHO y TRIG del sensor ultrasónico HCSR04 respectivamente. El sistema se alimentó eléctricamente por el puerto USB del PC a 5 voltios.

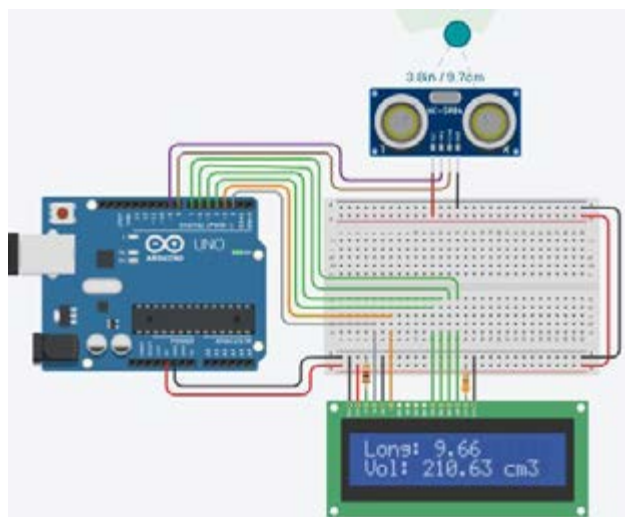
Figura 4

Diagrama de flujo para determinar el volumen de aguacate con la función $V(x)$ y Arduino uno.



Figura 5

Esquema eléctrico-electrónico del sistema de perfilamiento matemático y Arduino uno.



Análisis estadístico

Se utilizó una prueba estadística t-test para muestras pareadas e intervalos de confianza de la diferencia entre medias, para comparar el volumen determinado por el perfilamiento matemático, Arduino Uno y sensor ultrasónico HCSR04 con el método de desplazamiento de agua, basado en el principio de Arquímedes. Se utilizó el enfoque de Bland y Altman para representar la concordancia entre el volumen de aguacate medido por el método de desplazamiento de agua y el método de perfilamiento matemático (Bland & Altman, 1999). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando Statgraphics Centurion XIX versión 19.1.2.

Resultados

Masa y dimensiones del aguacate

La masa de los quince aguacates se expresó en gramos y las dimensiones promedio de longitud, ancho y grosor en centímetros. Estas medidas se muestran en detalle en la tabla 1.

Tabla 1

Masa y dimensiones de los aguacates (Persea americana), variedad Hass.

Muestra	Masa (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)
1	211.90	9.33	6.64	6.69
2	167.80	9.21	5.91	6.10
3	195.20	9.69	6.29	6.17
4	186.80	9.02	6.29	6.38
5	223.80	9.81	6.51	6.69
6	212.40	9.45	6.51	6.65
7	128.30	8.05	5.66	5.67
8	160.80	8.65	6.01	6.09
9	147.80	8.42	5.93	5.97
10	165.90	8.82	6.05	6.04
11	156.80	8.62	6.04	5.94
12	217.20	9.36	6.69	6.79
13	209.40	10.34	6.32	6.47
14	138.30	7.63	5.85	6.02
15	176.90	9.93	5.95	6.03
Media	179.95	9.09	6.18	6.25

Estimación de volumen por el método de perfilamiento matemático (PM) y el método de desplazamiento de agua (MDA)

El volumen determinado por perfilamiento matemático utilizando Arduino uno y sensor ultrasónico HSR05, fue comparado con el volumen medido mediante el método de desplazamiento de agua, el cual, se detalla en la tabla 2. Se realizó un gráfico que muestra la relación lineal que presentaron estos métodos, observar la figura 6.

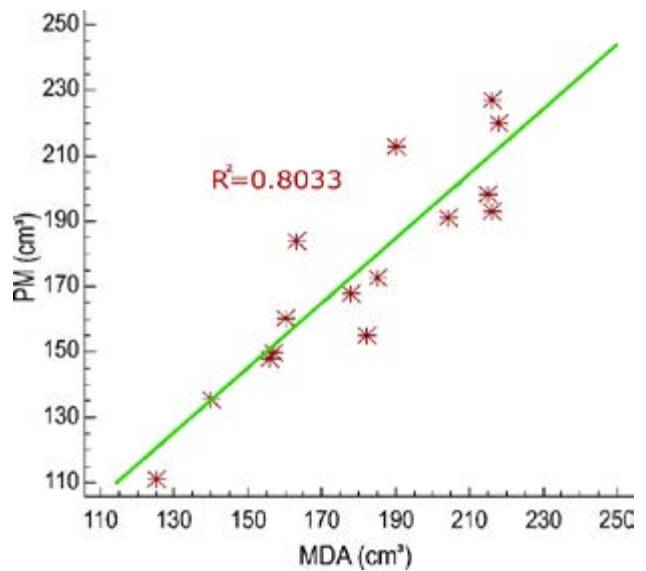
Tabla 2

Volumen de aguacates por el método de desplazamiento de agua (MDA) y perfil matemático (PM).

Muestra	Volumen MDA (cm ³)	Volumen PM (cm ³)
1	204	191
2	163	184
3	190	213
4	185	173
5	218	220
6	215	198
7	125	111
8	157	150
9	140	135
10	160	160
11	156	148
12	216	193
13	178	168
14	182	155
15	216	227
Media	180.33	175.06

Figura 6

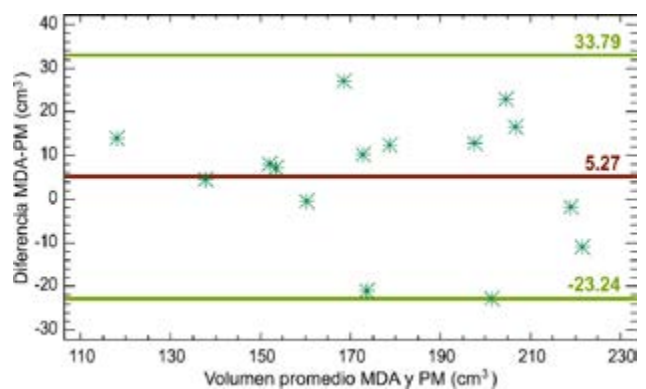
Volumen de los aguacates medido por el método de desplazamiento de agua (MDA) y perfil matemático (PM) con arduino uno y sensor ultrasónico HCSR04 con la línea de igualdad y relación.



La diferencia promedio entre el volumen de los aguacates determinado por el método de perfilamiento matemático con Arduino Uno y el método de desplazamiento de agua, se muestran utilizando el enfoque de Bland – Altman en la figura 7.

Figura 7

Gráfica de Bland – Altman para comparar el volumen de aguacate determinados por el método de desplazamiento de agua y de perfil matemático con arduino uno y sensor ultrasónico.



La prueba t-test de comparación de medias en muestras pareadas, para el volumen estimado por el método de perfilamiento matemático y el

método del desplazamiento de agua se muestra a continuación (tabla 3) con su respectivo p-valor de aceptación o rechazo de la hipótesis nula, que en este caso fue la igualdad de las medias para los volúmenes estimados en el aguacate.

Tabla 3

Prueba t-test pareada para comparar métodos de medición de volumen.

Prueba t-test Pareada MDA & PM Igual (P=0.1641)	95% intervalo de confianza Para la diferencia entre MDA & PM -2.78 : 13.33
---	--

Discusión

El valor promedio de masa para los quince aguacates (*Persea americana*) variedad Hass fue de 179.95 g, un valor máximo de 223.80 g y mínimo de 128.30 g. Las dimensiones medias de largo, ancho y profundidad fueron 9.09 cm, 6.18 cm, 6.25 cm respectivamente, resultados inferiores a los obtenidos en el estudio realizado sobre propiedades físico químicas y contenidos nutricionales del aguacate (masa promedio 382.5 g, longitud promedio 10.075 cm) (Orhevba & Jinadu, 2011).

El volumen promedio calculado por el método de perfilamiento matemático más Arduino Uno y sensor ultrasónico fue de 167.60 cm³ y por el método de desplazamiento de agua fue de 170.80 cm³. Observamos una fuerte relación lineal positiva con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.8111$) entre los métodos de estimación de volumen de los quince aguacates, pero inferiores a los reportados en el cálculo de volúmenes por procesamiento digital de imágenes en frutas, tales como melón, kiwi, tomate, mango (Koc, 2007), (Rashidi et al., 2009), (Nyalala et al., 2019), (Mon & ZarAung, 2020).

La diferencia promedio entre el volumen de los aguacates determinado por el método de perfilamiento matemático con Arduino Uno, sensor ultrasónico HCSR04 y el método de desplazamiento de agua fue de $d = 5.28 \text{ cm}^3$ (intervalo de confianza del 95%: -2.78 cm^3 y 13.33 cm^3). La desviación estándar de las diferencias de volumen se registró en $ds = 14.50 \text{ cm}^3$. Estas

diferencias se distribuyeron normalmente y los límites de acuerdo al intervalo de confianza al 95% se calcularon en -25.71 y 32.29 cm^3 .

En el enfoque de Bland – Altman, observamos que, para aguacates pequeños, el volumen estimado mediante el perfil matemático y arduino uno, fue mayor que, el volumen medido por el método de desplazamiento de agua (MDA-PM < 0). A medida que el tamaño del aguacate aumenta, el método de perfilamiento matemático con arduino uno, subestima el volumen (MDA-PM > 0).

Resultados en total oposición y comportamiento por los registrados en los estudios de otros frutos (Rashidi et al., 2009), (Venkatesh et al., 2015). Esto se debe a la función matemática promedio de los puntos de perfilamiento matemático realizado en los 15 aguacates que se utilizó para el cálculo del volumen y posterior programación en arduino uno, en donde el valor promedio fue mayor que los valores inferiores y menor que los valores superiores.

La prueba t-test de muestras pareadas nos mostraron que, la media del volumen determinado por el método de perfil matemático con Arduino Uno y sensor ultrasónico HCSR04 no presentaron diferencias estadísticamente significativas, con respecto a la media del volumen calculado por el método de desplazamiento de agua ($P = 0.4079$).

Las limitantes del sistema para la estimación del volumen de aguacates, mediante perfilamiento matemático, Arduino Uno y sensor ultrasónico, se basarían principalmente en este último debido, a la baja precisión y exactitud que en ocasiones se presenta al medir la longitud y lo extremadamente perceptible ante cualquier movimiento del sensor. De igual manera los resultados son extremadamente sensibles a la separación o cambio de distancia entre la cámara del equipo móvil y el aguacate, es recomendable siempre mantener una distancia fija. El sistema puede verse afectado si trabaja con aguacates muy deformes, dado que, para todas las estimaciones de volumen por medio de Cálculo Integral y el

método de disco, se asume el estudio con frutos considerados simétricos.

Conclusiones

Se utilizó el método de perfilamiento matemático con Arduino Uno y sensor ultrasónico HCSR04, para estimar el volumen de aguacates (*Persea americana*) variedad Hass de diferentes tamaños. Estos resultados fueron comparados con los volúmenes determinados mediante el método de desplazamiento de agua, basado en el principio de Arquímedes. La diferencia entre los volúmenes no fue estadísticamente significativa ($P > 0.05$). El enfoque de Bland-Altman mostró que, para aguacates grandes se subestima el volumen y para aguacates pequeños se sobrestima el volumen, debido a la función promedio que se emplea para el cálculo.

El perfilamiento matemático con Arduino Uno y sensor ultrasónico HCSR04 proporciona una metodología simple, rápida, económica, no invasiva y sobretodo portátil, para estimar el volumen de los aguacates y puede ser fácilmente implementada en campo para el monitoreo del crecimiento en planta de los aguacates, estimación de peso, estudio de propiedades físicas, rendimiento durante la cosecha y sistema de clasificación en postcosecha.

Referencias bibliográficas

- Abraham, J. D., Abraham, J., & Takrama, J. F. (2018). Morphological characteristics of avocado (*Persea americana* Mill.) in Ghana. *African Journal of Plant Science*, 12(April), 88–97. <https://doi.org/10.5897/AJPS2017.1625>
- Babic, L., Matic-Kekic, S., Dedovic, N., Babic, M., & Pavkov, I. (2012). Surface area and volume modeling of the williams pear (*Pyrus Communis*). *International Journal of Food Properties*, 15(4), 880–890. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.506020>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, 8(2), 135–160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>
- Calvache, G. (1995). *Geometria plana y del espacio: geometria analitica dibujo*. se.
- Concha-Meyer, A., Eifert, J., Wang, H., Sanglay, G., & Meyer, C. (2018). Volume estimation of strawberries, mushrooms, and tomatoes with a machine vision system. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1867–1874. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1508156>
- FAO.2023. (2022). FAO. 2023. Principales Frutas Tropicales. Análisis del mercado. Resultados preliminares 2022. Roma. *FAO.2023.*, 35.
- Forero, M. G., Gómez, F., & Ramírez, M. (2019). Hass avocado classification by color and volume using a Kinect sensor. *Applications of Digital Image Processing XLII*, 11137, 465–471.
- Hahn, F., & Sanchez, S. (2000). Carrot volume evaluation using imaging algorithms. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 75(3), 243–249. <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0466>
- Hu, M. H., Dong, Q. L., Malakar, P. K., Liu, B. L., & Jaganathan, G. K. (2015). Determining banana size based on computer vision. *International Journal of Food Properties*, 18(3), 508–520. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.833223>
- Huynh, T. T. M., Tonthat, L., & Dao, S. V. T. (2022). A vision-based method to estimate volume and mass of fruit / vegetable : Case study of sweet potato A vision-based method to estimate volume and mass of fruit / vegetable : Case study of sweet potato. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 717–732. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2057528>
- Jadhav, T., Singh, K., & Abhyankar, A. (2019). Volumetric estimation using 3D reconstruction method for grading of fruits. *Multimedia Tools and Applications*, 78(2), 1613–1634. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6271-3>

- Kadri Bozokalfa, M., & Kilic, M. (2010). Mathematical Modeling in the Estimation of Pepper (*Capsicum annuum* L.) Fruit Volume. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(4), 626–632. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392010000400013>
- Koc, A. B. (2007). Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.03.010>
- Mon, T. O., & ZarAung, N. (2020). Vision based volume estimation method for automatic mango grading system. *Bio-systems Engineering*, 198, 338–349. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.08.021>
- Nyalala, I., Okinda, C., Nyalala, L., Makange, N., Chao, Q., Chao, L., Yousaf, K., & Chen, K. (2019). Tomato volume and mass estimation using computer vision and machine learning algorithms: Cherry tomato model. *Journal of Food Engineering*, 263(July), 288–298. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.012>
- Orhevba, B. A., & Jinadu, A. O. (2011). Determination of Physico-Chemical Properties and Nutritional Contents of Avocado Pear (*Persea Americana* M.). *Academic Research International ISSN:*, 1(3), 372–381. [www.savap.org.pk](http://www.savap.org.pk/www.journals.savap.org.pk)
- Rashidi, M., Gholami, M., & Abbassi, S. (2009). Cantaloupe volume determination through image processing. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11(5), 623–631.
- Silva, M. V. G., de Almeida, C., Lino, A. C. L., & Fabbro, I. M. D. (2015). Fruit volumetric determination based on moiré techniques. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 45(1), 95–100.
- Thomas, G. B., Weir, M. D., Hass, J., Giordano, F. R., & Korkmaz, R. (2010). *Thomas' calculus* (Vol. 12). Pearson Boston.
- Uribe, L., Alejandra, N., & Torres-garcía, B. (2019). Modelo de Aprendizaje para Arduino Uno Básico. *Revista de Cómputo Aplicado*, 3(10), 15–22.
- Urquiza, P., Sebastián, L., Rebollar, R., Juárez, C., Martínez, H., & Tenorio, G. (2015). ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA PARA LA PRODUCCIÓN COMERCIAL DE AGUACATE HASS. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 36(1), 1325–1338.
- Venkatesh, G. V., Iqbal, S. M., Gopal, A., & Ganesan, D. (2015). Estimation of Volume and Mass of Axi-Symmetric Fruits Using Image Processing Technique. *International Journal of Food Properties*, 18(3), 608–626. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.831444>
- Villordon, A., Gregorie, J. C., & LaBonte, D. (2020). Direct measurement of sweet-potato surface area and volume using a low-cost 3D scanner for identification of shape features related to processing product recovery. *HortScience*, 55(5), 722–728. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14964-20>
- Zavala de Paz, J. P., Bucio Castillo, F. J., Anaya Rivera, E. K., Isaza Bohorquez, C. A., Castillo Velásquez, F. A., & Rizzo Sierra, J. A. (2021). Estimating Volume of the Tomato Fruit by 3D Reconstruction Technique. *Computacion y Sistemas*, 25(4), 813–820. <https://doi.org/10.13053/CyS-25-4-4043>
- Zhang, B., Guo, N., Huang, J., Gu, B., & Zhou, J. (2020). Computer Vision Estimation of the Volume and Weight of Apples by Using 3D Reconstruction and Noncontact Measuring Methods. *Journal of Sensors*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/5053407>
- Ziaratban, A., Azadbakht, M., & Ghasemnezhad, A. (2017). Modeling of volume and surface area of apple from their geometric characteristics and artificial neural network. *International Journal of Food Properties*, 20(4), 762–768. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1180533>