



**Universidad Estatal Península de Santa
Elena**

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria



**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
Y RELACIONES MATEMÁTICAS DEL AGUACATE (*Persea
americana*) CULTIVADO EN LA PROVINCIA DE SANTA
ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Fernanda Verónica Castillo Muñoz.

La Libertad, 2021



**Universidad Estatal Península de Santa
Elena**

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria



**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICAS Y RELACIONES MATEMÁTICAS DEL
AGUACATE (*Persea americana*) CULTIVADO EN LA
PROVINCIA DE SANTA ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Fernanda Verónica Castillo Muñoz.

Tutor: Ing. Miguel Ángel Lema Carrera, MSc.

La Libertad, 2021

TRIBUNAL DE GRADO



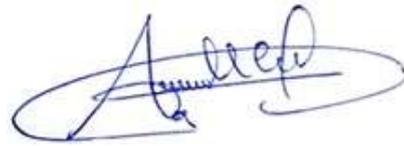
Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph. D
DIRECTORA DE CARRERA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Ángel León Mejía, MSc.
PROFESOR/A ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Miguel Lema Carrera, MSc.
PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph. D
PROFESOR GUÍA DE LA UIC
SECRETARIO/A

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la vida, la salud y la fuerza para culminar mi paso por la universidad, no fue fácil, pero con fe y dedicación he logrado cumplir esta meta.

A mi querida madre, ya que sin su esfuerzo, amor y apoyo incondicional nunca hubiese alcanzado esta meta, a mi padre que, aunque no está, siempre creyó en mí, a mis abuelitos por sus consejos, su cariño y apoyo en todas las áreas de mi vida y a mis hermanos por la compañía y la comprensión en los momentos de tensión.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, a toda la Facultad de Ciencias Agrarias por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.

A mis compañeros de clase, en particular a mi equipo de trabajo, mis amigos; Lisbeth, Katty y David que en los buenos y malos momentos siempre nos mantuvimos unidos y a mi amigo Anthony por su grato apoyo en esta investigación.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Miguel Ángel Lema, por la colaboración durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios y a mi querida madre Jessenia Muñoz quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, a mi padre Marcos Castillo que aunque ya no está en este plano, su amor seguirá conmigo todos los días de mi vida, a mis abuelitos Angela y Sixto, porque los quiero como a mis padres, a mis dos hermanos Marco y Josue por la comprensión y el apoyo mutuo en los bueno y malos momentos, finalmente a toda mi familia que de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó las características físicas y relaciones matemáticas del aguacate (*Persea americana*), cultivado en la comuna Sube y Baja, aplicando software Matlab y hardware Arduino.

Para la ejecución del proyecto se realizó una investigación descriptiva cuantitativa, empleando 60 aguacates, seleccionando 30 para el análisis no destructivo, determinando las variables masa, dimensión, volumen, densidad y color, mientras que los 30 restantes fueron destinados al análisis destructivo donde se determinó el porcentaje de cáscara, parte comestible y características de la semilla. Para la relación masa - volumen del aguacate y su pérdida de peso en función al tiempo y efectos de la maduración, se realizó modelamientos matemáticos, modelos de regresión y pruebas bilaterales de hipótesis.

Los resultados obtenidos para la determinación de la masa presentaron un valor promedio de 188.05 g, longitud, diámetro y profundidad promedio de 9.25 cm, 6.26 cm y 6.38 cm, respectivamente, densidad de 1.02 g/cm³, color con un tono verde grisáceo oscuro en formato RGB, composición total del aguacate, ocupando 61.37% la parte comestible, 17% la cascara y 21% la semilla, volumen por el método desplazamiento de agua (185.33 cm³), por perfil matemático (184.80 cm³), y procesamiento digital (182.77 cm³), siendo métodos no significativos estadísticamente. Por último, se efectuó una aplicación programada en Arduino a través del simulador Tinkercad que exterioriza la información adquirida del aguacate (*Persea americana*) cultivado en la finca Agropalta, provincia de Santa Elena, considerando un avance crucial para la ejecución de futuros estudios previstos en el campo agrotecnológico del país.

Palabras claves: Aguacate, propiedades físicas, Matlab, Arduino.

ABSTRACT

In the present work, the physical characteristics and mathematical relationships of the avocado (*Persea americana*), cultivated in the Sube and Baja commune, were determined, applying Matlab software and Arduino hardware.

For the execution of the project, a quantitative descriptive investigation was carried out, using 60 avocados, selecting 30 for the non-destructive analysis, determining the variables mass, dimension, volume, density and color, while the remaining 30 were destined to the destructive analysis where it was determined the percentage of shells, edible part and characteristics of the seed. For the mass-volume relationship of avocado and its weight loss as a function of time and ripening effects, mathematical modeling, regression models and bilateral hypothesis tests were performed.

The results obtained for the determination of the mass presented an average value of 188.05 g, an average length, diameter and depth of 9.25 cm, 6.26 cm and 6.38 cm, density of 1.02 g / cm³, color with a dark grayish green tone in format RGB, total composition of the avocado, occupying 61.37% the edible part, 17% the peel and 21% the seed, volume by the water displacement method (185.33 cm³), by mathematical profile (184.80 cm³), and digital processing (182.77 cm³), being methods not statistically significant. Finally, an application programmed in Arduino was carried out through the Tinkercad simulator that externalizes the information acquired from the avocado (*Persea americana*), grown on the Agropalta farm, Santa Elena province, considering a crucial advance for the execution of future studies planned in the agricultural field of the country.

Keywords: Avocado, physical properties, Matlab, Arduino.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

A handwritten signature in blue ink that reads "Fernanda CM". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath the text.

Fernanda Verónica Castillo Muñoz

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1 El aguacate	3
1.1.1 Origen.....	3
1.1.2 Clasificación taxonómica	3
1.1.3 Descripción botánica	3
1.1.4 Variedades.....	5
1.1.5 Cosecha y postcosecha	5
1.1.6 Requerimientos edafoclimáticos	5
1.1.7 Valor nutricional	6
1.2 Producción Mundial	7
1.3 Producción Nacional.....	7
1.3.1 Producción en la provincia de Santa Elena	8
1.4 GeoGebra.....	8
1.5 Arduino.....	8
1.5.1 Componentes de hardware	9
1.5.2 Aplicación del sistema Arduino en el campo agropecuario	10
1.6 Matlab.....	10
1.6.1 Procesamiento digital de imágenes	11
1.6.2 Representación de colores en una imagen digital.....	12
1.6.3 Aplicación de Matlab y matemática en la Ingeniería Agropecuaria	13
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1 Ubicación y lugar del ensayo.....	14
2.2 Materiales	14
2.2.1 Materiales de campo:.....	14
2.2.2 Materiales para el procesamiento de imágenes	15
2.3 Tipo de investigación	15
2.4 Metodología.....	15
2.4.1 Tamaño de la muestra.....	15
2.4.2 Variables a determinar.....	16
2.4.2.1 Masa total del fruto.....	16
2.4.2.2 Dimensiones del aguacate.....	16
2.4.2.3 Volumen	16
2.4.2.4 Densidad	19
2.4.2.5 Color.....	19
2.4.2.6 Porcentaje de cascara y de la parte comestible	20
2.4.2.7 Masa de la semilla	20
2.4.2.8 Dimensiones de la semilla	20

2.4.3	Análisis estadístico y modelamiento matemático.....	20
2.4.4	Implementación en Arduino	21
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		22
3.1	Análisis no destructivo.....	22
3.1.1	Masa	22
3.1.2	Dimensiones del aguacate	23
3.1.3	Volumen.....	24
3.1.3.1	Método desplazamiento de agua (MDA).....	24
3.1.3.2	Método de integrales o perfil matemático (PM)	25
3.1.3.3	Método de procesamiento de imágenes (PI).....	26
3.1.3.4	Comparación estadística de los métodos empleados en el cálculo del volumen.....	27
3.1.3.4.1	Método desplazamiento de agua (MDA) y perfil matemático (PM)	27
3.1.3.4.2	Método desplazamiento de agua (MDA) y procesamiento de imágenes (PI).....	28
3.1.4	Densidad.....	29
3.1.5	Análisis de color del aguacate	30
3.2	Análisis destructivo.....	31
3.2.1	Porcentaje de cáscara.....	31
3.2.2	Porcentaje de la parte comestible	32
3.2.3	Dimensiones de la semilla de aguacate	33
3.3	Resumen general de las principales propiedades físicas del aguacate.....	34
3.4	Modelo matemático relación masa – volumen del aguacate.....	36
3.5	Modelo matemático de pérdida de peso del aguacate	37
3.5.1	Grafica del modelo matemático de pérdida de peso del aguacate	38
3.6	Aplicación en Arduino.....	39
3.6.1	Procesamiento del sistema.....	39
3.6.1.1	Calculo de la masa del fruto en el sistema	39
3.6.1.2	Cálculo de las dimensiones del fruto en el sistema.....	40
3.6.1.3	Cálculo del volumen y la densidad del fruto en el sistema	40
3.6.1.4	Identificación del color del fruto en el sistema	41
3.6.1.5	Porcentaje de la cáscara del fruto en el sistema	42
3.6.1.6	Porcentaje de la parte comestible del fruto en el sistema	42
3.6.1.7	Masa de la semilla en el sistema.....	43
3.6.1.8	Dimensiones de la semilla en el sistema.....	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		44
Conclusiones.....		44
Recomendaciones.....		45

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos edafoclimáticos del aguacate (<i>Persea americana</i>)	6
Tabla 2. Valor nutritivo del aguacate (<i>Persea americana</i>) en cada 100 gramos	6
Tabla 3. Masa de los aguacates cultivados en la finca Agropalta, provincia Santa Elena	22
Tabla 4. Dimensiones del aguacate cultivado en la finca Agropalta, provincia Santa Elena	23
Tabla 5. Volumen de los aguacates por el método desplazamiento de agua (MDA)	24
Tabla 6. Volumen de los aguacates por el método de perfil matemático (PM).....	25
Tabla 7. Volumen de los aguacates por el método de procesamiento de imágenes (PI)	26
Tabla 8. Comparación entre los métodos MDA y PM.....	27
Tabla 9. Comparación entre los métodos MDA y PI.....	28
Tabla 10. Datos de densidad de los aguacates cultivados en la finca Agropalta	29
Tabla 11. Análisis de color del aguacate cultivado en la finca Agropalta.....	30
Tabla 12. Porcentaje de cascara de los aguacates cosechados en la finca Agropalta (continua)	32
Tabla 13. Porcentaje de la parte comestible de los aguacates cosechados en la finca Agropalta (continua)	33
Tabla 14. Datos de las dimensiones de la semilla de aguacate cosechado en la finca Agropalta (continua)	33
Tabla 15. Promedios generales de las propiedades físicas del aguacate cultivado en la finca Agropalta (continua)	35
Tabla 16. Modelos matemáticos de la pérdida de peso de los aguacates cosechados en la finca Agropalta.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Frutos de aguacate (<i>Persea americana Hass</i>)	4
Figura 2. Componentes de la placa Arduino Uno.....	10
Figura 3. Procesamiento digital de imagen en Matlab	12
Figura 4. Representación de colores en una imagen digital.	12
Figura 5. Finca “Agropalta”, comuna Sube y Baja, provincia de Santa Elena.....	14
Figura 6. Dimensiones a medir del aguacate	16
Figura 7. Método de desplazamiento de agua	17
Figura 8. Método de procesamiento de imágenes en Matlab	18
Figura 9. Método de discos de cálculo integral para obtención del volumen.....	18
Figura 10. Perfilamiento matemático del aguacate en GeoGebra	19
Figura 11. Histograma de colores en el formato RGB	19
Figura 12. Comparación estadística entre los métodos MDA Y PM	27
Figura 13. Comparación estadística entre los métodos MDA y PI.....	28
Figura 14. Color en formato RGB de los aguacates cultivados en la finca Agropalta	31
Figura 15. Relación masa – volumen del aguacate.....	36
Figura 16. Grafica del modelo matemático que representa la pérdida de peso de los aguacates cosechados en la finca Agropalta.	38
Figura 17. Sistema para determinar las propiedades físicas del aguacate en Arduino	39
Figura 18. Calculo de la masa del aguacate en Arduino UNO	40
Figura 19. Dimensiones del aguacate programados en Arduino	40
Figura 20. Calculo del volumen y densidad del aguacate en el sistema Arduino	41
Figura 21. Identificación del color del aguacate en el sistema de Arduino	41
Figura 22. Porcentaje de la cáscara del aguacate en el sistema Arduino.....	42
Figura 23. Porcentaje de la parte comestible del aguacate en el sistema Arduino ...	42
Figura 24. Calculo de masa de la semilla en el sistema de Arduino	43
Figura 25. Dimensiones de la semilla de aguacate en el sistema de Arduino	43

ÍNDICE DE ANEXOS

- Figura 1A.** Cosecha de los aguacates en la finca Agropalta.
- Figura 2A.** Muestras recolectadas en la Finca Agropalta, comuna Sube y Baja.
- Figura 3A.** Aguacates seleccionados para el análisis no destructivo.
- Figura 4A.** Indicaciones por parte del tutor para el trabajo en el laboratorio.
- Figura 5A.** Medición de las dimensiones de los aguacates con el calibrador de vernier.
- Figura 6A.** Calculo del volumen de los aguacates por el método desplazamiento de agua.
- Figura 7A.** Aguacates seleccionados para el análisis destructivo.
- Figura 8A.** Masa de la parte comestible del aguacate.
- Figura 9A.** Masa de la cáscara del aguacate.
- Figura 10A.** Masa de la semilla del aguacate.
- Figura 11A.** Semilla de los aguacates para el análisis destructivo.
- Figura 12A.** Tutoría para el manejo y aplicación de los programas.
- Figura 13A.** Volumen del aguacate por el método de integrales o perfil matemático.
- Figura 14A.** Código para la obtención del volumen por el método de procesamiento de imágenes.
- Figura 15A.** Procesamiento digital del aguacate cosechado en la finca Agropalta.
- Figura 16A.** Código para el análisis del color de los aguacates, en formato RGB.
- Figura 17A.** Histograma de color RGB para los aguacates cultivados en la finca Agropalta.
- Figura 18A.** Prototipo diseñado en Arduino y Tinkercad para determinar las principales características físicas del aguacate.
- Figura 19A.** Código para la programación en Arduino y Tinkercad.

INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana*), es un cultivo frutal procedente de América tropical, que se extiende desde México hasta el sur de Perú (Ibarra, 1983). Es una planta perenne de la familia Lauraceae, su fruto es apreciado en varias regiones del mundo por ser rico en aceites, con una fuente equilibrada de proteínas y carbohidratos, lo que lo convierte en un elemento esencial de la dieta diaria (Márquez *et al.*, 2012).

Actualmente México es el país con mayor producción de aguacate en el mundo, continuando con República Dominicana, Indonesia, Colombia y Perú (FAO, s.f.). A partir del 2011 la producción de aguacate alcanzo un incremento significativo en la industria, motivado por el interés de los países consumidores, especialmente Estados Unidos, el principal país importador, cercano a Europa quien aún presenta una alta capacidad de desarrollo en su mercado, mientras que Asia, en particular China, se exhibe como escenario prometedor para potenciar el consumo (Arias *et al.*, 2018).

En Ecuador es posible exportar aguacate en cualquier época del año, gracias a su ubicación geográfica que favorece la producción fuera de temporada, actualmente en 4.653 hectáreas se producen 20.995 toneladas de aguacate (MAG, 2020). El incremento de la producción es promovido por exportaciones a Europa, en especial al Reino Unido, España y los Países Bajos, en el año 2020 se generaron más de 300 millones de dólares por exportación de aguacate (Flores *et al.*, 2021). En la Región Litoral del Ecuador, provincias como Santa Elena, tienen un clima propicio para producir aguacate y un gran potencial para incursionar en diferentes mercados internacionales, sin embargo, son pocas las investigaciones y estudios realizados en aguacate, puesto que la escasez de herramientas, recursos tecnológicos y económicos limitan la caracterización del fruto.

Teniendo en cuenta este enfoque y las bases de la agricultura sustentable se propone diseñar programas de investigación y avances tecnológicos, por ello el presente trabajo, mediante herramientas tecnológicas de software como Matlab y Arduino, se ofrecerá un primer acercamiento al análisis de las características físicas y modelamiento matemático del aguacate, mencionando en particular: masa, volumen, densidad, color, porcentaje de cáscara, porcentaje de la parte comestible, características de la semilla, simultáneamente sus relaciones y modelos matemáticos.

Problema Científico:

¿Es posible caracterizar el aguacate (*Persea americana*) desde el punto de vista físico-matemático empleando herramientas tecnológicas como Arduino y Matlab?

Objetivo General:

Determinar las características físicas y modelos matemáticos del aguacate (*Persea americana*) cultivado en la provincia de Santa Elena.

Objetivos Específicos:

1. Estimar el volumen del aguacate por tres métodos diferentes: Desplazamiento de agua, perfilamiento matemático y procesamiento digital de imágenes en Matlab.
2. Determinar la masa, dimensiones, densidad, porcentaje de cáscara, porcentaje de la parte comestible, color y características de la semilla utilizando análisis destructivo y no destructivo.
3. Construir un modelo matemático que relacione la masa y el volumen del aguacate.
4. Establecer un modelo matemático que describa la curva de pérdida del peso en el tiempo del aguacate, por efectos de la maduración.
5. Implementar una aplicación en Arduino por medio de Tinkercad para visualizar las propiedades físicas y relaciones matemáticas encontradas en el aguacate.

Hipótesis:

Empleando hardware de código abierto Arduino y software matemático Matlab es posible determinar las características físicas y relaciones matemáticas del aguacate (*Persea americana*) cultivado en la provincia de Santa Elena.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 El aguacate

1.1.1 Origen

El aguacate, científicamente denominado (*Persea americana*), es un árbol frutal perteneciente a la familia Lauraceae, es una de las plantas con flores más antiguas y se considera una especie que se encuentra aproximadamente en más de 3000 variedades en los trópicos y subtropicos de todo el mundo (Barbolla *et al.*, 2012).

Según CONABIO (2020), los aguacates son procedentes del Sur de México y América Central, también se evidencia que su punto de origen y de las diversas variedades de la especie (*Persea americana*) está en México, asimismo se halla enlazada a la variedad cultural existente en Mesoamérica.

1.1.2 Clasificación taxonómica

De acuerdo a Tamayo et al. (2008), la clasificación taxonómica del aguacate es:

- Reino: Vegetal
- División: Spermatophyta
- Subdivisión: Angiospermae
- Clase: Dicotyledoneae
- Subclase: Dipétala
- Orden: Ranales
- Género: *Persea*
- Especie: *Persea americana* Miller

1.1.3 Descripción botánica

Las características generales del aguacate expuestas por BioEnciclopedia (2016) son las siguientes:

El árbol: es caducifolio, puede alcanzar los 20 metros de altura. El tronco es de color marrón grisáceo, recto, de 30 a 60 centímetros de diámetro.

Las hojas: son alternas, con un color verde claro en la zona superior y una tonalidad más clara en la zona inferior. Son largas, ovaladas, con bordes afilados y miden de 12 a 25 centímetros de largo.

Las flores: son pequeñas y en sus seis pétalos exhiben un tono verdoso al igual que el resto de sus partes.

La semilla: se encuentra casi adherida al mesocarpio, es esférica, una cáscara dura la protege y en su interior contiene un líquido blanco leñoso.

El fruto: es la parte más valiosa del árbol. Es una baya, según la variedad adapta la forma de una pera redonda u ovalada. Las frutas maduras pueden tener un color verde a violeta oscuro y un epicarpio liso o arrugado (Figura 1). La pulpa es de color verde claro o amarillo, suave, levemente dulce y de textura mantecosa (BioEnciclopedia, 2016).



Figura 1. Frutos de aguacate (*Persea americana* Hass).

Fuente: CorpoAguacate (2016).

1.1.4 Variedades

Briones et al. (2018) señalan que, la gran variedad de aguacates que comercializan los países productores, en base a su origen geográfico se clasifican en tres grupos: raza mexicana, guatemalteca y antillana. De estas razas se originan diferentes variedades tales como, el aguacate fuerte proveniente de la raza mexicana y el aguacate hass procedente de la raza guatemalteca. Sin embargo, por su predominio en el mercado internacional y su alta producción en la zona de estudio se describe brevemente la variedad hass.

El aguacate Hass es una variedad con forma similar a una pera, en el árbol su tonalidad es verde oscuro, al madurar se torna entre morado a negro. La piel es de textura rugosa, el fruto va de pequeño a mediano, la semilla es de tamaño mediano ocasionando que se aproveche entre 66% – 70% de la pulpa, la cual sobresale por su calidad y sabor (Viveros Brokaw, 2018).

1.1.5 Cosecha y postcosecha

Brito and Vásquez (2012) definen al proceso de maduración como el cambio físico – químico que sucede en el fruto, proceso que delimita su color, textura y sabor apropiado para su uso y exportación. Este proceso finaliza con la madurez total del fruto, clasificándolo en dos tipos:

Frutos climatéricos: por el incremento de la producción de etileno y el índice de respiración completan el proceso fisiológico.

Frutos no climatéricos: estos frutos carecen de los requerimientos básicos que limitan el proceso de maduración.

Entre la producción y el uso del aguacate los procedimientos están sujetos al manejo agronómico, considerando procesos tales como, la selección del fruto, tratamiento en agua, lavado, desinfección, selección y clasificación de acuerdo a las exigencias del mercado (Briones *et al.*, 2018).

1.1.6 Requerimientos edafoclimáticos

En la Tabla 1 se presentan los requerimientos edafoclimáticos del aguacate.

Tabla 1. Datos edafoclimáticos del aguacate (*Persea americana*).

Requerimientos	
Clima	Cálido y templado
Temperatura	Desde 17 °C a 24 °C promedio
Humedad	Entre 75% y 80%
Precipitación	1 000 a 1 200 mm anuales
Altitud	800 y 2500 m.s.n.m.
Tipo de suelo	Suelos francos de consistencia media y ricos en materia orgánica.
pH	Neutro a ligeramente básico (5.5 a 7.0)

Fuente: INTAGRI (2019).

1.1.7 Valor nutricional

Los valores de los componentes del valor nutritivo del aguacate (*Persea americana*) se exhiben en la Tabla 2.

Tabla 2. Valor nutritivo del aguacate (*Persea americana*) en cada 100 gramos.

Componentes	Por cada 100 gramos
Agua	74.3 ml
Carbohidratos	2.4 g
Fibra	5 g
Vitamina A	61 mg
Vitamina C	7.9 mg
Vitamina E	2.3 mg
Potasio	599 mg
Magnesio	39 mg
Grasa	15.3 g
Proteínas	1.9 g
Calorías	161 kcal/ g

Fuente: Huaraca et al. (2016).

1.2 Producción Mundial

Arias et al. (2018) manifiestan que la producción mundial de aguacate ha aumentado significativamente en respuesta al incremento de la demanda mundial durante los últimos 20 años. Además, se estimó una producción entre 5.7 y 6.5 millones de toneladas para el 2020.

Es importante señalar que actualmente el 80.57% de la producción de aguacate se concentra en cinco países, iniciando con México, el más importante productor; por su parte, República Dominicana aún no es un actor importante en el comercio internacional, a pesar de su nivel de producción; Perú logró el 10.16% de la producción y con éxito exportó el 42% de lo que produce; por otra parte, Indonesia no representa un mercado extranjero, a pesar de su importante potencial de producción (7.7%); finalmente esta Colombia, con un crecimiento positivo del 35% en el 2017, mostrando un aumento significativo en las exportaciones (FAO, s.f.).

Además, debido al aumento de la demanda en estos mercados, el comportamiento de las importaciones aumentó drásticamente al mismo tiempo que la producción. Allí, los mercados estadounidenses y europeos se integran como los mayores importadores del mundo, y Asia, especialmente China, aparece como un escenario prometedor para una reactivación del consumo (Arias *et al.*, 2018).

1.3 Producción Nacional

En Ecuador se cultivan cuatro variedades del aguacate guatemalteco: Hass, Choquete, Booth 8 y Tonnage, la producción de estos aguacates aumento en el 2020 gracias a las exportaciones a Europa, particularmente Reino Unido, España y Países Bajos, obteniendo aproximadamente \$ 300 millones por cada exportación (Flores *et al.*, 2021).

MAG (2020) menciona que actualmente en 4653 hectáreas se producen 20.995 toneladas de aguacate, además indica que en Ecuador los precios a pie de finca bordean entre los \$ 0.60 y \$ 0.70 por kilo de aguacate, en Europa se triplican estos precios. El aguacate del litoral ecuatoriano y los Andes se encuentra entre los productos no tradicionales que se exportan, ofreciendo oportunidades de empleo, riqueza y la calidad de vida de los agricultores en las zonas rurales (Flores *et al.*, 2021).

Por lo tanto, Serrano et al. (2020) establecen como la globalización está ligada al comercio internacional, conectividad que permite a diferentes países llevar sus productos al mercado global y lo hace posible tanto para los países exportadores como para los importadores.

1.3.1 Producción en la provincia de Santa Elena

Actualmente existen varios productores en el país que se especializan en el cultivo de aguacate. El fruto abastece principalmente los mercados locales y la producción de aceite. En los últimos años ha aumentado constantemente el consumo de aguacates, especialmente de la variedad Hass.

Consecuentemente Sotomayor et al. (2016) manifiestan que 300 ha son dedicadas a la producción de aguacate en la provincia de Santa Elena y Coello (2015) indica que para la producción de aguacate hass se dedican 30 ha.

Según Fresh Plaza (2021), la provincia de Santa Elena realizó su primer envío a la Unión Europea mediante la exportadora BDB logic. El mismo que se ha logrado por la obtención de un producto de calidad a través de los estándares de trazabilidad requeridos por el mercado. Además, la producción local se lleva a cabo utilizando tecnología en el sistema de riego por goteo, control de enfermedades y el proyecto de una empacadora que persigue el efecto sinérgico del trabajo humano y la tecnología (Banana Export, 2021).

1.4 GeoGebra

GeoGebra es un software de libre acceso que permite construir y manipular estructuras geométricas en el plano y en el espacio. Asimismo, a partir de puntos, rectas, segmentos y vectores se pueden efectuar trazados dinámicos que dan como resultado diversas construcciones geométricas, tales como los tratamientos algebraicos, cálculos de funciones de variable real, su derivada e integral y representaciones gráficas (Gallo *et al.*, 2019).

1.5 Arduino

Vázquez (2021) exterioriza que Arduino es una plataforma de creación de prototipos electrónicos que se fundamentan en software y hardware flexible y fácil de usar que permite a cualquier persona construir circuitos electrónicos o robots mediante un código abierto.

Mientras que Fariño et al. (2020) indican que Arduino se basa en microcontroladores de código abierto y software IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), además es útil para para redactar códigos que se ejecuten en el hardware. Arduino fue desarrollado el 2005 en Italia con fines educativos (Martín, 2017).

1.5.1 Componentes de hardware

Muñoz and Córcoles (2017) describen los componentes que conforman la placa Arduino de la siguiente manera:

Pines digitales: Son conexiones digitales que mantienen dispositivos enlazados a la tarjeta, 14 pines digitales en el rango de 0 a 13 se encuentran en la placa de Arduino, asimismo, se puede emplear como pines de entrada y salida.

Pines analógicos: Pueden medir a partir de una amplia gama de voltaje. A diferencia de pines digitales que solo distingue dos valores, 0 a 1 igual a 0 V o 5 V.

Pines alimentación de sensores: Arduino alimenta componentes externos mediante pines, en el cual, uno es de 5 V y el otro es de 3.3 V.

Microcontrolador de comunicaciones: La función del microcontrolador de comunicaciones tiene como fin gestionar la comunicación con lo que está conectado a la placa.

Microcontrolador de programación: Este componente es considerado el cerebro de la placa y almacena los programas que deben ejecutarse y los programas que ejecuta la tarjeta.

Botón Reset: Interrumpiendo la ejecución actual, este botón permite que se reinicie el programa cargado dentro del microcontrolador.

Puerto USB: Es el puerto que se comunica con la placa Arduino. Sus principales características son:

- La alimentación
- En el microcontrolador la carga de los programas.
- Dirigir desde la placa al ordenador la información.

Conector de alimentación: Arduino tienen un puerto de alimentación externo que permite operar la placa sin usar una computadora, se debe tener cuidado de no abastecer a la placa una tensión superior a la del soporte, esta puede estar dañada si no se suministra energía de 7 V a 12 V.

Los componentes brevemente descritos de la placa Arduino Uno, se exhiben en la Figura 2.

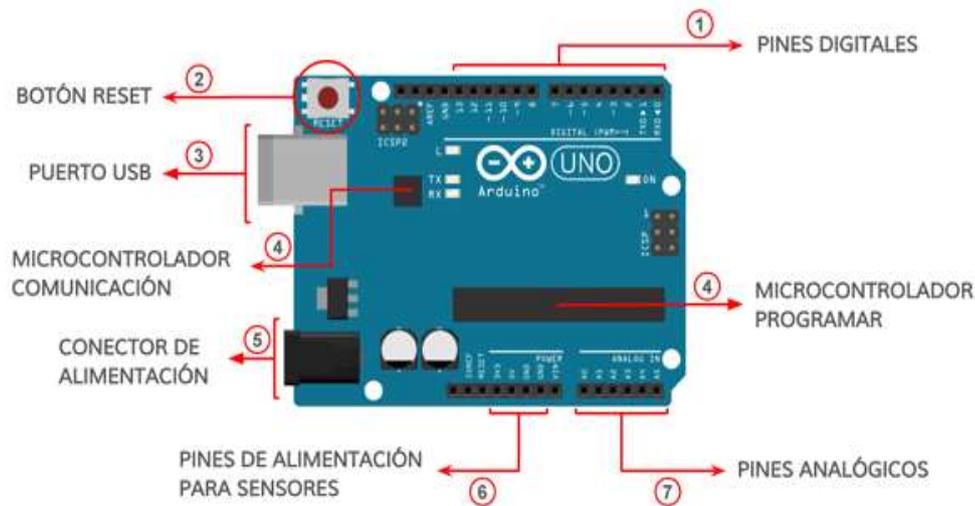


Figura 2. Componentes de la placa Arduino Uno.

Fuente: Jecrespom (2018).

1.5.2 Aplicación del sistema Arduino en el campo agropecuario

Muñoz (2020) menciona que la agricultura de precisión está relacionada con el uso de drones, sensores de temperatura, sensores de proximidad y cámaras térmicas, componentes tecnológicos que involucran el sistema Arduino, a su vez, el desarrollo de sistemas tecnificados de riego y fertilización resultan de la aplicación del mismo, de tal forma, el campo agropecuario obtiene información detallada de las condiciones ambientales, orientación y topografía del cultivo.

1.6 Matlab

Según De Anda (2019), Matlab (Matrix Laboratory) es un sistema interactivo donde los elementos de datos básicos son matrices que no requieren dimensionamiento. También es considerado como un lenguaje de nivel alto, creado para proporcionar servicios de

programación, visualización y computación numérica en un entorno fácil de usar (Flores and Ignacio, 2012).

Tirado and Augusto (2019) mencionan que las aplicaciones más importantes del Matlab son:

- Análisis o cálculo numérico.
- Cálculo de matrices.
- Procesamiento de señales.
- Gráficos diversos.

Matlab también proporciona varias soluciones específicas llamadas Toolboxes. Estas son importantes porque pueden resolver problemas en los siguientes contextos:

- Procesamiento de señales.
- Diseño del sistema de control.
- Simulación dinámica del sistema.
- Identificación del sistema.
- Red neuronal entre otros.

Quizás la característica más importante de Matlab es su capacidad de desarrollo. Esto permite a los usuarios crear sus propias aplicaciones y convertirse en colaboradores (Tirado and Augusto 2019).

1.6.1 Procesamiento digital de imágenes

Rojas (2012) indica que el procesamiento digital de imágenes es una herramienta esencial para varias aplicaciones, como el control industrial, control de calidad automatizado, robótica, sensores, telecomunicaciones, medicina y ciencias ambientales.

Según Gonzales and Woods (2018), el procesamiento de imágenes es la manera de procesar una señal en cualquier forma donde la entrada es una imagen y la salida una imagen o conjunto de funciones con respecto a la imagen (Figura 3).

Para obtener un atributo de imagen mediante el procesamiento digital, se consideran algunos pasos básicos, así como, adquirir la imagen, hacer el procesamiento, la segmentación de bordes, detección, representación, descripción, coincidencia y finalmente el reconocimiento (Pallo, 2021).

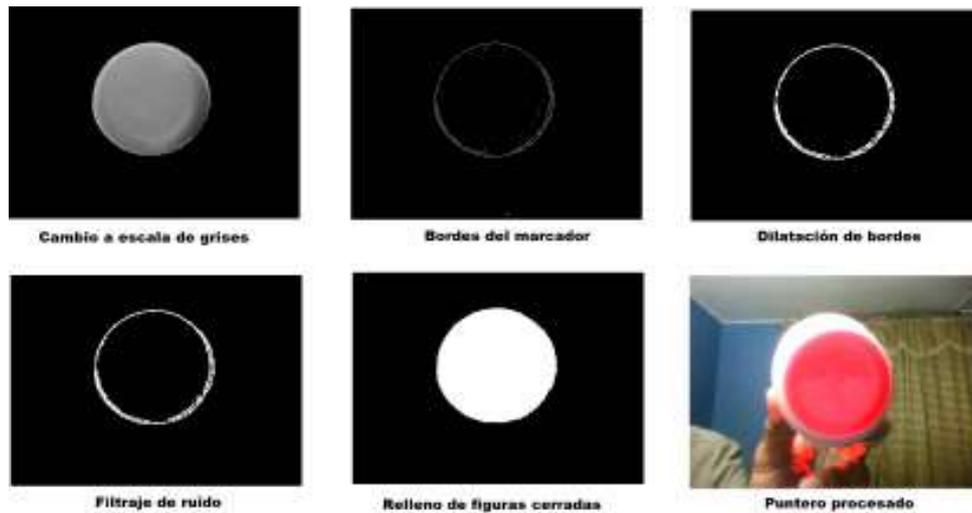


Figura 3. Procesamiento digital de imagen en Matlab.

Fuente: Ayala et al. (2016).

1.6.2 Representación de colores en una imagen digital

Pallo (2021) denomina señal bidimensional a una imagen digital, porque esta representa el color o brillo de los elementos que conforman una imagen registrada, además declara que Matlab utiliza tres matrices para almacenar imágenes en color, a las cuales se reconoce como sistema RGB, expresión que simboliza los colores rojo (red), verde (green) y azul (blue) de los píxeles.

Por consiguiente Romero et al. (2015) señalan que en el histograma se usan componentes gráficos, con el fin de informar la concentración de píxeles en los colores primarios del formato RGB, representándolos mediante la segmentación rectangular de una imagen, la escala de medida y el área empleada (Figura 4).

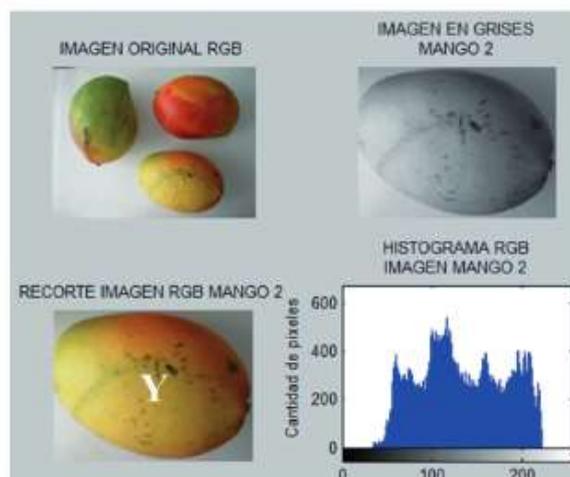


Figura 4. Representación de colores en una imagen digital.

Fuente: Romero et al. (2015).

1.6.3 Aplicación de Matlab y matemática en la Ingeniería Agropecuaria

Actualmente, las investigaciones agrícolas han incrementado la necesidad de introducir herramientas y modelos matemáticos, la interpretación correcta de estas técnicas facilita la toma de decisiones óptimas para el desarrollo del sistema. Además, en la agricultura, las matemáticas aplicadas proporcionan herramientas básicas, para la resolución de problemas y la utilización de nuevas tecnologías (Ramírez, 2018).

Ramírez (2018) también señala que hoy en día, el modelo matemático de ecuaciones diferenciales es un enfoque determinista que se ha convertido en una herramienta fundamental para lograr los objetivos marcados por muchos investigadores. Su ambición es deducir como ciertos fenómenos con cambios descritos por ecuaciones de magnitud afectan las variables de tiempo.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación y lugar del ensayo

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la finca “Agropalta” en la comuna Sube y Baja del cantón Santa Elena, perteneciente a la provincia del mismo nombre, ubicada en las coordenadas, latitud sur 2° 12' 17" y longitud oeste 80° 31' 25" situado a una altura de 49 m.s.n.m. (Figura 5). Tiene un clima tropical con una precipitación anual de aproximadamente 242 mm y temperatura promedio de 22.8 °C a 25.4 °C (Climate, 2020).



Figura 5. Finca “Agropalta”, comuna Sube y Baja, provincia de Santa Elena.

Fuente: Google Earth (2021).

2.2 Materiales

2.2.1 *Materiales de campo:*

- Cámara fotográfica Samsung
- Retroproyector
- 16 megapíxeles
- Lámpara de 32w
- Flexómetro
- Vaso de precipitación
- Soportes metálicos
- Balanza digital
- Calibrador vernier
- Agua
- Cinta métrica

2.2.2 *Materiales para el procesamiento de imágenes*

- Computador con Windows 10
- Software matemático MATLAB versión 2020a
- Paquete Toolbox de procesamiento de imágenes digital de MATLAB
- Software estadístico STATGRAPHICS Centurión XIX, versión 19.1.2

2.3 Tipo de investigación

En este trabajo se implementó una investigación de tipo descriptiva y cuantitativa.

2.4 Metodología

Aguacates de la variedad Hass, destinados a exportación, cosechados en junio del 2021 en la finca Agropalta, comuna Sube y Baja, provincia Santa Elena, se utilizaron en este estudio.

2.4.1 *Tamaño de la muestra*

En el presente trabajo de titulación, se utilizaron 60 aguacates de la variedad Hass de exportación para determinar sus propiedades físicas y relaciones matemáticas, como se declara en estudios semejantes en cerezas, higos y melones (Shahbazi and Rahmati, 2012). De manera similar, en otros estudios realizados por Seyedabadi et al. (2013), distribuidos de la siguiente forma:

30 aguacates análisis no destructivo

- Masa total del fruto
- Dimensiones
- Volumen
- Densidad
- Color

30 aguacates análisis destructivo

- Porcentaje de cáscara.
- Porcentaje de la parte comestible.

- Masa y porcentaje de la semilla.
- Dimensiones de la semilla.

2.4.2 Variables a determinar

2.4.2.1 Masa total del fruto

Utilizando una balanza digital marca Scout Pro con capacidad de 600 g y precisión de 0.01 g, se determinó la masa de cada fruto.

2.4.2.2 Dimensiones del aguacate

Empleando un calibrador vernier marca JTC 3474 con una precisión de 0.01 mm y un rango de operación de 150 mm, se tomaron las medidas del aguacate que se muestran en la Figura 6.

a = largo

b = ancho

c = grosor

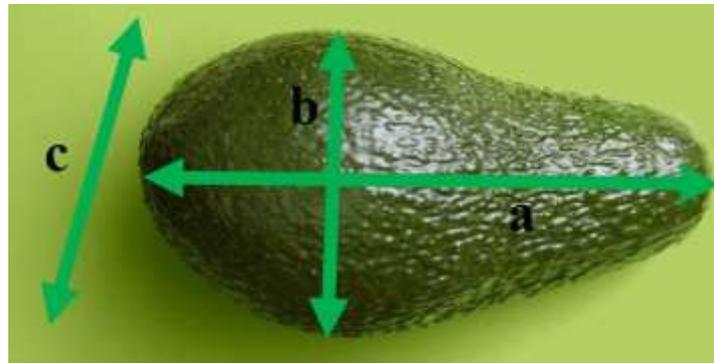


Figura 6. Dimensiones a medir del aguacate.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.3 Volumen

Método de desplazamiento de agua

En la Figura 7 se exhibe parte del primer método que se utilizó para determinar el volumen del aguacate y hacer referencia del mismo, el método de desplazamiento de agua consistió en sumergir el aguacate en un vaso precipitado lleno de agua y medir el desbordamiento del agua, como se muestra en la siguiente fórmula (Lee *et al.*, 2017).

$$V = \frac{W_a - W_w}{Y_w} = \frac{W_{bfw} - W_{bw}}{Y_w} = \frac{W_d}{Y_w}$$

V : volumen del fruto

W_a : peso del fruto en aire

W_w : peso del fruto en agua

W_{bfw} : peso total del vaso de precipitado, agua y fruto

W_{bw} : peso del vaso de precipitado y agua

W_d : peso del agua desbordada

Y_w : peso específico del agua (9.810 N/m²)



Figura 7. Método de desplazamiento de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Método de procesamiento de imágenes

Para el siguiente método se llevaron a cabo los pasos que se muestran a continuación:

1. Se capturo la imagen en formato RGB con una cámara fotográfica Samsung (16 mega píxeles).
2. Utilizando Matlab se convirtió la imagen a escala de grises.
3. Se transformó la imagen a escala binaria.
4. Se determinó el perfil del fruto (Figura 8).
5. Se utilizó el método de discos de cálculo integral para determinar el volumen del fruto (Figura 9).



Figura 8. Método de procesamiento de imágenes en Matlab.

Fuente: Gokul et al. (2015).

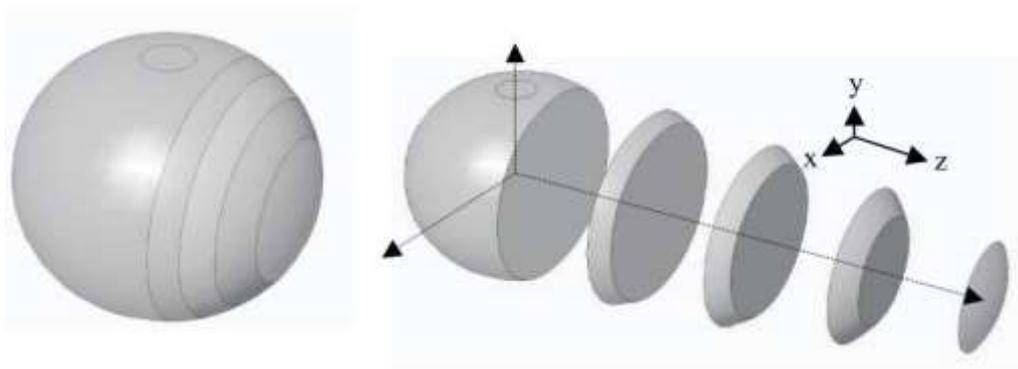


Figura 9. Método de discos de cálculo integral para obtención del volumen.

Fuente: Khojastehnazhand et al. (2009).

Método de integrales o perfil matemático

Para el método de perfil matemático se realizaron los siguientes pasos:

1. Se utilizó las imágenes capturadas en el método anterior
2. Aplicando GeoGebra se empleó puntos, polinomios y funciones matemáticas para perfilar cada aguacate inmerso en el estudio (Figura 10).
3. Se definió el límite inferior y superior, utilizando la medida de longitud del fruto.
4. Para el cálculo de volumen se utilizó la siguiente fórmula de integrales.

$$V = \pi \int_a^b (f(x))^2 dx$$

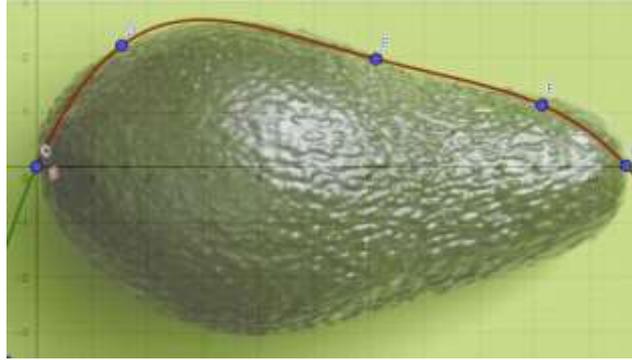


Figura 10. Perfilamiento matemático del aguacate en GeoGebra.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.4 Densidad

La densidad se calculó directamente con la fórmula física que se presenta a continuación:

$$p = \frac{m}{v}$$

$m = \text{masa (g)}$

$v = \text{volumen (cm}^3\text{)}$

$p = \text{densidad (g/cm}^3\text{)}$

2.4.2.5 Color

Utilizando Matlab a través de un histograma RGB (Figura 11), en un rango de 0 a 255 se determinó la cantidad de color rojo, verde y azul que componen la imagen digital de los aguacates.

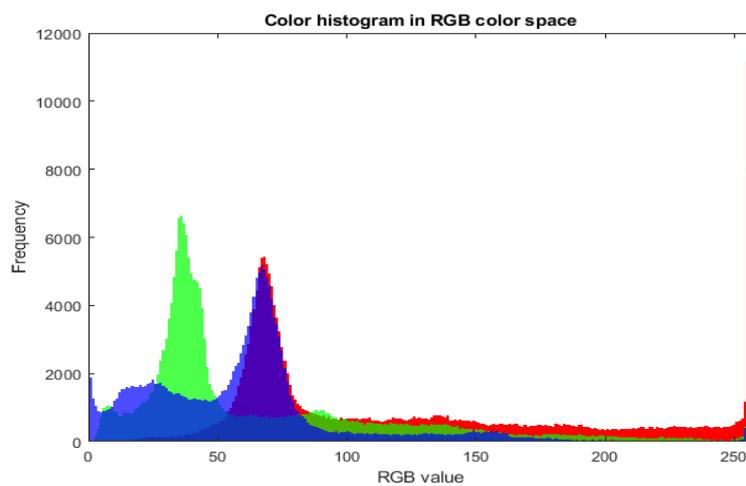


Figura 11. Histograma de colores en el formato RGB.

Fuente: MathWorks (2021).

2.4.2.6 Porcentaje de cáscara y de la parte comestible

Para la obtención de los porcentajes se aplicó las siguientes relaciones matemáticas:

$$\% \text{ Cáscara} = \frac{\text{masa cáscara}}{\text{masa total}} * 100$$

$$\% \text{ Comestible} = \frac{\text{masa parte comestible}}{\text{masa total}} * 100$$

2.4.2.7 Masa de la semilla

Al igual que la masa del fruto, la masa de la semilla del aguacate se obtuvo mediante el uso de la balanza digital marca Scout Pro con precisión de 0.01 g y un capacidad de 600 g.

2.4.2.8 Dimensiones de la semilla

Los datos de largo, ancho y profundidad de la semilla de aguacate resultaron del uso del calibrador vernier calibrador marca JTC 3474 con una precisión de 0.01 mm y un rango de operación de 150 mm.

2.4.3 Análisis estadístico y modelamiento matemático

En el software estadístico Statgraphics Centurion XIX, versión 19.1.2, se procesaron los datos obtenidos de volumen, aplicando estadística descriptiva que contiene medidas de tendencia central, dispersión y un test de comparación de medidas pareadas, se determinó la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de volumen empleados en el estudio. Para comprobar el análisis y los resultados obtenidos, se utilizaron apartados estadísticos sobre regresión lineal y ajuste de curvas, determinando el modelo matemático que mejor relacione el volumen y la masa de los aguacates. Tomando los datos de la masa del fruto durante 15 días después de su cosecha, se diseñó el modelamiento matemático que relacione la pérdida de masa en el tiempo por la maduración del fruto.

2.4.4 Implementación en Arduino

Determinado el modelo matemático que relacione las variables masa y volumen del aguacate (*Persea americana*), se procedió a construir un prototipo, mediante la programación en el hardware Arduino y el simulador Tinkercad, con la finalidad de visualizar la información detallada de las propiedades físicas encontradas en el aguacate hass de exportación cultivado en la finca Agropalta, provincia de Santa Elena.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis no destructivo

3.1.1 Masa

La Tabla 3 exhibe los valores de la masa de los aguacates recién cosechados en la finca Agropalta para el análisis no destructivo.

Tabla 3. Masa de los aguacates cultivados en la finca Agropalta, provincia Santa Elena.

Aguacate	Masa (g)	Aguacate	Masa (g)
1	211.90	16	177.80
2	167.80	17	138.30
3	195.20	18	184.50
4	186.80	19	203.90
5	223.80	20	202.30
6	212.40	21	240.40
7	128.30	22	190.10
8	160.80	23	258.30
9	147.80	24	207.50
10	165.90	25	200.40
11	156.80	26	209.40
12	217.20	27	210.90
13	182.90	28	141.10
14	189.30	29	168.40
15	176.90	30	184.40

g: gramos.

El promedio para la masa de los aguacates recién cosechados (Tabla 3), fue 188.05 g. Resultado similar al reportado por Flores (2013) quien obtuvo una masa promedio de 189.07 g en su estudio fenológico de dos variedades de aguacate en la provincia de Pichincha, sin embargo, nuestro dato es inferior al de Orhevba and Jinadu (2011) quienes presentan una masa de 382.5 g para aguacates estudiados en el estado de Nigeria.

3.1.2 Dimensiones del aguacate

Los datos del largo, ancho y profundidad de los 30 aguacates recién cosechados en la finca Agropalta aparecen en la Tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones del aguacate cultivado en la finca Agropalta, provincia Santa Elena.

Aguacate	L (cm)	A (cm)	P (cm)	Aguacate	L (cm)	A (cm)	P (cm)
1	9.33	6.64	6.69	16	9.33	6.17	6.15
2	9.21	5.91	6.10	17	7.63	5.85	6.02
3	9.69	6.29	6.17	18	10.36	5.74	6.13
4	9.02	6.29	6.38	19	9.44	6.42	6.58
5	9.81	6.51	6.69	20	10.28	6.55	6.34
6	9.45	6.51	6.65	21	9.64	6.94	6.88
7	8.05	5.66	5.67	22	9.45	6.33	6.33
8	8.65	6.01	6.09	23	9.88	7.22	7.33
9	8.42	5.93	5.97	24	9.13	6.22	7.76
10	8.82	6.05	6.04	25	9.15	6.48	6.53
11	8.62	6.04	5.94	26	10.34	6.32	6.47
12	9.36	6.69	6.79	27	9.93	6.49	6.58
13	8.94	6.33	6.35	28	8.13	5.73	5.83
14	8.73	6.57	6.58	29	8.57	6.17	6.14
15	9.93	5.95	6.03	30	10.17	5.85	6.13

L: longitud **A:** ancho (diámetro) **P:** profundidad **cm:** centímetro

En la Tabla 4 el promedio de longitud, diámetro y profundidad de los aguacates fue de 9.25 cm, 6.26 cm y 6.38 cm, datos inferiores a los reportados por Orhevba and Jinadu (2011) quienes determinaron el calibre del aguacate con respecto a su diámetro mayor (longitud), intermedio (ancho) y menor (profundidad) de 10.07 cm, 9.02 cm y 8.46 cm. Los resultados obtenidos para el diámetro coinciden con los de Flores (2013) quien menciona en su trabajo de titulación un diámetro de 5.72 cm para aguacates de la

variedad Hass cultivados en la provincia de Pichincha, en condiciones similares Macas (2013) obtiene un valor inferior de 4.19 cm.

3.1.3 Volumen

3.1.3.1 Método desplazamiento de agua (MDA)

Los resultados obtenidos para el volumen de los 30 aguacates cultivados en la finca Agropalta, por el método desplazamiento de agua (MDA), se exponen en la Tabla 5.

Tabla 5. Volumen de los aguacates por el método desplazamiento de agua (MDA).

Aguacate	MDA (cm ³)	Aguacate	MDA (cm ³)
1	204	16	174
2	163	17	131
3	190	18	183
4	185	19	206
5	218	20	199
6	215	21	244
7	125	22	188
8	157	23	260
9	140	24	210
10	160	25	193
11	156	26	206
12	216	27	216
13	178	28	138
14	182	29	164
15	177	30	182

MDA: Método desplazamiento de agua **cm³:** centímetro cúbico

El valor promedio del volumen de los aguacates, aplicando el método de desplazamiento de agua (MDA), fue de 185.33 cm³, resultado similar al de Bayram et al. (2016) quienes mencionan en su investigación un volumen promedio de 186.71 cm³ para la decimotercera cosecha de aguacates Hass durante el periodo 2010 – 2011 en Turquía.

3.1.3.2 Método de integrales o perfil matemático (PM)

Los valores del volumen de los aguacates cosechados en la finca Agropalta, mediante el método de integrales o perfil matemático (PM) se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Volumen de los aguacates por el método de perfil matemático (PM).

Aguacate	PM (cm³)	Aguacate	PM (cm³)
1	193	16	182
2	157	17	127
3	187	18	191
4	185	19	209
5	216	20	201
6	199	21	238
7	125	22	191
8	163	23	258
9	144	24	212
10	156	25	196
11	160	26	207
12	207	27	209
13	172	28	142
14	182	29	172
15	177	30	182

PM: Método de integrales o perfil matemático **cm³:** centímetro cúbico

Empleando el método de integrales o perfil matemático (PM), el volumen promedio de los 30 aguacates cosechados en la finca Agropalta para el análisis no destructivo fue de 184.80 cm³.

3.1.3.3 Método de procesamiento de imágenes (PI)

Los valores del volumen de los aguacates cultivados en la finca Agropalta, aplicando el método de procesamiento digital de imágenes (PI) se exhiben en la Tabla 7.

Tabla 7. Volumen de los aguacates por el método de procesamiento de imágenes (PI).

Aguacate	PI (cm ³)	Aguacate	PI (cm ³)
1	208	16	172
2	154	17	130
3	191	18	173
4	177	19	198
5	217	20	187
6	214	21	236
7	130	22	185
8	153	23	282
9	136	24	211
10	159	25	203
11	145	26	207
12	209	27	207
13	177	28	137
14	182	29	162
15	170	30	171

PI: Método de procesamiento de imágenes **cm³:** centímetro cúbico

Aplicando en método de procesamiento de imágenes en Matlab el valor promedio del volumen de 30 aguacates cosechado en la finca Agropalta, provincia Santa Elena fue de 182.77 cm³.

3.1.3.4 Comparación estadística de los métodos empleados en el cálculo del volumen

3.1.3.4.1 Método desplazamiento de agua (MDA) y perfil matemático (PM)

Los resultados de la comparación estadística entre el método de desplazamiento de agua (MDA) y perfil matemático (PM) se presentan en la Tabla 8 y Figura 12.

Tabla 8. Comparación entre los métodos MDA y PM.

Prueba de hipótesis t-tes pareada	95% de intervalo de confianza para la diferencia entre MDA & PM
MDA & PM	-1.48; 2.82
Igual (p-valor = 0.531)	
U1 = U2	

MDA: Método desplazamiento de agua PM: Método de integrales o perfil matemático
 U1=U2: Prueba bilateral p-valor: Significación estadística

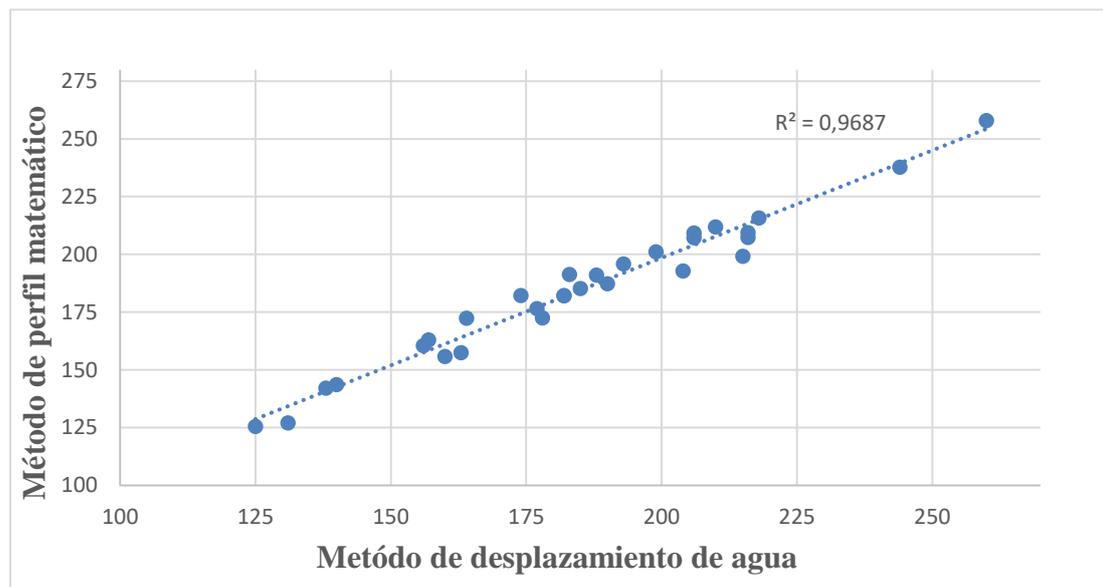


Figura 12. Comparación estadística entre los métodos MDA y PM.

Fuente: Elaboración propia.

Al efectuar la comparación de muestras pareadas mediante la prueba estadística se demostró inexistente las diferencias significativas de los aguacates al experimentar con el método de desplazamiento de agua (MDA) y el método de integrales o perfil matemático (PM), con el 95% de intervalo de confianza y una diferencia de medidas

que fluctúa entre -1.48; 2.82 cm³, de esta manera se demuestra similitud y efectividad entre el método MDA y el método PM para determinar el volumen de los aguacates.

3.1.3.4.2 Método desplazamiento de agua y procesamiento de imágenes (PI)

Los resultados obtenidos mediante la comparación estadística entre el método de desplazamiento de agua (MDA) y procesamiento de imágenes (PI) se exhibe en la Tabla 9 y Figura 13.

Tabla 9. Comparación entre los métodos MDA y PI.

Prueba de hipótesis t-tes pareada	95% de intervalo de confianza para la diferencia entre MDA & PI
MDA & PI	-0.05; 5.18
Igual (p-valor = 0.054)	
U1 = U2	

MDA: Método desplazamiento de agua **PI:** Método de procesamiento de imágenes
U1=U2: Prueba bilateral **p-valor:** Significación estadística

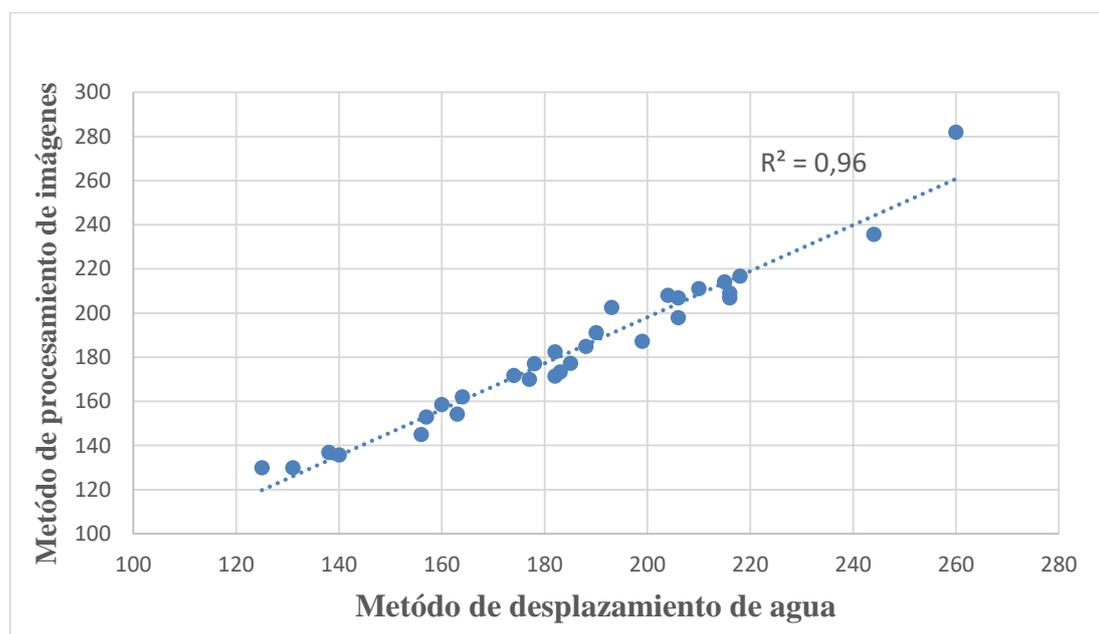


Figura 13. Comparación estadística entre los métodos MDA y PI.

Fuente: Elaboración propia.

Al ejecutar la comparación de muestras pareadas mediante la prueba estadística se patentiza inexistente las diferencias significativas de los aguacates al experimentar con el método de desplazamiento de agua (MDA) y el método de procesamiento de

imágenes (PI), con un 95% de intervalo de confianza y una diferencia de medidas que oscilan entre -0.05 ; 5.18 cm^3 , de tal forma se demuestra similitud y efectividad entre el método MDA y el método PI para determinar el volumen de los aguacates, coincidiendo con lo reportado por Khojastehnazhand et al. (2009) quienes obtuvieron una diferencia de -0.15 cm^3 con un intervalo de confianza del 95%: -1.12 y 0.82 cm^3 demostrando así, que no existe diferencia significativa entre el volumen calculado por el método MDA y el PI para determinar el tamaño de una fruta.

3.1.4 Densidad

Los datos de densidad para 30 aguacates recién cosechados en la finca Agropalta, provincia Santa Elena, se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Datos de densidad de los aguacates cultivados en la finca Agropalta.

Aguacate	Densidad (g/cm^3)	Aguacate	Densidad (g/cm^3)
1	1.04	16	1.02
2	1.03	17	1.06
3	1.03	18	1.01
4	1.01	19	0.99
5	1.03	20	1.02
6	0.99	21	0.99
7	1.03	22	1.01
8	1.02	23	0.99
9	1.06	24	0.99
10	1.04	25	1.04
11	1.01	26	1.02
12	1.01	27	0.98
13	1.03	28	1.02
14	1.04	29	1.03
15	1.00	30	1.01

g/cm^3 : gramo por centímetro cúbico.

El valor promedio de la densidad para de los aguacates cultivados en la finca Agropalta (Tabla 10), fue de 1.02 g/cm³, valor similar al reportado por Orhevba and Jinadu (2011) de 1.05 g/cm³ en su investigación sobre las características físicas y químicas del aguacate en Nigeria.

3.1.5 *Análisis de color del aguacate*

Los resultados del análisis de color en formato RGB para los aguacates recién cosechados en la finca Agropalta se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Análisis de color del aguacate cultivado en la finca Agropalta.

Aguacate	R	G	B	Aguacate	R	G	B
1	56	65	42	16	29	40	21
2	56	69	49	17	43	51	29
3	67	83	52	18	37	43	29
4	58	70	44	19	44	55	27
5	61	73	51	20	48	52	41
6	64	69	53	21	40	50	22
7	59	62	39	22	23	31	15
8	45	55	29	23	40	45	25
9	52	63	35	24	34	43	17
10	53	58	38	25	35	40	23
11	55	67	30	26	58	66	42
12	50	58	28	27	52	52	39
13	31	45	21	28	57	61	44
14	36	40	29	29	48	57	37
15	41	52	35	30	54	57	38

RGB: Red, Green, Blue (Rojo, Verde, Azul).

El promedio obtenido para la tonalidad que compone la imagen de los 30 aguacates en el sistema RGB fue 47 para el color rojo, 55 para el color verde y 35 para el color azul, resultados superiores al de Salazar and Choque (2017) quienes manifiestan un valor

promedio de 44 para el color rojo, 38 para el verde y 38 para el azul en imágenes de 50 aguacates de la variedad Hass con un estado de madurez acto para consumo.

Con los resultados del formato RGB para los aguacates cosechados en la finca Agropalta, se procedió a consultar en la tabla de colores HTML (Lenguaje de Marcas de Hipertexto) el código y el color que se exhibe en la Figura 14.

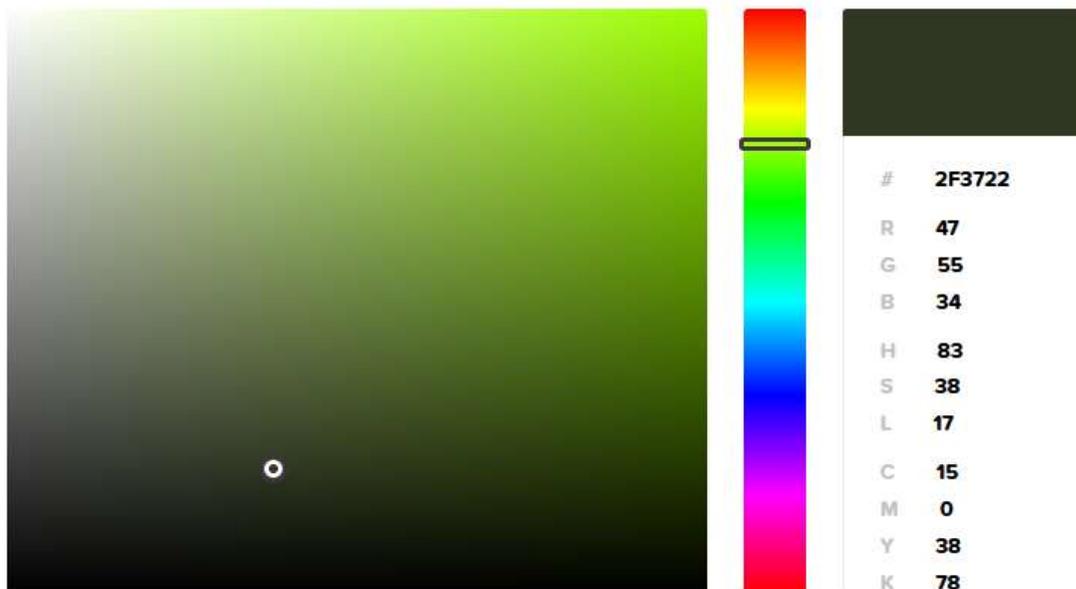


Figura 14. Color en formato RGB de los aguacates cultivados en la finca Agropalta.

Fuente: Elaboración propia.

Empleando Matlab se analizó las imágenes y capas RGB de los aguacates cosechados en la finca Agropalta, comuna Sube y Baja, provincia de Santa Elena obteniendo una tonalidad verde grisáceo oscuro (Figura 14) dato que se relaciona con Orhevba and Jinadu (2011) quienes mencionan una coloración negro violáceo para los aguacates cosechados en el Estado de Nigeria.

3.2 Análisis destructivo

3.2.1 Porcentaje de cáscara

El porcentaje de cáscara de los 30 aguacates cosechados en la finca Agropalta para el análisis destructivo 15 días postcosecha se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Porcentaje de cáscara de los aguacates cosechados en la finca Agropalta.

Aguacate	%Cáscara	Aguacate	%Cáscara
1	18.44	16	16.60
2	12.46	17	14.26
3	17.28	18	16.07
4	16.41	19	16.34
5	18.66	20	14.32
6	14.91	21	19.32
7	15.53	22	17.81
8	16.63	23	13.60
9	22.24	24	15.51
10	18.71	25	20.15
11	15.65	26	14.90
12	17.64	27	14.47
13	18.60	28	20.14
14	14.32	29	23.06
15	14.48	30	21.57

Mediante el análisis destructivo de 30 aguacates luego de 15 días de cosecha, el porcentaje promedio de cáscara fue del 17% con 30.15 g de masa promedio. Resultado similar al encontrado por Márquez et al. (2012), quienes obtuvieron un porcentaje de cáscara del 18.9% y 21.5% al estudiar dos variedades de aguacate en el municipio de Antioquia, Colombia. Así mismo Gómez (2002) indica un valor inferior para la cáscara de 12 variedades de aguacate, que estuvo entre el 7.3% y 12.7%.

3.2.2 Porcentaje de la parte comestible

Los datos del porcentaje del parte comestible obtenido por el análisis destructivo de 30 aguacates a los 15 días de su cosecha se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Porcentaje de la parte comestible de los aguacates cosechados en la finca Agropalta.

Aguacate	%Comestible	Aguacate	%Comestible
1	57.95	16	63.12
2	59.62	17	61.61
3	63.98	18	60.77
4	62.17	19	65.27
5	63.89	20	61.68
6	70.86	21	54.13
7	56.11	22	62.02
8	58.48	23	63.11
9	58.96	24	61.37
10	61.04	25	62.34
11	61.39	26	63.51
12	66.17	27	56.49
13	64.69	28	58.24
14	68.11	29	51.84
15	68.34	30	53.80

El porcentaje promedio de la parte comestible de los aguacates (Tabla 13), fue del 61.37 % con una masa de 30.5 g, porcentaje inferior al mencionado por Márquez et al. (2012) de 69.8 % y 64.8%, 14 días después de la cosecha. Sin embargo el porcentaje obtenido se encuentra entre 55.7% y 76.8% valores reportados por (Gómez, 2002).

3.2.3 Dimensiones de la semilla de aguacate

Los datos de las dimensiones de la semilla de aguacate se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Dimensiones de la semilla de aguacate cosechado en la finca Agropalta (continua)

Aguacate	L (cm)	A (cm)	P (cm)	Aguacate	L (cm)	A (cm)	P (cm)
1	4.11	3.66	3.72	16	4.31	3.73	3.88
2	4.16	3.83	3.89	17	4.01	3.79	3.81
3	4.17	3.28	3.31	18	3.66	3.62	3.58

Tabla 14. “continuación”

Aguacate	L (cm)	A (cm)	P (cm)	Aguacate	L (cm)	A (cm)	P (cm)
4	4.02	3.18	3.26	19	3.41	3.42	3.36
5	4.46	3.78	3.74	20	4.25	3.85	3.92
6	4.11	2.73	2.76	21	4.09	3.67	3.84
7	3.69	3.85	3.96	22	4.06	3.35	3.42
8	4.31	4.07	4.08	23	4.74	4.01	3.98
9	3.96	3.53	3.55	24	4.16	3.92	4.14
10	4.02	3.45	3.40	25	4.12	3.33	3.44
11	3.95	3.58	3.57	26	4.31	3.62	3.68
12	3.88	3.05	3.08	27	4.24	4.34	4.49
13	3.93	3.31	3.35	28	4.25	3.52	3.68
14	3.98	3.47	3.52	29	4.06	3.62	3.76
15	3.61	3.09	3.14	30	4.57	3.81	3.75

L: longitud **A:** ancho (diámetro) **P:** profundidad **cm:** centímetro

Mediante el análisis destructivo el promedio de longitud, diámetro y profundidad de la semilla de aguacate cosechado en la finca Agropalta, fue de 4.09 cm, 3.58 cm y 3.64 cm. Resultados similares a los de Gálvez et al. (2016) quienes obtuvieron en su investigación una longitud y diámetro de 3.90 cm y 3.91 cm para la semilla de aguacate Esther cultivado en Quillota, Chile.

3.3 Resumen general de las principales propiedades físicas del aguacate

En la Tabla 15 se presentan los promedios generales de las principales características y propiedades físicas del aguacate Hass para exportación cosechado en la finca Agropalta, comuna Sube y Baja, provincia Santa Elena.

Tabla 15. Promedios generales de las propiedades físicas del aguacate cultivada en la finca Agropalta.

Promedios generales de las propiedades físicas del aguacate	
Análisis no destructivo	
Masa aguacate	188.05 g
Longitud	9.25 cm
Diámetro	6.26 cm
Profundidad	6.38 cm
Volumen (método de desplazamiento de agua)	185.33 cm ³
Volumen (método de perfil matemático)	184.80 cm ³
Volumen (método de procesamiento de imágenes)	182.77 cm ³
Densidad	1.02 g/cm ³
Color (Rojo R)	47.03
Color (Verde G)	55.23
Color (Azul B)	34.63
Análisis destructivo	
Masa aguacate	177.95 g
Masa cáscara	30.15 g
Porcentaje de cáscara	17.00 %
Masa comestible	109.32 g
Porcentaje comestible	61.37 %
Masa semilla	36.71 g
Porcentaje de semilla	21.00 %
Longitud de semilla	4.09 cm
Diámetro de semilla	3.58 cm
Profundidad de semilla	3.64 cm

g: gramo **cm:** centímetro **cm³:** centímetro cúbico **g/cm³:** gramo por centímetro cúbico
%: porcentaje

3.4 Modelo matemático relación masa – volumen del aguacate

Efectuamos un modelo matemático que enlace las variables masa y volumen del aguacate empleando el método de procesamiento de imágenes, con el fin de innovar tecnología el campo agrícola con técnicas de fácil ejecución y aplicación para el productor (Figura 15).

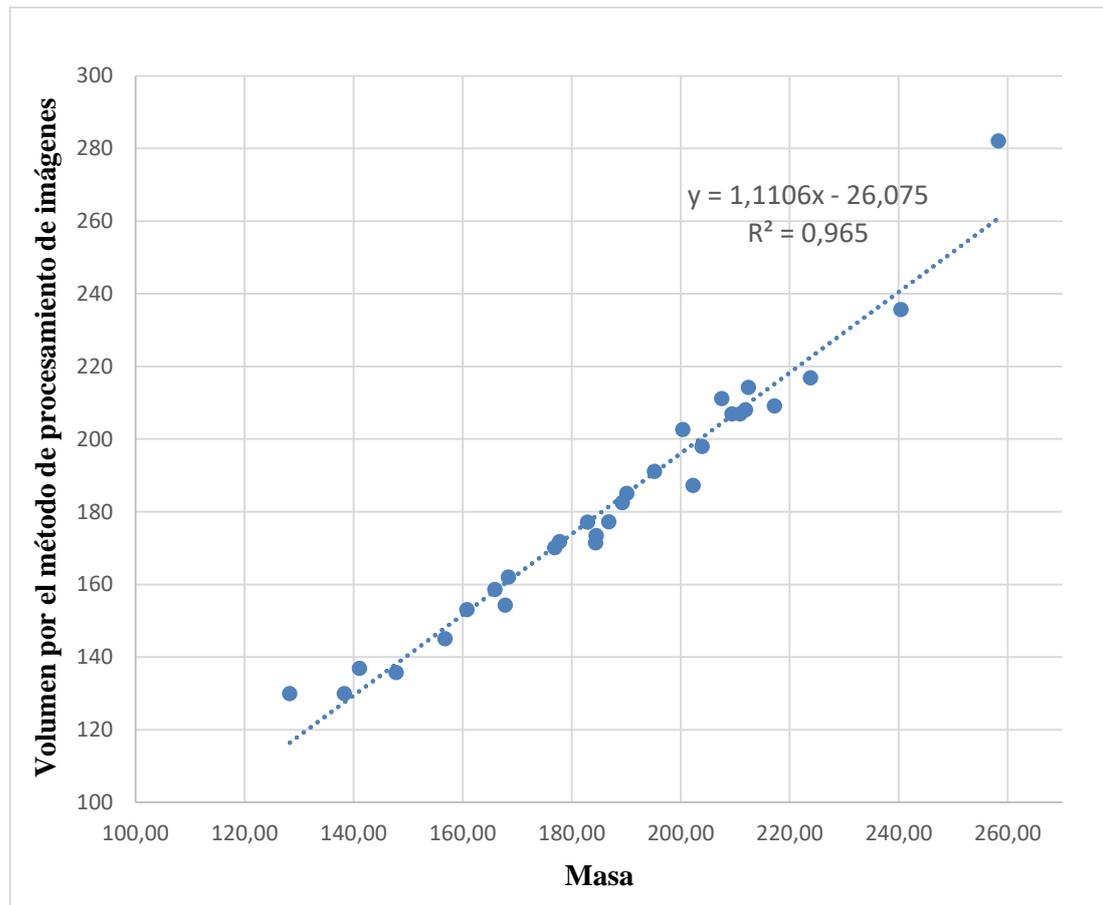


Figura 15. Relación masa – volumen del aguacate.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 15 exhibe el modelo matemático obtenido para el aguacate de la finca Agropalta, siendo este de función lineal con volumen igual a $1.0543 * \text{Masa} - 26.075$ y un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.965$, función que demuestra la relación masa - volumen del aguacate, como indica en su estudio Khojastehnazhand et al. (2009) quien con un coeficiente de determinación de 0.9641 demostró la relación entre la masa y el volumen de la naranja.

3.5 Modelo matemático de pérdida de peso del aguacate

En la Tabla 16, con el mejor ajuste posible se plantea un modelo matemático, el cual detalle la pérdida de peso del aguacate a lo largo de 15 días después de la cosecha, alcanzando un alto grado de madurez. A continuación, se muestra todos los modelos matemáticos que se relacionan con los datos recolectados.

Tabla 16. Modelos matemáticos de la pérdida de peso de los aguacates cosechados en la finca Agropalta.

Modelo	Ecuación	R ²
Exponencial	$y = 189.87e^{-0.006x}$	R ² = 0.9811
Lineal	$y = -1.1203x + 189.69$	R ² = 0.9845
Logarítmico	$y = -5.848\ln(x) + 191.6$	R ² = 0.8201
Polinómico grado 2	$y = -0.0319x^2 - 0.61x + 188.24$	R ² = 0.9962
Polinómico grado 3	$y = -0.0045x^3 + 0.0752x^2 - 1.3176x + 189.33$	R ² = 0.9994
Polinómico grado 4	$y = -0.0003x^4 + 0.0049x^3 - 0.0232x^2 - 0.9404x + 188.95$	R ² = 0.9996
Polinómico grado 5	$y = -4E-05x^5 + 0.0014x^4 - 0.0197x^3 + 0.1327x^2 - 1.3465x + 189.26$	R ² = 0.9996
Polinómico grado 6	$y = 2E-05x^6 - 0.001x^5 + 0.0193x^4 - 0.1792x^3 + 0.8319x^2 - 2.7097x + 190.11$	R ² = 0.9998
Potencial	$y = 191.86x^{-0.032}$	R ² = 0.8106

Los modelos matemáticos (Tabla 16) detallan la pérdida de peso del fruto. Enfocados en la programación se seleccionó el modelo lineal, puesto que, es recomendable emplear sencillos modelos matemáticos que reduzcan el tiempo de ejecución y mínimo consumo de memoria del computador.

3.5.1 Gráfica del modelo matemático de pérdida de peso del aguacate

En la Figura 16 se grafica el modelo matemático seleccionado anteriormente, demostrando como en función del tiempo y madurez del fruto la masa disminuye.

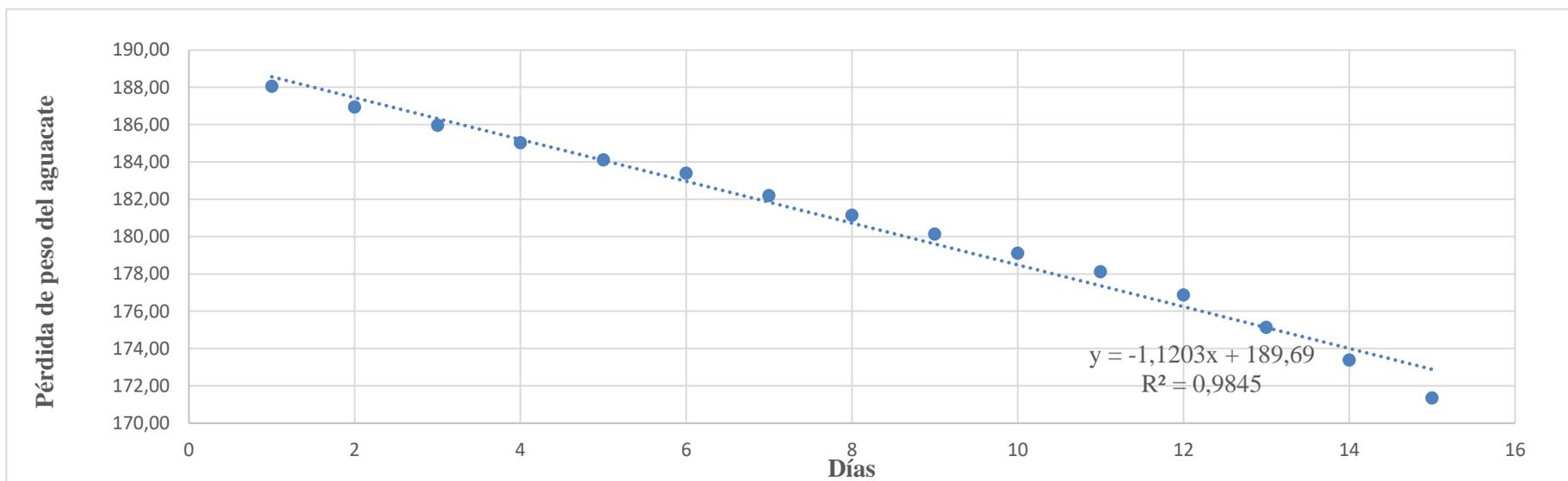


Figura 16. Gráfica del modelo matemático que representa la pérdida de peso de los aguacates cosechados en la finca Agropalta.

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Aplicación en Arduino

3.6.1 Procesamiento del sistema

En la Figura 17 se presenta el prototipo diseñado para la caracterización física del aguacate Hass en la finca Agropalta de la comuna Sube y Baja, parroquia Chanduy, provincia de Santa Elena, empleando lenguaje de programación y apartados matemáticos por medio de la tarjeta Arduino UNO y el software Tinkercad como simulador, se realizó la programación de las variables inmersas en el estudio, tales como: masa, dimensiones del fruto, volumen, densidad, color, porcentaje de cáscara y parte comestible, masa, dimensiones y porcentaje de la semilla.

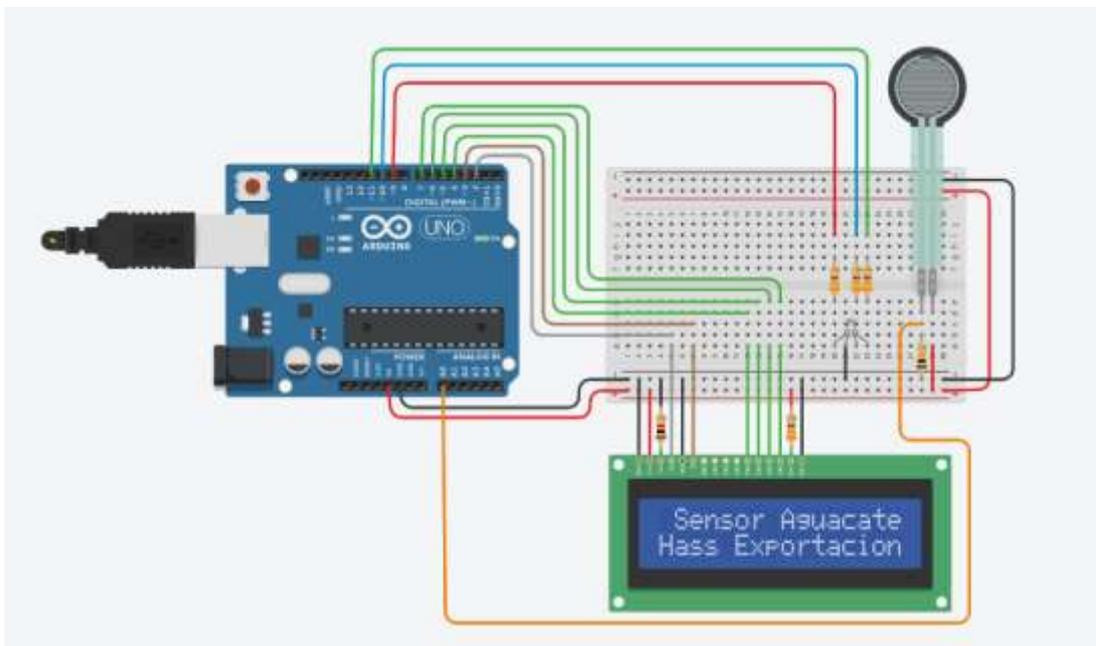


Figura 17. Sistema para determinar las propiedades físicas del aguacate en Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.1 Cálculo de la masa del fruto en el sistema

En la Figura 18 se evidencia la programación de la masa para los 30 aguacates estudiados por el análisis no destructivo, lo cual, resulta de aplicar en el software un sensor de fuerza que simule a la balanza digital y los datos experimentales obtenidos en laboratorio.

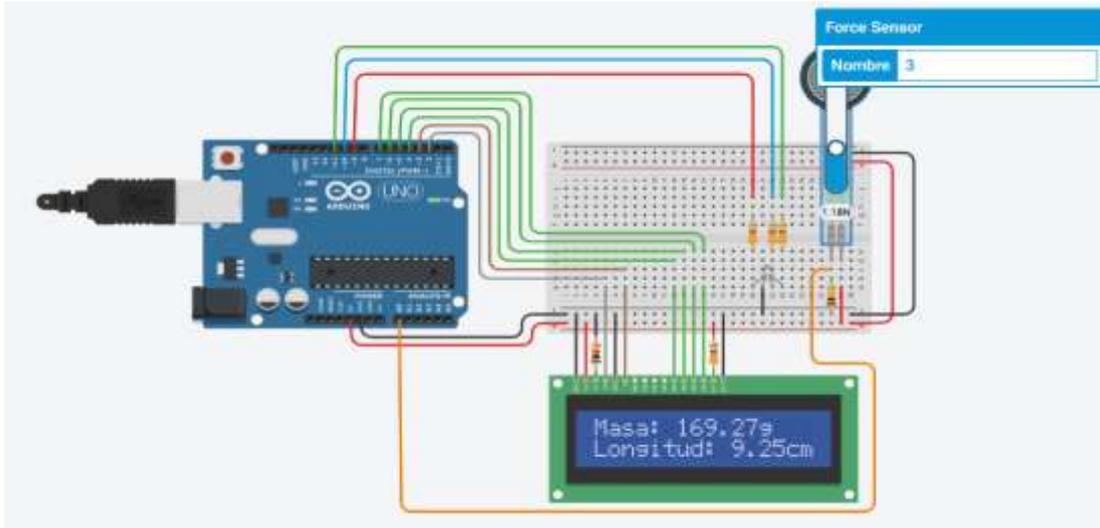


Figura 18. Cálculo de la masa del aguacate en Arduino UNO.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.2 Cálculo de las dimensiones del fruto en el sistema

Con el promedio de los datos obtenidos en el laboratorio se realizó la programación de las siguientes variables: longitud, diámetro y profundidad con el fin de presentar las dimensiones del aguacate, como se exhibe en la Figura 19.

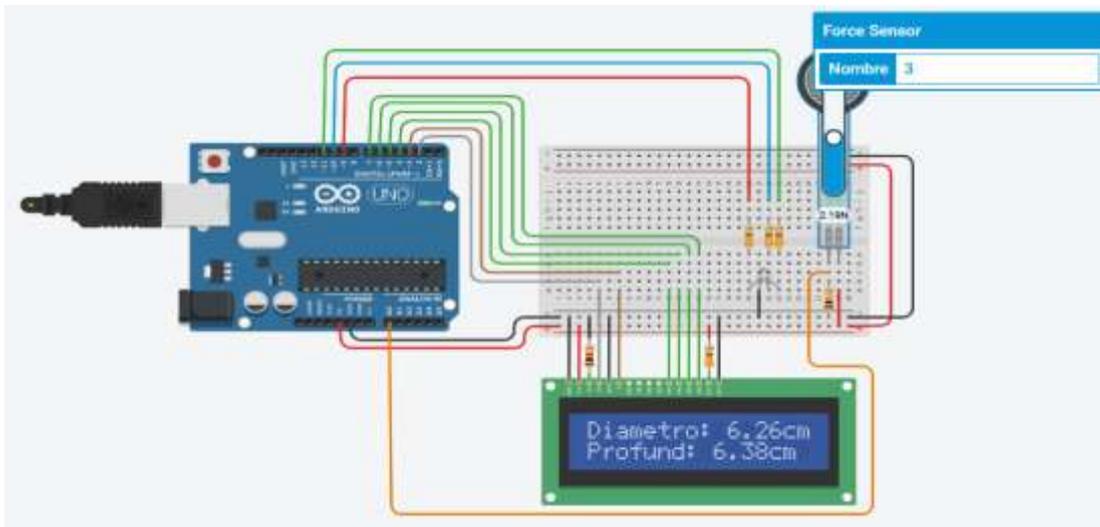


Figura 19. Dimensiones del aguacate programados en Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.3 Cálculo del volumen y la densidad del fruto en el sistema

En la Figura 20 se muestra la obtención del volumen, empleando en la programación el modelo matemático obtenido por el método de procesamiento de imágenes que relaciona la masa y el volumen del aguacate ($Volumen = 1.1106 * Masa - 26.075$).

Además, se presenta el cálculo de la densidad aplicando la fórmula de masa sobre volumen en la programación de Arduino UNO por medio del software Tinkercad.

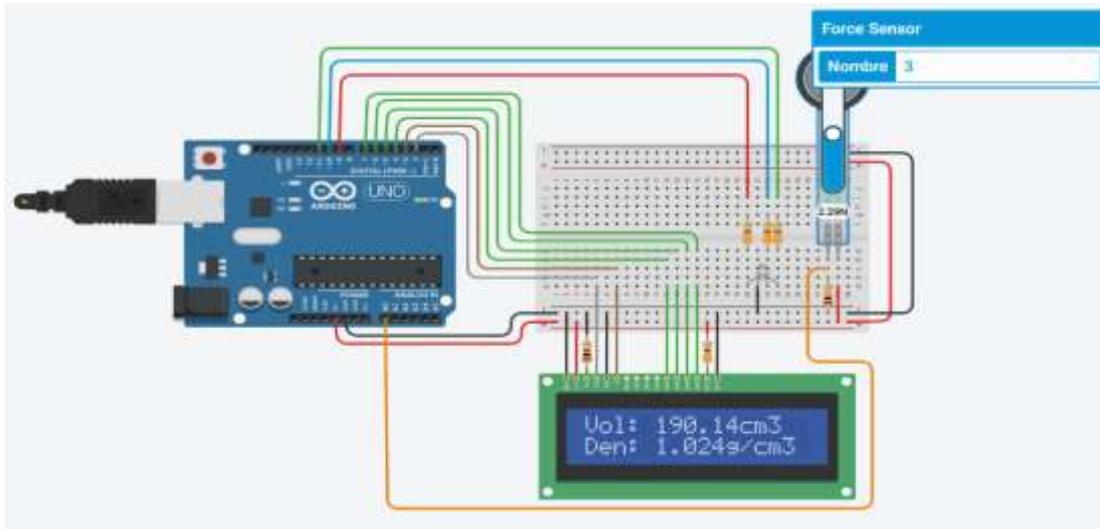


Figura 20. Cálculo del volumen y densidad del aguacate en el sistema Arduino.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.4 Identificación del color del fruto en el sistema

En la Figura 21 se exhibe la programación del color del aguacate, obtenido por los valores promedio del histograma RGB en Matlab, además en la placa de Arduino UNO se hace uso de un led RGB que mediante el software Tinkercad simule en color del aguacate.

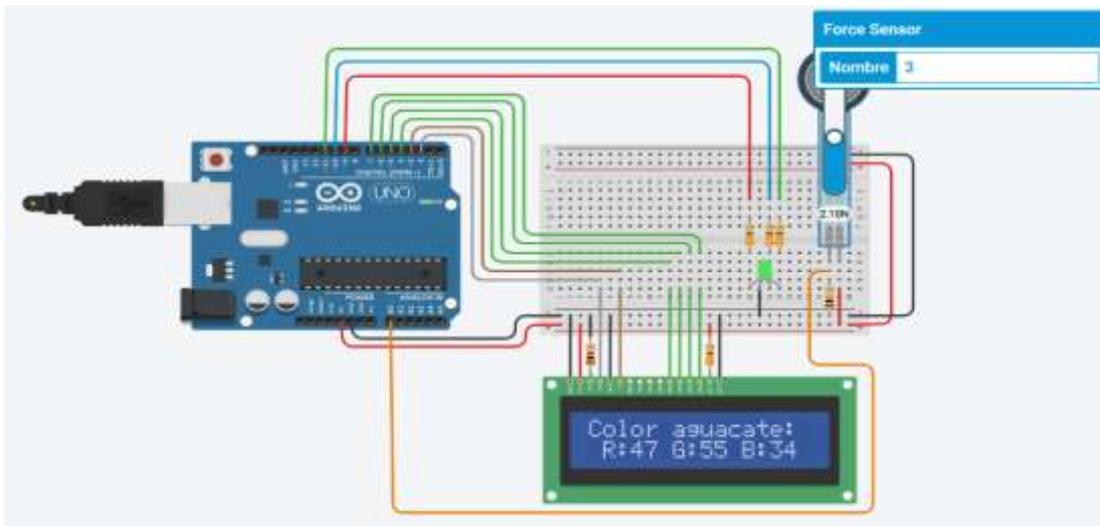


Figura 21. Identificación del color del aguacate en el sistema de Arduino.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.5 Porcentaje de la cáscara del fruto en el sistema

En el simulador Tinkercad la programación en Arduino UNO del cálculo del porcentaje de la cáscara del fruto se obtuvo del promedio de los 30 aguacates utilizados en el análisis destructivo, valor que se presenta en la Figura 22.

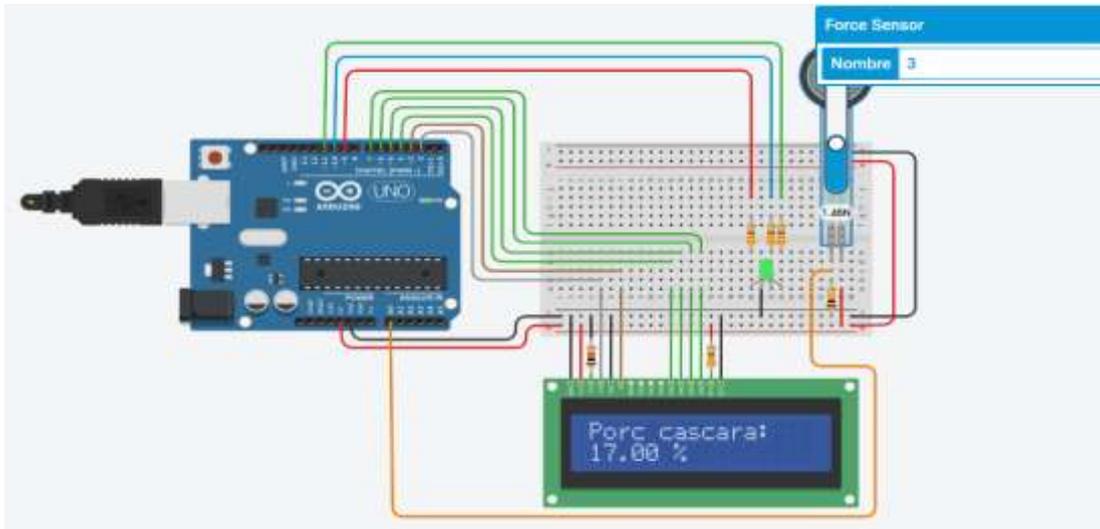


Figura 22. Porcentaje de la cáscara del aguacate en el sistema Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.6 Porcentaje de la parte comestible del fruto en el sistema

En la Figura 23 se evidencia la programación en la placa Arduino UNO del valor promedio de la parte comestible de los 30 aguacates inmersos en el análisis destructivo.

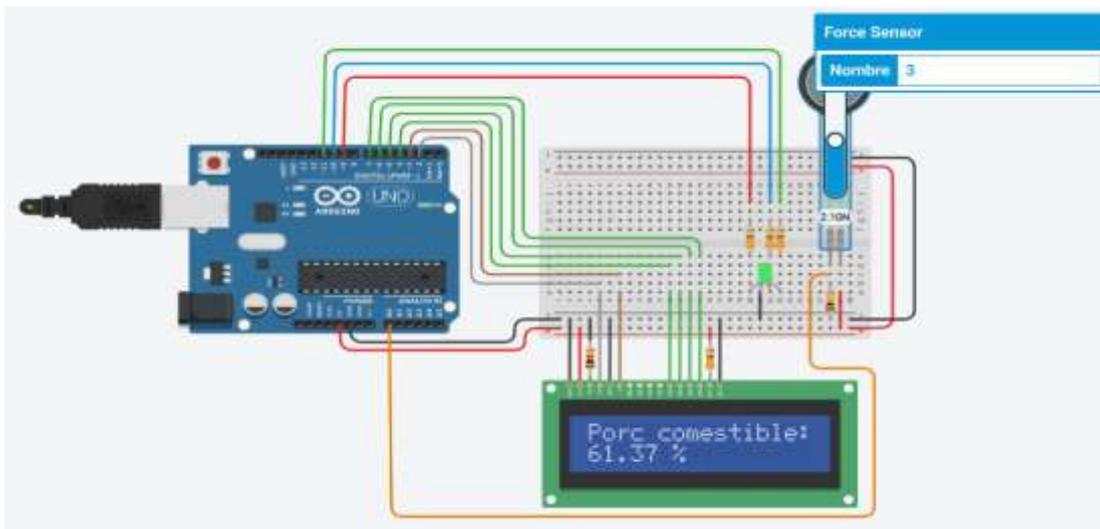


Figura 23. Porcentaje de la parte comestible del aguacate en el sistema Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.7 Masa de la semilla en el sistema

La programación en Arduino y Tinkercad para la masa de la semilla se realizó de los 30 aguacates empleados en el análisis destructivo, valor promedio de 36.71 gramos, como se observa en la Figura 24.

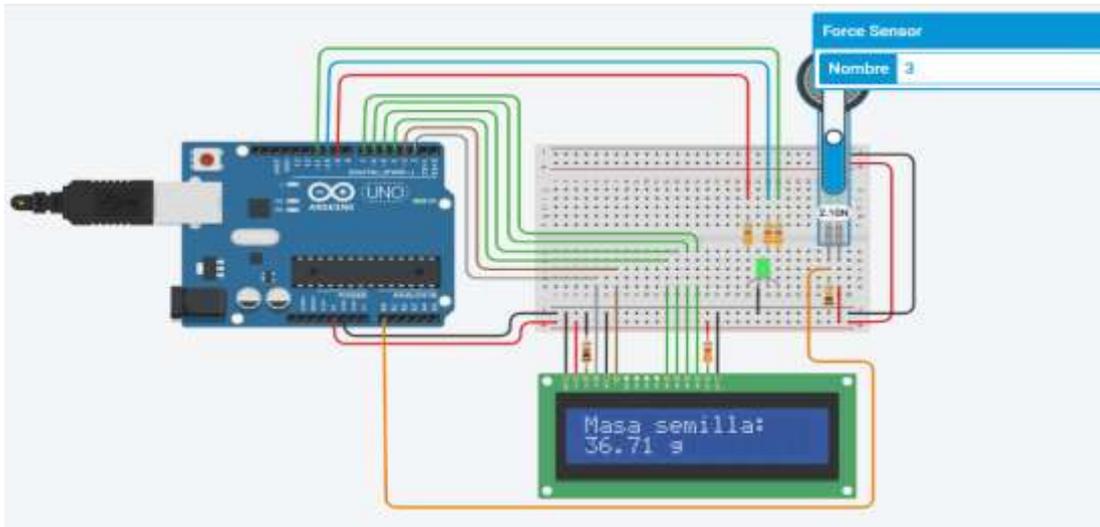


Figura 24. Cálculo de masa de la semilla en el sistema de Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.8 Dimensiones de la semilla en el sistema

Las dimensiones de la semilla como se presentan en la Figura 25, se efectuaron considerando las variables longitud, diámetro y profundo de la semilla de aguacate, datos obtenidos previamente en laboratorio.

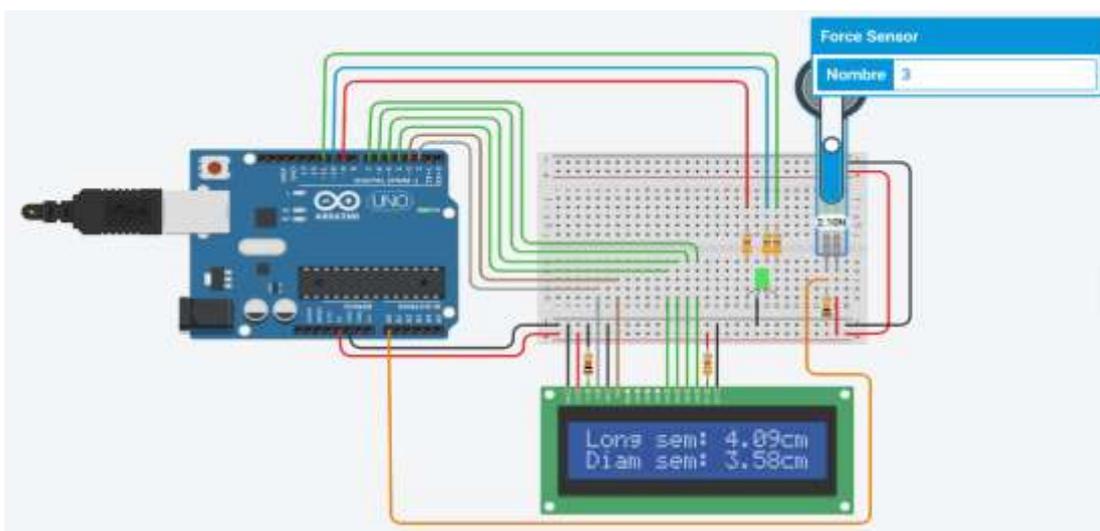


Figura 25. Dimensiones de la semilla de aguacate en el sistema de Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Empleando el software Matlab y el hardware Arduino junto al simulador Tinkercad, se determinó las principales características físicas y modelos matemáticos del aguacate (*Persea americana*) cultivado en la finca Agropalta de la comuna Sube y Baja, provincia de Santa Elena.
- Aplicando tres métodos diferentes: Desplazamiento de agua, perfilamiento matemático y procesamiento de imágenes en Matlab, se estimó el volumen del aguacate, obteniendo una similitud entre los tres métodos mencionados puesto que no se presentó una diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo, con la finalidad de aplicar y solucionar problemas en el campo agrícola desde el punto de vista tecnológico, se priorizan los resultados obtenidos mediante el procesamiento digital de imágenes.
- Para los aguacates cosechados en la finca Agropalta mediante el análisis no destructivo se determinó una masa promedio de 188.05 g, longitud de 9.25 cm, diámetro de 6.26 cm, profundidad de 6.38 cm, densidad de 1.02 g/cm³ y un color verde grisáceo, asimismo, por el análisis destructivo la composición total del aguacate ocupando el 61.37% la parte comestible, 17% la cascara y 21% la semilla.
- Se construyó un modelo matemático lineal, mostrando que la masa y el volumen de los aguacates cultivados en la finca Agropalta están altamente correlacionados con un coeficiente $R^2 = 0.965$.
- Para describir la curva de la pérdida del peso en función al tiempo y los efectos de la maduración del aguacate, se estableció un modelo matemático lineal, ya que, facilita la programación, por el mínimo espacio que ocupa en la memoria del computador al ejecutar la aplicación en Arduino.

- Se implementó una aplicación programada y desarrollada en Arduino a través del simulador Tinkercad, haciendo visible el resumen de las relaciones matemáticas y propiedades físicas de los aguacates cosechados en la finca Agropalta.

Recomendaciones

- Hacer investigaciones empleando este tipo de tecnología en distintos cultivos locales a fin de mejorar la producción.
- Aplicar el prototipo para determinar la condición del fruto en las diversas estaciones del año.
- Realizar el estudio de la composición química del aguacate (*Persea americana*), utilizando el software Matlab y el hardware Arduino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, F., Montoya, C. and Velásquez, O. (2018) ‘Dinámica del mercado mundial de aguacate’, *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 0(55), pp. 22–35.

Ayala Taco, J.P. and Lara Cueva, R.A. (2016) ‘Towards a smart classroom: development of an augmented reality application for education and tele-education’, *CHILECON 2015 - 2015 IEEE Chilean Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies*.

Banana Export (2021) *Europa recibirá primer contenedor de Palta Hass de la Península de Santa Elena*. Disponible en: <https://bananaexport.com/2021/06/02/europa-recibira-primer-contenedor-de-palta-hass-de-la-peninsula-de-santa-elena/>. Consultado: 18/06/2021.

Barbolla, L., Alavez, V., Méndez, V., Domínguez, D., Gaona, A., Petrone, S., Uscanga, A., Wegiery A., Piñero, D. (2012) Análisis para la determinación de los centros de origen, domesticación y diversidad genética del género *Persea* y la especie *Persea americana* (aguacate), Informe final. Instituto de Ecología, UNAM, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Dentro del Proyecto “Generación y recopilación de información de las especies de las que México es centro de origen y diversidad genética”, financiado por la Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables (DGSPRNR), perteneciente a la SEMARNAT y coordinado por la CONABIO. CONABIO. México D.F.

Bayram, S., Tepe, S. and Toker, R. (2016) ‘Determination of some physical and chemical changes in fruits of Hass avocado cultivar during harvesting time’, *Araştırma Makalesi/Research Article*, 33(1), pp. 14-26.

BioEnciclopedia (2016) ‘Aguacate, Información y Características - BioEnciclopedia’. Disponible en: <https://www.bioenciclopedia.com/aguacate/>. Consultado: 17/06/2021.

Briones, V., Intriago, J., Villegas, M. and Vásquez M. (2018) ‘Análisis de las exportaciones del aguacate de la zona 5 y 8 del Ecuador hacia los mercados sustentables’, *Polo del Conocimiento*, 3(1 Esp), p. 273.

Brito, B. and Vásquez, C. (2012) ‘Estudio de las características de calidad pre y poscosecha en dos variedades de aguacate (*Persea americana* Mill) provenientes de dos localidades de la provincia de Pichincha’. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad.

Climate, Data. org (2020) *Clima Sube y Baja: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Sube y Baja - Climate-Data.org*. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/santa-elena-province/sube-y-baja-181330/>.

Consultado: 9/09/2021.

Coello, M. (2015) *Estudio de factibilidad económico del aguacate (Persea Americana Mil Variedad Hass) en la provincia de Santa Elena, con fines de exportación al mercado de Estados Unidos*. Pregrado. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

CONABIO (2020) *Qué nos aportan los aguacates, Biodiversidad Mexicana*. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_aguacates. Consultado: 17/06/2021.

CorpoAguacate (2016) *Corpoaguacate*. Disponible en: <http://corpoaguacate.ec/>. Consultado: 8/09/2021.

De Anda, R.M. (2019) ‘MatLab y sus toolboxes como herramientas IoT para facilitar el desarrollo y diseño de sistemas mecatrónicos: Migrando hacia la I 4.0’, in Marroquín-De Jesús, Á., *CIERMMI Mujeres en la ciencia T.1*. 1st edn. ECORFAN, pp. 15–27.

FAO (s.f.) *FAOSTAT, Visualizador de datos de producción mundial*. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>. Consultado: 3/09/2021.

Fariño, L., Reyes, A., Quirumbay, E., Gonzáles, T., Morán, B. and Quimís, A. (2020) ‘El IoT aplicado a la Domótica’, *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 7(1), pp. 21–28.

Flores, J., Cevallos, H., Montealegre, V. and Romero, H. (2021) ‘Análisis de la producción de aguacate en el Ecuador y su exportación a mercados internacionales en

el periodo 2008 al 2018’, *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(S1), pp. 164–172.

Flores Puma, J.L. (2013) *Estudio fenológico de dos variedades de aguacate (Persea americana Mill.), en base a la determinación del tiempo de acumulación de unidades térmicas requeridas para completar los diferentes estados, en dos localidades de la Provincia de Pichincha*. Grado. Facultad de Agronomía, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.

Flores, R. and Ignacio, S. (2012) *Aplicación del programa MATLAB en la resolución de ecuaciones diferenciales aplicado a la materia de cálculo tres*. Pregrado. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Fresh Plaza (2021) *Los primeros aguacates Hass producidos en la península ecuatoriana de Santa Elena embarcan hacia Europa*. Disponible en: https://www.freshplaza.es/article/9327897/los-primeros-aguacates-hass-producidos-en-la-peninsula-ecuatoriana-de-santa-elena-embarcan-hacia-europa/?fbclid=IwAR0e9gogUtrouhImtaXe_qdGkXG2Z7O7srw2rouflr8yAsLIW5Lqy1vdY8. Consultado: 18/06/2021.

Gallo, G., Verón, A. and Herrera, R. (2019) ‘Interpretación de transformaciones lineales en el plano utilizando GeoGebra’, *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (24), pp. 32–37.

Gálvez, L., Peñaloza, P., Oyanedel, E. and Castro, M. (2016) ‘Caracterización del tamaño de semilla nodriza de aguacate Esther y el desarrollo de sus plántulas’, *Revista fitotecnia mexicana*, 39(1), pp. 79–85.

Gokul, P., Raj, S. and Poornapushpakala, S. (2015) ‘Estimation of volume and maturity of sweet lime fruit using image processing algorithm’, in, pp. 1227–1229.

Gómez-López, V.M. (2002) ‘Fruit characterization of high oil content avocado varieties’, *Scientia Agricola*, 59, pp. 403–406.

Gonzalez, R. C., and Woods, R. E. 2018. *Digital image processing*. Pearson.

Google Earth (2021) *Google Earth*. Disponible en: <https://earth.google.com/web/@-2.2043664,-80.52729145,48.23957033a,2327.83496029d,35y,212.86229334h,0t,0r/data=MicKJQojCiExbzFQbkN3ejNHRnlwT1ZzSFZOcmxRU1VWVnVCOWJYS2k>. Consultado: 10/09/2021.

Huaraca, H., Viteri, P., Sotomayor, A., Viera, W. and Jiménez, J. (2016) *Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de aguacate (Persea americana Mill.)*. Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, 2016.

Ibarra, D.S. 1983 *El Aguacate*. Costa Rica: Bib. Orton IICA / CATIE.

INTAGRI (2019) ‘Requerimientos de Clima y Suelo en el Cultivo de Aguacate’, p. 3p.

Jecrespom (2018) ‘Kit de Prácticas’, *Aprendiendo Arduino*, 2 April. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/04/02/kit-de-practicas-3/>. Consultado: 8/09/2021.

Khojastehnazhand, M., Omid, M. and Tabatabaeefar, A. (2009a) ‘Determination of orange volume and surface area using image processing technique’, *International Agrophysics*, 23, pp. 237–242.

Macas Guachamín, G.C. (2013) *Estudio de las Características de Calidad Pre y Poscosecha en dos Variedades de Aguacate (Persea americana Mill) provenientes de dos localidades de la provincia de Pichincha*. Facultad de Recursos Naturales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

MAG (2020) *Aguacate Hass puede generar más 300 millones de dólares por exportación – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/aguacate-hass-puede-generar-mas-300-millones-de-dolares-por-exportacion/>. Consultado: 16/06/2021.

Márquez, B., Barceló, A., Pliego, F. and Sánchez, C. (2012) ‘Somatic embryogenesis and plant regeneration in avocado (*Persea americana* Mill.): influence of embryogenic culture type’, *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 21(2), pp. 180–188.

Márquez, C., Yepes, D., Sanchez, L. y Osorio, J. (2016) «Cambios físico-químicos del aguacate (persea americana mill. cv. "hass") en poscosecha para dos municipios de antioqui», *Temas Agrarios*, 19(1), pp. 32-47.

Martín, C. (2017) 'Arduino en la programación y robótica educativa', *Observatorio del Gabinete de Tele-Educación*, 1 February.

MathWorks (2021) *Image Processing Toolbox*. Disponible en: <https://la.mathworks.com/products/image.html>. Consultado: 11/09/2021.

Muñoz, A.M. and Córcoles, S.C. 2017 *Aprende Arduino en un fin de semana*.

Muñoz (2020) *Agricultura 4.0: la revolución tecnológica llega a nuestra mesa*, *Sociedad de Científicos Españoles en Reino Unido*. Disponible en: <https://sruk.org.uk/es/agricultura-4-0-la-revolucion-tecnologica-llega-a-nuestra-mesa/>. Consultado: 06/04/2021

Lee, D., Cho, Y. & Jong, C., 2017. *researchgate*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322775063_Strawberry_Volume_Estimation_Using_Smartphone_Image_Processing. Consultado: 15/06/2021

Orhevba, B.A. and Jinadu, A.O. (2011) 'Determination of Physico-Chemical Properties and Nutritional Contents of Avocado Pear (Persea americana M.)', *Academic Research International*. 1(3), pp. 2223-9553.

Pallo, Y.J. (2021) *Desarrollo de aplicaciones prácticas en la adquisición y procesamiento de imágenes en MatLab y LabVIEW*. Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Ramirez, I., 2018. *Analisis de datso Agropecuarios*. Primera ed. Machala: UTMACH.

Rojas, J.M. (2012) 'Reseña: Procesamiento digital de imágenes con MatLAB y SIMULINK', *Sistemas y Telemática*, 10, p. 77.

Romero, A.A., Marín-Cano, A. and Jiménez-Builes, J.A. (2015) 'Sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo Tommy', *Revista UIS Ingenierías*, 14(1), pp. 21–31.

Salazar Salazar, C.C. and Choque Valderrama, W.E. (2017) *Desarrollo de algoritmo y prototipo móvil para medir el grado de madurez del aguacate Hass mediante procesamiento digital de imágenes*. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Universidad Tecnológica de Pereira.

Shahbazi, F. and Rahmati, S., (2012) *wiley*. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.20>, Consultado: 13/12/2020.

Seyedabadi, E., Khojastehpour, M., Sadrnia, H. & Hosaien, S., 2013. *scienceDirect*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423811002925>. Consultado: 13/12/20220

Serrano, L. A. L. *et al.* (2020) ‘Ecuador: Análisis comparativo de las exportaciones de banano orgánico y convencional e incidencia en la Balanza Comercial, 2018’, *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 7(2), pp. 38–46.

Sotomayor, A., Viera, A. and Viera, W. (2016) ‘Potencial del cultivo de aguacate (persea americana mill) en Ecuador como alternativa de comercialización en el mercado local e internacional’, *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(3), pp. 1–9.

Tamayo, A., Cordoba, O. and Londoño, M. 2008 *Tecnología Para El Cultivo Del Aguacate*. Corpoica.

Tirado, G. and Augusto, R. (2019) *Aplicación del Software Matlab en el aprendizaje del Cálculo Integral de los estudiantes de Ingeniería con experiencia laboral de la Universidad Peruana de Ciencias e Informática, 2018*, Posgrado. Universidad Peruana de Ciencias e Informática.

Vázquez, O.B. (2021) ‘Arduino’, *Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 3*, 8(16), pp. 80–81.

Viveros Brokaw (2018) ‘Variedades de Aguacate’. Disponible en: <https://www.viverosbrokaw.com/productos/aguacate/variedades-de-aguacate/>. Consultado: 6/06/2021.

ANEXOS



Figura 1A. Cosecha de los aguacates en la finca Agropalta.



Figura 2A. Muestras recolectadas en la finca Agropalta, comuna Sube y Baja.



Figura 3A. Aguacates seleccionados para el análisis no destructivo.



Figura 4A. Indicaciones por parte del tutor para el trabajo en el laboratorio.



Figura 5A. Medición de las dimensiones de los aguacates con el calibrador de vernier.



Figura 6A. Cálculo del volumen de los aguacates por el método desplazamiento de agua.



Figura 7A. Aguacates seleccionados para el análisis destructivo.



Figura 8A. Masa de la parte comestible del aguacate.



Figura 9A. Masa de la cáscara del aguacate.



Figura 10A. Masa de la semilla del aguacate.



Figura 11A. Semilla de los aguacates para el análisis destructivo.

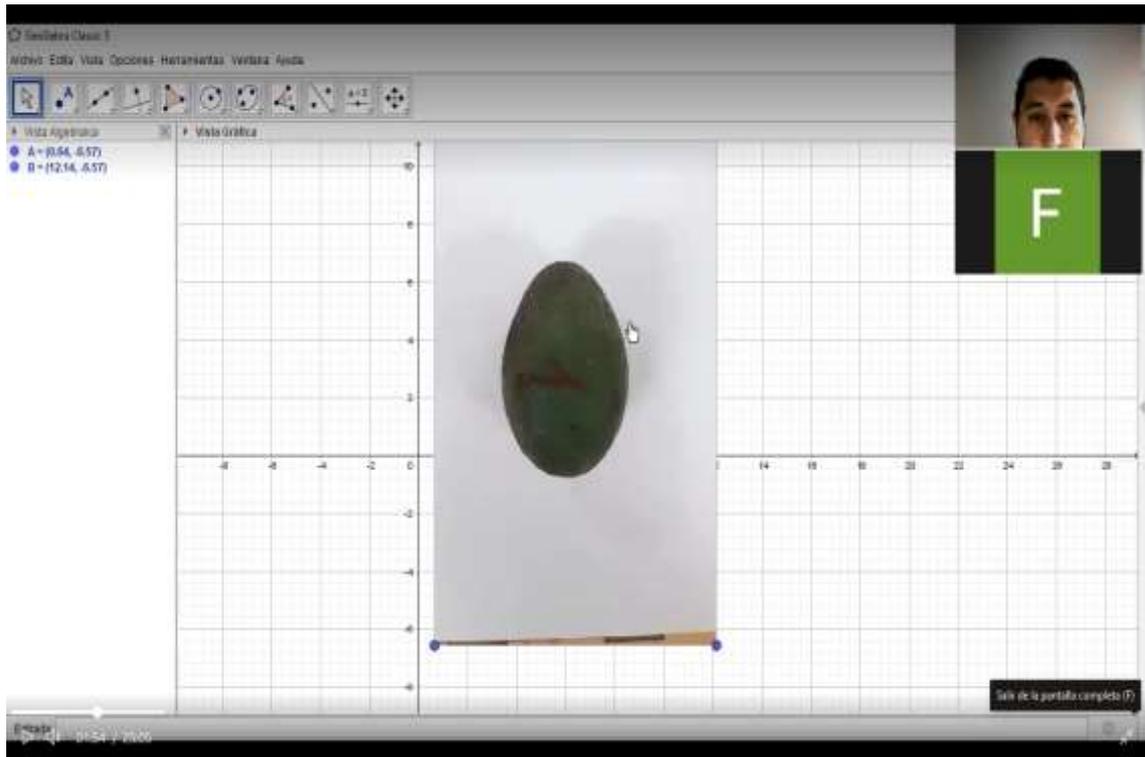


Figura 12A. Tutoría para el manejo y aplicación de los programas.

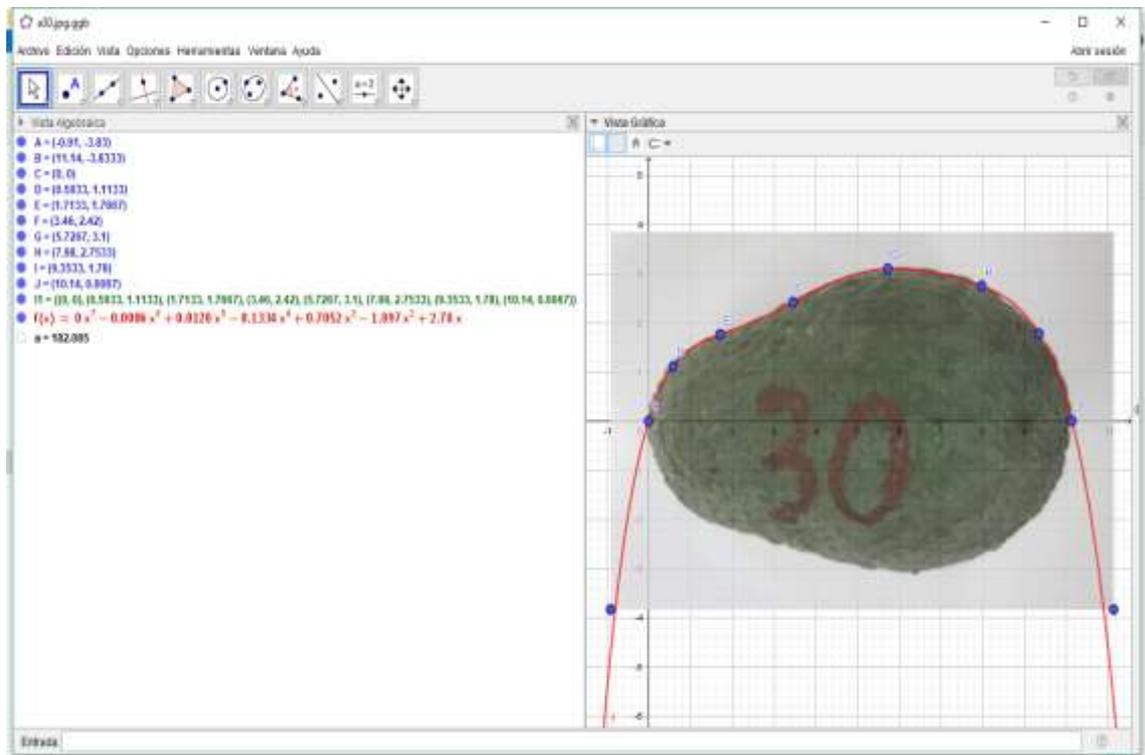


Figura 13A. Volumen del aguacate por el método de integrales o perfil matemático.

```

%UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
%PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUACATE
%Fernanda Castillo
%Volumen deL aguacate
f=imread('a23.jpg');
f2=rgb2gray(f);
f_B=f(:, :, 3);
subplot(2,2,1)
imshow(f)
subplot(2,2,2)
imshow(f_B)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
f_bin=im2bw(f_B,0.72);%AGUACATE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
subplot(2,2,3)
imshow(f_bin)
mask = zeros(size(f_bin));
bw = activecontour(f_bin, mask, 100, 'edge');
subplot(2,2,4)
imshow(bw)
hold on
visboundaries(bw, 'Color', 'g')
L=bw;
p=0;
[m,n]=size(f_bin);
for j=1:n
    for i=1:m
        if bw(i,j)==0
            p=p+1;
        end
    end
    q(j)=p;
    p=0;
end
D=q*(0.02744);
A=(pi/4)*D.^2;
dh=0.02744;
V=A*dh;
VT2=sum(V)

```

Figura 14A. Código para la obtención del volumen por el método de procesamiento de imágenes.

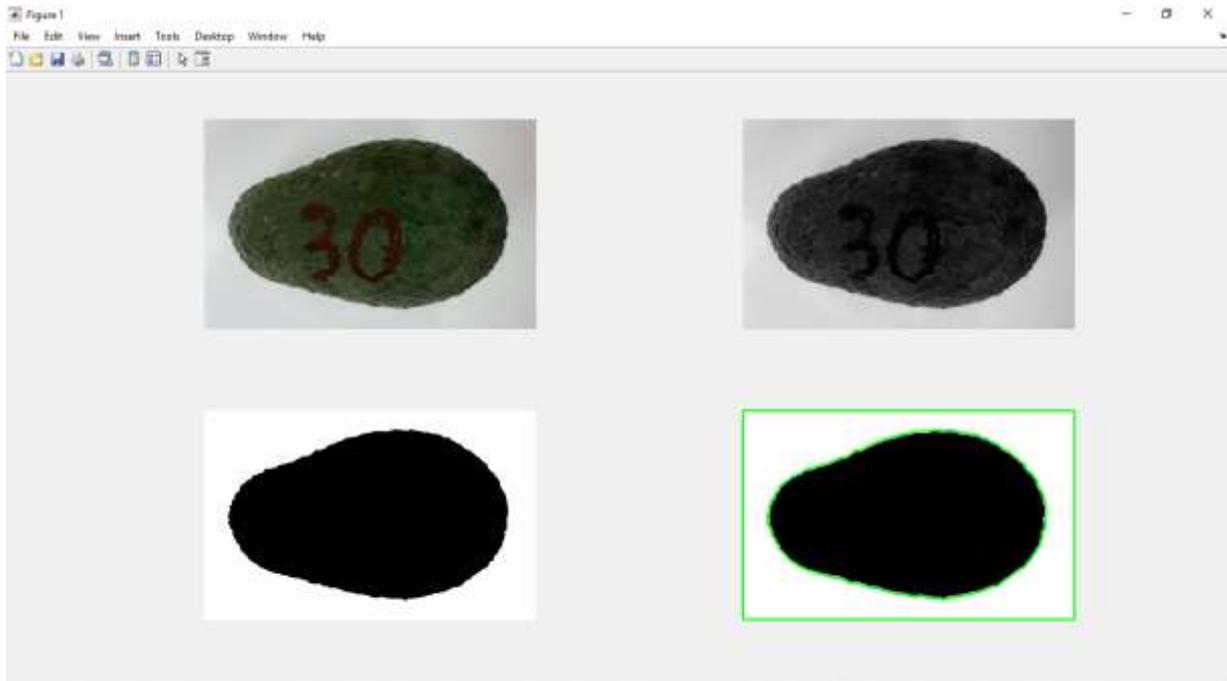


Figura 15A. Procesamiento digital de imágenes del aguacate cosechado en la finca Agropalta.

```

%FERNANDA CASTILLO
%Análisis de color
rgb = imread('color30.jpg');
imshow(rgb)
r = rgb(:,:,1);
g = rgb(:,:,2);
b = rgb(:,:,3);
histogram(r, 'BinMethod', 'integers', 'FaceColor', 'r', 'EdgeAlpha', 0, 'FaceAlpha', 0.7)
hold on
histogram(g, 'BinMethod', 'integers', 'FaceColor', 'g', 'EdgeAlpha', 0, 'FaceAlpha', 0.7)
histogram(b, 'BinMethod', 'integers', 'FaceColor', 'b', 'EdgeAlpha', 0, 'FaceAlpha', 0.7)
xlabel('Valor RGB color Aguacates')
ylabel('Frecuencia')
title('Análisis de Color del Aguacate Hass')
xlim([0 257])

```

Figura 16A. Código para el análisis del color de los aguacates, en formato RGB.

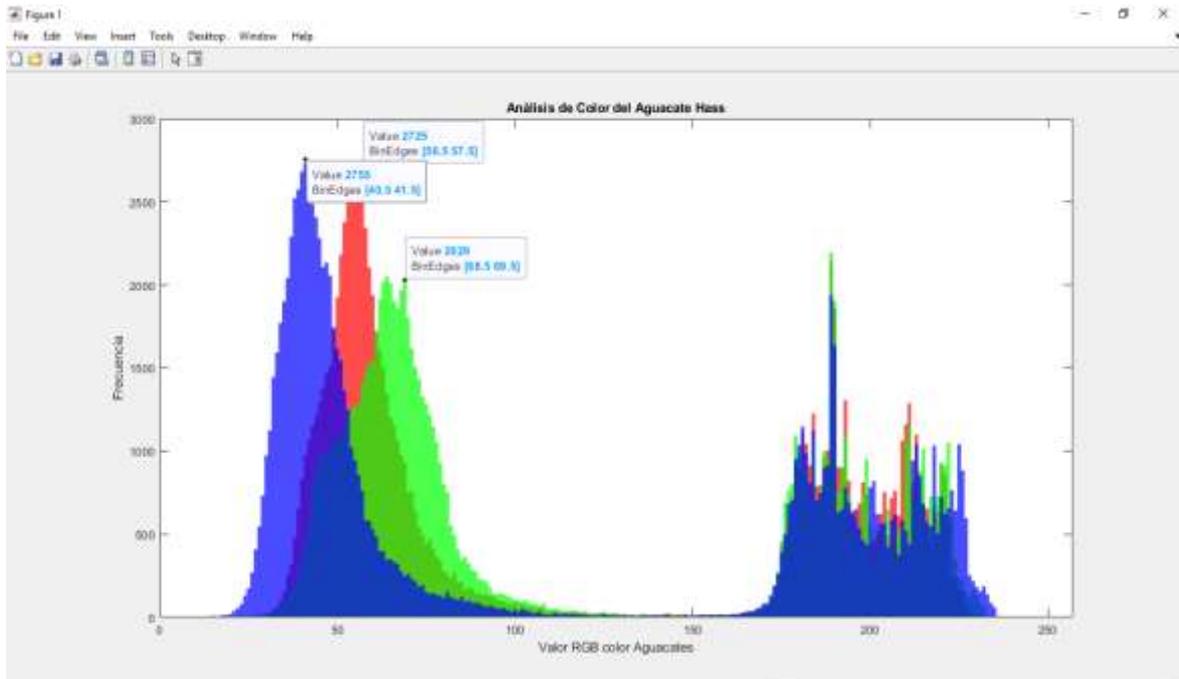
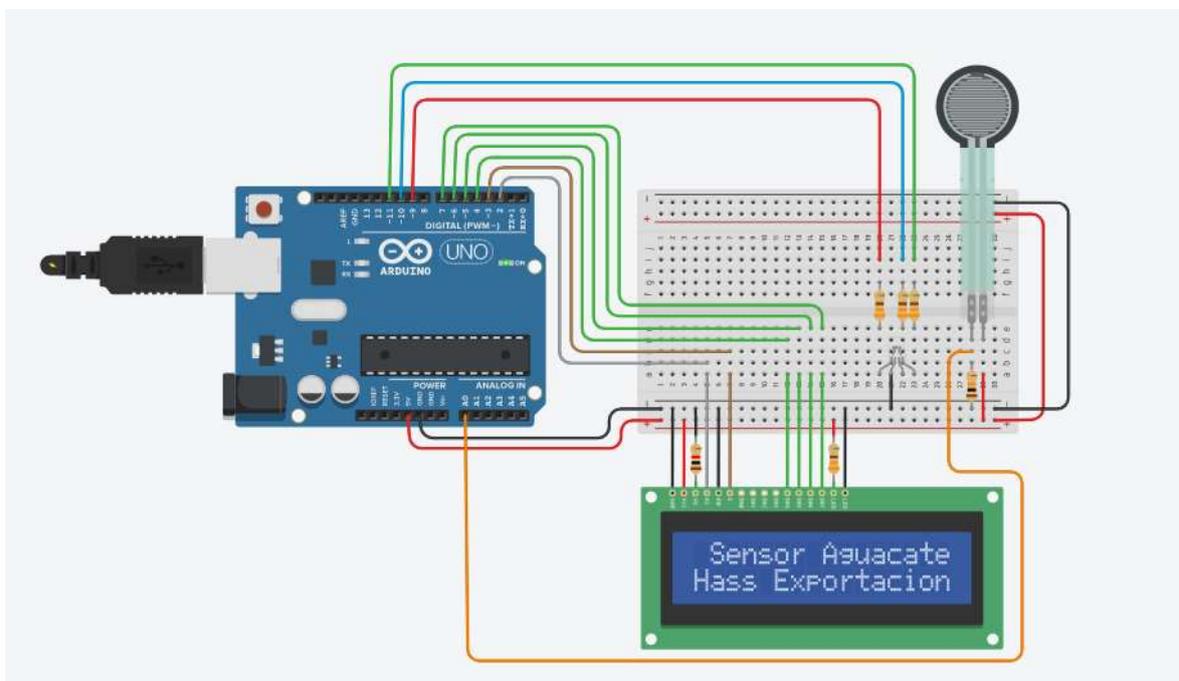


Figura 17A. Histograma de color RGB para los aguacates cultivados en la finca Agropalta.



```

#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,6,7);
float arduino;
float masa;
float largo;
float diametro;
float profundidad;
float volumen;
float densidad;
int rojo=9;
int verde=11;
int azul=10;
float cascara;
float comestible;
float masasemilla;
float lsemilla;
float dsemilla;
float psemilla;
float ppsemilla;
void setup()
{
  lcd.begin(16,2);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" Proyecto ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" Titulacion ");
  delay(1500);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" Sensor Aguacate");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Hass Exportacion");
  delay(1500);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Fernanda Castillo");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" Agrotecnologia ");
  delay(1500);
  lcd.clear();
}

void loop()
{
  arduino=analogRead(0);
  masa=(arduino*260/1023);//masa entre
0g y 260g se programa
  largo=9.25;
  diametro=6.26;
  profundidad=6.38;
  volumen=((masa*(1.1106)-26.075));
  densidad=(masa/volumen);
  cascara=17;
  comestible=61.37;
  masasemilla=36.71;
  lsemilla=4.09;
  dsemilla=3.58;
  psemilla=3.64;
  ppsemilla=21;
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Masa: ");
  lcd.print(masa,2);
  lcd.print("g");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Longitud: ");
  lcd.print(largo,2);
  lcd.print("cm");
  delay(1700);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Diametro: ");
  lcd.print(diametro,2);
  lcd.print("cm");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Profund: ");
  lcd.print(profundidad,2);
  lcd.print("cm");
  delay(1700);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Vol: ");
  lcd.print(volumen,2);
  lcd.print("cm3");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Den: ");
  lcd.print(densidad,3);
  lcd.print("g/cm3");
  delay(1700);
  lcd.clear();

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Color aguacate:");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" R:47 G:55 B:34");
  analogWrite(rojo,2);

```

```

analogWrite(verde,255);
analogWrite(azul,7);
delay(1700);
lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Porc cascara:");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(cascara,2);
lcd.print(" %");
delay(1700);
lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Porc comestible:");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(comestible,2);
lcd.print(" %");
delay(1700);
lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Masa semilla:");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(masasemilla,2);

lcd.print(" g");
delay(1700);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Long sem: ");
lcd.print(lsemilla,2);
lcd.print("cm");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Diam sem: ");
lcd.print(dsemilla,2);
lcd.print("cm");
delay(1700);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Prof sem: ");
lcd.print(psemilla,2);
lcd.print("cm");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Porc sem: ");
lcd.print(ppsemilla,0);
lcd.print(" %");
delay(1700);
lcd.clear();
}

```

Figura 19A. Código para la programación en Arduino y Tinkercad.