



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria

**“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
RELACIONES MATEMÁTICAS DE LIMÓN SUTIL (*citrus
aurantifolia Swingle*) CULTIVADO EN LA COMUNA FEBRES
CORDERO”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: José Luis Quirumbay Tomalá.

La Libertad, 2021



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria

**“DETERMINACIÓN DE LA PROPIEDADES FÍSICAS Y
RELACIONES MATEMÁTICAS DE LIMÓN SUTIL (*citrus
aurantifolia swingle*) CULTIVADO EN LA COMUNA
FEBRES CORDERO”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del Título de:

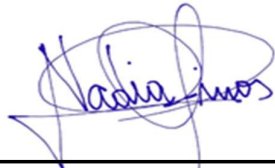
INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: José Luis Quirumbay Tomalá.

Tutor: Ing. Miguel Ángel Lema Carrera, MSc.

La Libertad, 2021

TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD.
**DIRECTORA DE CARRERA
DE AGROPECUARIA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Ing. Idalberto Macías Socarras, PhD.
**PROFESOR/A ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Miguel Ángel Lema Carrera, Msc.
**PROFESOR/A TUTOR/A
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Andrés Drouet Candell, MSc.
**PROFESOR GUIA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme permitido la dicha de vivir y llegar a esta meta tan importante en mi vida fueron muchos los obstáculos para culminar mi carrera universitaria, pero en todo momento tenía muy claro mis aspiraciones y hacia donde quería llegar a pesar de ello fueron superadas.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena por brindarme la oportunidad de formarme en sus aulas profesionalmente y en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias.

A mis madres Isabel Tomalá Domínguez y Inés Domínguez Pozo por brindarme su apoyo incondicional, por sus consejos y aferrarme a la vida para seguir luchando por mi familia.

Al Ing. Miguel Ángel Lema Carrera, quien me dio la oportunidad de realizar mi trabajo de titulación y supo guiarme durante todo el proceso de realización del mismo además de inculcarme la responsabilidad en todo momento.

José Luis Quirumbay Tomalá

DEDICATORIA

A Dios por brindarme salud, sabiduría y fortaleza para alcanzar mis objetivos planteados en esta etapa tan importante en mi vida.

Sigue estudiando hijo, si es lo que tanto deseas adelante sabias palabras de mi madre dándome ánimos para seguir luchando en este duro proceso y poderlo conseguir, a pesar de todo no fue fácil me costó mucho sacrificio trabajar y estudiar al mismo tiempo no es tarea fácil, pero cuando se quiere todo en esta vida es posible.

José Luis Quirumbay Tomalá

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar las propiedades físicas y relaciones matemáticas presentes en el limón sutil, cultivado en la comuna Febres Cordero, provincia de Santa Elena, utilizando el software Matlab y Arduino.

Para el desarrollo del proyecto se trabajó con 180 limones, divididos en dos grupos. 90 limones para análisis no destructivo del cual se obtienen las propiedades: masa, volumen, densidad, coloración y sus dimensiones. Los restantes 90 limones mediante análisis destructivo se determinó el porcentaje de cáscara, porcentaje de la parte comestible, mililitros de jugo y la cantidad de semillas. Para relacionar el volumen vs masa del limón sutil y su pérdida de peso en el tiempo por efecto de maduración, se utilizó modelamiento matemático, apartados de regresión lineal y no lineal y pruebas de hipótesis.

Los resultados mostraron que, la masa promedio del limón sutil se determinó en un valor de 37.10 g, un diámetro promedio de 4.03 cm, una densidad de 0.99 g/cm³ y una coloración verde clara en formato RGB. Además, del total de la composición del limón, el 22.39% corresponde a la cáscara, 36.53% a la parte comestible, 32.49% al jugo de limón y en promedio se estimó alrededor de 8 semillas por limón sutil. Finalmente se implementó una aplicación en Arduino programada por medio de Tinkercad que muestra toda la información obtenida del limón sutil, cultivada en la finca Mamey, provincia de Santa Elena, dando un paso importante en el desarrollo de futuras investigaciones en el campo agrotecnológico del país.

Palabras claves: Limón, propiedades físicas, modelamiento, Matlab, Arduino.

ABSTRACT

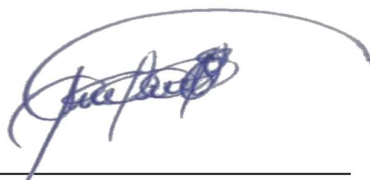
The objective of this work was to determine the physical properties and mathematical relationships present in the subtle lemon, grown in the Febres Cordero commune, province of Santa Elena, using Matlab and Arduino software.

For the development of the project we worked with 180 lemons, divided into two groups. 90 lemons for non-destructive analysis, from which the following properties were obtained: mass, volume, density, coloration and dimensions. The remaining 90 lemons were used for destructive analysis to determine the percentage of peel, percentage of edible part, milliliters of juice and quantity of seeds. Mathematical modeling, linear and nonlinear regression and hypothesis testing were used to relate the volume vs. mass of the subtle lemon and its weight loss over time due to ripening.

The results showed that, the average mass of the subtle lemon was determined at a value of 37.10 g, an average diameter of 4.03 cm, a density of 0.99 g/cm³ and a light green coloration in RGB format. In addition, of the total lemon composition, 22.39% corresponds to the peel, 36.53% to the edible part, 32.49% to the lemon juice and on average it was estimated around 8 seeds per subtle lemon. Finally, an application was implemented in Arduino programmed through Tinkercad that shows all the information obtained from the subtle lemon, cultivated in the Mamey farm, province of Santa Elena, taking an important step in the development of future research in the agro-technological field of the country.

Keywords: Lemon, physical properties, modeling, 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, appearing to read "José Luis Quirumbay Tomalá", is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

José Luis Quirumbay Tomalá

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico	2
Objetivos.....	2
Objetivo General:	2
Objetivos Específicos:	3
Hipótesis	3
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. Conceptos generales	4
1.1.1. Origen	4
1.1.2. Características	5
1.1.3. Descripción botánica.....	5
1.1.4. Requerimientos edafoclimáticos del limón sutil	6
1.1.5. Cosecha	7
1.1.6. Postcosecha	7
1.1.7. Valor Nutricional	7
1.2. Producción y consumo a nivel mundial	8
1.3. Producción Nacional.....	9
1.3.1. Principales mercados mundiales para el limón ecuatoriano.....	10
1.3.2. Producción en la provincia de Santa Elena	10
1.4. Arduino.....	11
1.4.1. Componentes de Hardware	11
1.4.1.1. Pines digitales	11
1.4.1.2. Pines analógicos	11
1.4.1.3. Pines de alimentación	12
1.4.1.4. Microcontrolador	12
1.4.1.5. Botón reset.....	12
1.4.1.6. Puerto USB	12
1.4.1.7. Conector de alimentación	12
1.4.1.8. Estructura de programación en Arduino	13
1.5. Matlab.....	13
1.5.1. Características principales de Matlab.....	14
1.5.2. Procesamiento digital de imágenes	15
1.5.3. Representación de colores en imágenes digitales.....	16
1.6. Aplicación de las matemáticas, física y tecnología en el campo agropecuario.....	16
1.6.1. Pruebas de clasificador.....	17
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19

2.1. Ubicación y lugar del ensayo	19
2.2. Materiales	19
2.2.1. Materiales de campo:.....	19
2.2.2. Materiales para procesamiento de imágenes	20
2.3. Tipo de investigación.....	20
2.4. Metodología.....	20
2.4.1. Tamaño de la muestra.....	20
2.4.2. Variables a determinar.....	21
2.4.2.1 Masa.....	21
2.4.2.2. Dimensiones del limón sutil.....	21
2.4.2.3. Volumen.....	21
2.4.2.4. Densidad.....	24
2.4.2.5. Color	24
Porcentaje de cascara y porcentaje de la parte comestible	25
2.4.2.7. Cantidad de jugo de limón	25
2.4.2.8. Número de semillas.....	25
2.4.3. Análisis Estadístico y modelamiento matemático	25
2.4.4. Implementación en Arduino	26

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27

3.1 Análisis destructivo.....	27
3.1.1. Masa	27
3.1.2. Dimensiones del limón sutil	28
3.1.3. Volúmenes.....	29
3.1.3.1. Método desplazamiento de agua (MDA)	29
3.1.3.2. Método de Integrales o perfilamiento matemático (PM).....	30
3.1.3.3. Método de procesamiento de imágenes (PI)	32
3.1.3.4. Comparación estadística de los métodos empleados en el cálculo del volumen del limón sutil.....	33
• 3.1.3.4.1. Método de desplazamiento de agua (MDA) y perfil matemático (PM)33	
• 3.1.3.4.2 Método de desplazamiento de agua (MDA) y procesamiento de imágenes (PI) 34	
3.1.4 Densidad.....	35
3.1.5. Análisis color del limón sutil.....	36
3.2. Análisis destructivo.....	37
3.2.1. Porcentaje cáscara	37
3.2.2. Porcentaje parte comestible	39
3.2.3. Cantidad de jugo de limón sutil.....	40
3.2.4 Cantidad de semillas.....	41
3.3. Resumen general de las principales propiedades físicas del limón sutil.....	42
3.4. Modelo matemático relación masa – volumen del limón sutil.....	43
3.5. Modelo matemático de pérdida de peso del limón sutil.....	44

3.5.1. Gráfica del modelo matemático de pérdida de peso del fruto.....	45
3.6. Aplicación en Arduino.....	46
3.6.1. Funcionamiento del sistema.....	46
3.6.1.1. Cálculo de masa en el sistema.....	46
3.6.1.2. Cálculo del volumen del fruto.....	47
3.6.1.3. Densidad.....	47
3.6.1.4. Masa comestible.....	48
3.6.1.5. Cantidad de jugo del fruto.....	48
3.6.1.6. Número de semillas.....	49

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 50

Conclusiones.....	50
-------------------	----

Recomendaciones.....	51
----------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción botánica del limón sutil (<i>Citrus aurantifolia</i> Swing).....	5
Tabla 2. Datos edafoclimáticos.....	6
Tabla 3. Valor nutritivo del limón en 100 g.....	7
Tabla 4. Producción ecuatoriana de limón sutil (miles de toneladas métricas).....	10
Tabla 5. Masa del limón sutil.....	27
Tabla 6. Dimensiones del limón sutil	28
Tabla 7. Volumen por el método de desplazamiento de agua (MDA)	29
Tabla 8. Volúmenes por el método de perfilamiento matemático (PM).....	31
Tabla 9. Volumen por el método de procesamiento de imágenes (PI)	32
Tabla 10. Comparación de métodos MDA y PM	33
Tabla 11. Comparación de métodos MDA y PI.....	34
Tabla 12. Datos de densidad del limón sutil.....	35
Tabla 13. Datos de coloración en formato RGB del limón sutil.....	36
Tabla 14. Datos de porcentaje de cáscara de limón sutil	38
Tabla 15. Datos de la parte comestible del limón sutil	39
Tabla 16. Datos de cantidad de jugo del fruto en porcentaje.....	40
Tabla 17. Datos del número de semillas del limón sutil.....	41
Tabla 18. Datos generales promedios del limón sutil.....	42
Tabla 19. Datos de modelo matemáticos con sus diferentes ecuaciones.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El fruto del limón sutil	5
Figura 2. Producción mundial de limón 2009-2019 (millones de toneladas).....	8
Figura 3. Principales países exportadores de limón 2009-2019(miles toneladas).....	9
Figura 4. Principales países importadores de limón 2009-2019 (miles de toneladas)	9
Figura 5. Países consumidores del limón ecuatoriano periodo (2006-2008).....	10
Figura 6. Descripción de la placa Arduino UNO.	12
Figura 7. Estructura de un programa en Arduino IDE.....	13
Figura 8. Entorno de trabajo de Matlab.	14
Figura 9. Representación de una imagen digital.....	15
Figura 10. Formato RGB imágenes digitales.	16
Figura 11. Procesamiento de imágenes.	17
Figura 12. Selección de la imagen original.	18
Figura 13. Recorte de la imagen.	18
Figura 14. Mapa comuna Febres Cordero, provincia de Santa Elena.	19
Figura 15. Dimensiones a medir del limón sutil.....	21
Figura 16. Método de desplazamiento de agua.	22
Figura 17. Método de procesamiento de imágenes en Matlab.	23
Figura 18. Método de discos de cálculo integral para calcular el volumen.....	23
Figura 19. Modelamiento de GeoGebra.	24
Figura 20. Histograma de colores.....	25

Figura 21. Histograma de color RGB promedio del limón sutil.....	37
Figura 22. Relación masa y volumen del fruto.....	43
Figura 23. Modelo matemático logarítmico de pérdida de peso del limón sutil.	45
Figura 24. Sistema implementado con Arduino para determinar propiedades físicas del limón.	46
Figura 25. Cálculo de masa del limón sutil empleando Arduino y Tinkercad.	47
Figura 26. Volumen del limón sutil en el sistema Arduino.....	47
Figura 27. Cálculo de densidad.	48
Figura 28. Cantidad masa de la parte comestible del limón sutil.	48
Figura 29. Simulación de la cantidad de jugo de limón (ml) en Arduino.	49
Figura 30. Simulación número de semillas del limón sutil.	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 1A. Recolección de las muestras en la finca Mamey.....	57
Figura 2A. Muestras recolectadas para el análisis en el laboratorio.....	57
Figura 3A. Indicaciones por el docente para realizar las pruebas de laboratorio.	58
Figura 4A. Indicaciones para calibrar equipos a usar en los diferentes procesos.....	58
Figura 5A. Método de desplazamiento de agua.....	59
Figura 6A. Toma de datos de peso.	59
Figura 7A. Cantidad de jugo de la muestra.	60
Figura 8A. Número de semillas.....	60
Figura 9A. Cantidad de cáscara del fruto.	61
Figura 10A. Muestras para análisis de coloración en formato RGB.....	61
Figura 11A. Softwares utilizados en el cálculo de volúmenes de limones: GeoGebra y Matlab.....	62
Figura 12A. Perfilamiento matemático de limón sutil en software GeoGebra.....	63
Figura 13A. Obtención de volumen por integrales en el software en línea symbolab.	64
Figura 14A. Código para el cálculo de volumen por método de procesamiento de imágenes.....	65
Figura 15A. Tutorías para el procesamiento de imágenes.....	66
Figura 16A. Procesamiento de imágenes en Matlab.	67
Figura 17A. Código para el cálculo de colores.....	68
Figura 18A. Análisis de colores en formato RGB en Matlab.....	69
Figura 19A. Coloración final en formato RGB.....	70

Figura 20A. Código para el cálculo de las propiedades físicas.	72
Figura 21A. Prototipo implementado en la plataforma Tinkercad.	73
Figura 22A. Prototipo calculando masa y volumen.....	74
Figura 23A. Prototipo calculando la densidad.....	75
Figura 24A. Prototipo calculando masa comestible.	76
Figura 25A. Prototipo calculando cantidad de jugo.	77
Figura 26A. Prototipo calculando el número de semillas.....	78

INTRODUCCIÓN

El limón (*Citrus aurantifolia Swingle*) es una fruta procedente del sudeste de Asia, el cual fue introducido en América Latina en épocas de la conquista. Es el tercer cítrico que se consume a nivel mundial, después de la naranja y mandarina. Es un producto indispensable como provisión y por sus altos valores nutricionales como vitamina C, ácido cítrico, sustancias de acción astringente y potasio. Además, previene el apareamiento del cáncer y ayuda a evitar problemas de circulación de la sangre (Arrega, 2017). El limón ha sido una fruta deseada en el campo culinario ya que es un agregado de varios platos y bebidas de la gastronomía ecuatoriana (Ruiz and Wang, 2015). La importancia del limón sutil radica en su valor nutricional, medicinal y en la diversidad de productos y subproductos que se adquieren en el proceso de industrialización, siendo una fuente de ingreso para diversos agricultores de todo el planeta (Menacho, *et al.*, 2018).

En la actualidad, la India, México y China encabezan la clasificación a nivel mundial de los primeros productores de limón. Alrededor de 3 millones de toneladas de este producto se cosechan cada año en la India, en el estado de México 2.4 millones de toneladas y en China 2.3 millones de toneladas, Turquía registra alrededor de 850.000 toneladas por año (Pitarcha, 2018).

El cultivo de limón en Ecuador, se desarrolla en la franja que se localiza desde la línea ecuatorial hasta varios grados de latitud norte y sur, en el cual predominan los climas tropicales y subtropicales. Se cosecha durante todo el año, pero su rendimiento va a depender de factores netamente climáticos como temperatura y humedad. En nuestro medio existe dos principales variedades de limón: El limón criollo (*Citrus aurantifolia Swingle*) y el limón persa o de tahití (*Citrus x tahití*). El limón criollo, a su vez, se divide en dos grupos naturales: limoneros sutiles ácidos y limoneros sutiles no ácidos (Castillo, 2005).

Del promedio de cosecha anual (51.752), el 98.4% se queda para el consumo nacional. Mientras que 823 toneladas, en promedio, se exportan a Estados Unidos, Puerto Rico y Japón, según el Servicio Nacional de Aduanas. Los mercados mayoristas se abastecen con el 70% de la producción nacional, mientras que el 30% va para la industria, según el MAG, este sector solo usa limón sutil (Velasco, 2017).

En la provincia de Santa Elena existe alrededor de 500 ha cultivadas de limón sutil (Santistevan, 2016). Barcelona, Manglaralto y Colonche son localidades de mayor producción, se cultiva alrededor de 28 hectáreas con una producción de 40 sacos por mes de entre 800 a 1200 limones. El costo promedio del producto fluctúa entre los 4 y 10 dólares (Grúnauer, 2009). El manejo del cultivo de limón sutil es un factor determinante en el rendimiento, por lo que resulta de vital importancia brindar al productor asesorías técnicas modernas con un componente tecnológico que permita mejorar la producción (Vasconez and Celi, 2019).

A pesar de la importancia socio-económica que tiene el limón en el Ecuador y específicamente en la provincia de Santa Elena, son escasos los estudios e investigaciones desarrollados en este fruto, debido a falta de herramientas y recursos económicos y tecnológicos, que de una u otra forma han limitado el estudio y caracterización del mismo.

Esta situación sugiere la necesidad de diseñar programas de investigación y mejoras tecnológicas, los cuales deben hacerse bajo el marco de una agricultura sustentable. El presente trabajo, brindará una primera aproximación en el estudio de las características físicas y modelamiento matemático del limón sutil, entre los cuales se menciona: masa, volumen, densidad, color, porcentaje de cáscara, porcentaje de la parte comestible, cantidad de jugo y número de semillas, conjuntamente con sus relaciones y modelos matemáticos, utilizando herramientas tecnológicas de software como Matlab y Arduino.

Problema Científico

¿Es posible caracterizar el limón sutil (*Citrus aurantifolia Swingle*) desde el punto de vista físico-matemático utilizando herramientas tecnológicas como Matlab y Arduino?

Objetivos

Objetivo General:

Determinar las características físicas y modelos matemáticos del limón sutil (*Citrus aurantifolia Swingle*) cultivado en la Comuna Febres Cordero, utilizando el software Matlab y el hardware Arduino.

Objetivos Específicos:

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

Hipótesis

Empleando el software matemático Matlab y hardware de código abierto Arduino es posible determinar las características físicas y relaciones matemáticas del limón sutil cultivado en la provincia de Santa Elena.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Conceptos generales

1.1.1. Origen

La historia menciona que los cítricos se originaron hace unos 20 millones de años en el sudeste asiático. Desde entonces hasta la actualidad han sufrido muchas modificaciones correspondientes a la selección natural e hibridaciones producidas por el hombre o de forma natural (Bermúdez, 2009). Se cultivan desde hace más de 4 000 años. Sus frutos al parecer atrajeron atención de los habitantes primitivos, quienes se encargaron de cultivarlos mucho tiempo antes de que aparecieran en los países europeos a donde fueron llevados por los primeros viajeros gracias a la cautivante apariencia de su fruta y sus flores (Puente, 2006).

También llamada lima ácida, lima gallega, limón ceutí, limón mexicano, limón peruano, limón criollo o limón pica. Su nombre científico es *Citrus Aurantifolia Swingle* (Grúnauer, 2009). Tiene fruto de tamaño medio y de forma globosa de color verde amarillento al madurar y cascara delgada, tiene pulpa verde y jugosa la cual posee un particular sabor ácido y aromático (Arrega, 2017).

Consta de 3 partes, el flavedo o exocarpio, mesocarpio y endocarpio:

- El exocarpio es una capa delgada que tiene los pigmentos que cambian de color durante la maduración de verde a amarillo, de gran aroma debido a sus compuestos terpénicos que componen los aceites esenciales que allí se localizan.
- El mesocarpio es la parte blanca que contiene pectinas que le confieren firmeza a la corteza. A medida que el fruto va madurando el albedo tiende a degradarse por acción enzimática, debido a esto cosechan los cítricos en estado inmaduro (verde) para obtener el mayor rendimiento y calidad de pectina.
- El endocarpio está formado por la pulpa que contiene las vesículas con el jugo. El endocarpio se encuentra dividido por el septum formado de 10-14 gajos de ellos se encuentran las semillas, 10 aproximadamente por limón ubicadas alrededor del eje central.



Figura 1. El fruto del limón sutil.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.2. Características

- Reino: Vegetal
- Clase: Angiospermae
- Subclase: Dicotiledónea
- Orden: Rutae
- Familia: Rutaceae
- Género: Citrus
- Subgénero: Eucitrus
- Especie: Citrus Aurantifolia Swingle
- Nombres comunes: Limón criollo, lima mexicana, lima ácida, lima chica, limón chiquito.

1.1.3. Descripción botánica

Tabla 1. Descripción botánica del limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swing)

Partes	Características
Planta	Árbol mediano a pequeño con ramificaciones irregular. Brotes con espinas cortas y muy agudas.
Hoja	Lámina elíptica a ovada a oblonga, ápice obtuso, base redondeada, márgenes usualmente crenados. Peciolos cortos, ligeramente alados.
Flores	Yemas pequeñas y blancas en el interior. Flores en racimos axilares de 1 a 7 flores. Pétalos blancos. Estambres en número de 20 a 25.
Frutos	Frutos pequeños, ovalados a subglobosos, usualmente con un pequeño mamelón en el lado estilar. Pericarpio delgado, usualmente de superficie lisa, de color amarillo verdoso. Endocarpio con 9 a 12 segmentos, de sabor ácido o ligeramente dulce.
Semillas	Pocas o ninguna semilla y de pequeño tamaño. Poliembriónicas monoembriónicas.
Resistencia	Muy sensible a las bajas temperaturas.

Fuente: (Delgado, 2018).

1.1.4. Requerimientos edafoclimáticos del limón sutil

Tabla 2. Datos edafoclimáticos

	Requerimientos
Clima	Cálido y templado
Temperatura	Desde 18 a 29 °C promedio
Humedad	900 a 1200 mm anuales
Precipitación	900 a 1200 mm anuales
Altitud	40 a 1500 m.s.n.m
Tipo de suelo	Suelos profundos, bien aireados franco arenoso

Requerimientos	
pH	Neutro a ligeramente ácido (5.5 a 6.5)

Fuente: (Puente, 2006).

1.1.5. Cosecha

La etapa de la cosecha está determinada por la maduración de los frutos; la cosecha de limones se realiza durante todo el año (Orejuela and Pardi, 2014). Se realiza manualmente con la ayuda de palancas de cañas con un aro o gancho al final para agarrar el fruto maduro que va a ser recolectado, el fruto va cayendo al suelo y a medida que los trabajadores van avanzando atrás se va recogiendo en cajas o baldes de plásticos, para esta actividad es recomendable que el suelo esté libre de malezas para facilitar la recolección del producto de la misma cosecha cuando la cascara se torna amarillosa retirando el pedúnculo y evitando dañar la cascara (Bermúdez, 2009).

Una vez que se recoge los limones, se guarda en cuartos bien ventilados. El limón sembrado en condiciones adecuadas presenta rendimiento hasta 20.000 kg/ha. No obstante se obtienen de hasta 50.000 kg/ha cuando el árbol se encuentra en plena producción (Bermúdez, 2009).

1.1.6. Postcosecha

Las que contienen más de 30% en volumen de jugo, y que tienen un color verde maduro, se caracterizan por una vida postcosecha más larga que aquellas cosechas amarillas. Las amarillas se deben comercializar inmediatamente después de cada cosecha. La mayoría de los consumidores prefieren limas amarillas por su mayor contenido de jugo. Los frutos deben estar ausentes de defectos, superficie lisa, ausencia de pudriciones, ausencia de defectos como magulladuras, olecelosis, pulpa seca, daños por frío, y degradación del botón floral (Bermúdez, 2009).

1.1.7. Valor Nutricional

Tabla 3. Valor nutritivo del limón en 100 g

Valores nutritivos del limón en 100 g	
Calorías	6 kcal/ gr
Carbohidratos	0.6 gr
Potasio	96 mg
Sodio	1 mg

Valores nutritivos del limón en 100 g	
Vitamina A	< 2 gr
Vitamina C	34 mg
Ácido Fólico	6 mg
Calcio	2 %
Hierro	2 %

Fuente: (Ortiz, 2018).

1.2. Producción y consumo a nivel mundial

En la última década, la producción y el consumo mundial de limón creció a una tasa promedio anual, de 3.5% y las exportaciones mundiales han aumentado a una tasa media de 4.6%. La producción mundial de limón para el año comercial 2018/19 se estima cierre en 8.1 millones de toneladas, superior a la registrada en el año previo. En el año comercial 2018/19, el consumo mundial de limón, se estima en 5 millones de toneladas, 5.7% mayor al año previo (Pineda, 2019).

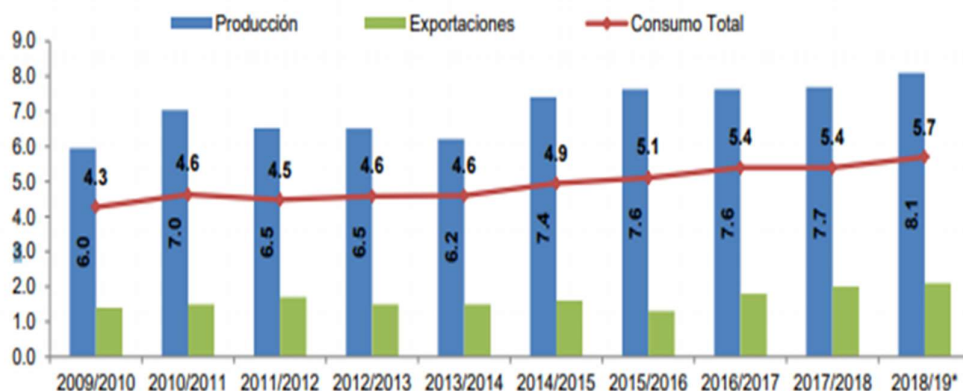


Figura 2. Producción mundial de limón 2009-2019 (millones de toneladas).

Fuente: (Pineda, 2019).

En la última década, la producción de limón en México, primer productor mundial, creció a una tasa promedio anual de 3.1%, mientras que, en la Unión Europea, segundo productor mundial, creció a una tasa promedio anual de 2.0% en el mismo periodo (Pineda, 2019).

Se estima que para el año comercial 2018/2019, la comercialización de limones sea de 2.1 millones de toneladas a nivel mundial. De igual manera las exportaciones mexicanas de limón representaran 34% del comercio mundial que, en la última década, registran un crecimiento promedio anual de 5.3%. Turquía se sitúa como el segundo exportador, aumentando sus exportaciones a una tasa anual de 3.9%, en la última década.

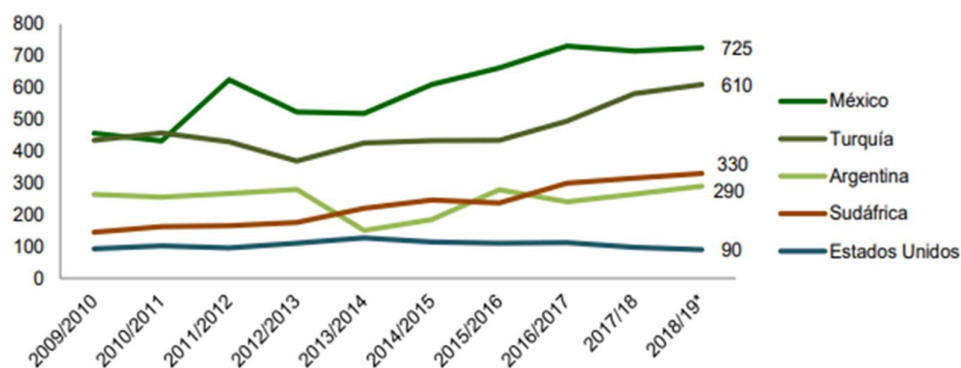


Figura 3. Principales países exportadores de limón 2009-2019(miles toneladas).
Fuente: (Pineda, 2019).

En el año comercial 2018/19, se estima que Estados Unidos continuará ubicándose como principal importador de limón, con un volumen de 745 mil toneladas, equivalente al 36 % de las importaciones mundiales. En la última década, las importaciones de limón de Estados Unidos presentarán un crecimiento promedio anual de 6.1 %. La Unión Europea, para el mismo periodo, aumentará sus importaciones 23.0 % en comparación al año previo.

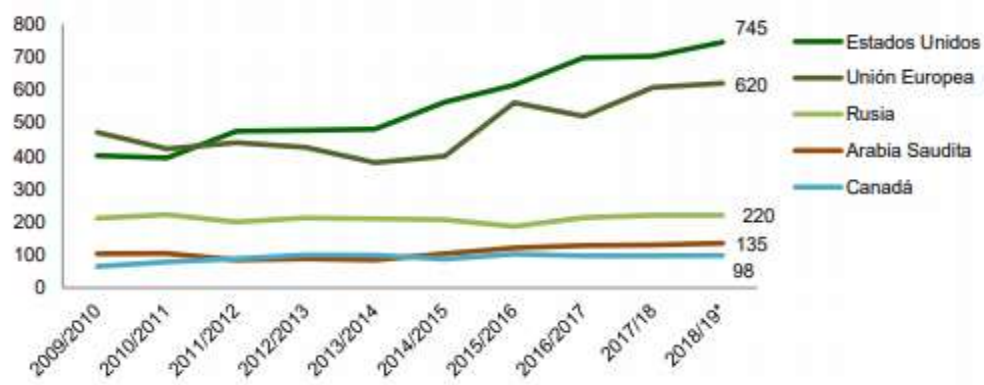


Figura 4. Principales países importadores de limón 2009-2019 (Miles de toneladas).
Fuente: (Pineda, 2019).

1.3. Producción Nacional

La producción nacional de limón sutil para el 2013 fue de 10.594 toneladas, cultivados principalmente en las provincias de Manabí, Pichincha, Los Ríos y Loja. De esta producción el 61.64% se origina en la región Costa del país (Logroño, 2011).

El limón sutil (*Citrus aurantifolia Swingle*), es la especie de cítrico más cultivada, luego el limón Tahití (*Citrus latifolia Tan*), entre ambos suman alrededor de unas 4400 ha cultivadas en el Ecuador.

Tabla 4. Producción ecuatoriana de limón sutil (miles de toneladas métricas)

Años	2011	2012	2013
Nacional	10.768	38.850	10.594
Región Sierra	1.970	2.166	6.558
Región Costa	7.688	36.018	3.030
Región Oriental	1.110	665	1.006

Fuente: (Ruiz and Wang, 2015).

1.3.1. Principales mercados mundiales para el limón ecuatoriano

En el año 2008, Estados Unidos y Colombia son los mercados que más han adquirido el limón sutil ecuatoriano, absorbiendo entre ambos el 84% de lo exportado durante dicho periodo. Para el año 2009 se aumentan las exportaciones aproximadamente el doble con respecto al año anterior. Se diversifica el destino de las exportaciones hacia países como Holanda y Francia con una participación en las exportaciones de 39% y 13% respectivamente (Logroño, 2011).

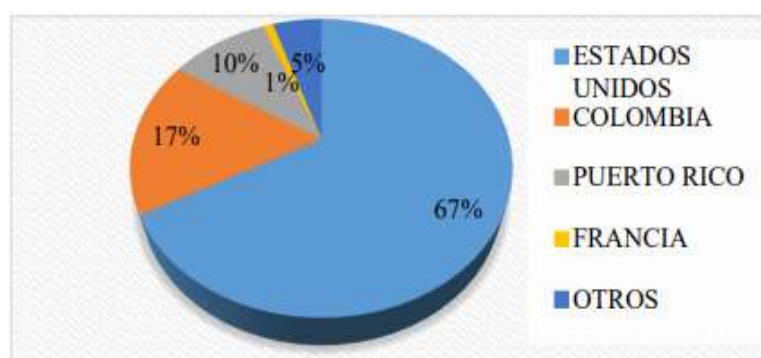


Figura 5. Países consumidores del limón ecuatoriano periodo (2006-2008).

Fuente: (Panchana, 2015).

1.3.2. Producción en la provincia de Santa Elena

La provincia de Santa Elena tiene un potencial agrícola por la ubicación geográfica y las condiciones agroecológicas para el desarrollo de frutos no tradicionales y específicamente el limón sutil, que cuenta con una extensión de alrededor de 500 ha cultivadas por unos 400 agricultores (PIDASSE, 2011). En el año 2009 la producción fue de 21 toneladas, para el año 2010 aumentó a 27 toneladas por los convenios entre agrupaciones y el Ministerio de Agricultura y en el año 2011 se incrementó a 41.9 toneladas (Panchana, 2015).

1.4. Arduino

Es una plataforma de código abierto de prototipos electrónicos que se basa en hardware y software flexibles y fáciles de usar que ponen al alcance de cualquier persona la construcción de circuitos electrónicos. Apoyado en un microcontrolador, en una sencilla y económica placa de entradas y salidas analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo en el lenguaje de programación Processing basado en Java con una curva fácil de aprendizaje (Moreno and Córceles, 2019).

Permite crear proyectos de electrónica y aplicar a las diferentes ramas de la ingeniería, de una manera sencilla y eficaz. Actualmente hay una fuerte comunidad de desarrollo que presenta proyectos novedosos de código abierto y hay mucha documentación que proporciona su programación (Cruz, 2016).

1.4.1. Componentes de Hardware

1.4.1.1. Pines digitales

La placa de Arduino cuenta con 14 pines digitales, utilizados como entrada o como salida donde se puede conectar pulsadores, leds, motores, electroválvulas, etc (Moreno and Córceles, 2019).

Una señal digital tiene dos estados:

- 0 (LOW, bajo, false) Indica 0 V de tensión enviados desde la placa.
- 1 (HIGH, alto, true): Indica 5V de tensión enviados desde la placa.

1.4.1.2. Pines analógicos

Los pines analógicos pueden medir a un rango de valores de voltaje, a diferencia de los pines digitales que solo manejan dos estados 0V o 5V.

Con los pines analógicos vamos a poder leer valores intermedios entre 0V y 5V, representados con un valor entero comprendido entre 0 y 1023, ya que la información se representa en números de 10 bits, y también vamos a poder escribir en los pines valores comprendidos entre 0 y 255, ya que la información se representa en números de 8 bits. Aparecen algunos con el símbolo “~” en la placa, este símbolo indica que pueden ser utilizados de forma analógica (Moreno and Córceles, 2019).

1.4.1.3. Pines de alimentación

De manera similar a los pines de entrada y salida descritos anteriormente. Arduino dispone de pines de alimentación eléctrica externos, concretamente con 5V y otros con 3.3V y pines de conexión a tierra (GND) (Moreno and Córceles, 2019).

1.4.1.4. Microcontrolador

Este componente de la placa es el cerebro de la misma, basado principalmente en un chip Atmega es donde se almacena el programa y se ejecuta todas las instrucciones que dan vida a un proyecto o sistema implementado en Arduino.

1.4.1.5. Botón reset

El botón reset permite reiniciar el programa que se ha cargado en el microcontrolador interrumpiendo la ejecución actual, en caso de fallas o pruebas. No borra el programa que se ha cargado, únicamente lo reinicia.

1.4.1.6. Puerto USB

Es el puerto mediante el cual permite la comunicación con la placa de Arduino.

Sus funciones principales son:

- Alimentación.
- Carga los programas en el microcontrolador.
- Envío de información desde la placa al ordenador o PC.

1.4.1.7. Conector de alimentación

Arduino dispone de un puerto de alimentación externo que permite encender la placa de forma independiente sin utilizar un ordenador. Lo recomendado es utilizar una fuente de alimentación entre 7V y 12V (Moreno and Córceles, 2019).



Figura 6. Descripción de la placa Arduino UNO.

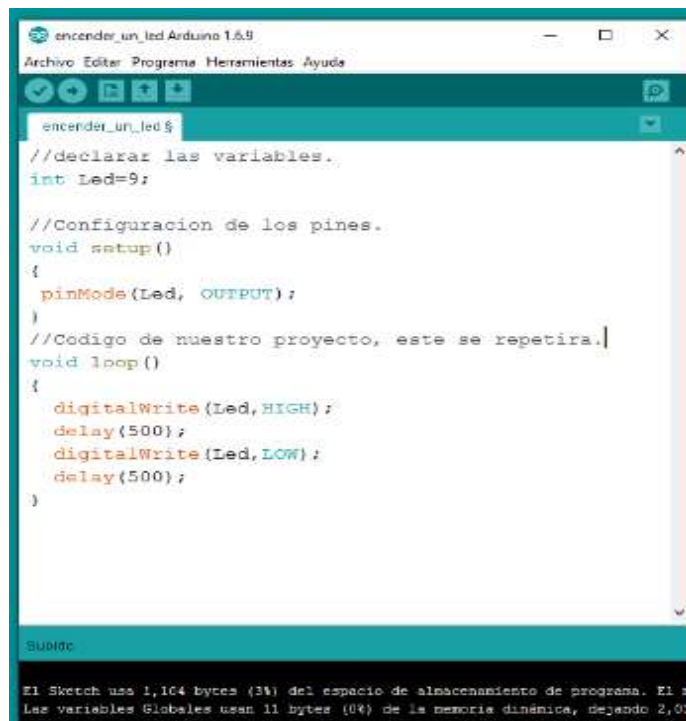
Fuente: (Lourero and Pujol, 2017).

1.4.1.8. Estructura de programación en Arduino

La estructura básica de programación de Arduino es bastante simple y divide la ejecución en dos partes: void setup y void loop.

Void Setup () constituye la preparación del programa y void loop () es la ejecución. En la función Setup () se incluye la declaración de variables y se trata de la primera función que se ejecuta en el programa, esta función se ejecuta una única vez. La función loop () incluye el código a ser ejecutado continuamente (leyendo las entradas de la placa, salidas, etc.) (Cruz, 2016).

Como se observa en este bloque de código cada instrucción acaba con ; y los comentarios se indican con //. Al igual que en C se pueden introducir bloques de comentarios con /*... */.



```
encender_un_led Arduino 1.6.9
Archivo Editor Programa Herramientas Ayuda

encender_un_led $
//declarar las variables.
int Led=9;

//Configuración de los pines.
void setup()
{
  pinMode(Led, OUTPUT);
}
//Código de nuestro proyecto, este se repetirá.
void loop()
{
  digitalWrite(Led, HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(Led, LOW);
  delay(500);
}

Build

El Sketch usó 1,164 bytes (3%) del espacio de almacenamiento de programa. El
Las variables Globales usan 11 bytes (0%) de la memoria dinámica, dejando 2,03
```

Figura 7. Estructura de un programa en Arduino IDE.

Fuente: (Cruz, 2016).

1.5. MATLAB

Es un “software” interactivo de alto rendimiento que está orientado al cálculo numérico. MATLAB integra análisis numérico, cálculo con matrices, procesamiento de señales e integra la construcción de gráficos en un entorno que es realmente sencillo de utilizar, donde los problemas y las soluciones son simples expresiones que son escritas de manera

matemática (Silvia, 2016). Es un medio, un material, un recurso y un software educativo utilizado en la educación de la matemática, en ingeniería y todas las carreras de ciencias donde intervienen operaciones numéricas (Ricardo, 2019).



Figura 8. Entorno de trabajo de Matlab.

Fuente: (Muñiz, 2020).

1.5.1. Características principales de Matlab

Matlab incorpora más de 3000 funciones para trabajar con cálculo simbólico y numérico, descritas a continuación:

Algebra: aritmética simbólica con números reales y complejos o polinomios, factorización, expansión, combinación y simplificación de expresiones algebraicas y polinomios, secuencias y series.

Cálculo: Derivadas, integrales y límites, rutinas de visualización para diferenciación e integración.

Ecuaciones diferenciales: Resolución numérica y exacta de ecuaciones y sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias (ODE) y problemas de valor inicial, resolución numérica de problemas de valores de contorno, resolución exacta de ecuaciones y sistemas de ecuaciones en derivadas parciales (PDE), análisis estructural y reducción de orden de ODE y PDE.

Cálculo vectorial: Derivadas direccionales, gradientes, matriz Hessiana, Laplacianas, rotacional y divergencias de un campo vectorial, matrices Jacobiana y Wronskian, productos escalares, vectoriales y externos de vectores y operadores diferenciales.

Visualización: Incluye un amplio conjunto de herramientas de visualización con gráficos típicos predefinidos, gráficos 2D y 3D, animaciones 2D y 3D, una amplia variedad de tipos de coordenadas, gráficos implícitos 2D y 3D, gráficos vectoriales, contorno, gráficos complejos, gráficos de ODE y PDE, rotación en tiempo real, objetos geométricos predefinidos, iluminación (Ricardo, 2019).

1.5.2. *Procesamiento digital de imágenes*

El procesamiento de imágenes es el conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información dentro de la misma. Antes de extraer información directamente de la imagen, se acostumbra a hacer un procesamiento previo de la misma para extraer datos de forma más sencilla y eficiente. Por ejemplo, el procesamiento puede incluir funciones para modificar la luminosidad y el contraste, para reescalar la imagen, los niveles de color, las curvas, la binarización, el desenfoque, etc (Gualteros, 2014).

Las imágenes digitales, tienen tres propiedades básicas: resolución, definición y números de planos.

- Resolución: La resolución de una imagen es el número de filas y columnas que forman los píxeles. Una imagen que tiene M filas y N columnas por lo cual tiene una resolución MXN.
- Definición: La definición de una imagen, también llamada profundidad de pixel. Indica el número de colores que se pueden ver en la imagen. La profundidad de modulación es el número de bits usado para codificar la intensidad del pixel.
- Número de planos: Es el número de arrays de píxeles que componen la imagen.

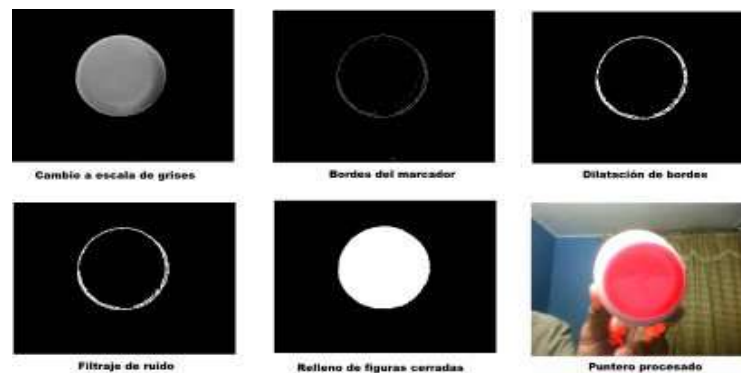


Figura 9. Representación de una imagen digital.

Fuente: (Bernal, *et al.*, 2015).

1.5.3. Representación de colores en imágenes digitales

Normalmente, los colores primarios son el rojo, el amarillo y el azul, y a partir de la mezcla de estos se crean los otros colores. Sin embargo, en las imágenes digitales los colores primarios son el rojo (Red), el verde (Green) y el azul (Blue) y se utilizan las intensidades de luz para obtener nuevos colores. Esto dio lugar al sistema RGB (Gualteros, 2014).

Una imagen digital está compuesta por una matriz bidimensional de elementos RGB. En imágenes digitales de color verdadero, se utilizan 8 bits (1 byte) para representar la intensidad de cada componente o canal de color, y por ser 3 componentes por color, se necesitan 24 bits (3 bytes) para formar un solo color, lo que es equivalente a un pixel. Entonces, una imagen de 10 x 10 píxeles utiliza 2400 bits o sea 300 bytes (Gualteros, 2014).

En el sistema RGB el blanco es RGB (255, 255, 255) y el negro es RGB (0, 0, 0), en donde los valores entre paréntesis son las intensidades de cada uno de los canales RGB. RGB (255, 0, 0) RGB (0, 255, 0) y RGB (0, 0, 255) representan el rojo, el verde y el azul respectivamente. Al mezclar el color rojo con el azul se obtiene el color morado, RGB (255, 0, 255). Se pueden crear todos los colores disponibles variando las intensidades de las componentes RGB. (Gualteros, 2014).

Imágenes RGB (color)

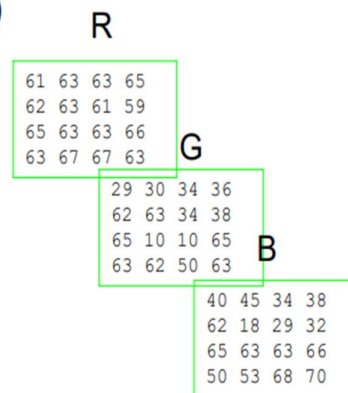


Figura 10. Formato RGB imágenes digitales.

Fuente: (Ves, 2006).

1.6. Aplicación de las matemáticas, física y tecnología en el campo agropecuario

El sistema de visión artificial para la detección de maleza en un cultivo de frijol se logró realizar con éxito, teniendo una efectividad de 92.5% en ambiente controlado por medio de

métodos heurísticos basados en un sistema básico de visión artificial y minería de datos (Gualteros, 2014).

El banano ecuatoriano es una fruta mundialmente reconocida, puesto que la fruta abastece un 30% de la oferta mundial, por lo que el mejoramiento de buenas prácticas, y procesos a lo largo de la cadena de producción, es primordial, y dotarlo de herramientas tecnológicas, optimizarían estos procesos con el objetivo de reducir el menor tiempo posible y la ocupación de recursos (Juanazo, 2019).

El tamaño de la fruta es una de las características más importante para la exportación, por lo que esta, no solamente determina si la fruta esta apta, sino que, también valida o establece los ingresos o pérdidas que va a darse periodo de cosecha. La operatividad del proceso de evaluación de la fruta para determinar si el producto es exportable o no, se convierte en una tarea sobrecargada y proclive a errores en márgenes elevados, sino se llevan los respectivos controles que son proporcionados por estándares o normas de calidad exigidas por organizaciones que permiten la exportación de la fruta (Juanazo, 2019).

1.6.1. Pruebas de clasificador

Se procesa la imagen original aplicando algoritmo de segmentación.

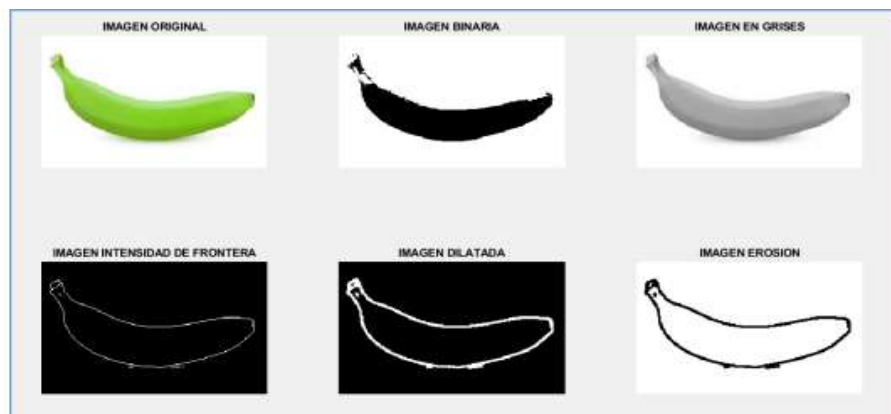


Figura 11. Procesamiento de imágenes.

Fuente: (Juanazo, 2019).

Después de haber segmentado se procede a seleccionar la imagen original, para su respectiva evaluación.

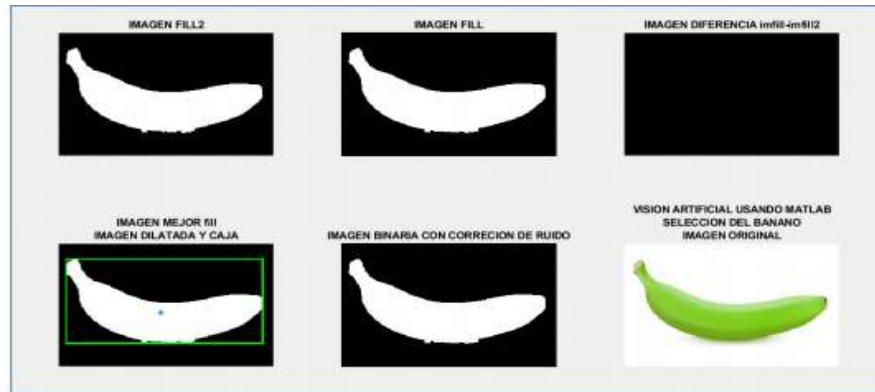


Figura 12. Selección de la imagen original.

Fuente: (Juanazo, 2019).

Por último, se recorta y se presenta un mensaje que el banano aceptado porque cumple con las condiciones de exportación.

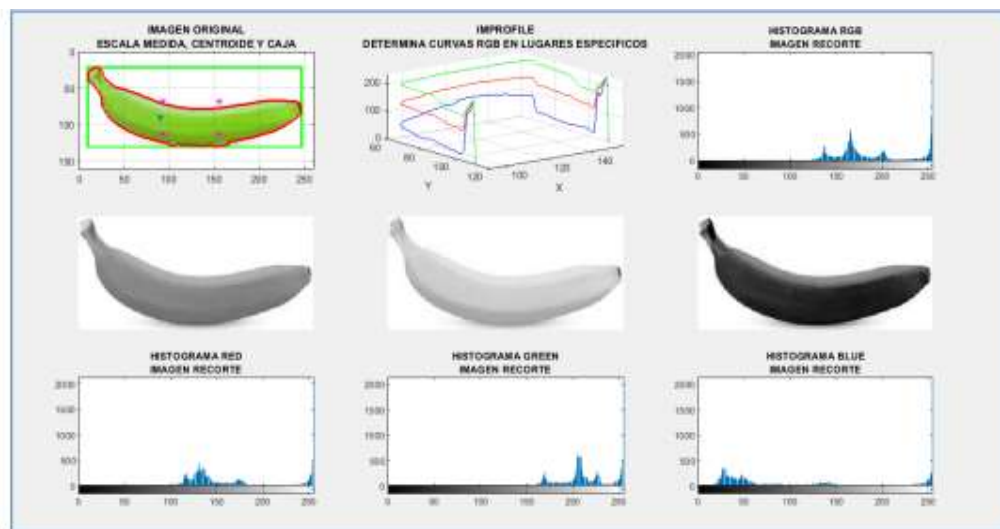


Figura 13. Recorte de la imagen.

Fuente: (Juanazo, 2019).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación y lugar del ensayo

El presente trabajo de investigación se desarrollará en la comuna Febres Cordero del cantón Santa Elena, perteneciente a la provincia del mismo nombre, ubicada en las coordenadas, latitud sur $1^{\circ} 57' 09.6''$ y longitud oeste $80^{\circ} 36' 59.7''$, situado a una altura de 85 msnm, con una precipitación anual de 389.44 mm y temperatura de 22°C a 25°C .



Figura 14. Mapa comuna Febres Cordero, provincia de Santa Elena.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Materiales

2.2.1. *Materiales de campo:*

- Cámara fotográfica Samsung 15 megapíxeles.
- Flexómetro
- Calibrador vernier
- Cinta métrica
- Retroproyector
- Lámpara de 32w
- Vaso de precipitación

- Balanza digital
- Agua

2.2.2. Materiales para procesamiento de imágenes

- Computador con Windows 10.
- Software matemático MATLAB versión 2020a.
- Paquete toolbox de procesamiento de imágenes de MATLAB.
- Software estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI, versión 16.1.11

2.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva, cuantitativa.

2.4. Metodología

Limonos de la variedad sutil, cosechados de la finca Mamey de la Comuna Febres Cordero, en la provincia de Santa Elena, en enero 2021 se utilizarán en este estudio.

2.4.1. Tamaño de la muestra

Para el presente proyecto de titulación, se utilizarán 180 limones sutiles para la determinación de las propiedades físicas y relaciones matemáticas, como se reportan en estudios similares en cerezas, higos y melones (Shahbazi and Rahmati, 2012) además otros estudios realizados por (Seyedabadi, *et al.*, 2013), distribuidos de la siguiente manera:

90 limones análisis no destructivo.

- Masa
- Dimensiones
- Volumen
- Densidad
- Color

90 limones análisis destructivo.

- Porcentaje de cascara
- Porcentaje de la parte comestible
- Cantidad de jugo de limón
- Número de semilla

2.4.2. Variables a determinar

2.4.2.1 Masa

La masa de cada fruto se medirá utilizando la balanza digital marca Scout Pro con una capacidad de 600 g y una precisión de 0.01 g.

2.4.2.2. Dimensiones del limón sutil

Utilizando un calibrador marca JTC 3474 con un rango de operación de 150 mm y una precisión de 0.01 mm se tomarán las siguientes medidas de limón sutil:

a = largo.

b = ancho.

c = grosor.

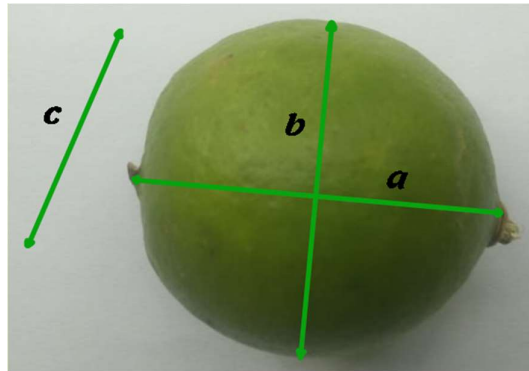


Figura 15. Dimensiones a medir del limón sutil.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.3. Volumen

Método de desplazamiento de agua

El primer método para determinar el volumen y que servirá como referencia es el método de desplazamiento de agua, que consiste en sumergir un limón sutil en un vaso

de precipitado lleno de agua y midiendo la cantidad de agua que se desborda, como lo indica la siguiente ecuación (Lee, *et al.*, 2017).

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

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 el fruto.

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

W_d : peso del agua desbordada.

γ_w : peso específico del agua (9.810 N/m³).



Figura 16. Método de desplazamiento de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Procesamiento de imágenes

1. Capturar la imagen en formato RGB con una cámara fotográfica Sony (14.5 mega píxeles)
2. Utilizando Matlab se convierte la imagen a escala de grises.
3. Se transformará la imagen a escala binaria.
4. Se determina el perfil del fruto.

5. Se utilizará el método de discos de cálculo integral para determinar el volumen del fruto.



Figura 17. Método de procesamiento de imágenes en Matlab.

Fuente: (Rashidi and Gholami, 2008).

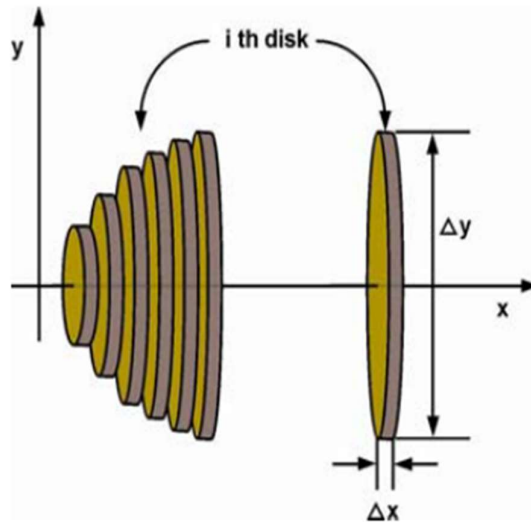


Figura 18. Método de discos de cálculo integral para calcular el volumen.

Fuente: (Rashidi and Gholami, 2008).

Perfil Matemático

1. Se utiliza las imágenes capturadas en el método anterior.
2. Empleando GeoGebra se utiliza puntos, polinomios y funciones matemáticas para perfilar cada uno de los limones.
3. Se define un límite inferior y un límite superior con la ayuda de la longitud medida del fruto.
4. Se utiliza la fórmula de integrales para el cálculo de volúmenes siguiente:

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

- A = (-10.57, 6.3)
- B = (-3.33, -19.19)
- C = (0, 0)
- D = (0.51, 1.11)
- E = (1.34, 1.87)
- F = (2.81, 1.86)
- G = (3.65, 1.07)
- H = (4.01, 0)
- I1 = ((0, 0), (0.51, 1.11), (1.34, 1.87), (2.81, 1.86), (3.65, 1.07), (4.01, 0))
- f(x) = $-0.02x^5 + 0.13x^4 - 0.06x^3 - 1.09x^2 + 2.73x$
- g(x) = $-0.02x^5 + 0.13x^4 - 0.06x^3 - 1.09x^2 + 2.73x$, ($0 \leq x \leq 4.01$)

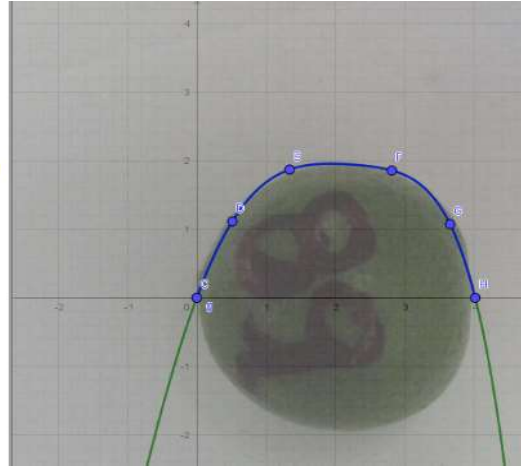


Figura 19. Modelamiento de GeoGebra.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.4. Densidad

Se calculará directamente con la formula fisica:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

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

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

$\rho = \text{densidad } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$

2.4.2.5. Color

Se realizará a través de un histograma RGB en Matlab, para determinar el valor entre 0 y 255 de color rojo, verde y azul que componen una imagen digital.

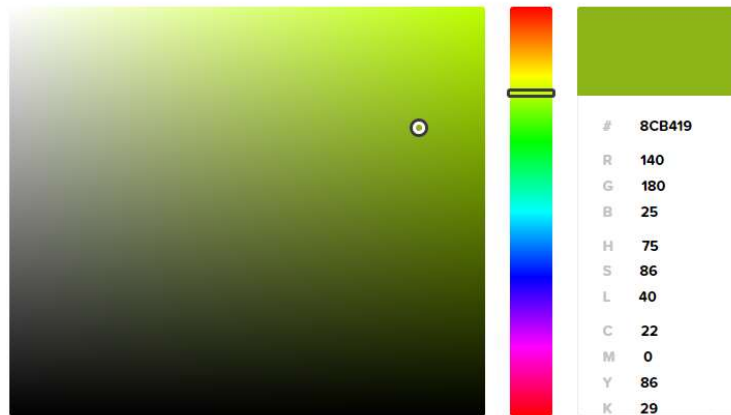


Figura 20. Histograma de colores.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.6. Porcentaje de cáscara y porcentaje de la parte comestible

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

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

2.4.2.7. Cantidad de jugo de limón

Se utiliza un exprimidor manual para extraer la parte líquida del mismo y se coloca en un vaso de precipitado de 50 ml para su medida.

2.4.2.8. Número de semillas

Seccionamiento en la mitad del limón y conteo individual de cada semilla que va apareciendo.

2.4.3. Análisis Estadístico y modelamiento matemático

Los datos recolectados de volumen se procesarán en el software estadístico Statgraphics Centurion XVI, versión 16.1.11, haciendo uso de una estadística descriptiva que incluye medidas de tendencia central y dispersión, seguido de un test de comparación de medias pareadas, se determinará la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas entre los volúmenes obtenidos en cada uno de los métodos empleados. Para finalizar el análisis y comprobar los resultados obtenidos, se hace uso de apartados estadísticos sobre regresión lineal, ajuste de curvas, para

determinar el modelo matemático que mejor relacione las variables, volumen y masa del limón sutil, así como, el modelo matemático que relacione la pérdida de masa en el tiempo y maduración, tomando medidas de masa durante 22 días posterior a la cosecha realizada.

2.4.4. Implementación en Arduino

Una vez que se determine el modelo matemático que relacione las variables masa y volumen del limón sutil, se procederá a programar el mencionado modelo en Arduino utilizando la plataforma Tinkercad, para construir un prototipo y, a su vez, brinde toda la información detallada de las propiedades físicas encontradas en el limón sutil cultivadas en la Comuna Febres Cordero, provincia de Santa Elena.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis destructivo

3.1.1. Masa

Tabla 5. Masa del limón sutil, continúa.

Limones	Masa (g)	Limones	Masa (g)
1	40.50	46	34.10
2	44.70	47	31.10
3	48.60	48	32.70
4	28.70	49	35.60
5	41.40	50	37.20
6	44.60	51	35.90
7	38.70	52	32.70
8	38.00	53	33.30
9	44.60	54	36.00
10	35.70	55	33.30
11	49.90	56	35.00
12	40.80	57	33.00
13	37.50	58	42.90
14	46.00	59	31.70
15	42.70	60	33.90
16	37.90	61	36.60
17	42.30	62	43.10
18	37.10	63	29.40
19	36.20	64	32.20
20	37.00	65	34.50
21	35.30	66	33.50
22	36.40	67	32.80
23	39.10	68	34.50
24	35.00	69	43.00
25	38.80	70	31.20
26	31.10	71	30.50
27	39.40	72	40.80
28	33.70	73	36.60
29	32.70	74	37.20
30	38.90	75	35.20
31	42.00	76	40.00
32	36.50	77	46.30
33	30.70	78	36.80
34	38.10	79	43.50
35	33.10	80	35.80
36	36.70	81	34.50
37	35.50	82	42.80
38	34.00	83	50.10
39	32.90	84	31.00
40	33.90	85	47.70
41	29.60	86	46.20
42	33.60	87	45.60
43	33.30	88	33.40

Limones	Masa (g)	Limones	Masa (g)
44	27.70	89	32.60
45	38.40	90	34.00

La Tabla 5, muestra las medidas de masa de los limones para el análisis no destructivo que tiene como promedio general 37.10 gramos en estado verde (recientemente cosechado). Resultados similares a la investigación de (Santistevan, 2016), cuyos promedios de masa del limón sutil, en la zona de Colonche 40.65gramos y Manglaralto 37.07 gramos y superior a los valores registrado en el trabajo de titulación (Puente, 2006) de 25.65 gramos, en la región sierra del país (Ibarra). De igual manera superior a la masa del limón sutil de la comuna Sinchal de 31.65 gramos (Orrala, *et al.*, 2012).

3.1.2. Dimensiones del limón sutil

Tabla 6. Dimensiones del limón sutil, continúa.

Limones	L	A	P	Limones	L	A	P
1	4.36	4.29	4.17	46	4.00	4.01	3.95
2	4.77	4.24	4.17	47	4.13	3.74	3.74
3	4.87	4.45	4.38	48	3.95	3.90	3.90
4	3.82	3.69	3.70	49	4.32	3.94	3.96
5	4.40	4.23	4.17	50	4.14	4.07	4.03
6	4.64	4.24	4.27	51	4.20	3.95	4.01
7	4.40	4.10	4.08	52	4.00	3.90	3.92
8	4.47	4.07	4.12	53	4.24	3.85	3.84
9	4.96	4.21	4.17	54	4.20	3.99	3.97
10	4.10	4.10	4.01	55	3.99	3.98	4.02
11	4.17	4.38	4.38	56	4.08	3.99	3.98
12	4.22	4.25	4.15	57	4.03	3.86	3.85
13	4.13	4.04	4.13	58	4.40	4.40	4.22
14	4.40	4.41	4.41	59	4.10	3.85	3.77
15	4.34	4.25	4.14	60	4.21	3.87	3.90
16	4.16	4.11	4.05	61	4.04	4.10	4.02
17	4.60	4.15	4.13	62	4.53	4.23	4.20
18	4.35	3.97	4.02	63	3.82	3.73	3.77
19	4.14	4.00	3.99	64	3.92	3.86	3.86
20	4.54	3.93	3.87	65	4.41	3.87	3.77
21	4.05	4.03	4.02	66	4.27	3.76	3.80
22	4.42	3.94	4.00	67	3.98	3.84	3.89
23	4.06	4.22	4.17	68	3.97	4.01	3.93
24	4.10	3.85	3.95	69	4.40	4.25	4.22
25	4.38	4.12	4.05	70	3.99	3.74	3.70
26	3.88	3.84	3.75	71	4.02	3.79	3.79
27	4.18	4.18	4.19	72	4.03	4.09	4.17

Limones	L	A	P	Limones	L	A	P
28	4.34	3.85	3.83	73	4.18	3.98	3.97
29	4.32	3.82	3.83	74	4.19	4.06	4.01
30	4.16	4.15	4.08	75	4.14	3.92	3.85
31	4.41	4.27	4.26	76	4.34	4.09	4.08
32	4.17	4.03	4.02	77	4.49	4.33	4.32
33	4.08	3.81	3.83	78	4.19	4.10	4.04
34	4.23	4.05	4.11	79	4.57	4.20	4.15
35	4.00	3.90	3.94	80	4.02	3.94	3.95
36	4.20	3.97	4.01	81	3.90	3.98	4.01
37	4.28	4.04	3.99	82	4.51	4.22	4.16
38	4.03	3.91	3.85	83	5.01	4.36	4.28
39	3.99	3.87	3.89	84	4.13	3.77	3.74
40	4.21	3.89	3.84	85	4.92	4.23	4.24
41	3.69	3.71	3.76	86	4.40	4.40	4.43
42	4.24	3.95	3.94	87	4.34	4.37	4.39
43	4.26	3.85	3.88	88	4.10	3.88	3.90
44	3.83	3.72	3.69	89	4.01	3.83	3.85
45	4.46	4.05	4.08	90	3.99	3.86	3.86

L: longitud A: ancho (diámetro) P: profundidad

Como se observa en la Tabla 6, el promedio de diámetro del limón sutil cultivado en la comuna Febres Cordero, provincia de Santa Elena, tiene un valor 4.03 cm, resultado superior al obtenido en el trabajo de investigación (Santistevan, 2016), donde se menciona a Colonche con un diámetro de limón sutil de 3.58 cm y en Manglaralto 2.88 cm, de manera similar presenta un resultado del diámetro mayor al obtenido por (Puente, 2006) de 3.68 cm.

3.1.3. Volúmenes

3.1.3.1. Método desplazamiento de agua (MDA)

La Tabla 7, presenta los datos obtenidos por el método de desplazamiento de agua para el cálculo de volúmenes en cm³.

Tabla 7. Volumen por el método de desplazamiento de agua (MDA), continúa.

Limones	MDA (cm ³)	Limones	MDA (cm ³)
1	43.00	46	32.00
2	47.00	47	30.00
3	51.00	48	31.00
4	30.00	49	35.00
5	43.00	50	35.00
6	45.00	51	35.00
7	40.00	52	31.00
8	39.00	53	34.00

Limones	MDA (cm³)	Limones	MDA (cm³)
9	45.00	54	35.00
10	37.00	55	34.00
11	52.00	56	35.00
12	40.00	57	33.00
13	39.00	58	43.00
14	48.00	59	31.00
15	44.00	60	34.00
16	40.00	61	36.00
17	44.00	62	45.00
18	39.00	63	29.00
19	39.00	64	31.00
20	39.00	65	35.00
21	36.00	66	34.00
22	38.00	67	32.00
23	40.00	68	34.00
24	35.00	69	42.00
25	40.00	70	31.00
26	30.00	71	30.00
27	40.00	72	41.00
28	34.00	73	36.00
29	33.00	74	46.00
30	40.00	75	35.00
31	42.00	76	40.00
32	38.00	77	46.00
33	31.00	78	37.00
34	39.00	79	44.00
35	34.00	80	36.00
36	35.00	81	34.00
37	35.00	82	42.00
38	33.00	83	50.00
39	31.00	84	31.00
40	34.00	85	49.00
41	30.00	86	48.00
42	34.00	87	46.00
43	34.00	88	34.00
44	31.00	89	33.00
45	38.00	90	34.00

El volumen promedio del limón sutil encontrado, empleando el método de desplazamiento de agua (MDA) es de 37.53 cm³.

3.1.3.2. Método de Integrales o perfilamiento matemático (PM)

La Tabla 8, indica los valores del volumen del limón sutil, obtenido por el método de integrales o perfilamiento matemático (PM) presentados en cm³.

Tabla 8. Volúmenes por el método de perfilamiento matemático (PM).

Limones	PM (cm³)	Limones	PM (cm³)
1	42.35	46	35.24
2	55.45	47	27.46
3	50.38	48	30.04
4	29.76	49	33.98
5	42.06	50	36.63
6	44.41	51	37.77
7	38.49	52	32.57
8	35.34	53	31.55
9	42.83	54	34.70
10	34.54	55	34.97
11	48.54	56	31.95
12	39.78	57	33.48
13	35.44	58	47.39
14	44.64	59	30.61
15	41.46	60	34.66
16	36.28	61	34.47
17	42.99	62	43.34
18	38.53	63	29.28
19	35.53	64	33.62
20	37.59	65	35.50
21	33.38	66	31.89
22	35.21	67	31.61
23	37.37	68	36.99
24	35.12	69	45.00
25	36.51	70	29.90
26	27.01	71	29.95
27	37.29	72	41.85
28	33.70	73	35.47
29	34.66	74	55.83
30	36.73	75	32.83
31	39.86	76	34.89
32	37.23	77	46.59
33	30.00	78	35.21
34	37.13	79	52.46
35	33.32	80	38.42
36	32.02	81	30.61
37	35.84	82	41.01
38	30.02	83	48.46
39	31.83	84	31.17
40	32.02	85	48.16
41	29.73	86	45.06
42	35.46	87	44.96
43	32.90	88	33.67
44	37.83	89	31.86
45	35.75	90	32.05

El volumen encontrado por el método de perfilamiento matemático del limón sutil en estado verde, presenta como promedio general un valor de 36.99 cm³.

3.1.3.3. Método de procesamiento de imágenes (PI)

La Tabla 9 indica para el cálculo de volúmenes obtenidos por el método de procesamiento de imágenes en cm^3 .

Tabla 9. Volumen por el método de procesamiento de imágenes (PI).

Limones	PI (cm^3)	Limones	PI (cm^3)
1	41.35	46	29.92
2	40.56	47	26.00
3	46.36	48	27.94
4	25.24	49	29.04
5	37.65	50	32.26
6	42.34	51	31.25
7	34.62	52	28.63
8	37.52	53	28.98
9	40.12	54	30.32
10	33.63	55	28.21
11	45.65	56	30.03
12	38.84	57	28.18
13	33.85	58	38.39
14	45.66	59	27.05
15	40.03	60	29.54
16	37.39	61	34.23
17	39.51	62	39.45
18	34.65	63	26.19
19	32.38	64	30.57
20	32.53	65	29.99
21	31.80	66	29.19
22	32.73	67	28.08
23	34.05	68	29.82
24	30.61	69	39.38
25	32.72	70	26.99
26	27.51	71	26.92
27	35.14	72	36.67
28	31.24	73	33.23
29	25.20	74	34.31
30	32.44	75	30.84
31	38.74	76	36.34
32	35.07	77	42.04
33	28.89	78	34.07
34	35.85	79	39.93
35	29.38	80	33.05
36	33.56	81	30.12
37	32.44	82	39.60
38	28.53	83	48.17
39	29.57	84	27.35
40	29.84	85	45.70
41	26.30	86	44.52
42	29.94	87	41.69
43	29.64	88	29.11
44	24.26	89	29.09
45	35.30	90	29.80

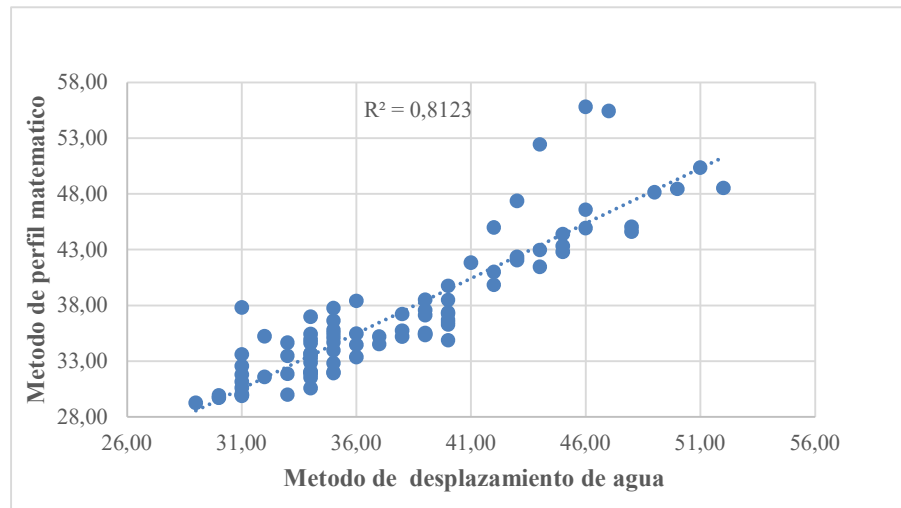
El volumen promedio encontrado del limón sutil cultivado en la comuna Febres Cordero, provincia de Santa Elena por el método procesamiento de imágenes es de 33.48 cm³ en estado verde, resultado superior al obtenido por (Puente, 2006) de 27.05 cm³, para limones cultivados en la sierra ecuatoriana.

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

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

Tabla 10. Comparación de métodos MDA y PM

Prueba de hipótesis t-tes pareada	95 % Intervalo de confianza para la diferencia entre MDA & PM
MDA & PM Igual (pvalor=0.059) U1=U2	2.34: 3.15

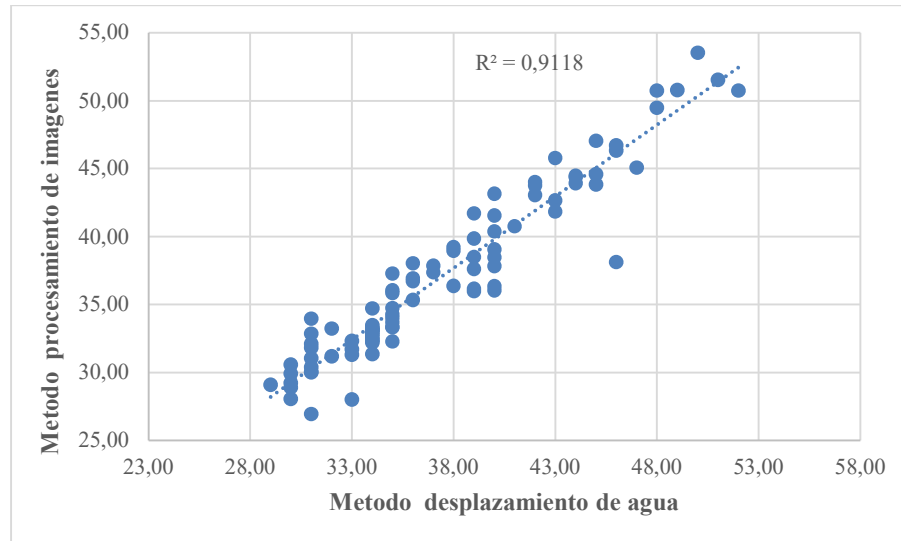


Al realizar la prueba estadística de comparación de medias pareadas se demostró que no existe diferencias significativas de los limones al ser procesados por el método de desplazamiento de agua (MDA) y el método de integrales o perfil matemático (PM), con un intervalo en la media de sus diferencias que oscila entre 2.34 ; 3.15 cm³ a un nivel de confianza del 95%, de esta forma se demuestra que el método de MDA es similar al método PM y ambos tienen la efectividad para determinar el tamaño o volumen de los limones.

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

Tabla 11. Comparación de métodos MDA y PI

Prueba de hipótesis t-tes pareada	95 % Intervalo de confianza para la diferencia entre MDA & PI
MDA & PI Igual (pvalor=0.099)	1.64: 2.20
U1=U2	



Al realizar la prueba estadística de comparación de medias pareadas se evidencio que no existe diferencias significativas de los limones tras ser procesadas mediante el método desplazamiento de agua (MDA) y procesamiento de imágenes (PI), con un intervalo en la media de sus diferencias que oscila entre 1.64 ; 2.20 cm³ a un nivel de confianza del 95%, de esta forma se demuestra que el método de MDA es similar al método PI y ambos tienen la efectividad para determinar el tamaño o volumen del limón sutil.

3.1.4 Densidad

Tabla 12. Datos de densidad del limón sutil

Limones	Densidad (g/ cm ³)	Limones	Densidad (g/cm ³)
1	0.94	46	1.07
2	0.95	47	1.04
3	0.95	48	1.05
4	0.96	49	1.02
5	0.96	50	1.06
6	0.99	51	1.03
7	0.97	52	1.05
8	0.97	53	0.98
9	0.99	54	1.03
10	0.96	55	0.98
11	0.96	56	1.00
12	1.02	57	1.00
13	0.96	58	1.00
14	0.96	59	1.02
15	0.97	60	1.00
16	0.95	61	1.02
17	0.96	62	0.96
18	0.95	63	1.01
19	0.93	64	1.04
20	0.95	65	0.99
21	0.98	66	0.99
22	0.96	67	1.03
23	0.98	68	1.01
24	1.00	69	1.02
25	0.97	70	1.01
26	1.04	71	1.02
27	0.99	72	1.00
28	0.99	73	1.02
29	0.99	74	0.81
30	0.97	75	1.01
31	1.00	76	1.00
32	0.96	77	1.01
33	0.99	78	0.99
34	0.98	79	0.99
35	0.97	80	0.99
36	1.05	81	1.01
37	1.01	82	1.02
38	1.03	83	1.00
39	1.06	84	1.00
40	1.00	85	0.97
41	0.99	86	0.96
42	0.99	87	0.99
43	0.98	88	0.98
44	0.89	89	0.99
45	1.01	90	1.00

El promedio de la densidad del limón sutil encontrado en el presente trabajo de investigación es de 0.99 g/cm³ en estado verde, con una muestra de 90 limones analizados, resultado similar al reportador por (Puente, 2006) de 0.95 g/cm³.

3.1.5. Análisis color del limón sutil

Tabla 13. Datos de coloración en formato RGB del limón sutil, continúa.

Limones	R	G	B	Limones	R	G	B
1	174	168	26	46	149	152	19
2	106	180	185	47	141	142	20
3	175	165	26	48	24	145	17
4	95	171	28	49	149	149	20
5	174	168	24	50	154	151	18
6	173	163	26	51	142	141	15
7	173	167	26	52	164	161	23
8	170	163	26	53	162	160	23
9	172	170	29	54	162	160	23
10	172	167	27	55	145	137	16
11	172	169	25	56	162	159	22
12	171	163	23	57	145	140	18
13	168	162	23	58	166	163	22
14	172	165	24	59	86	144	17
15	174	163	23	60	168	165	172
16	173	164	24	61	155	155	20
17	172	164	21	62	150	151	17
18	172	166	23	63	149	150	21
19	177	130	23	64	149	150	19
20	173	165	24	65	140	143	18
21	175	118	27	66	153	135	20
22	102	168	23	67	140	139	19
23	176	101	30	68	158	40	20
24	179	168	24	69	24	28	18
25	172	164	24	70	154	46	18
26	171	109	28	71	142	142	19
27	165	161	25	72	143	144	19
28	163	163	26	73	29	156	19
29	161	163	23	74	37	171	27
30	116	164	30	75	55	171	30
31	136	143	19	76	147	149	18
32	134	145	26	77	150	149	18
33	22	141	19	78	148	147	18
34	96	143	25	79	148	147	18
35	138	143	20	80	147	145	20
36	140	142	17	81	176	171	30
37	142	149	21	82	143	142	18
38	138	140	18	83	59	170	27
39	144	145	18	84	145	143	17
40	149	148	20	85	174	169	28
41	135	135	17	86	176	170	25
42	138	141	19	87	154	61	20

Limones	R	G	B	Limones	R	G	B
43	28	147	17	88	39	159	24
44	25	141	16	89	157	151	20
45	143	145	17	90	147	146	20

Se presenta la coloración de los limones en el formato de imagen RGB. El color rojo tiene un promedio numérico de 140.03, para el color verde se tiene 148.32 y 25.24 en el color azul de esta manera se procedió a caracterizar en el histograma de colores que se presenta a continuación:

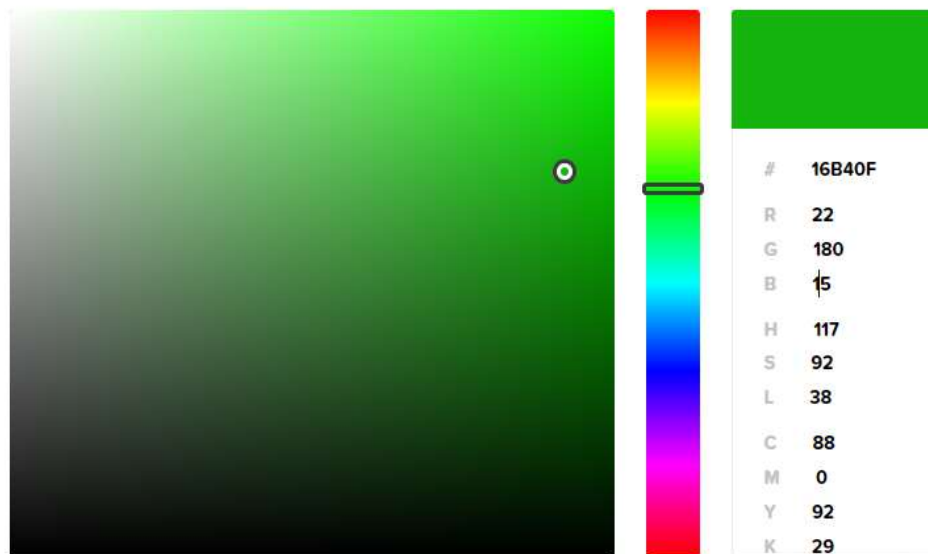


Figura 21. Histograma de color RGB promedio del limón sutil.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez analizado las imágenes del limón sutil en sus capas RGB empleando MATLAB, se obtiene en forma global la coloración verde clara que se observa en la figura precedente, para los limones cosechados en la comuna Febres Cordero, provincia de Santa Elena.

3.2. Análisis destructivo

3.2.1. Porcentaje cáscara

Tabla 14. Datos de porcentaje de cáscara de limón sutil

Limones	%Cáscara	Limones	%Cáscara
1	24.64	46	20.49
2	24.92	47	19.18
3	18.31	48	18.92
4	24.35	49	21.70
5	23.06	50	21.47
6	21.28	51	20.66
7	27.41	52	20.24
8	22.84	53	19.00
9	22.80	54	20.93
10	28.17	55	26.30
11	28.93	56	22.76
12	21.38	57	18.31
13	19.38	58	20.33
14	27.62	59	22.76
15	30.15	60	21.88
16	19.83	61	21.93
17	19.00	62	18.84
18	20.52	63	19.02
19	26.33	64	20.92
20	30.23	65	14.87
21	22.25	66	18.52
22	24.30	67	25.15
23	30.54	68	21.74
24	22.58	69	19.86
25	29.45	70	15.52
26	26.95	71	23.57
27	28.79	72	22.08
28	23.88	73	13.72
29	22.22	74	22.22
30	21.24	75	26.43
31	25.42	76	20.11
32	24.18	77	26.30
33	18.25	78	23.32
34	24.45	79	19.73
35	28.14	80	23.93
36	20.40	81	24.60
37	23.72	82	15.09
38	25.57	83	25.68
39	22.22	84	22.97
40	21.85	85	17.12
41	19.23	86	19.72
42	21.67	87	17.90
43	19.34	88	21.72
44	18.24	89	24.54
45	26.39	90	20.86

Como se muestra en la Tabla 14, el porcentaje de cáscara del limón sutil en estado verde representa alrededor del 22.39% del total, con una masa promedio de 7.35 g. Resultado similares a los encontrados en el trabajo de investigación de (Puente, 2006) que obtuvo un porcentaje del 19.65%.

3.2.2. Porcentaje parte comestible

Tabla 15. Datos de la parte comestible del limón sutil, continúa.

Limones	%Comestible	Limones	%Comestible
1	25.80	46	41.70
2	31.69	47	45.28
3	27.89	48	33.45
4	27.20	49	34.60
5	28.07	50	40.59
6	25.90	51	35.08
7	27.41	52	50.45
8	27.47	53	34.41
9	30.83	54	42.86
10	25.70	55	47.15
11	33.02	56	37.40
12	25.86	57	38.38
13	30.63	58	38.36
14	34.29	59	44.78
15	29.54	60	50.31
16	27.01	61	43.19
17	25.50	62	49.85
18	28.61	63	40.00
19	28.70	64	37.59
20	27.65	65	46.52
21	35.21	66	35.19
22	29.58	67	39.18
23	29.46	68	61.96
24	29.28	69	40.33
25	31.07	70	44.77
26	32.88	71	41.72
27	34.47	72	40.26
28	24.72	73	46.93
29	33.00	74	35.07
30	24.48	75	40.60
31	28.25	76	42.49
32	27.45	77	44.64
33	28.04	78	39.94
34	29.15	79	59.55
35	27.27	80	38.34
36	25.08	81	44.09
37	26.68	82	43.79
38	25.90	83	42.23
39	44.99	84	39.93
40	40.07	85	41.74

Limones	%Comestible	Limones	%Comestible
41	55.77	86	40.85
42	34.17	87	41.48
43	34.53	88	38.97
44	38.30	89	39.56
45	52.78	90	41.01

El porcentaje de la parte comestible del limón represente alrededor del 36.53% en estado verde del total del fruto, con una masa promedio 11.80 g.

3.2.3. Cantidad de jugo de limón sutil

Tabla 16. Datos de cantidad de jugo del fruto en porcentaje, continúa.

Limones	Jugo (ml)	Limones	Jugo (ml)
1	13.70	46	7.80
2	10.70	47	9.80
3	16.90	48	13.70
4	16.50	49	12.90
5	16.90	50	11.80
6	18.00	51	10.90
7	11.20	52	8.70
8	14.20	53	11.00
9	15.30	54	8.50
10	12.40	55	4.20
11	9.60	56	11.20
12	15.00	57	10.20
13	14.20	58	10.60
14	9.40	59	6.20
15	11.30	60	8.50
16	13.40	61	8.70
17	10.40	62	7.70
18	11.50	63	9.40
19	12.10	64	10.10
20	9.20	65	10.00
21	11.50	66	9.80
22	6.10	67	10.00
23	10.70	68	5.10
24	13.30	69	8.40
25	6.00	70	10.20
26	13.70	71	6.90
27	5.00	72	11.50
28	15.60	73	9.20
29	8.20	74	9.70
30	16.30	75	9.80
31	12.20	76	10.70
32	9.90	77	6.20
33	18.00	78	8.60
34	10.80	79	5.60
35	14.20	80	10.10

Limones	Jugo (ml)	Limones	Jugo (ml)
36	13.30	81	6.80
37	15.80	82	12.60
38	8.10	83	6.50
39	8.10	84	7.70
40	11.00	85	10.40
41	5.60	86	11.90
42	14.20	87	11.00
43	15.00	88	9.60
44	11.90	89	6.50
45	5.00	90	8.40

La cantidad de jugo de limón sutil promedio en mililitros es de 10.63 ml en estado verde, que representa el 32.49% del total. Resultados inferiores a los observados por (Puente, 2006) cuyo valor es de 37.07%. Se puede explicar esta situación debido a la falta de agua en la región y al ser estas las primeras cosechas del año.

3.2.4 Cantidad de semillas

Tabla 17. Datos del número de semillas del limón sutil, continúa.

Limones	Semillas	Limones	Semillas
1	8	46	10
2	6	47	8
3	10	48	6
4	7	49	4
5	8	50	5
6	6	51	6
7	7	52	5
8	6	53	9
9	9	54	6
10	6	55	9
11	10	56	8
12	6	57	6
13	10	58	7
14	7	59	6
15	10	60	4
16	14	61	7
17	10	62	6
18	9	63	10
19	8	64	6
20	8	65	6
21	8	66	3
22	11	67	7
23	8	68	6
24	7	69	9
25	6	70	5
26	6	71	8

Limones	Semillas	Limones	Semillas
27	10	72	7
28	11	73	7
29	8	74	8
30	6	75	4
31	11	76	10
32	9	77	4
33	4	78	9
34	6	79	5
35	6	80	10
36	5	81	9
37	4	82	6
38	10	83	9
39	5	84	8
40	4	85	12
41	8	86	9
42	10	87	12
43	5	88	9
44	12	89	8
45	7	90	5

La Tabla 17, muestra los datos de la cantidad de semillas observadas en cada uno de los frutos evaluados, teniendo un promedio aproximado de 8 semillas por limón sutil.

3.3. Resumen general de las principales propiedades físicas del limón sutil

Tabla 18. Datos generales promedios del limón sutil, continúa.

Promedios generales de las propiedades físicas del limón sutil	
Análisis no destructivo	
Masa limón	37.10 g
Volumen (método desplazamiento de agua)	37.53 cm ³
Volumen (método de perfil matemático)	36.99 cm ³
Volumen (método de procesamiento de imágenes)	37.20 cm ³
Densidad	0.99 g/ cm ³
Color (Rojo R)	140.00
Color (Verde G)	148.32
Color (Azul B)	25.24
Análisis destructivo	
Masa limón	32.72 g
Masa cáscara	7.35 g
Porcentaje de cáscara	22.39 %

Promedios generales de las propiedades físicas del limón sutil

Análisis no destructivo

Masa comestible	11.80 g
Porcentaje comestible	36.53 %
Jugo de limón	10.63 ml
Masa semilla	2.87 g
Porcentaje semilla	8.73 %
Número de semillas	8

3.4. Modelo matemático relación masa – volumen del limón sutil

Realizamos un modelo matemático que relaciona la masa y el volumen del limón sutil utilizando el método de procesamiento de imágenes, debido a su facilidad en su ejecución y la innovación tecnológica que ayude a los citricultores a un mejor control y toma de decisiones en sus producciones de este cultivo.

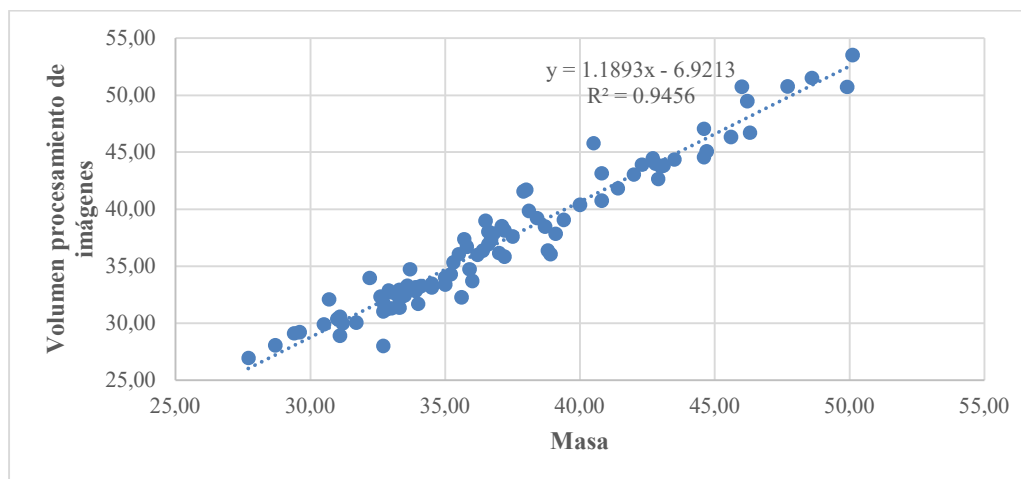


Figura 22. Relación masa y volumen del fruto.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 22, se observa la relación masa-volumen del limón sutil, que presenta un modelo matemático de función lineal: $\text{Volumen} = 1.1893 \cdot \text{Masa} - 6.9213$ y un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.9456$. Resultados similares a los obtenidos por (Omid, *et al.*, 2010), al realizar un estudio sobre la estimación del volumen y la masa de cítricos empleando la técnica de procesamiento de imágenes, donde: $\text{Volumen} = 0.8894 \cdot \text{Masa} + 2.2757$ y un coeficiente de determinación 0.9641.

3.5. Modelo matemático de pérdida de peso del limón sutil

Se propone un modelo matemático con el mayor ajuste posible, donde se describa la pérdida de peso del limón sutil durante 22 días después de la cosecha, llegando a un estado muy elevado de maduración. A continuación, se puede observar todos los modelos matemáticos relacionados con los datos recolectados. De esta manera se evidenciará cuál de ellos es el más óptimo para su descripción, ejecución y programación en los softwares a utilizar (Arduino).

Tabla 19. Modelos matemáticos propuestos para determinar la pérdida de peso del limón sutil.

Modelo	Ecuación	R ²
Modelo exponencial	$y = 36.464e^{-0,02x}$	R ² = 0.9787
Modelo lineal	$y = -0.5937x + 36.018$	R ² = 0.96
Modelo logarítmico	$y = -4.681\ln(x) + 39.502$	R ² = 0.9566
Modelo cuadrático	$y = 0.0209x^2 - 1.0744x + 37.941$	R ² = 0.9981
Modelo cúbico	$y = -0.0005x^3 + 0.0388x^2 - 1.2432x + 38.3$	R ² = 0.9988
Modelo polinomial de grado 4	$y = 6E-06x^4 - 0.0008x^3 + 0.0432x^2 - 1.2667x + 38.332$	R ² = 0.9988
Modelo polinomial de grado 5	$y = -1E-05x^5 + 0.0006x^4 - 0.0128x^3 + 0.1508x^2 - 1.6535x + 38.721$	R ² = 0.999
Modelo polinomial de grado 6	$y = -1E-05x^5 + 0.0006x^4 - 0.0128x^3 + 0.1508x^2 - 1.6535x + 38.721$	R ² = 0.999
Modelo potencial	$y = 40.719x^{-0,155}$	R ² = 0.9339

En la Tabla 19, se muestran los modelos matemáticos que describen la pérdida de peso del fruto, donde el modelo logarítmico es el más conveniente desde el punto de vista de programación es preferible utilizar modelos matemáticos sencillos permitiendo un tiempo rápido de ejecución y mínimo consumo de memoria del computador.

3.5.1. Gráfica del modelo matemático de pérdida de peso del fruto

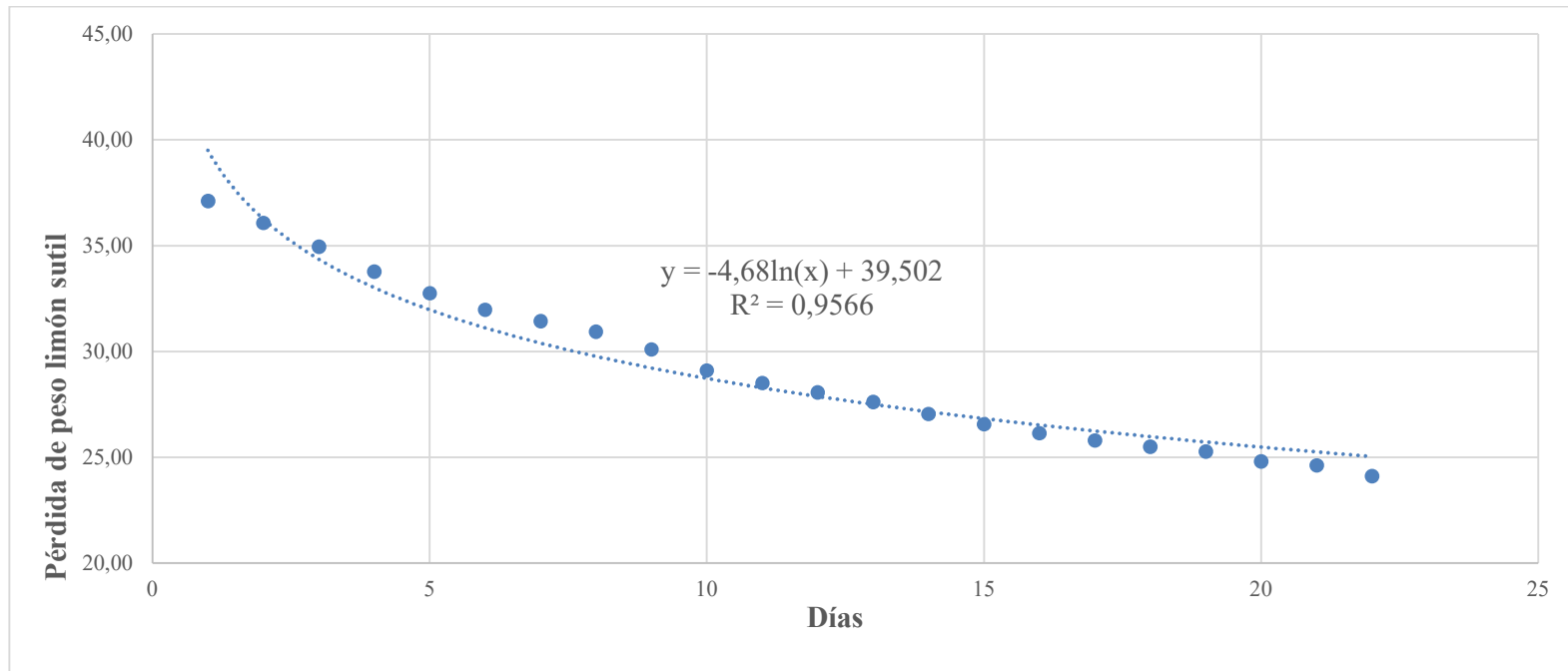


Figura 23. Modelo matemático logarítmico de pérdida de peso del limón sutil.

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Aplicación en Arduino

3.6.1. Funcionamiento del sistema

Se desarrolló un prototipo para la caracterización física del limón sutil en la finca Mamey de la comuna Febres Cordero, de la Parroquia Colonche, provincia de Santa Elena con la aplicación apartados matemáticos y lenguaje de programación mediante la implementación de la tarjeta Arduino UNO y el simulador online Tinkercad. Donde se programó todas las variables a estudiar tales como: Volumen, Masa, Densidad, porcentaje de cáscara, porcentaje de la parte comestible, cantidad de jugo, número de semillas.

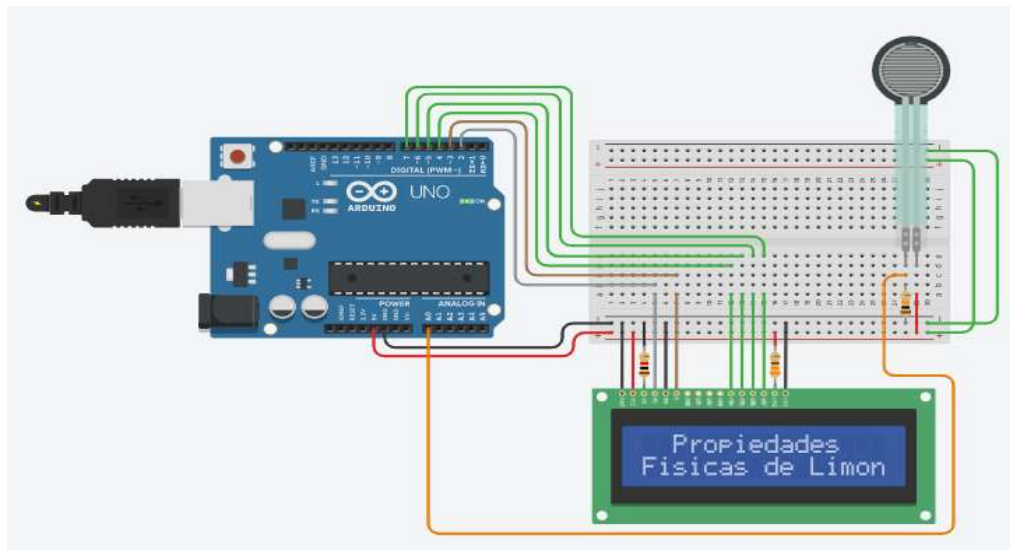


Figura 24. Sistema implementado con Arduino para determinar propiedades físicas del limón.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.1. Cálculo de masa en el sistema

Con los datos experimentales realizados en laboratorio se procedió a programar la masa de los 90 limones estudiados para su posterior cálculo, simulando la balanza digital por medio de un sensor de fuerza disponible en el software de simulación, como se evidencia en la figura a continuación:

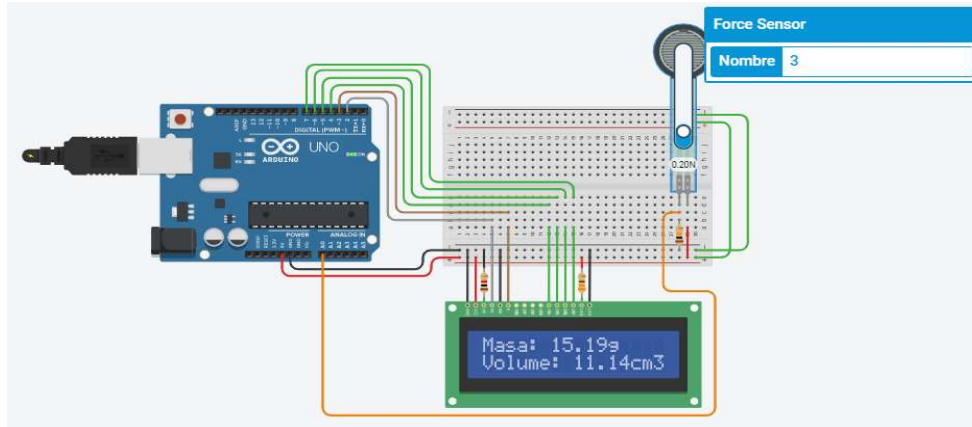


Figura 25. Cálculo de masa del limón sutil empleando Arduino y Tinkercad.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.2. Cálculo del volumen del fruto

Utilizando el modelo matemático que relaciona la masa y volumen del limón sutil ($\text{Volumen} = 1.1893 * \text{Masa} - 6.9213$) y su posterior programación en Arduino por medio de Tinkercad, permite la obtención de esta variable como se muestra en la figura 26, recordando que mencionado modelo matemático se ha trabajado en función del método de procesamiento de imágenes.

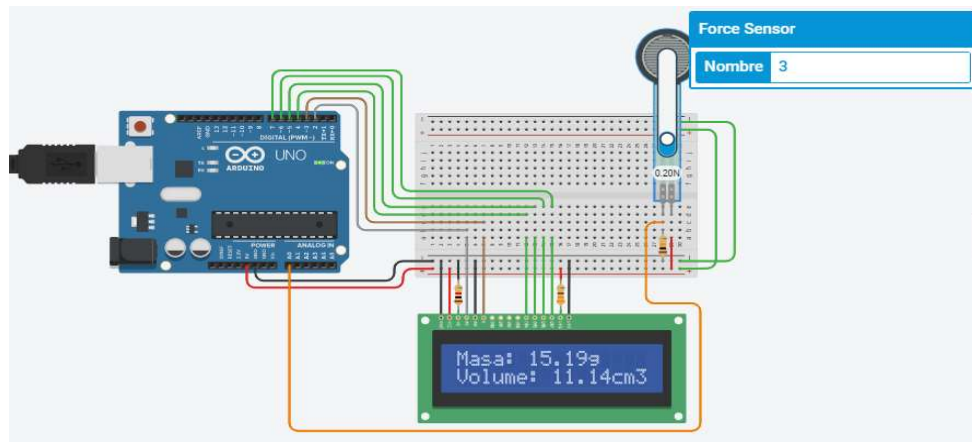


Figura 26. Volumen del limón sutil en el sistema Arduino.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.3. Densidad

Para el cálculo de la densidad se utilizó la fórmula física masa dividido para el volumen la que se programó en la tarjeta Arduino UNO.

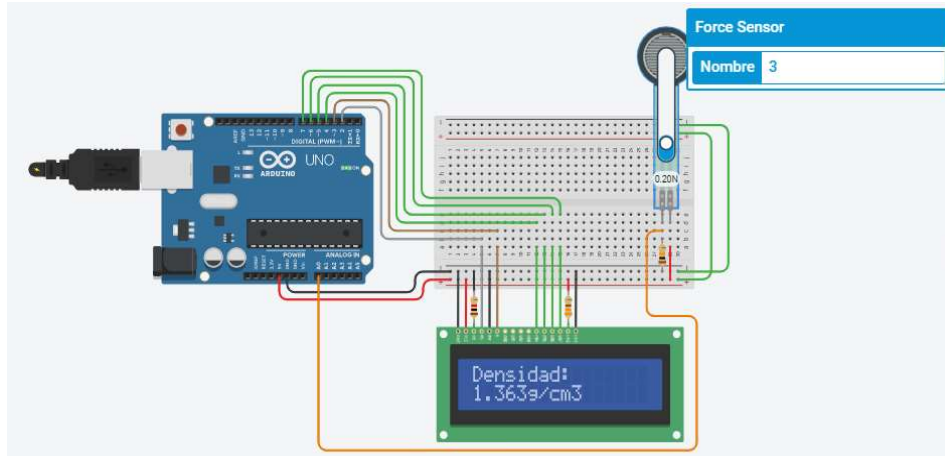


Figura 27. Cálculo de densidad.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.4. Masa comestible

Para el cálculo de la masa comestible se sacó un promedio general de las 90 muestras del análisis destructivo del limón sutil con un promedio aproximado de 11.87 g y se procedió a programar en Arduino utilizando el simulador Tinkercad.

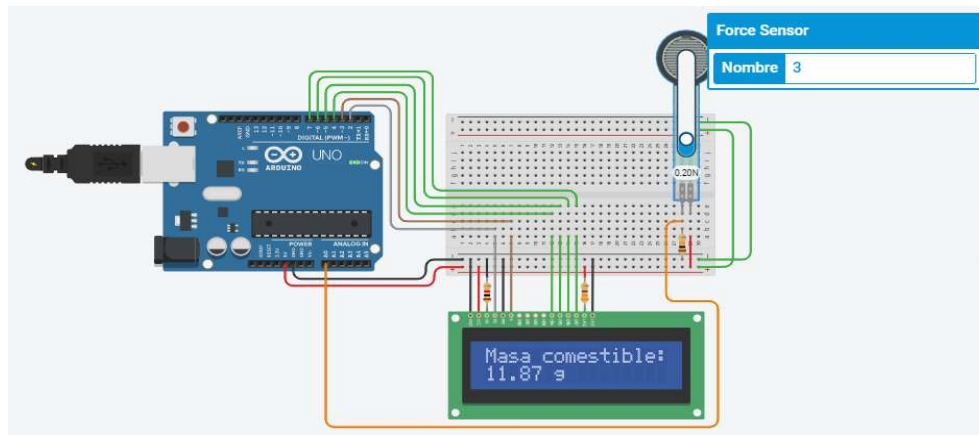


Figura 28. Cantidad masa de la parte comestible del limón sutil.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.5. Cantidad de jugo del fruto

Se programó directamente la cantidad de jugo de las 90 muestras de limón sutil estudiadas, cuya simulación se muestra a continuación.

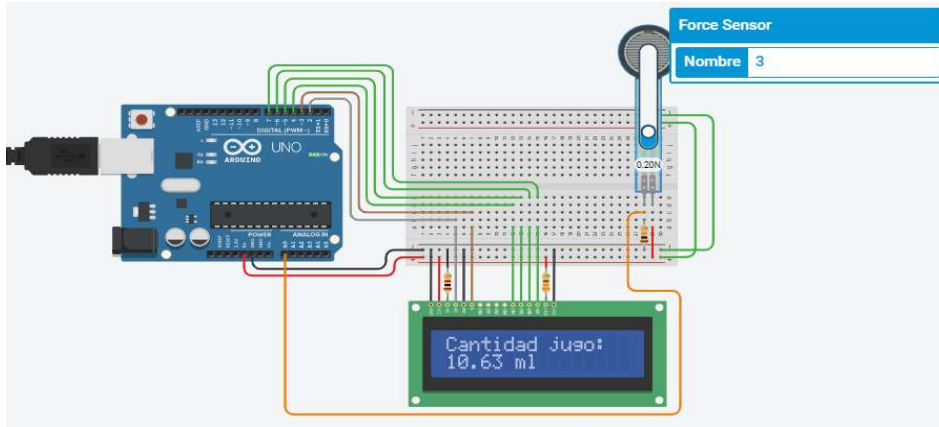


Figura 29. Simulación de la cantidad de jugo de limón (ml) en Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.6. Número de semillas

Utilizando el promedio de número de semillas por limón, encontrados en la parte experimental del análisis destructivo del limón sutil, se procedió a programar en Arduino uno por medio de Tinkercad y su simulación se observa en la figura a continuación.

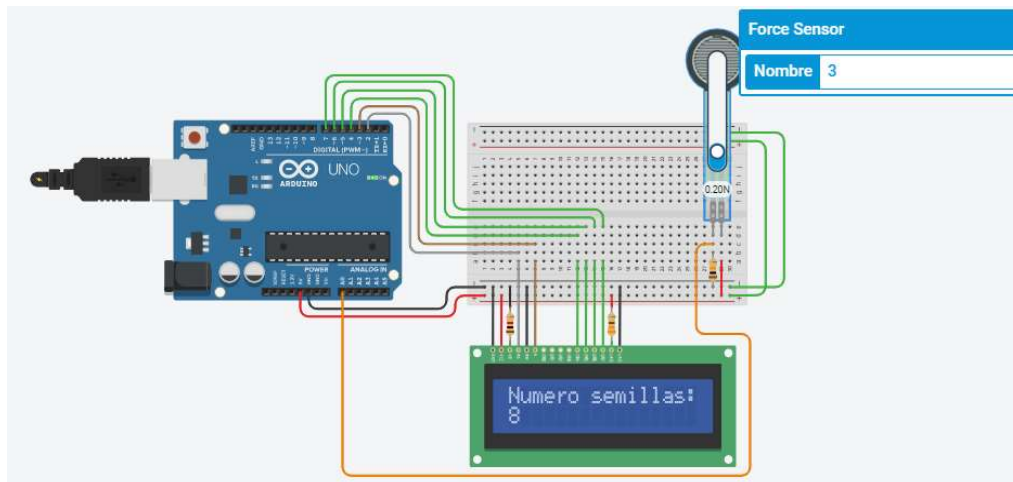


Figura 30. Simulación número de semillas del limón sutil.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Por medio del software computacional, matemático Matlab y el hardware de código abierto Arduino y su simulador Tinkercad, se ha determinado las principales propiedades físicas y relaciones matemáticas presentes en el limón sutil cultivado en la finca Mamey perteneciente a la comuna Febres Cordero, provincia de Santa Elena.
- Se estimó el volumen del limón sutil, empleando tres métodos diferentes: Método de desplazamiento de agua (37.53 cm^3), perfilamiento matemático (36.99 cm^3) y procesamiento digital de imágenes (37.20 cm^3) presentando un alto grado de similitud como lo demuestran los resultados estadísticos de comparación de medias pareadas, al no existir diferencias estadísticamente significativas entre los métodos mencionados a un nivel de confianza del 95% ($P > 0.05$). Recalcando un mayor énfasis a los resultados obtenidos en el método de procesamiento de imágenes al ser más conveniente y de mayor aplicabilidad en campo con fines tecnológicos y nuevas soluciones en el campo agrícola.
- La masa promedio del limón sutil cultivado en la finca Mamey, se determinó en un valor de 37.10 g, un diámetro promedio de 4.03 cm, una densidad de 0.99 g/cm^3 y una coloración verde clara en formato RGB. Del total de la composición del limón, el 22.39% corresponde a la cáscara, 36.53% a la parte comestible, 32.49% al jugo de limón y en promedio se estimó alrededor de 8 semillas por limón sutil.
- Los resultados obtenidos de masa y volumen del limón sutil cultivado en la finca Mamey, permitieron construir un modelo matemático lineal, el cual es la mejor opción para relacionar mencionadas variables, al presentar un coeficiente $R^2 = 0.9456$.

- Se estableció un modelo matemático logarítmico ($R^2 = 0.9566$), para relacionar la pérdida de peso del limón sutil en el tiempo, por efectos de maduración. Permitiendo a su vez, facilidades de programación y empleo de poca memoria computacional al desarrollar la aplicación en Arduino.
- La aplicación desarrollada y programada en Arduino por medio de Tinkercad funciona correctamente y permite visualizar en resumen todas las propiedades físicas y relaciones matemáticas encontradas en el limón sutil, cultivado en la finca Mamey, provincia de Santa Elena.

Recomendaciones

- Realizar investigaciones aplicando estas nuevas tecnologías en otros frutos para mejorar los sistemas productivos de la localidad.
- Implementar el prototipo para evaluar la calidad del fruto en diferentes épocas del año.
- Trabajar en la caracterización química del limón sutil, implementando la tecnología Matlab y Arduino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arrega, F., 2017. *ug.edu.ec*. Disponible en:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/23040/1/TESIS%20FINAL.pdf>

Consultado: 26 Octubre 2020.

Bermúdez, A., 2009. *Análisis socioeconómico de la producción y comercialización del limón sutil (Citrus aurantifolia) en la microcuenca del Río Chico en el cantón Portoviejo*, Manta: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Bernal, P., Lara, R. & Rivadeneira, J., 2015. *researchgate*. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/292966227_Towards_a_Smart_Classroom_Development_of_an_Augmented_Reality_Application_for_Education_and_Tele-education_Hacia_un_Aula_Inteligente_Desarrollo_de_una_aplicacion_de_realidad_aumentada_para_la_Educacion

Consultado: 05 Noviembre 2020.

Castillo, E., 2005. *usac*. Disponible en:
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1452_IN.pdf

Consultado: 20 Octubre 2020.

Cruz, C., 2016. *proserquisa*. Disponible en:
<http://cursoarduino.proserquisa.com/wp-content/uploads/2016/10/Tutorial-1-Introduccion-a-Arduino.pdf>

Consultado: 7 Marzo 2020.

Delgado, F., 2018. *Efecto del Déficit Hídrico y Remoción de Flores y Frutos sobre la Floración, Rendimiento y Calidad del Limonero Sutil (Citrus Aurantifolia Swing) en la Zona de Jayanca, Lambayeque*, Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Grúnauer, C., 2009. *Influencia del Secado sobre la Captación de Agua de Pectina extraída a partir del Citrus x Aurantifolia Swingle*, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Gualteros, D., 2014. *Sistema de visión por computador para detectar hierba no deseada en prototipo de cultivo de frijoles usando ambientales controlados*, Bogotá: Universidad Católica de Colombia de Ingeniería programada de Ingeniería.

Juanazo, A., 2019. *Repositorio.ed.edu.es*. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39877/1/B-CISC-PTG-1652%20Juanazo%20Paucar%20Freddy%20Alex.pdf>

Consultado: 12 Octubre 2020.

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

Consultado: 13 Diciembre 2020.

Logroño, J., 2011. *Proyecto de factibilidad para la explotación de limón Sutil, al mercado Japonés, periodo 2009-2014*, Calderón: Universidad Técnica Equinoccial.

Lourero, M. & Pujol, J., 2017. *educalab.es*. Disponible en: <http://educalab.es/documents/10180/640047/TallerRoboticaLibreArduino.pdf/c77adbfd-606a-4f8e-acd4-11630927b5a4>

Consultado: 6 Octubre 2020.

Menacho, H., Oscanoa, Angela & Jesús, V., 2018. *Plan de Negocios: Exportación de Limón Sutil a EE.UU*, Lima: Universidad de Ciencias Aplicadas.

Moreno, A. & Córceles, S., 2019. *bolañosdj*. Disponible en: <http://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/Arduinounfinseman.pdf>

Consultado: 08 Octubre 2020.

Muñiz, J., 2020. *nebrija*. Disponible en: <https://www.nebrija.com/medios/actualidadnebrija/2020/05/12/gran-acogida-del-curso-de-programacion-en-matlab-organizado-por-el-club-del-automovil/>

Consultado: 05 Noviembre 2020.

Omid, M., Khojastehnazhandm, M. & Tabatabaeefar, A., 2010. Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *ScienceDirect*, 100(2), p. 321.

Orejuela, D. & Pardi, L., 2014. *Estudio de la producción de los cítricos en las parroquias de Lita y La Carolina (Corredor Ibarra-San Lorenzo) en el periodo 2009-2012 y propuestas de medidas de mejoramiento*, Quito: Universidad Central del Ecuador.

Orrala, N., Solís, A. & Tomalá, M., 2012. *Efecto de NPK en la Producción de Citrus aurantifolia Swingle V. Sutil en Sinchal, Santa Elena*. Revista Científica y Tecnológica UPSE, 1(1), p. 5.

Ortiz, K., 2018. *unp.* Disponible en: <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1387/IND-ORT-FLO-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Consultado: 29 Octubre 2020.

Panchana, S., 2015. *Estudio de factibilidad para la implementación de un centro de acopio de Limón en la Comuna Sinchal, Cantón Santa Elena*, Santa Elena: Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Pineda, Y., 2019. *cima.aserca.* Disponible en: https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2019/Reporte_mercado_limon_080319.pdf

Consultado: 6 Marzo 2020.

Pitarcha, J., 2018. *Freshplaza.es.* Disponible en: <https://www.freshplaza.es/content/contacto/>

Consultado: 26 Abril 2021.

Puente, J., 2006. *Determinación de las características Físicas y Químicas del Limón Sutil (citrus aurantifolia Swingle)*, Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

Rashidi, M. & Gholami, M., 2008. *researchgate*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228409809_Determination_of_kiwifruit_volume_using_ellipsoid_approximation_and_image-processing_methods

Consultado: 13 Diciembre 2020.

Ricardo, A., 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 Informática, 2018*, Lima: Universidad Peruana de Ciencias e Informática escuela de posgrado.

Ruiz, A. & Wang, L., 2015. *Propuesta para la comercialización internacional del Limón Sutil del sector El Bunque-Palmales de la Provincia de el Oro dirigido a la ciudad de nueva York*, Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Santistevan, M., 2016. Comportamiento del cultivo del limón (*Citrus aurantifolia* Swingle) en dos localidades de Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, III(2), p. 16.

Seyedabadi, E., Khojastehpour, M., Sadrnia, H. & Hosaien, S., 2013. *scienceDirect*.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423811002925>

Consultado: 13 Diciembre 2020.

Shahbazi, F. & Rahmati, S., 2012. *wiley*. Disponible en:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.20>

Consultado: 13 Diciembre 2020.

Silvia, R., 2016. *Aprende a programar en Matlab*. Segunda Edición ed. México: IT Campus Academy.

Vasconez, T. & Celi, A., 2019. *I Congreso Internacional de Ciencias Agropecuarias y Alimentarias*, Quevedo: IITEC.

Velasco, B., 2017. *El comercio*. Disponible en:
<https://www.elcomercio.com/actualidad/importacion-limon-precio-demanda-mercados.html>

Consultado: 25 Octubre 2020.

Ves, E., 2006. *informatica.ev.es*. Disponible en:
<http://informatica.uv.es/iiguia/VC/tutorial.pdf>

Consultado: 05 Noviembre 2020.

ANEXOS



Figura 1A. Recolección de las muestras en la finca Mamey.



Figura 2A. Muestras recolectadas para el análisis en el laboratorio.



Figura 3A. Indicaciones por el docente para realizar las pruebas de laboratorio.



Figura 4A. Indicaciones para calibrar equipos a usar en los diferentes procesos.



Figura 5A. Método de desplazamiento de agua.



Figura 6A. Toma de datos de peso.

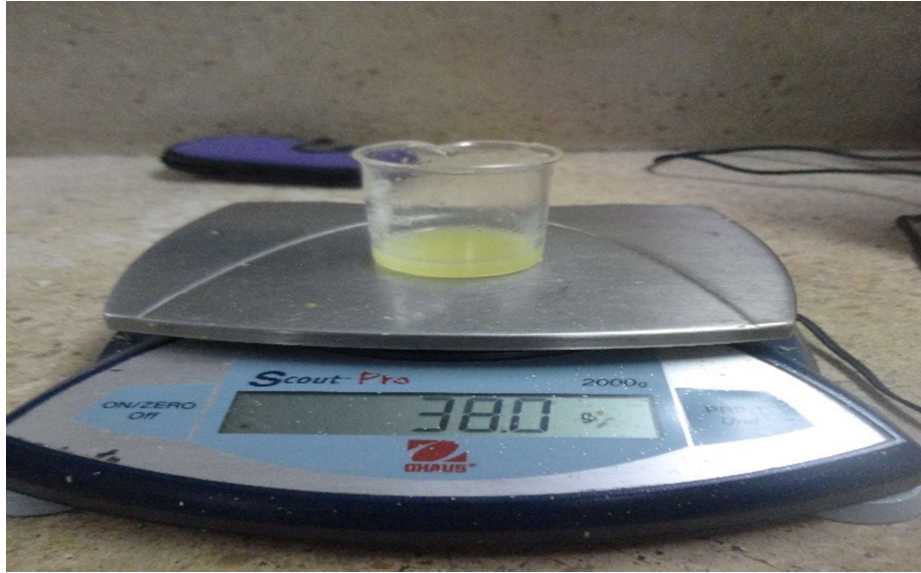


Figura 7A. Cantidad de jugo de la muestra.



Figura 8A. Número de semillas.



Figura 9A. Cantidad de cáscara del fruto.



Figura 10A. Muestras para análisis de coloración en formato RGB.

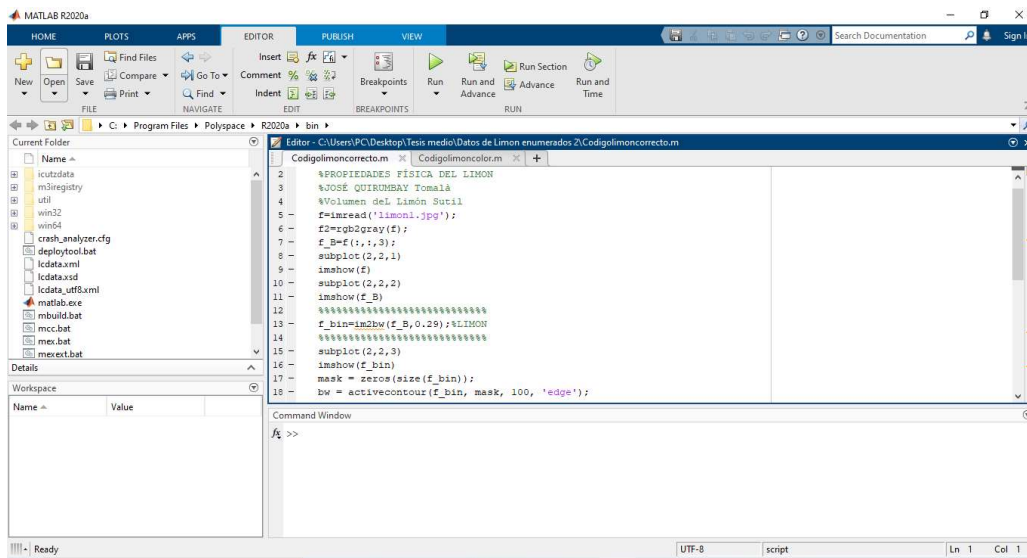
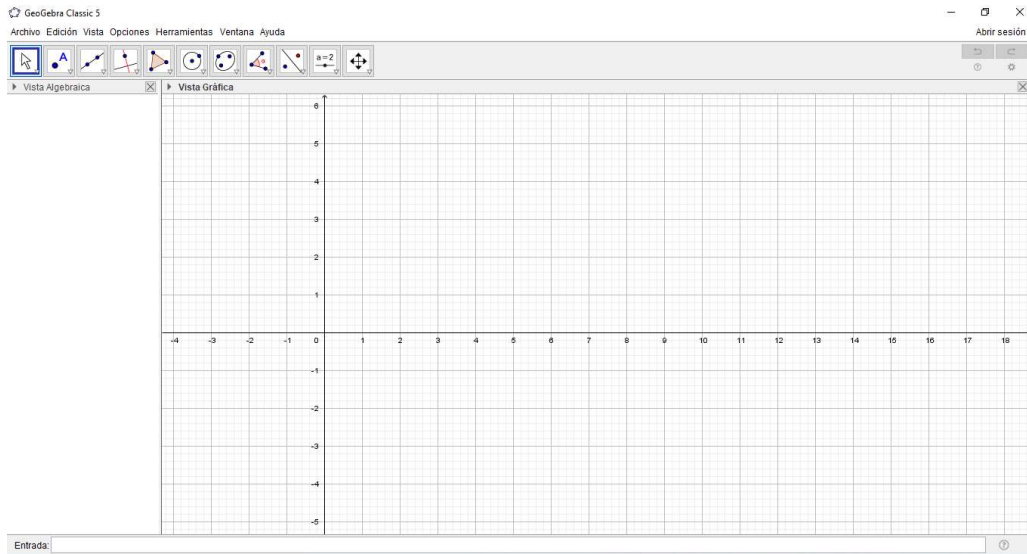


Figura 11A. Softwares utilizados en el cálculo de volúmenes de limones: GeoGebra y Matlab.

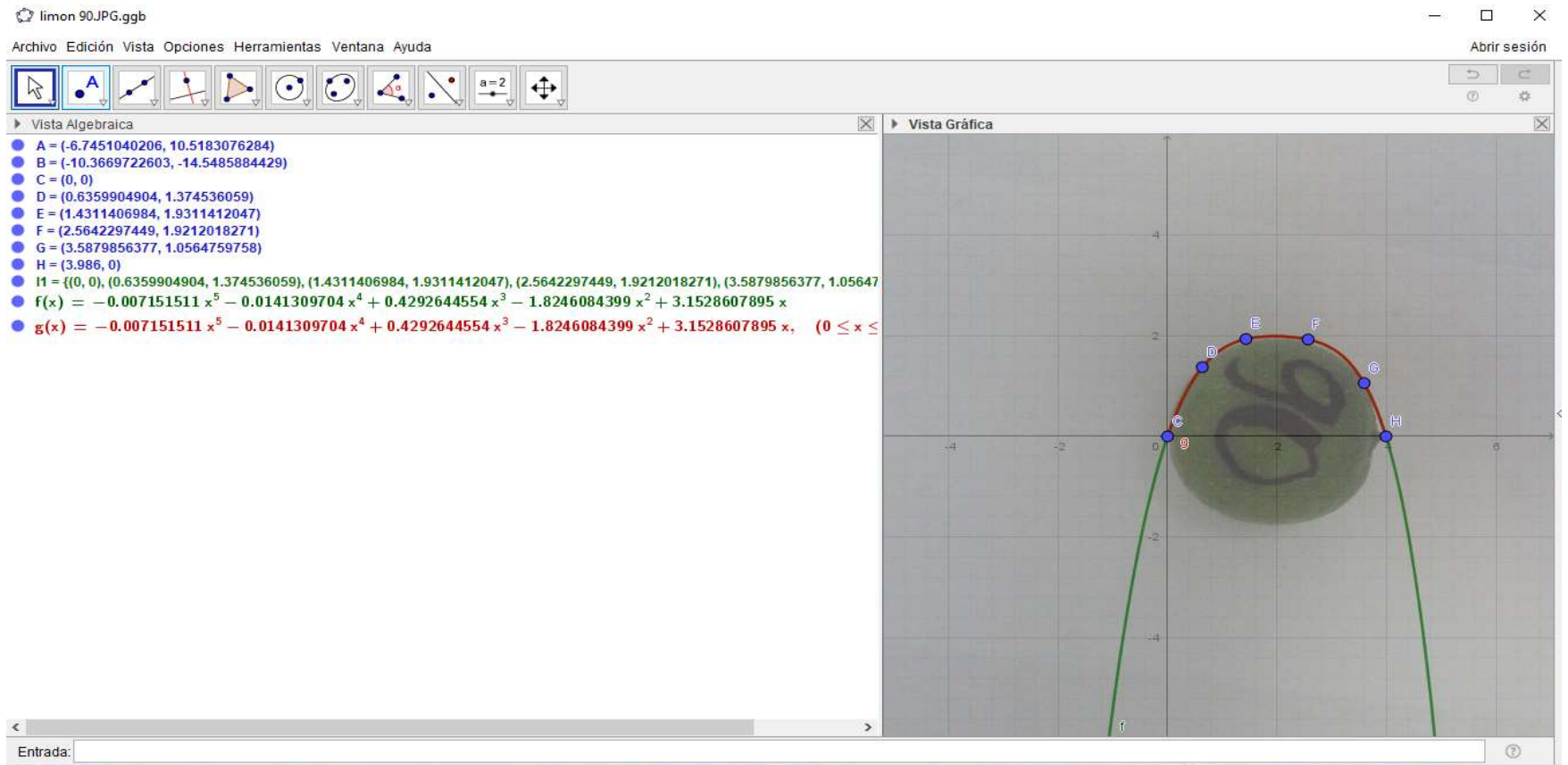


Figura 12A. Perfilamiento matemático de limón sutil en software GeoGebra.

Calculadora paso por paso - Sym x +

es.symbolab.com/solver/step-by-step/%5Cpi%5Cint_%7B0%7D%5E%7B3.98%7D%20%5Cleft(%20-0.007151511x%20

Aplicaciones Curso de orientació... idownloadsnow www.gettvstreamn... mi Activación de Licen... Someone just searc...

Cálculo

Funciones

Matrices y vectores

Geometría

Trigonometría

Estadística

Conversiones

simplificar resolver para inversa tangente línea ver todo

Ir

$$\pi \int_0^{3.98} (-0.007151511x^5 - 0.0141309704x^4 + 0.4292644554x^3 - 1.8246084399x^2 + 3.1528607895x)^2 dx$$

Ejemplos »

Solución

Mostrar pasos

$$\pi \cdot \int_0^{3.98} (-0.007151511x^5 - 0.0141309704x^4 + 0.4292644554x^3 - 1.8246084399x^2 + 3.1528607895x)^2 dx$$

Pasos

$$\pi \cdot \int_0^{3.98} (-0.007151511x^5 - 0.0141309704x^4 + 0.4292644554x^3 - 1.8246084399x^2 + 3.1528607895x)^2 dx$$

Mostrar pasos

$$\int_0^{3.98} (-0.007151511x^5 - 0.0141309704x^4 + 0.4292644554x^3 - 1.8246084399x^2 + 3.1528607895x)^2 dx$$

Mostrar pasos

$$= \pi 10.20085...$$

Mostrar pasos

$$\pi 10.20085... = 32.04692...$$

Mostrar pasos

$$= 32.04692...$$

Figura 13A. Obtención de volumen por integrales en el software en línea symbolab.


```

%UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
%PROPIEDADES FÍSICA DEL LIMON
%JOSÉ QUIRUMBAY Tomalá
%Volumen del Limón Sutil
f=imread('limon11.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,0.49);%LIMON
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
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*(0.0211);
A=(pi/4)*D.^2;
dh=0.0211;
V=A*dh;
VT2=sum(V)/49

```

Figura 14A. Código para el cálculo de volumen por método de procesamiento de imágenes.

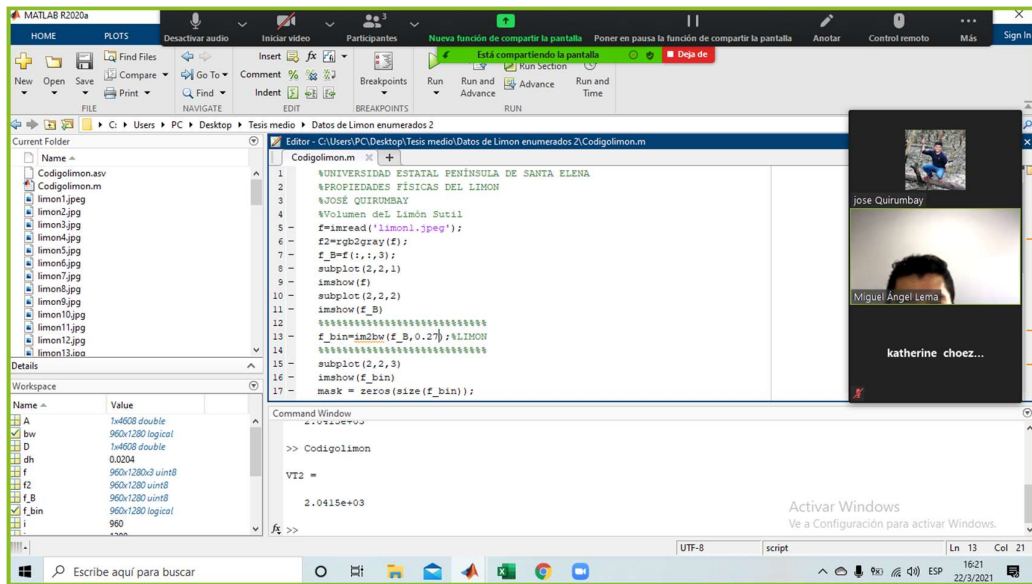
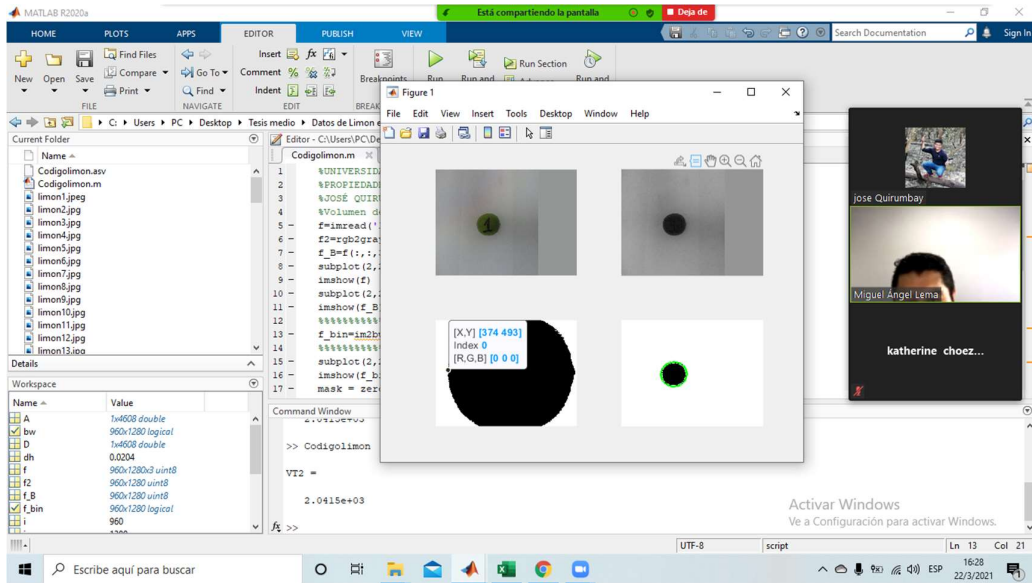


Figura 15A. Tutorías para el procesamiento de imágenes.

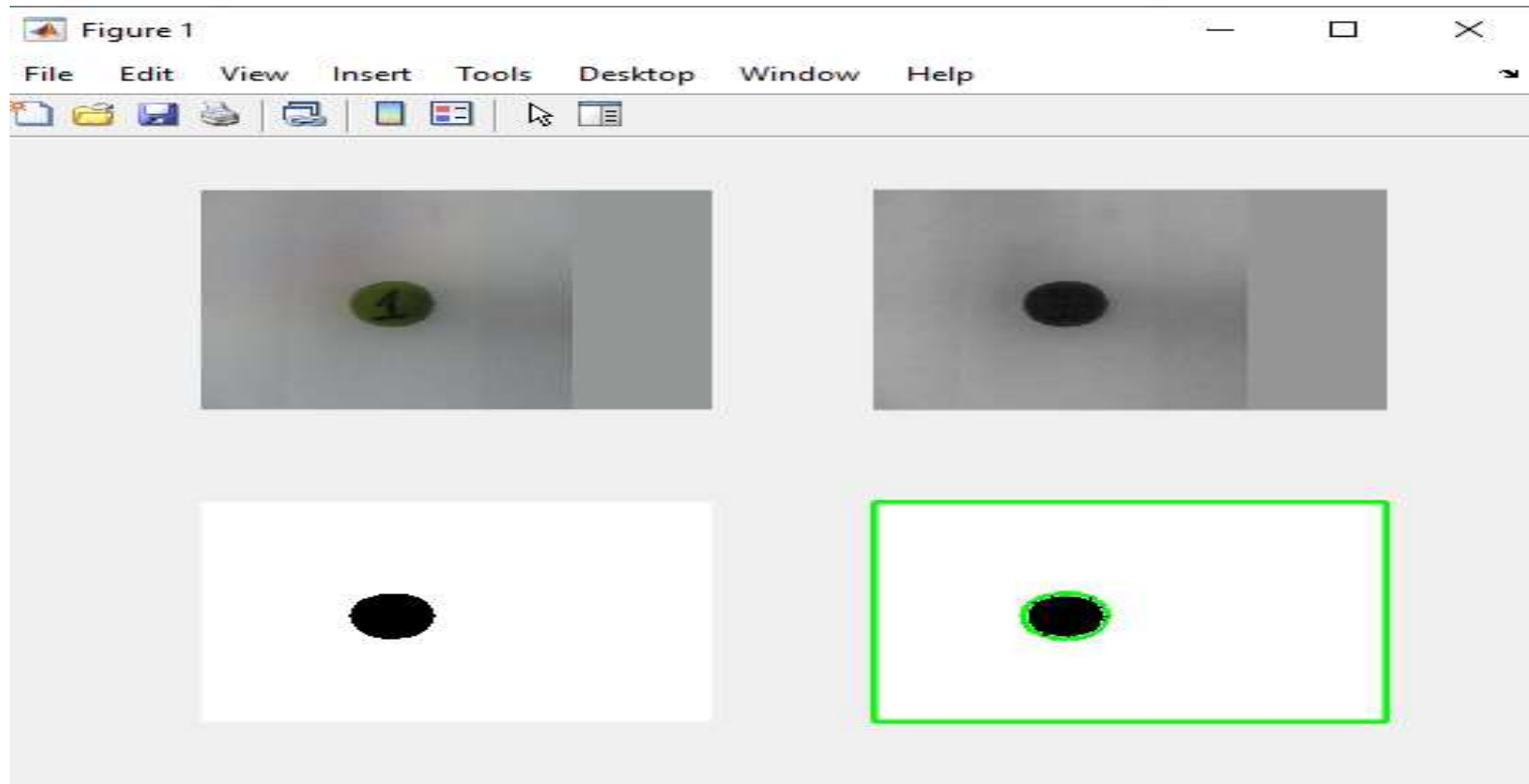


Figura 16A. Procesamiento de imágenes en Matlab.

```

%UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
%PROPIEDADES FÍSICAS DEL LIMON
%JOSÉ QUIRUMBAY
%Análisis de color
rgb = imread('limon0012.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 LIMONES')
ylabel('Frecuencia')
title('Análisis de Coloración del Limón Sutil')
xlim([0 257])

```

Figura 17A. Código para el cálculo de colores.

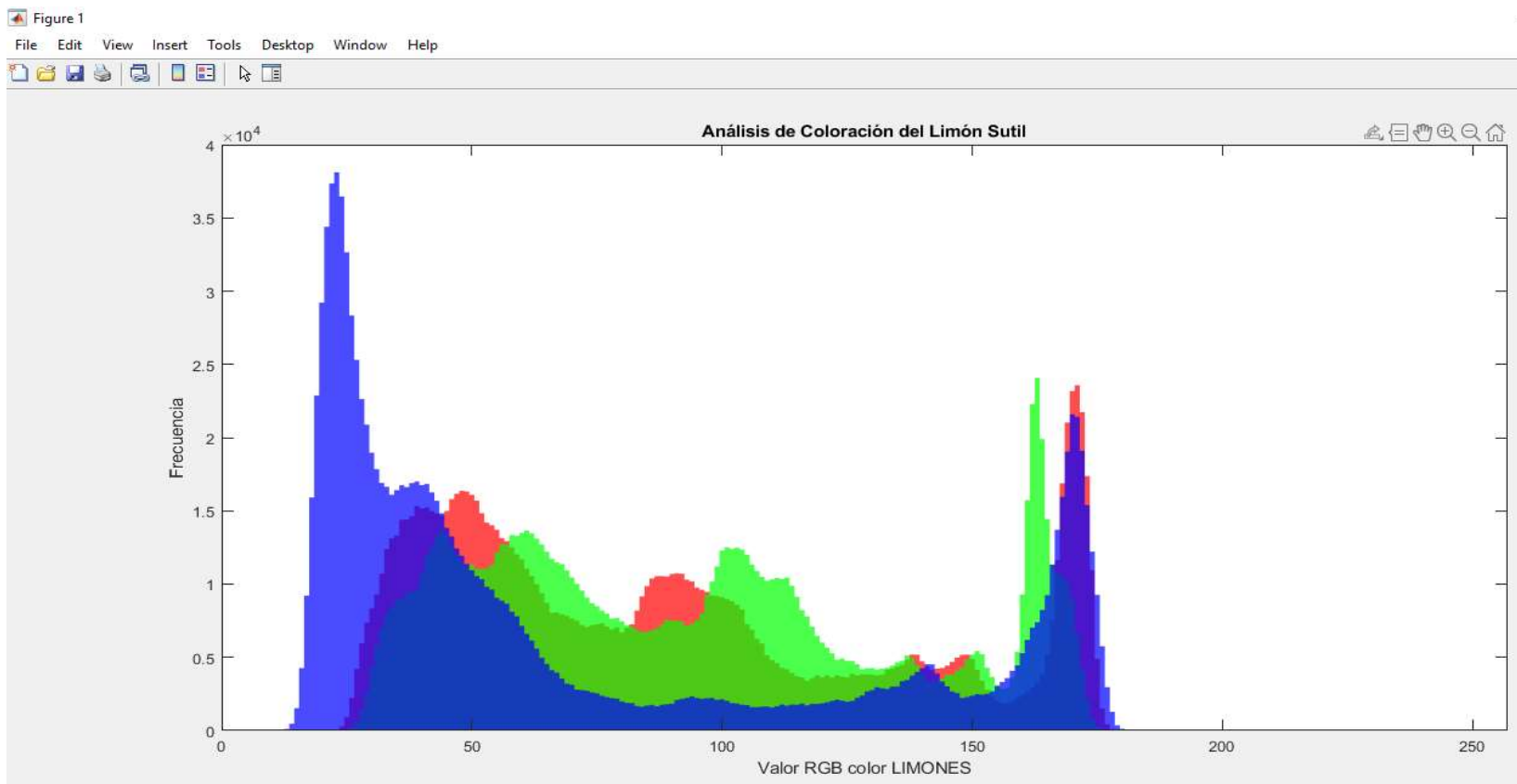


Figura 18A. Análisis de colores en formato RGB en Matlab.

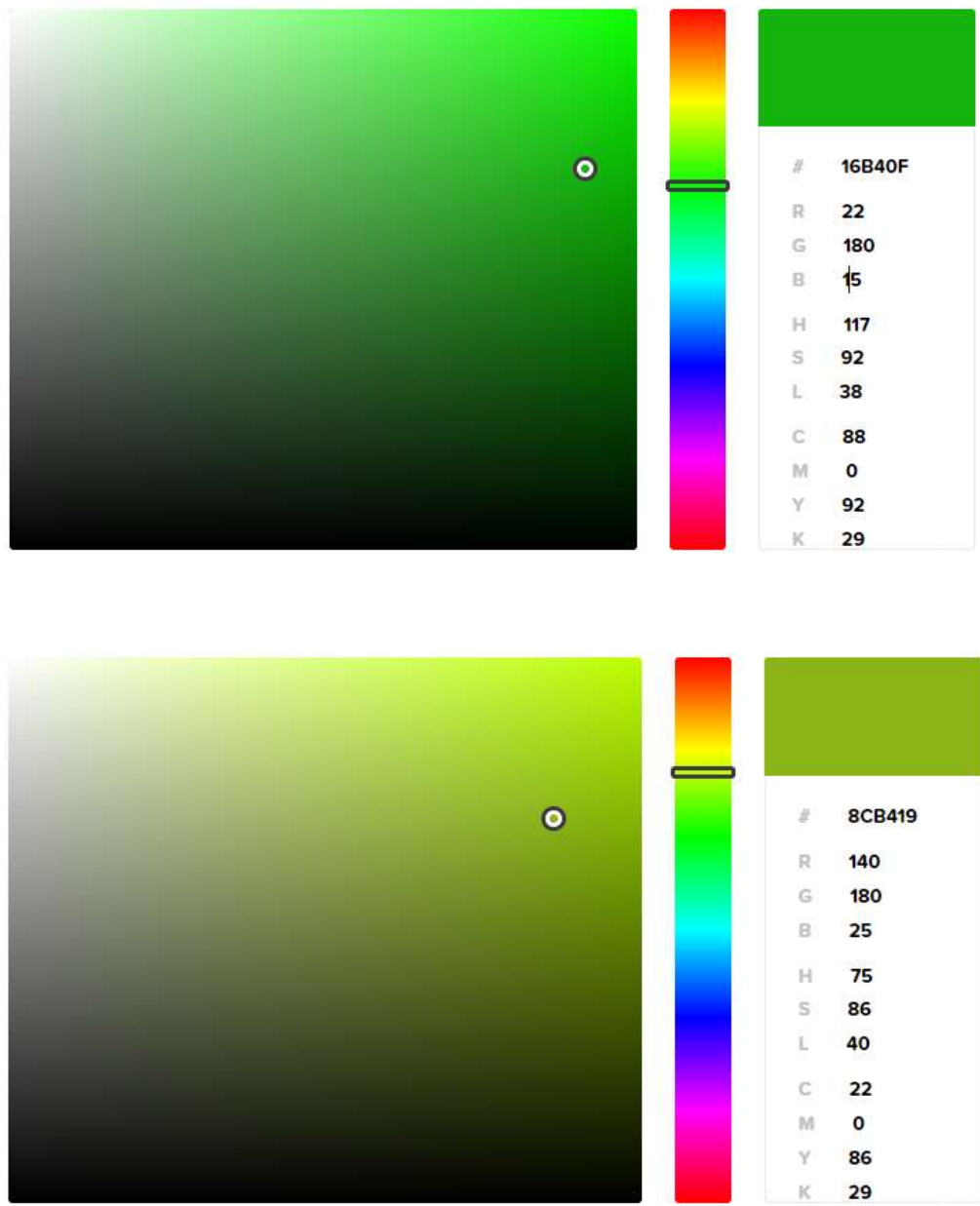


Figura 19A. Coloración final en formato RGB.

```

#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,6,7);
float arduino;
float masa;
float volumen;
float densidad;
float jugo;
float semillas;
float masacascara;
float masacomestible;
void setup()
{
  lcd.begin(16,2);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" Proyecto ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" Titulacion ");
  delay(1000);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" Propiedades ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Fisicas de Limon");
  delay(1000);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" Jose Quirumbay ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" Agrotecnologia ");
  delay(1200);
  lcd.clear();
}

void loop()
{
  arduino=analogRead(0);
  masa=(arduino*20/341);//masa entre 0g y 60g se programa
  volumen=((masa*(1.1893)-6.9213));
  densidad=(masa/volumen);
  semillas=8;
  masacascara=7.35;
  masacomestible=11.87;
  jugo=10.63;
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Masa: ");
  lcd.print(masa,2);
  lcd.print("g");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Volume: ");
  lcd.print(volumen,2);
  lcd.print("cm3");
  delay(1500);
}

```

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Densidad: ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(densidad,3);
lcd.print("g/cm3");
delay(1500);
lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Masa comestible:");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(masacomestible,2);
lcd.print(" g");
delay(1000);

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Cantidad jugo: ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(jugo,2);
lcd.print(" ml");
delay(1000);
lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Masa comestible:");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(masacomestible,2);
lcd.print(" g");
delay(1000);
lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Numero semillas:");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(semillas,0);
lcd.print(" ");
delay(1000);
lcd.clear();
}

```

Figura 20A. Código para el cálculo de las propiedades físicas.

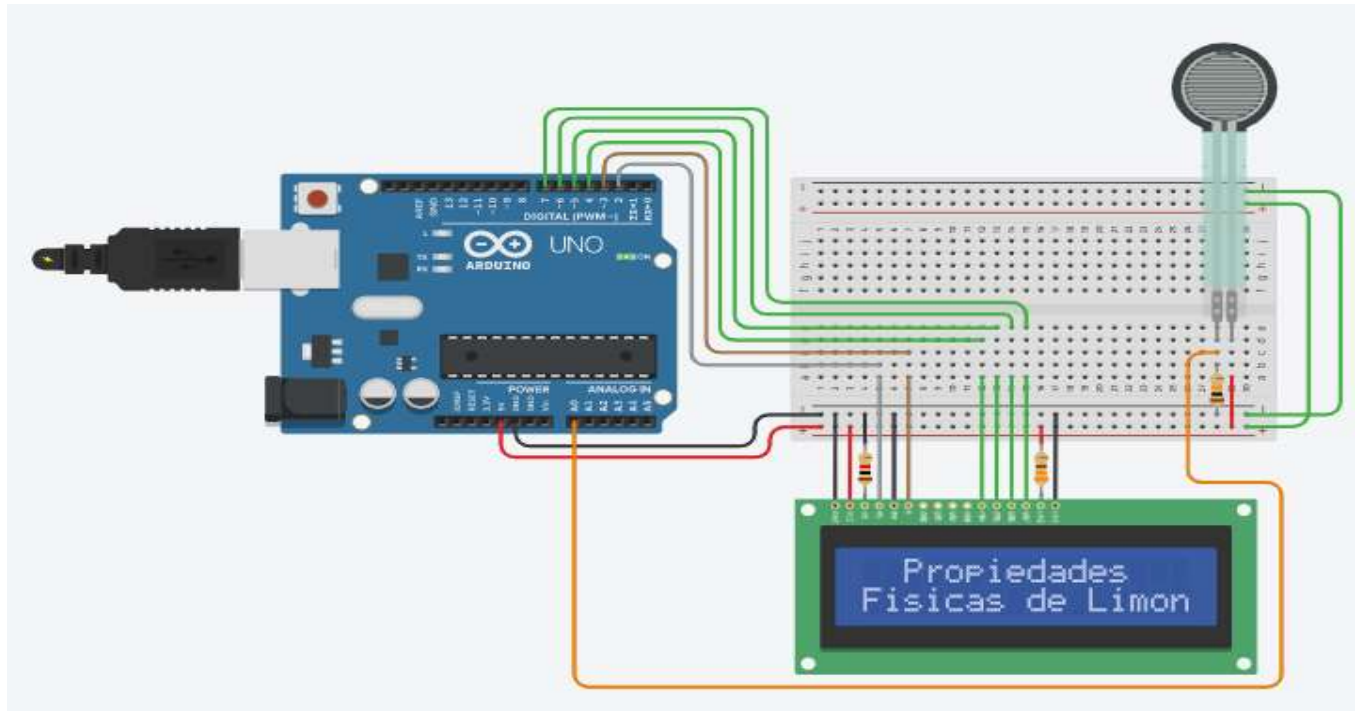


Figura 21A. Prototipo implementado en la plataforma Tinkercad.

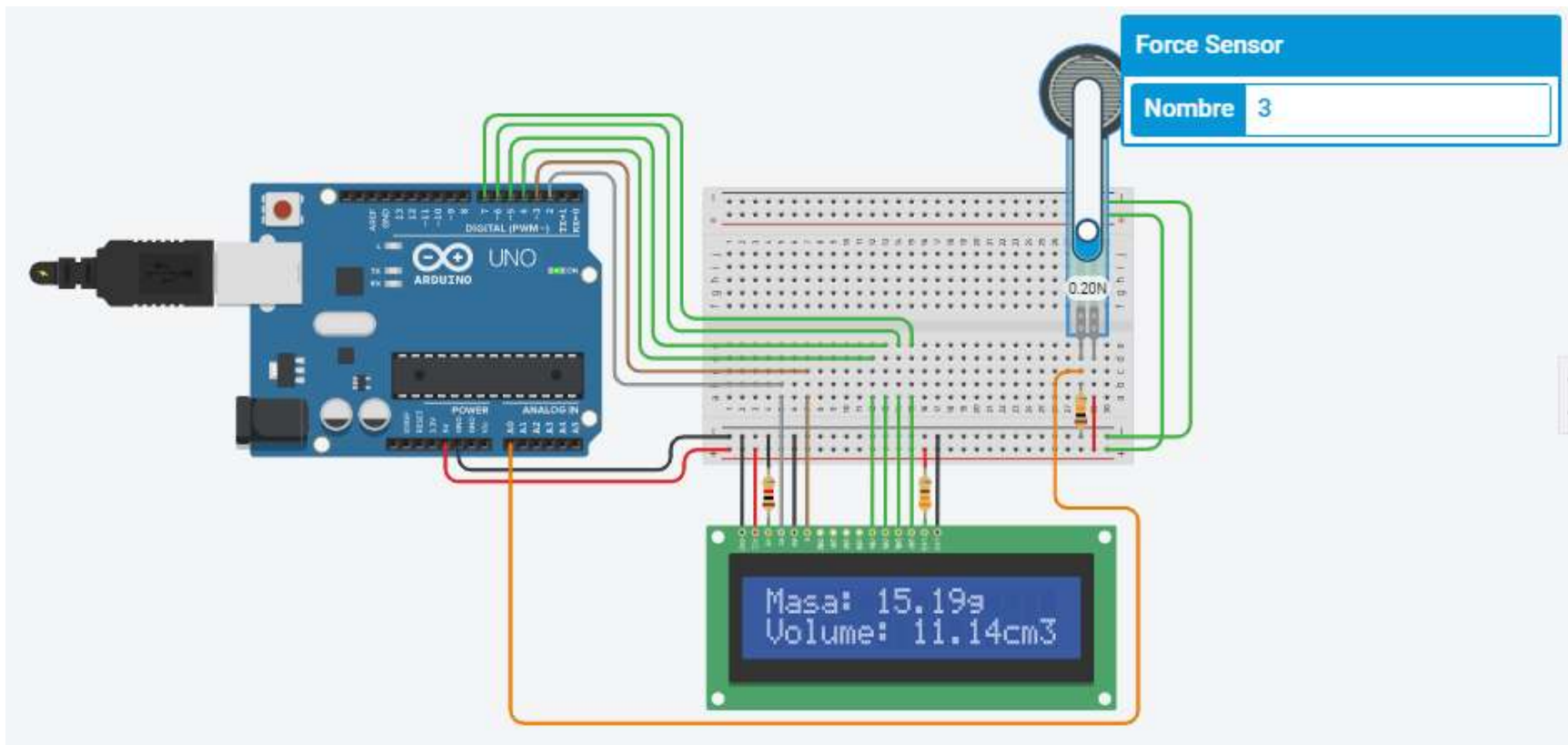


Figura 22A. Prototipo calculando masa y volumen.

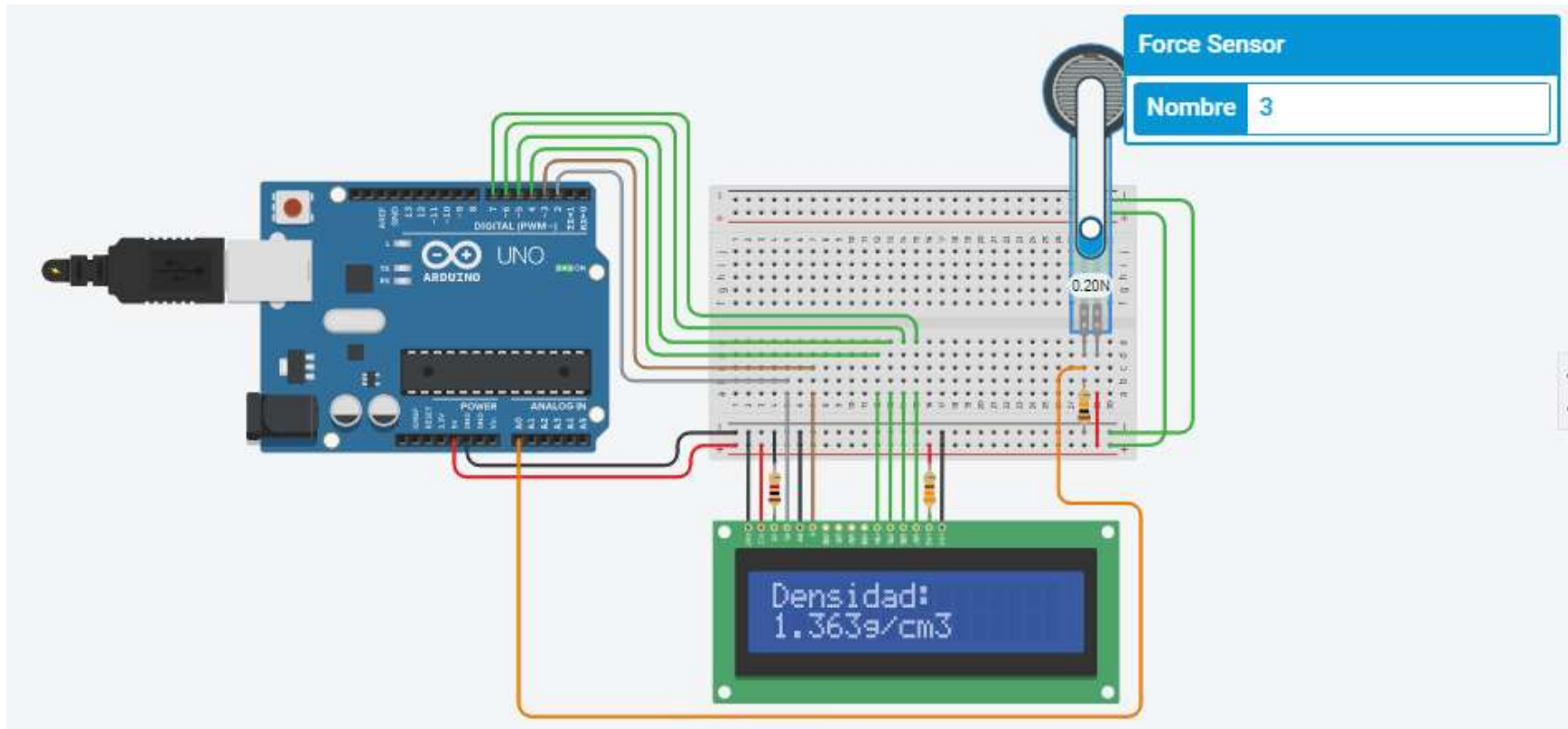


Figura 23A. Prototipo calculando la densidad.

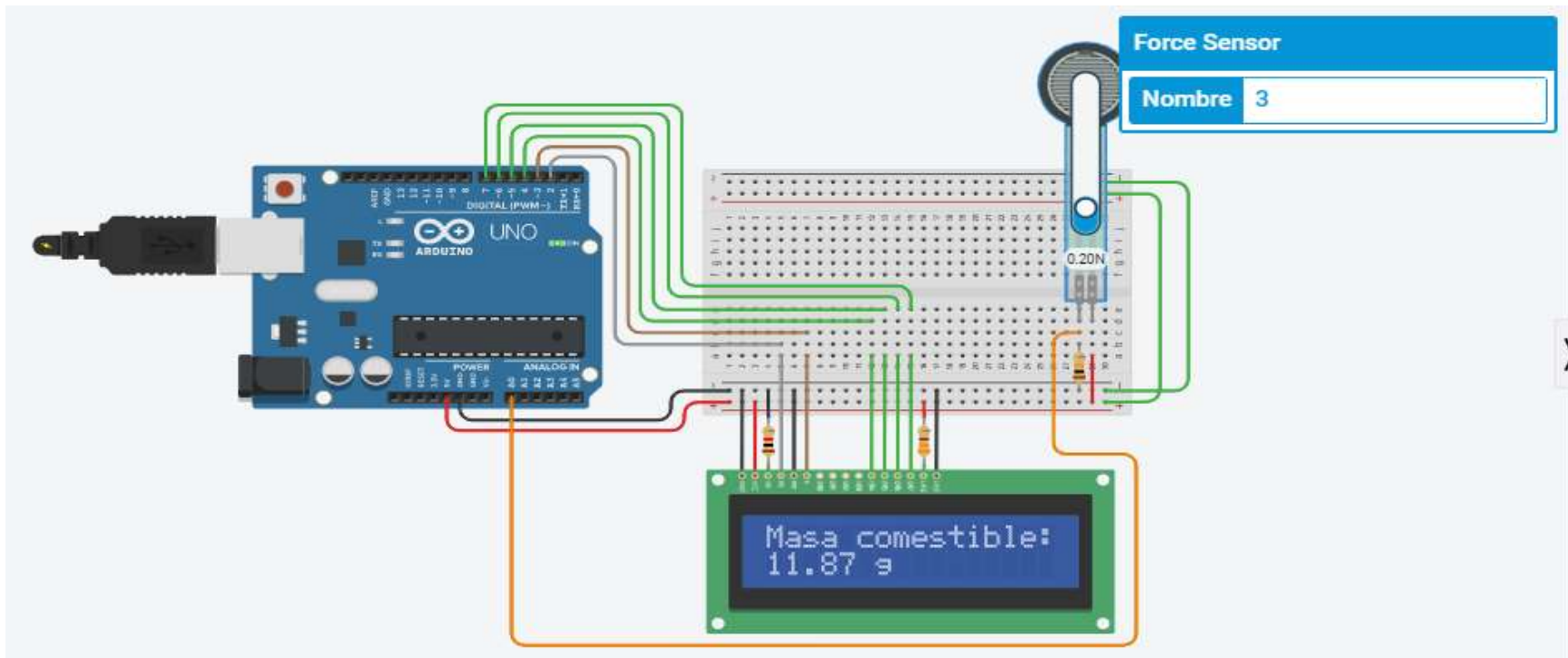


Figura 24A. Prototipo calculando masa comestible.

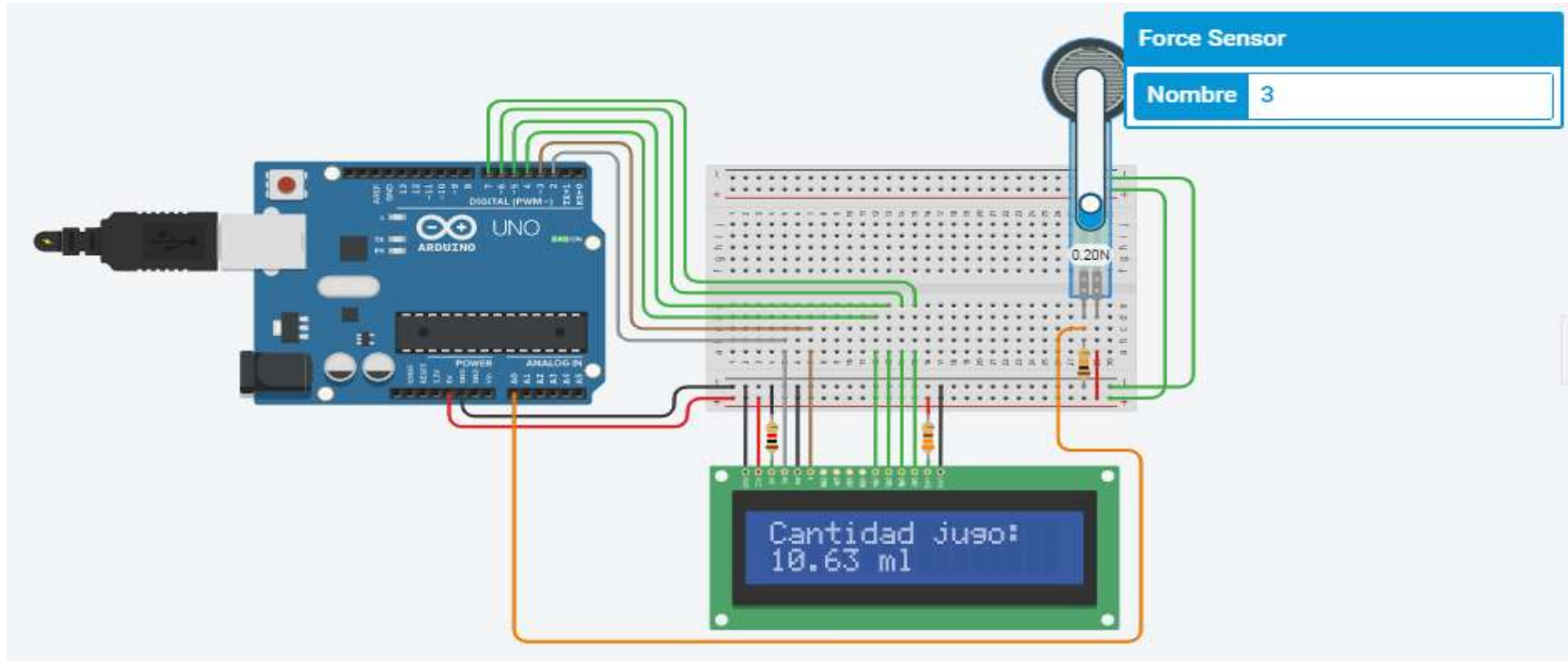


Figura 25A. Prototipo calculando cantidad de jugo.

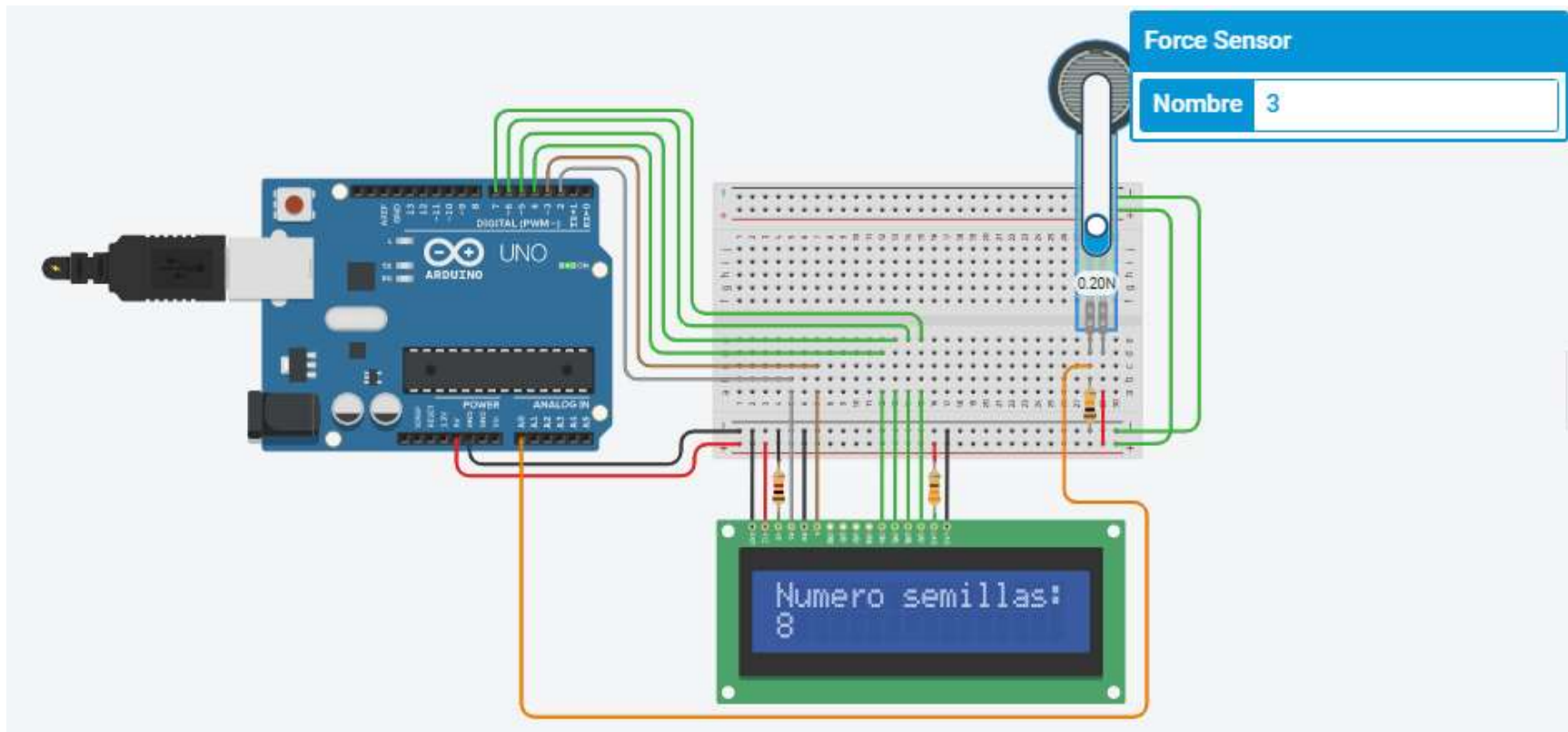


Figura 26A. Prototipo calculando el número de semillas.