



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño de un Sistema Automático para la Evaluación de la Calidad de la Fruta

Autor

Javier Blesa Yanguas

Director

Tomás Cortés Arcos
Javier Blesa Yanguas

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2018



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

Diseño de un Sistema Automático para la
Evaluación de la Calidad de la Fruta

424.18.67

Autor: Javier Blesa Yanguas

Director: Tomás Cortés Arcos

Fecha: 19/09/2018

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	7
1.1. PALABRAS CLAVE	7
2. ABSTRACT	8
2.1. KEYWORDS	8
3. INTRODUCCIÓN	9
3.1. MOTIVACIÓN	9
3.2. OBJETIVOS	10
3.3. ANTECEDENTES	10
3.4. PLANIFICACIÓN	13
4. MARCO TEÓRICO	14
4.1. LA FRUTICULTURA	14
4.1.1. LA FRUTICULTURA EN ESPAÑA	16
4.1.2. LA FRUTICULTURA EN ARAGÓN	17
4.1.2.1. Historia	17
4.1.2.2. Actualidad	18
4.1.3. <i>La Importancia de la Post-Cosecha en la Fruticultura</i>	27
4.1.3.1. Parámetros Medibles	27
4.1.3.2. Sensores y Campo de Aplicación	31
4.2. SELECCIÓN DE PRODUCTO Y SENSORES	48
4.2.1. Elección de la fruta	48
4.2.1.1. El Melocotonero	51
4.2.2. Elección de los Parámetros a medir y de los Sensores	55
4.3. PARÁMETROS Y SENSORES ELEGIDOS	56
4.4. FORMAS DE OBTENER LOS DATOS	57
4.4.1. Arduino	58
4.4.1.1. Características	59
4.4.2. Matlab	61
5. PRUEBAS	62
5.1. SENSORES Y CALIBRACIÓN	62
5.1.1. DISTANCIA_Sensor Ultrasonidos HC-SR04	62
5.1.1.1. Calibración del Sensor	63
5.1.1.1.1. Código	63

INDICES

5.1.1.1.2.	UML	64
5.1.1.2.	Resultados	65
5.1.2.	<i>COLOR_ Colorimetro TCS34725</i>	67
5.1.2.1.	Calibración del Sensor	68
5.1.2.1.1.	Código	68
5.1.2.1.2.	UML	70
5.1.2.1.	Resultados	71
5.1.3.	<i>DEFECTOS_ Cámara Térmica MLX90614</i>	72
5.1.3.1.	Calibración del Sensor	72
5.1.3.2.	Código	73
5.1.3.2.1.	UML Sensor Térmico	74
5.1.3.3.	Resultados	75
5.1.4.	<i>PESO_ Celda de Carga + HX711</i>	78
5.1.4.1.	Calibración del Sensor	78
5.1.4.2.	Código	79
5.1.4.3.	UML Sensor Celda de Carga	80
5.1.4.4.	Resultados	81
5.1.5.	<i>Análisis de Imagen</i>	83
5.1.5.1.	Código	83
5.1.5.2.	UML Análisis de Imagen	85
5.1.5.3.	Calibración	86
5.2.	MUESTRAS	87
5.2.1.	<i>Muestra 1</i>	87
5.2.2.	<i>Muestra 2</i>	88
5.2.3.	<i>Muestra 3</i>	89
5.2.4.	<i>Muestra 4</i>	90
5.2.5.	<i>Muestra 5</i>	91
5.2.6.	<i>Muestra 6</i>	92
5.2.7.	<i>Muestra 7</i>	93
5.2.8.	<i>Muestra 8</i>	94
5.3.	CÓDIGO GENERAL ARDUINO	95
5.4.	ESQUEMA DE CONEXIONES ARDUINO	103
6.	CONCLUSIONES	104
7.	BIBLIOGRAFÍA	105

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mapa Comarcal de Aragón (Izq.)	19
Ilustración 2 Evolución de la Superficie Agrícola (Dcha.)	19
Ilustración 3 Cartas Patrón recolección temprana de Guayaba	31
Ilustración 4 Colorímetro Digital	32
Ilustración 5 captura de imágenes con cámaras térmicas, que analizan toda la estructura de la planta.	33
Ilustración 6 Espectrofotómetro de reflectancia	34
Ilustración 7 Sensor de Fibra Óptica Automatizado.....	35
Ilustración 8 Plantillas de Calibración Manual.....	36
Ilustración 9 envío y Recepción de la Señal por Ultrasonidos	36
Ilustración 10 Celda de Carga y Transmisor HX711	37
Ilustración 11 Penetrómetro.....	38
Ilustración 12 Impactador.....	39
Ilustración 13 Sensor Acústico de firmeza	40
Ilustración 14 Radiografía del Proceso de Maduración de la Guanábana	41
Ilustración 15 Imágenes de Resonancia Magnética Nuclear	42
Ilustración 16 Ensayo de Compresión Confinada Realizado por la Universidad de Madrid.....	43
Ilustración 17 Representación esquemática de una sonda de ultrasonidos.....	44
Ilustración 18 Sensor NIR.....	45
Ilustración 19 Refractómetro Brix	46
Ilustración 20 Sensor de Aromas	47
Ilustración 21 Melocotón de Calanda Embolsado	54
Ilustración 22 Pines Arduino Fuente: aprendiendoarduino.wordpress.com	59
Ilustración 23 Ventana Principal Matlab	61
Ilustración 24 Esquema Conexión HC-SR04.....	62

INDICES

Ilustración 25 Esquema Conexión TCS34725 Fuente: luisllamas.es	67
Ilustración 26 Esquema Conexión MLX90614 Fuente: luisllamas.es	72
Ilustración 27 Esquema Conexión Celda de Carga + HX711	78
Ilustración 28 Imagen con Defectos	86
Ilustración 29 Imagen sin defectos	86
Ilustración 30 Muestra de Melocotón N°1	87
Ilustración 31 Muestra de Melocotón N°2	88
Ilustración 32 Muestra de Melocotón N°3	89
Ilustración 33 Muestra Melocotón N°4	90
Ilustración 34 Muestra Melocotón N°5	91
Ilustración 35 Muestras Melocotón N°6	92
Ilustración 36 Muestra Melocotón N°7	93
Ilustración 37 Muestra Melocotón N°8	94
Ilustración 38 Esquema General de Sensores Arduino	103

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Planificación TFG	13
Tabla 2 Producción mundial de frutos en 2007.....	15
Tabla 3 Evolución de las exportaciones españolas de frutas en valor y peso	16
Tabla 4 Evolución de la superficie frutal de pepita	20
Tabla 5 Evolución de la superficie frutal de hueso	20
Tabla 6 Producción de Albaricoque	21
Tabla 7 Producción de Cerezo.....	21
Tabla 8 Producción de Ciruela.....	22
Tabla 9 Producción de Manzano	22
Tabla 10 Producción de Melocotonero	23
Tabla 11 Producción de Nectarina	23
Tabla 12 Producción de Peral.....	24
Tabla 13 Ocupación en el año 2000.....	26
Tabla 14 Ocupación en el año 2017.....	26
Tabla 15 Percepción de la Calidad	28
Tabla 16 Aspectos Cualitativos de las Frutas	28
Tabla 17 Parámetros de Calidad Relacionados con el Aspecto Externo	29
Tabla 18 Parámetros de Calidad Relacionados con el Aspecto Físico-Mecánico .	30
Tabla 19 Parámetros de Calidad Relacionados con el Aspecto Químico.....	30
Tabla 20 Valores como resultado de un análisis de dureza por Penetrómetro...	38
Tabla 21 Los 10 Países de mayor producción de melocotón a nivel mundial.....	51
Tabla 22 Volumen de melocotones exportados desde España a los distintos países de la Unión Europea en 2017, por país (en toneladas)	52
Tabla 23 Volumen de melocotones producidos al año en España desde 2013 hasta 2017 (en miles de toneladas)	52
Tabla 24 Características Melocotón de Calanda	53

INDICES

Tabla 25 Características Elegidas y Sensores Adecuados.....	56
Tabla 26 UML Sensor Ultrasonidos	64
Tabla 27 Calibración 1 Tamaño.....	65
Tabla 28 Calibración 2 Tamaño.....	65
Tabla 29 Calibración 3 Tamaño.....	66
Tabla 30 calibración 4 Tamaño	66
Tabla 31 calibración 5 Tamaño	67
Tabla 32 UML Sensor RGB	70
Tabla 33 RGB para color Rojo.....	71
Tabla 34 RGB para color Verde.....	71
Tabla 35 RGB para color Azul	71
Tabla 36 UML Sensor Cámara Térmica.....	74
Tabla 37 Calibración 1 Temperatura	75
Tabla 38 calibración 2 Temperatura	75
Tabla 39 Calibración 3 Temperatura	76
Tabla 40 Calibración 4 Temperatura	76
Tabla 41 Calibración 5 Temperatura	77
Tabla 42 UML Sensor Celda de Carga	80
Tabla 43 Calibración 1 Peso	81
Tabla 44 calibración 2 Peso	81
Tabla 45 calibración 3 Peso	82
Tabla 46 Calibración 4 Peso	82
Tabla 47 calibración 5 Peso	83

1. RESUMEN

Dentro de las etapas que comprenden el diseño de un sistema de evaluación automática, este trabajo se centra en la investigación de los parámetros que se deben seleccionar para obtener resultados representativos de la calidad de las muestras y de cómo medir dichos parámetros.

En cuanto al tipo de muestras a analizar, se ha seleccionado la variedad "Denominación de Origen Melocotón de Calanda", debido a su máximo grado de calidad y a sus parámetros totalmente prefijados dentro de unos rangos determinados.

La evaluación de las muestras se ha realizado mediante la interpretación de la información proveniente de sensores e imágenes, utilizando dos herramientas, el microcontrolador Arduino y el software de cálculo matemático Matlab.

Los resultados servirán para decidir que herramientas y sensores han de ser implementadas en el sistema de evaluación automático.

1.1. PALABRAS CLAVE

Sistema de evaluación automática, Denominación de Origen Melocotón de Calanda, Arduino, Matlab

2. ABSTRACT

Within the design of an automatic assessment system stages, this project is focused on the research of the parameters which should be selected in order to deliver samples quality representative results and, moreover, how to measure these parameters.

Regarding the type of samples to analyse, the variety "Denominación de Origen Melocotón de Calanda" has been selected due to its high degree of quality and its completely predetermined parameters among concrete ranges.

Samples evaluation has been done by means of the interpretation of sensors and images information, making use of two software tools: Arduino microcontroller and Matlab mathematical calculation software.

Results will lead the way to decide which software tools and sensors should be implemented in the automatic assessment system.

2.1. KEYWORDS

Automatic assessment system, denominación de Origen Melocotón de Calanda, Arduino, Matlab.

3. INTRODUCCIÓN

Mejorar los rendimientos de los procesos agrícolas es uno de los temas más importantes en el sector primario, no solo en lo relacionado con la producción, sino que también en la calidad de los productos. La automatización de estos procesos es una de las soluciones que más nos acerca al mayor rendimiento posible.

El mundo tan globalizado al que pertenecemos implica que, los productos no se puedan quedar solamente en el comercio local, han de ser exportados y para ello han de ser competitivos. Se debe tener capacidad para abastecer a la población de productos que satisfagan sus necesidades.

Por todo esto, las empresas dedicadas a la distribución frutícola, necesitan de medios que les permitan automatizar y monitorizar sus procesos, para que la calidad de las frutas que suministran a los consumidores sea la requerida. Sin este punto, todos los procesos anteriores no tienen sentido ya que un producto que no se vende, es un producto que no se debe producir.

Cuando llega el cargamento frutícola a la empresa encargada de su distribución, se ha de dar un precio al agricultor. Este precio tiene en cuenta diversos parámetros, analizados a través de una muestra del cargamento, y que, en gran parte de los casos, su obtención no está automatizada.

3.1. MOTIVACIÓN

Muchos estudios actuales muestran el grado de automatización de procesos que se pueden llevar a cabo a la hora de obtener datos que midan la calidad de una determinada fruta. Sin una inversión de dinero excesiva, se puede conseguir que un sistema obtenga datos a alta velocidad y clasifique los productos, sin la necesidad de que una persona tenga que realizar este análisis de manera manual.

El gran problema de las empresas distribuidoras es que, en los momentos críticos del año, la llegada de fruta es constante y en grandes cantidades, teniendo que analizar estos productos para dar un precio y saber si son de la calidad que las empresas de distribución al público les van a exigir, al realizarlos de manera manual no se puede realizar de la manera deseada, causando una acumulación del trabajo y la posibilidad de errores en la catalogación de los cargamentos.

3.2. OBJETIVOS

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

1. Obtener información de una variedad frutal determinada para realizar su análisis:
 - a. Parámetros importantes para diagnosticar su calidad.
 - b. Exportaciones.
 - c. Denominaciones de Origen.
 - d. Características del cultivo
2. Identificar los parámetros más importantes para los consumidores y cómo medirlos.
3. Analizar los parámetros medibles de dicha variedad:
 - a. Cómo se miden y con qué sensores.
 - b. Realización de pruebas y obtención de resultados.

3.3. ANTECEDENTES

Para poder observar el avance tan grande del campo de la agricultura en automatización, debemos observar cómo se realizaban los procesos a principios del siglo XX y como han ido evolucionando. Por esto, se dividirán en apartados donde se nombrarán las características más importantes que tenía la agricultura:

- Inicios del Siglo-XX, hasta la Guerra Civil:
 - Agricultura en fase de cambios.
 - Planes de regadío como la creación de la Confederación hidrográfica del Ebro
 - Agricultura de subsistencia minifundista, junto con explotaciones de terratenientes.
 - Campesinado como fuente de mano de obra barata.
- Guerra Civil y Postguerra:
 - Paralización, involución y hambruna.
 - Agricultura claramente deficitaria, ejemplos son el estraperlo y las cartillas de racionamiento

- Década de los 50:
 - Desarrollo de planes de regadío (Embalses).
 - Creación de pueblos de colonización (depuradoras).
 - Nuevos agricultores.
 - Incipiente uso de la mecanización.
 - España cerealista y productora de leguminosas.
 - Concentración parcelaria
- Año 1995, Creación del Servicio de Extensión Agraria:
 - El ministro Rafael Cavestany creó el S.E.A.
 - Formación de técnicos en la finca El Encín del INIA.
 - Objetivo del SEA: "Difusión de la técnica en el campo".
 - Campañas sobre cooperativismo, fertilización, cuidado de árboles en invierno y nutrición animal.
 - Etapa de las enseñanzas agrícolas simples.
- Décadas de los 60 y 70:
 - Crisis mundial del petróleo.
 - Encarecimiento de los insumos.
 - Estancamiento del valor de los productos.
 - Mejora en la productividad.
 - Avances significativos en maquinaria, materiales, genética y técnicas productivas.
- Año 1969, Cumbre de Estocolmo, Sostenibilidad y Medio Ambiente
- Final de Siglo:
 - La era de la automatización.
 - Mejora varietal. Biotecnología.
 - Reforma de la PAC de 1992.
 - Caída de precios e incremento del coste de los insumos.
 - Buenas prácticas agrícolas.

INTRODUCCION

- **Nuevo Siglo (Globalización):**
 - Nuevos mercados para la exportación.
 - Importación de alimentos de terceros.
 - Nuevas políticas agrarias.
 - Continua expansión de las tecnologías.
 - Volatilidad de precios.
 - Productos agro energéticos (Biomasa).
- **Crisis 2008:**
 - En exportaciones la balanza comercial es positiva
 - Calidad e Innovación.
 - Industria agroalimentaria pujante.
 - Cambio de paradigma.
- **Año 2010, hasta la actualidad:**
 - Comienza una estrecha colaboración entre el Colegio de Ingenieros Agrónomos de Aragón, País Vasco y Navarra y el Colegio de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Aragón.
 - Nacimiento de la Alianza Agroalimentaria Aragonesa y Partenariado del agua 2013.
 - Necesidad de incrementar el esfuerzo en I+D+i.
 - Financiación de proyectos de investigación aplicada.
 - Establecimiento de mecanismos para priorizar la utilidad para el sector y la transferencia del conocimiento.
 - Apoyo económico de agricultores, ganaderos e industria.

3.4. PLANIFICACIÓN

Semana	Descripción
Semana 18/24	Búsqueda de información
Semana 25	Elaborar Bibliografía Provisional
Semana 26	Índice Provisional y Elección de tablas e imágenes
Semana 27	Elección de tablas e imágenes
Semana 28	Entrega Hito 1
Semana 29	Primera Selección de Componentes
Semana 30	Redactar tablas y bibliografía
Semana 31	Búsqueda de Información
Semana 32	Redactar Índice Final
Semana 33	Redactar Marco Teórico
Semana 34	Redactar Marco Teórico y Software
Semana 35	Redactar Software y realización de Pruebas
Semana 36	Redactar Pruebas
Semana 37	Redactar Pruebas y Conclusiones
Semana 38	Maquetado y Entrega del Hito 2

Tabla 1 Planificación TFG

Elaboración Propia

4. MARCO TEÓRICO

4.1. LA FRUTICULTURA

El mundo vegetal se compone de especies muy diversas de plantas las cuales, a su vez, se dividen en otras subespecies. La **fruticultura** es una ciencia que se centra en todas aquellas que producen fruto y son arbóreas¹, estudiando su fisiología.

La fisiología de las plantas hace referencia a la brotación y floración, el cuajado de la flor y el crecimiento del fruto, su maduración, senescencia² y la prolongación de la vida del fruto en la post-cosecha.

Entre los **alcances** de esta ciencia se destacan los siguientes (Porto, 2017):

- Determinar y mejorar las características y condiciones del suelo.
- Determinar las especies de plantas a plantar dependiendo de las condiciones del suelo, el clima, el riego y los factores económicos.
- Determinar las variedades de especies a utilizar y sus posibles mejoras por manipulación genética.
- Planificación de las parcelas agrícolas (lugares y forma de plantar, riego, fertilización, control de plagas, acondicionamiento de las plantas, cosecha...)
- Evaluación de los rendimientos de las explotaciones.
- Selección, acondicionamiento, empaque y conservación de la fruta.
- Procesamiento y comercialización.

Desde que el ser humano empezó a cultivar, una zona que disponía de plantas que producen fruto era siempre un indicativo de riqueza, no solo por el seguro de alimentación que esto conllevaba, sino también por la posibilidad de comercio con otras regiones que carecieran de este tipo de plantas.

En la actualidad, el mercado no se reduce a una simple población, sino que es un mercado totalmente global. El destino más importante del comercio frutícola son los

1 ARBÓREA: PLANTA CARACTERIZADA POR UN ESQUELETO DURO Y RÍGIDO Y UNA ALTURA MÁS O MENOS NOTABLE

2 SENESCENCIA: CAMBIOS ENTRE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA POR EL PASO DEL TIEMPO.

países de la Unión Europea por su **cercanía** y su **poder adquisitivo**. Estos dos factores dan lugar a una necesidad de especialización de las técnicas de cultivo, obteniendo una calidad máxima y una producción constante para satisfacer la demanda de productos.

“La **producción y la calidad** de los frutos es consecuencia, bajo un punto de vista técnico, de la integración de tres elementos básicos: **la planta, el medio y el cultivo**” (Agustí, 2004, pág. 24).

Si obtenemos un control preciso de las técnicas sobre estos elementos, podremos satisfacer en mayor medida las necesidades del mercado. A su vez la **postcosecha** ha de ser un elemento indispensable para la obtención de la calidad. Si no controlamos meticulosamente el avance del fruto en el tiempo, desde su recolección hasta su distribución, cualquier control realizado anteriormente carecerá de utilidad.

La siguiente tabla hace referencia a la producción de frutales a nivel mundial. En ella se aprecia que los frutos de mayor importancia son los **cítricos**, seguidos de los plátanos, la uva y la manzana.

Cultivo	Producción (10 ⁶ T)
Naranjas	64,8
Mandarinas	27,9
Pomelos	5
Limonos y Limas	12,7
Otros frutos cítricos	7,1
Plátanos	119,8
Uva	67,2
Manzana	66
Mango y Guayaba	33,4
Pera	20,6
Melocotón y Nectarina	17,4
Piña	20,9

Producción Mundial de Frutos en 2007

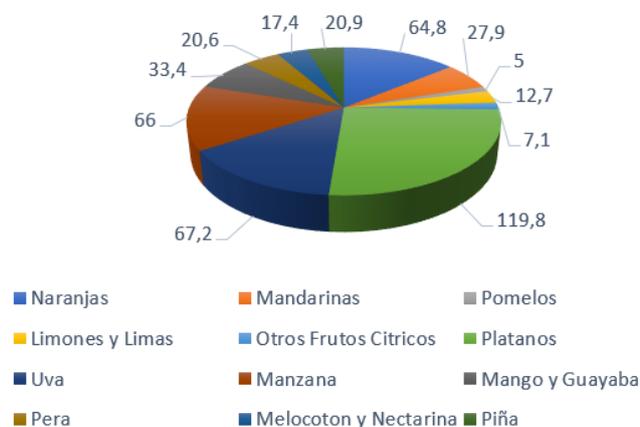


Tabla 2 Producción mundial de frutos en 2007

Elaboración propia. Fuente: Agustí, M. (2004). *Fruticultura*. Madrid: Mundi Prensa Libros S.A.

En la UE, el **manzano, melocotonero y peral** constituyen las principales especies no cítricas en cultivo, con un 33%, 29% y 14%, respectivamente, de la superficie destinada al cultivo y con un 48%, 22% y 17%, en cuanto a la producción. (Agustí, 2004, pág. 27).

4.1.1. LA FRUTICULTURA EN ESPAÑA

El sector frutícola es el **sector predominante** de la agricultura española, con un valor de la producción situado en torno a los 7.000 millones de euros y representando más del 17% de la producción de la rama agraria. (Martin & Cuevas, 2014, pág. 15)

Ocupa una superficie de 4 millones de hectáreas, consume un total de 1,2 millones de hectáreas de regadío en términos de agua y la población ocupada en este sector representa un alto porcentaje de la población española.

Con los datos anteriores no solo podemos ver este sector en términos de ocupación territorial, sino también como sector competitivo en exportaciones, ascendiendo estas a 7.000 millones, convirtiéndose en el **principal sector de comercio exterior agroalimentario**.

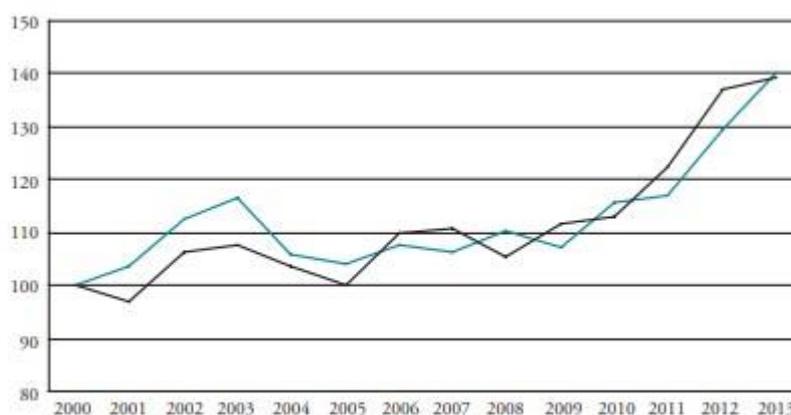


Tabla 3 Evolución de las exportaciones españolas de frutas en valor y peso

Índice 2000=100.

Fuente: Datacomex. Ministerio de Economía y Competitividad

Una de las características de este sector es su amplio y diverso tejido industrial (el 18,3% del total de la industria española) y de sociedades de servicios en torno al cultivo, transformación y comercialización. Mantener esto exige un esfuerzo de renovación y de adaptación constante a las condiciones de los mercados y a la evolución de las demandas de los consumidores.

4.1.2. LA FRUTICULTURA EN ARAGÓN

4.1.2.1. Historia

Los frutales aragoneses de hueso y pepita se llevan cultivando desde la antigüedad, contando con numerosos testimonios escritos sobre su calidad e importancia. Se destacan por un cultivo centrado en los regadíos debido a la baja precipitación anual y a una tipología de suelos alcalina. Además, cuenta con tres puntos importantes en cuanto a la localización de las zonas frutícolas, **la altitud, la introducción de nuevas variedades y la forma de plantar.**

La **altitud** hace variar el tipo de cultivo que se va a plantar. Debe ser mayor para frutales de pepita, mientras que en zonas de menor altitud se localizaran frutales de hueso.

La **introducción de nuevas variedades** se realiza para mejorar diversos aspectos de la planta, desde una mayor producción hasta la posibilidad de plantarse en climas y suelos a los que las antiguas variedades no tienen acceso.

La **forma de plantar** es un punto de conflicto pues depende de si la superficie ya está plantada o no y de la reticencia del agricultor a utilizar nuevas técnicas. Antiguamente se plantaba de tal manera que se dejaba un espacio entre árboles para poder realizar una asociación de estos con cultivos herbáceos anuales. Aunque los costos de inversión iniciales eran escasos, se manifestaba una serie de problemas como la vecería³ y las dificultades en la aplicación de tratamientos.

En la actualidad la fruticultura aragonesa ha avanzado hacia **sistemas intensivos de plantación**, es decir, árboles más accesibles y adecuados a la maquinaria moderna.

En cuanto a los cultivos predominan el manzano y el peral, en frutales de pepita, y el albaricoque, el cerezo, el ciruelo, el melocotonero y la nectarina, en frutales de hueso.

Entre ellos, destaca el manzano y melocotonero siendo los más importantes de la cosecha aragonesa de frutas, seguidos del peral y del cerezo. El albaricoque y la ciruela son los de menor importancia.

³ *VECERÍA: TRAS UN AÑO DE COSECHA ABUNDANTE SE LE SUCEDE OTRO DE COSECHA PEQUEÑA.*

Estos cultivos no solo predominan a nivel autonómico, sino que también tienen gran importancia estatal. En producción de manzano y peral Aragón es la segunda comunidad autónoma de mayor producción, en cerezo y guindo representa el 35% de la producción estatal, en melocotón y nectarina el 21% y tiene la denominación de calidad en frutal por la producción de melocotón tardío, siendo el Melocotón de Calanda la única variedad de calidad reconocida en el territorio aragonés.

4.1.2.2. Actualidad

El avance que han experimentado los cultivos, la forma de plantar y las variedades, es uno de los principales temas que urge analizar. Con este análisis conseguiremos identificar las zonas idóneas, los mayores productores y dónde se han realizado técnicas de modernización efectivas.

A su vez destacaremos uno de los elementos que ha dado lugar a un avance en los últimos años de la fruticultura aragonesa, la creación de la **Estación Experimental de Aula Dei (EEAD)**. El EEAD es un instituto de investigación perteneciente al Área de Ciencias Agrarias del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), organismo público de investigación del Ministerio de Economía y Competitividad. Su **misión** se centra en aportar al sector agrícola materiales y tecnologías para aumentar su competitividad y sostenibilidad, partiendo del conocimiento de los procesos implicados en la producción vegetal.

Esta misión se concreta en la obtención de resultados para los sectores agroalimentario, biotecnológico y medioambiental que se resumen en:

1. Incremento de la productividad de los cultivos de zonas templadas semiáridas
2. Desarrollo de tecnologías para la sostenibilidad de las producciones agrícolas y el medio ambiente
3. Incremento de la calidad y valor añadido de los productos agrícolas. Esta misión abarca tanto la investigación científica básica de calidad como la formación de personal científico y técnico, la asesoría a los sectores privados y entes públicos, y la difusión de nuestros resultados a la sociedad.

Con la ayuda de distintas imágenes y gráficos se observa la producción por comarcas de las frutas más importantes, nombradas anteriormente, y las comarcas que en la actualidad cuentan con una mayor superficie frutícola (Bajo Cinca, La Litera, Bajo Aragón, Caspe, Calatayud y Valdejalón).

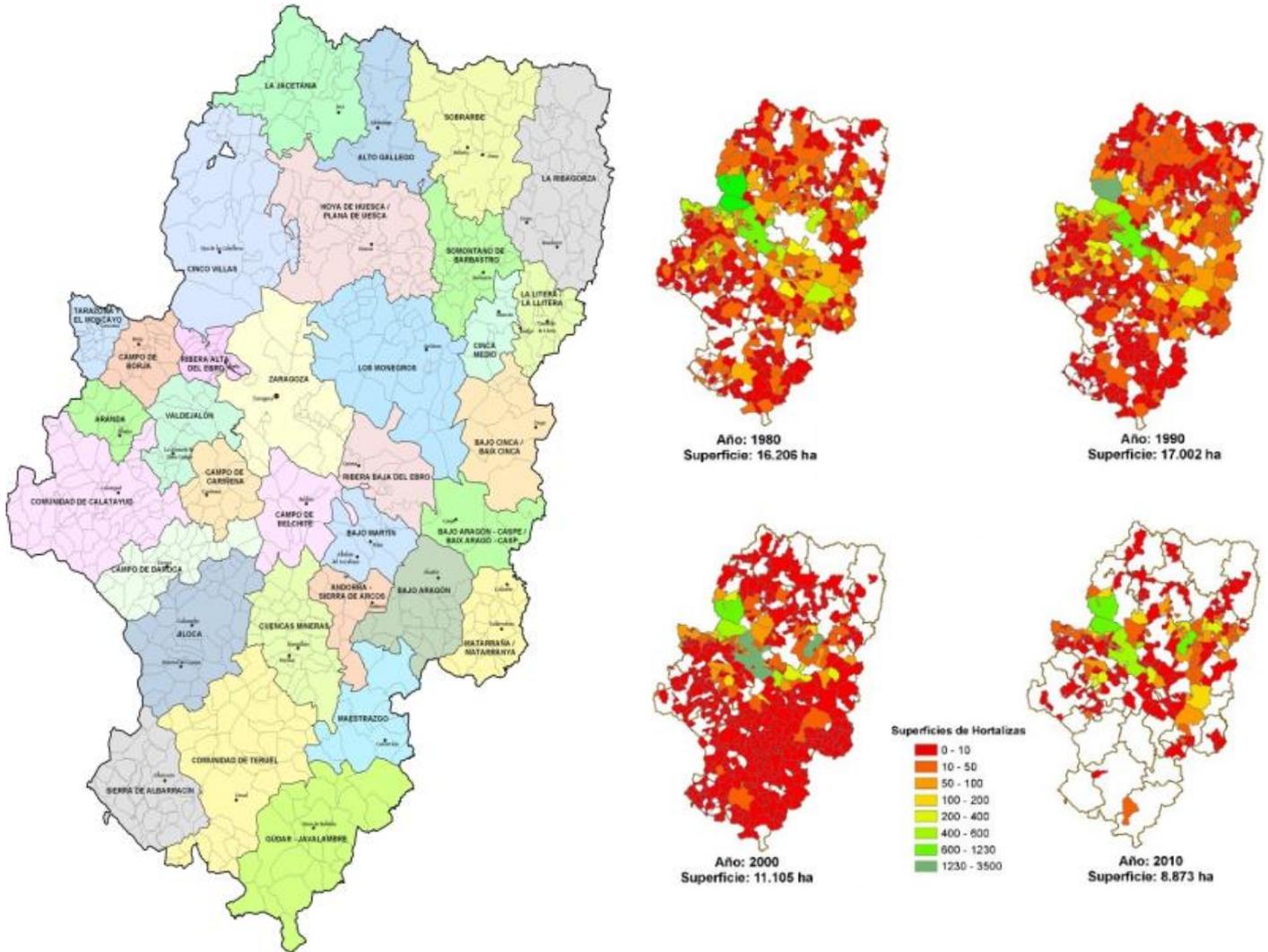


Ilustración 1 Mapa Comarcal de Aragón (Izq.)

Ilustración 2 Evolución de la Superficie Agrícola (Dcha.)

Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

A través de los dos gráficos siguientes se aprecia una comparativa entre las frutas predominantes de pepita y hueso en Aragón. Mediante las cuales se puede observar cómo ha evolucionado el número de hectáreas plantadas desde el año 2000, hasta el año 2017.

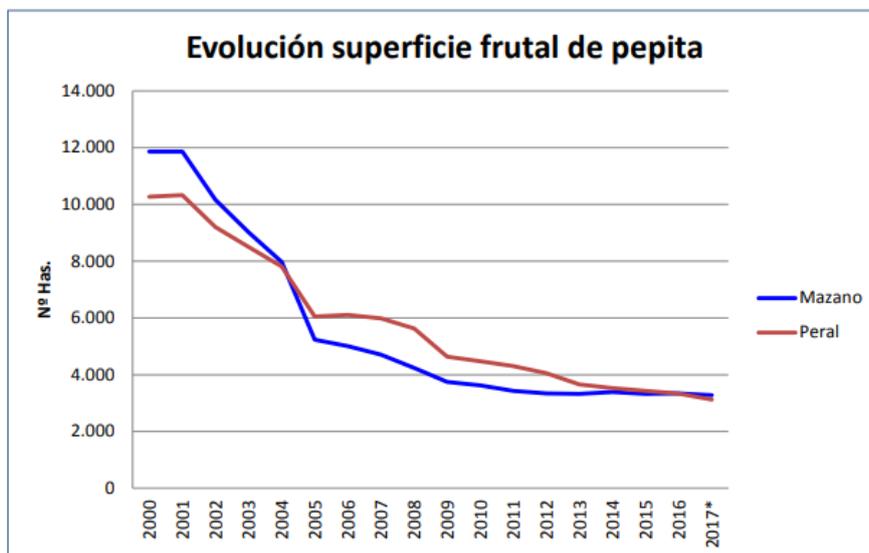


Tabla 4 Evolución de la superficie frutal de pepita

Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

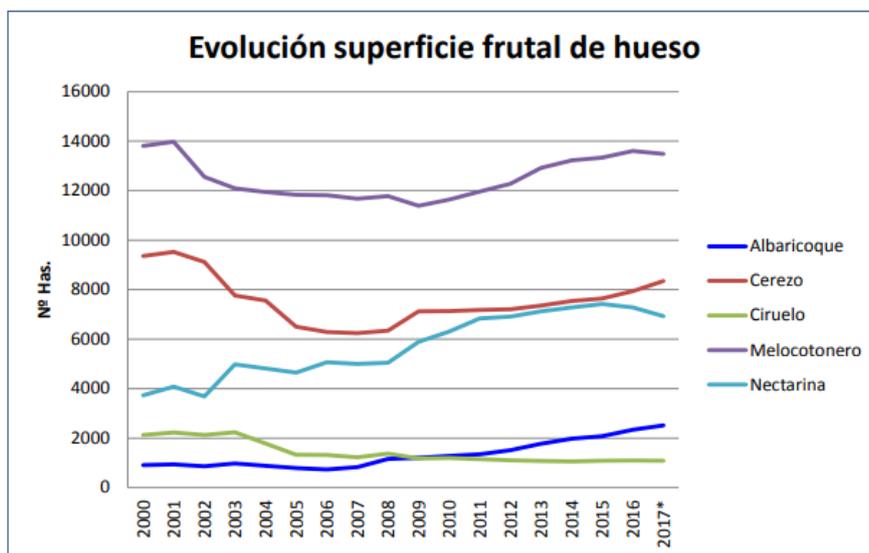


Tabla 5 Evolución de la superficie frutal de hueso

Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

Aunque la evolución parece desfavorable, ya que hay menor número de hectáreas plantadas en todos los casos, exceptuando el albaricoque y la nectarina, no tiene por qué hacer referencia a una menor producción o una merma de la calidad, más bien a una especialización de las zonas y de los cultivos aumentando los rendimientos.

Una vez más con la ayuda de distintos gráficos se observará la evolución de los cultivos de frutales, pero esta vez comparando entre las comarcas predominantes en este sector ya nombradas anteriormente.

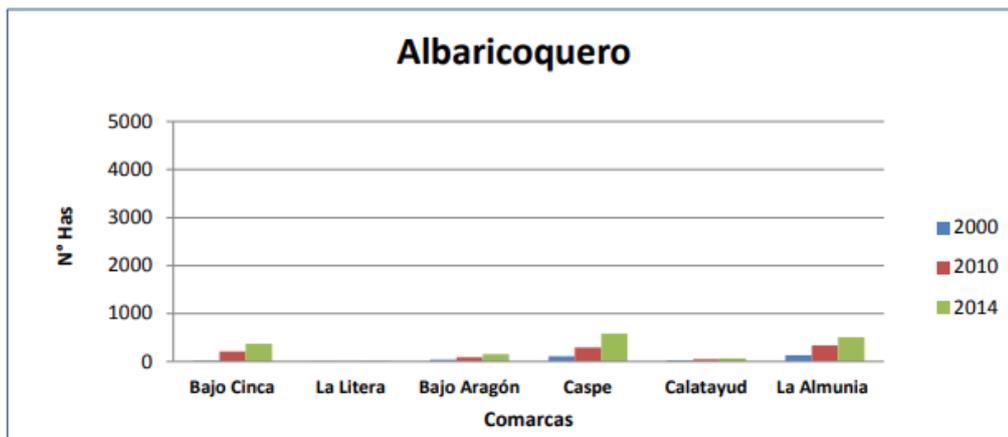


Tabla 6 Producción de Albaricoque

Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

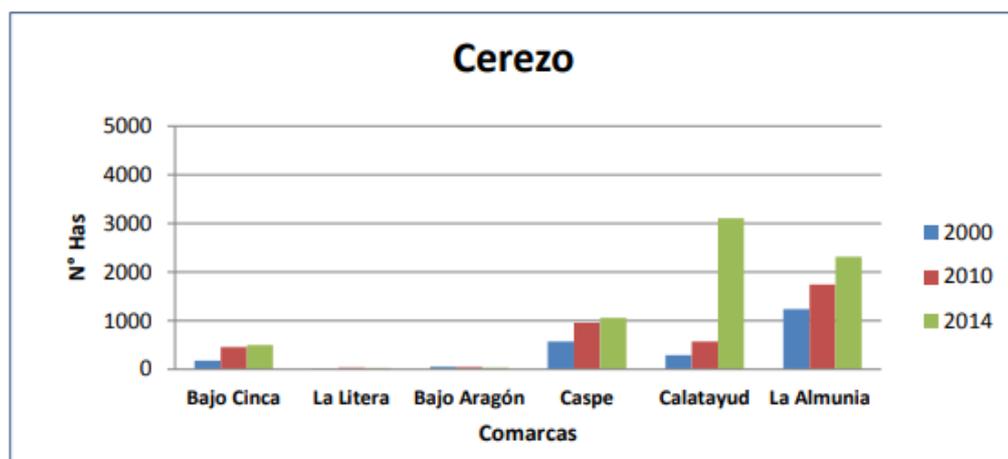


Tabla 7 Producción de Cerezo

Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

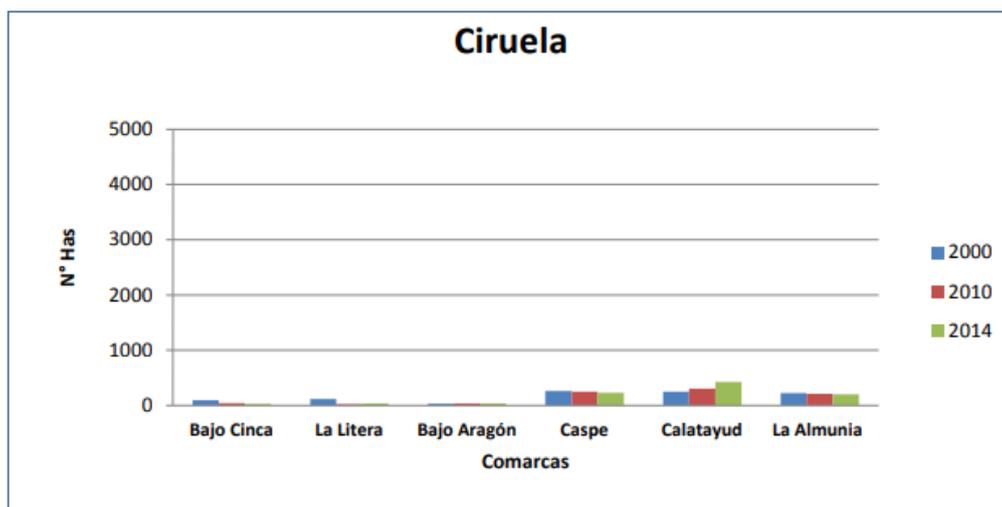


Tabla 8 Producción de Ciruela

Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

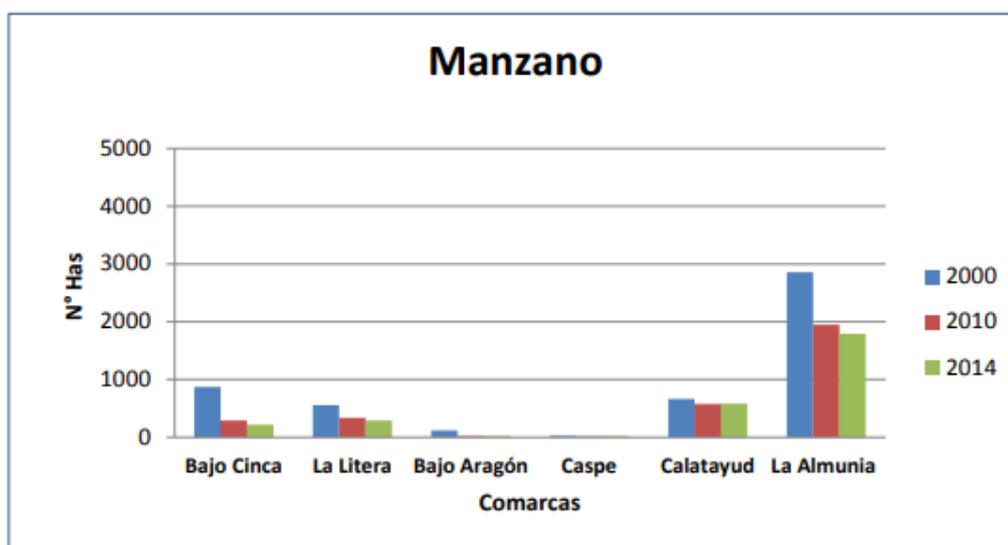


Tabla 9 Producción de Manzano

Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

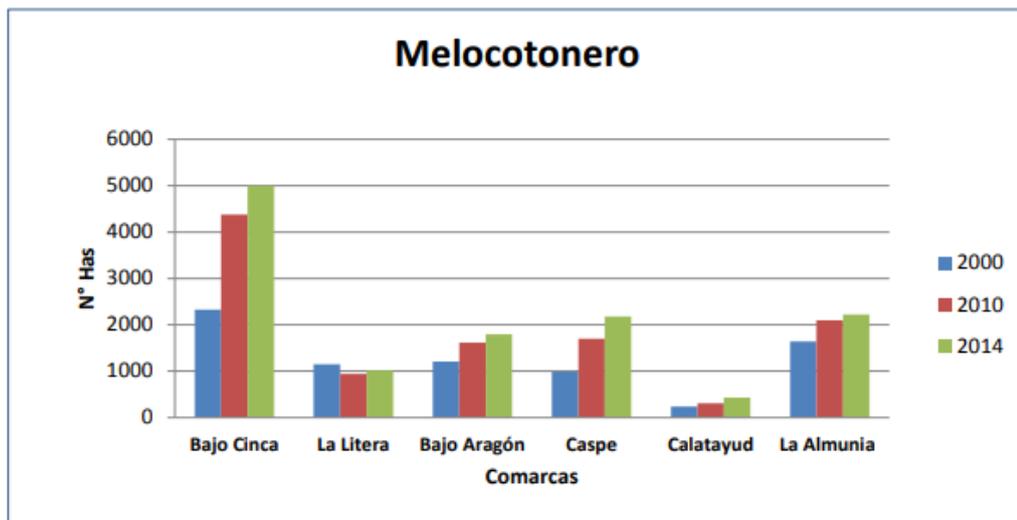


Tabla 10 Producción de Melocotonero

Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

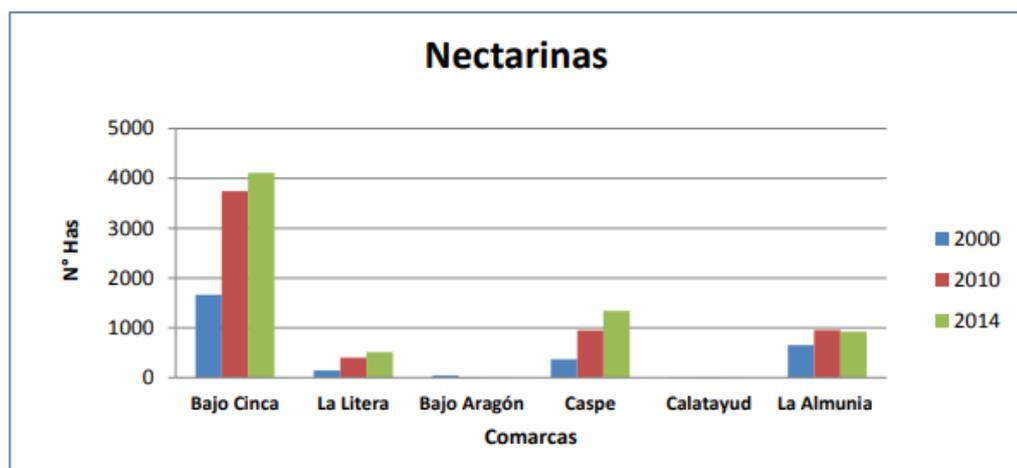


Tabla 11 Producción de Nectarina

Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

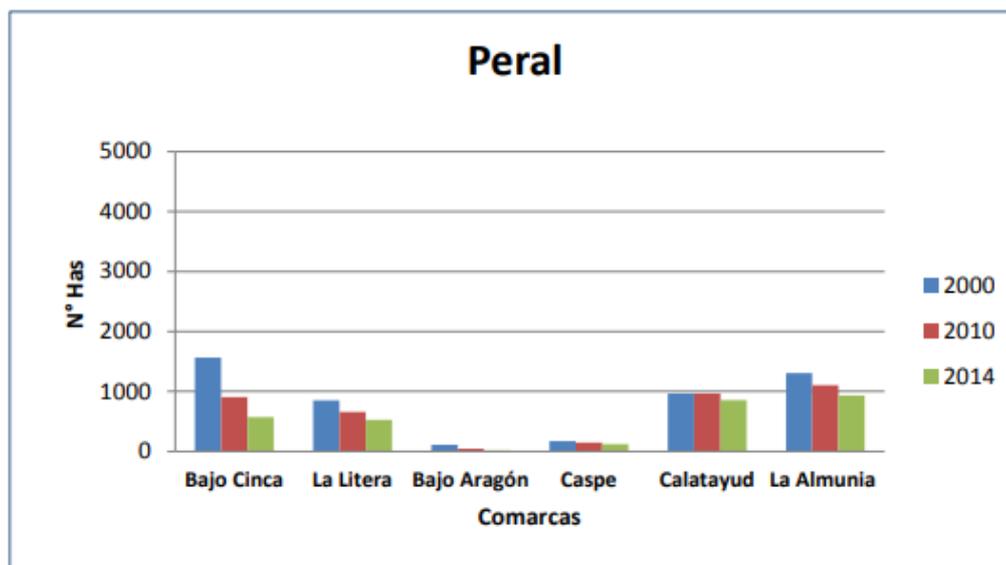


Tabla 12 Producción de Peral

Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

El resumen de las tablas anteriores es el siguiente:

- **Albaricoque:**

- Zonas Predominantes: Caspe, la Almunia y el Bajo Cinca.
- Ocupación: más de 2.000 Has. en todo Aragón.
- Características: Tipo frutal de poca relevancia.

- **Cerezo:**

- Zonas Predominantes: El Bajo Cinca, Caspe, Calatayud y La Almunia.
- Ocupación: Es el segundo tipo frutal más extendido, superando las 8000 Has.
- Características: La mayor concentración se ha encontrado siempre en La Almunia (de 1.000 Has en el año 2000 hasta 2.000 Has en el 2014), pero en los últimos años a tenido un gran auge en la zona de Calatayud ocupando una superficie de más de 3000 Has.

- **Ciruela:**
 - Zonas Predominantes: Caspe, Calatayud y La Almunia.
 - Ocupación: Aproximadamente 1.000 Has.
 - Características: Fruta de menor importancia junto con el Albaricoque.

- **Manzana:**
 - Zonas Predominantes: Calatayud y La Almunia.
 - Ocupación: Aproximadamente 3.000 Has.
 - Características: Una merma del número de hectáreas muy sustancial, pasando de casi 12.000 en el año 2000, hasta las 3.000 Has en la actualidad. La zona predominante es La Almunia con casi 2.000 Has.

- **Melocotonero:**
 - Zonas Predominantes: Todas, aunque Calatayud en bastante menor medida.
 - Ocupación: Cercana a las 14.000 Has.
 - Características: Es la fruta más extendida con una gran diferencia con el resto. Aunque su ocupación disminuyó entre el 2002 y el 2013, la ha recuperado en gran medida. El bajo Cinca es la zona con mayor predominio llegando a las 5.000 Has.

- **Nectarina:**
 - Zonas Predominantes: Bajo Cinca, Caspe, La Almunia y en menor medida la Litera.
 - Ocupación: Cercana a las 7.000 Has
 - Características: Es la tercera en cuanto a ocupación. Predominante en el Bajo Cinca llegando a superar las 4.000 Has, muy por encima del resto.

- **Peral:**
 - Zonas Predominantes: Bajo Cinca, La Litera, Calatayud, La Almunia.
 - Ocupación: Similar a la de la manzana, unas 3.000 Has.
 - Características: Al igual que la manzana ha habido un decrecimiento muy sustancial de la ocupación, produciéndose que en zonas como el bajo Cinca descienda en casi 1.000 Has.

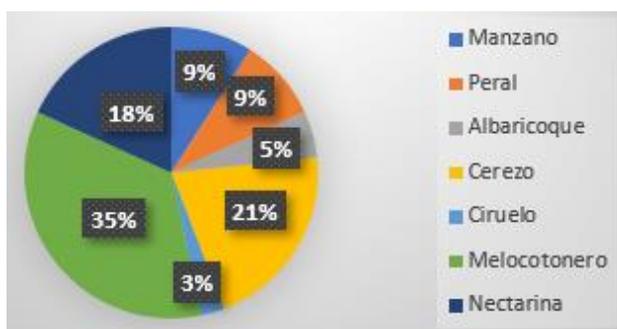


Tabla 13 Ocupación en el año 2000

Elaboración Propia. Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

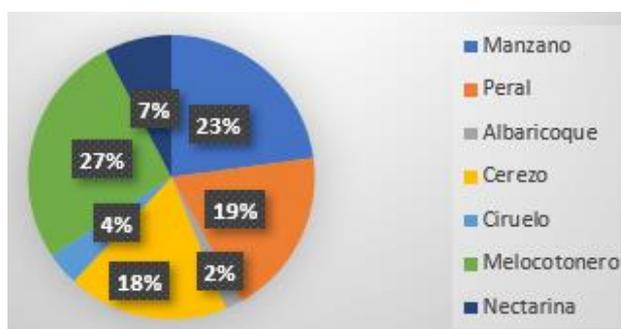


Tabla 14 Ocupación en el año 2017

Elaboración Propia. Fuente: I Encuentro Postcosecha noviembre 2017

4.1.3. *La Importancia de la Post-Cosecha en la Fruticultura*

A pesar de que ya ha sido nombrada con anterioridad de manera directa e indirecta, este punto es uno de los más importantes en el tema de la fruticultura. Aunque para mejorar en este campo se realice una gran inversión en la plantación frutal (mayor cantidad de árboles plantados y mejora de las técnicas frutícolas), estos esfuerzos servirán de poco si el fruto no tiene un seguimiento y unos tratamientos de conservación para poder ser exportado y distribuido con la calidad exigida por los compradores.

El sistema postcosecha debería empezar en el momento y en el lugar de la cosecha y terminar en la mesa del consumidor. De un extremo al otro, debería asegurarse una renta máxima a todos los que intervienen, minimizando a la vez las pérdidas y maximizando los beneficios (Spurgeon, 1976).

En la actualidad las técnicas son muy diversas, desde un simple termostato en una cámara frigorífica hasta la evaluación de los daños de una fruta por medio de la visión artificial. Hay que realizar una diferenciación de qué medidas se pueden obtener en cada caso y cuáles son efectivas, ya que el fruto va evolucionando a lo largo de todo el proceso definido por David Spurgeon.

4.1.3.1. *Parámetros Medibles*

Para saber cuáles son las técnicas y procesos de obtención de la calidad con un máximo beneficio, primero se ha de conocer cuáles son las características que tiene el fruto y cuáles de éstas tienen posibilidad de medición. A su vez, la forma de medir estas características es un punto muy importante, pues debemos diferenciar si se puede medir directamente o se necesita alguna acción de preparación.

A través de varias tablas se mostrarán todos los parámetros en torno a la **calidad del fruto y las distintas formas de medición** que se realizan en la actualidad.

MARCO TEORICO

Con esta tabla se establecen las primeras divisiones entre los parámetros, separándolos en Apariencia y Color, Frescura y Madurez, Sabor y Aroma, Valor Nutritivo y Seguridad. Estos Aspectos de la calidad son los parámetros que los consumidores más aprecian de un producto por lo que son sobre los que se debe trabajar.

Aspecto de la Calidad	Apariencia y Condición	Frescura y Madurez	Sabor y Aroma	Valor Nutritivo	Seguridad
Parámetros de cada Aspecto	Forma Compacidad Uniformidad Defectos	Color Tamaño Brillo Textura Firmeza Crocantez Jugosidad Fibrosura Harinosidad	Dulzura Acidez Amarguez Astringencia Aroma Volátil Olores y Sabores Extraños	Carbohidratos Proteínas Lípidos Vitaminas Minerales Fitoquímicos	Toxinas Naturales Contaminantes Abióticos Micotoxinas Contaminación Microbiana

Tabla 15 Percepción de la Calidad

Elaboración Propia. Fuente: Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas

Aspecto	% de Respuestas
Apariencia y Condición	97
Sabor y Aroma	96
Frescura y Madurez	96
Precio	70
Certificados de Plaguicidas	68
Valor Nutritivo	66
Vida	60
Tamaño	45
Temporada	41
Contenido Calórico	26
Producción Orgánica	22
Origen	19
Marca Comercial	10

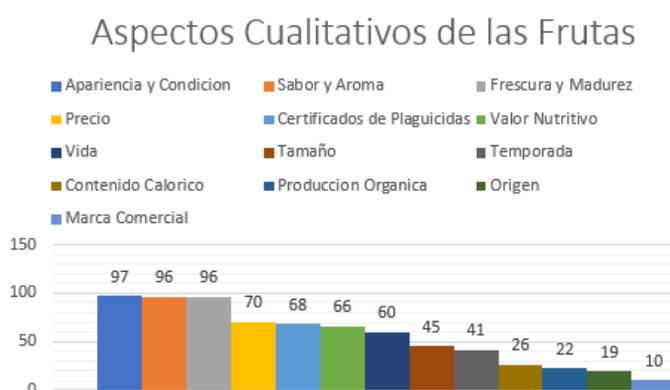


Tabla 16 Aspectos Cualitativos de las Frutas

Elaboración Propia. Fuente: Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas

Es importante saber en cada momento, cuáles son los parámetros a los que debemos dar prioridad, ya que las técnicas y gamas de productos no evolucionan por sí solas, sino que son las preferencias de los consumidores las que producen que se amplíen más unas ramas que otras.

Las siguientes tablas hacen referencia a esa información, destacando los aspectos que son de mayor importancia y, por lo tanto, los que se desarrollan en mayor medida. Algunos datos como la vida, el origen o el tipo de producción (orgánica⁴ o no), no se miden a través de aparatos o sistemas de medida, pues esta información está catalogada ya en los productos, sin embargo, otros como la apariencia, el sabor o el tamaño han de someterse a controles de calidad exhaustivo.

Todos los procesos o aparatos de medición nombrados en estas tablas son operativos hoy día, a excepción del aroma, pues, aunque es un elemento en el que se sigue trabajando, entraña más dificultad que el resto.

	Característica Medible	Aparato o Forma de Medida
Parámetros de Calidad Relacionados con el Aspecto Externo	Color y su distribución	Cartas Patrón Colorímetro Manual Colorímetro Digital Análisis de Imagen
	Defectos Externos	Plantillas Análisis de Imagen Reflectancia UV
	Residuos externos y Plaguicidas	Análisis Químico Sensores Ópticos
	Hongos Incipientes	Reflectancia UV Reflectancia VIS

Tabla 17 Parámetros de Calidad Relacionados con el Aspecto Externo

Elaboración Propia. Fuente: Propiedades cualitativas de las frutas. ¿Qué se puede medir hoy?

4 Producción Orgánica: No utilización de recursos no renovables, plaguicidas y fertilizantes sintéticos, con el fin de proteger el medio ambiente y la salud humana.

MARCO TEORICO

	Característica Medible	Aparato o Forma de Medida
Parámetros de Calidad Relacionados con el Aspecto Físico-Mecánico	Forma y Tamaño	Plantillas Manuales Sensor Ultrasonidos Sensor IR Análisis de Imagen
	Peso	Celda de Carga Balanzas manuales
	Firmeza y Dureza	Penetrómetro y Durómetro Impactado Resonancia Acústica
	Daños por Frio	Rayos X Resonancia Mecánica Sensor NMR
	Defectos internos de Textura	Compresión Confinada Impactos de Ultrasonidos Sensor NIR Sensor NMR

Tabla 18 Parámetros de Calidad Relacionados con el Aspecto Físico-Mecánico

Elaboración Propia. Fuente: Propiedades cualitativas de las frutas. ¿Qué se puede medir hoy?

	Característica Medible	Aparato o Forma de Medida
Parámetros de Calidad Relacionados con el Aspecto Químico	Color Interno	Colorímetro VIS
	Residuos en el interior del fruto	Análisis Químico Sensor NIR Sensor NMR
	Contenido en Azúcar	Grados Brix Sensor NIR Sonda Óptica
	Contenido en Ácidos	Valoración Química Sensor NIR
	Aromas	Sensores de Aromas

Tabla 19 Parámetros de Calidad Relacionados con el Aspecto Químico

Elaboración Propia. Fuente: Propiedades cualitativas de las frutas. ¿Qué se puede medir hoy?

4.1.3.2. Sensores y Campo de Aplicación

Anteriormente, se han dividido los sensores en tres grupos principales, por lo que se seguirá el mismo orden para definir cada uno de ellos, saber cómo funcionan, que tecnologías los componen y sus posibilidades en unos cultivos y en otros.

- **Cartas Patrón:**

Es la forma más tradicional de medir el **color externo**. A través de unas cartas de colores se observa que color debería tener la fruta en cada parte de su ciclo de maduración.

La mayor desventaja de este método es que depende del ojo del observador. Lo más probable es que si dos personas miden a través de este método las piezas de fruta se obtendrán resultados diferentes, ya que la lectura de precisión de colores por parte del ojo humano se ve afectada por infinidad de factores. La ventaja es la facilidad de medición ya que simplemente se compara la fruta con la plantilla y se toma una decisión.

En la siguiente imagen se observa el color RGB⁵ con respecto del color de la fruta para poder comparar si esta está teniendo un desarrollo adecuado, viendo la variación que hay entre días.

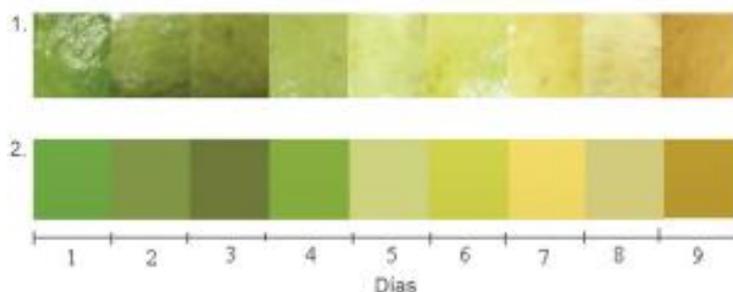


Ilustración 3 Cartas Patrón recolección temprana de Guayaba

*Fuente: DETERMINACIÓN DEL COLOR DEL EXOCARPIO COMO INDICADOR DE DESARROLLO FISIOLÓGICO Y MADUREZ EN LA GUAYABA PERA (*Psidium guajava* cv. *Guayaba pera*), UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES*

⁵ Color RGB: Es un modelo de color por el cual podemos representar cualquier color mediante la mezcla de los tres colores de luz primarios.

- **Colorímetro:**

La colorimetría es la disciplina que estudia el color de los objetos y sus percepciones, así como los valores numéricos a través de los cuales se miden los colores.

Un colorímetro digital **mide el color** emitiendo una luz definida e iluminando lo que se desea medir, tras esto se mide la luz reflejada de modo espectral. El espectro reflejado es contrastado con los tres espectros de luz (Rojo, verde y azul) del sistema de percepción humano obteniendo así las coordenadas cromáticas X, Y y Z.

El colorímetro manual es muy similar a las cartas patrón y tiene las mismas desventajas y ventajas que se han nombrado en ellas, el colorímetro digital, aunque depende de la precisión del aparato y de las condiciones en las que se realicen las pruebas, sin embargo, si todas las muestras y calibraciones se realizan en las mismas condiciones, se obtendrán resultados óptimos.



Ilustración 4 Colorímetro Digital

Fuente: tpmequipos.com

- **Análisis de imagen:**

Es la interpretación de imágenes por medio de un software. Se comparan unos parámetros prefijados con la lectura de los parámetros de un determinado fruto. Esto nos permite obtener el tamaño, el color e incluso defectos superficiales.

Es una técnica muy utilizada en la actualidad, dada la cantidad de información diferente que se puede analizar por medio de un solo elemento. El objetivo es que a través de un ordenador o procesador se pueda captar una imagen real, interpretarla transformándola en un lenguaje inteligible por este y, por último, procesarla obteniendo la información que se requiera.

Las mayores ventajas de este medio es la velocidad con la que se pueden tomar las muestras y los diversos parámetros medibles. Las desventajas son la necesidad de cámaras de precisión, la lenta velocidad de procesamiento y los errores debidos a los cambios en la luminosidad, reflejos, etc.

- **Plantillas de defectos externos**

Tienen el mismo principio que el colorímetro manual o las cartas patrón, se comparan los defectos de las muestras con los de las plantillas mediante la visión humana. Las desventajas y ventajas son prácticamente las mismas.

- **Cámara Térmica:**

Es un tipo de dispositivo que se vale de emisiones de infrarrojos medios del espectro electromagnético, transformando a imágenes las formas detectadas, coloreándolas dependiendo de la temperatura de dichas formas. Puede ser en una escala blanca, negra y de grises o en una escala cromática utilizando colores como los que se aprecian en la siguiente imagen.

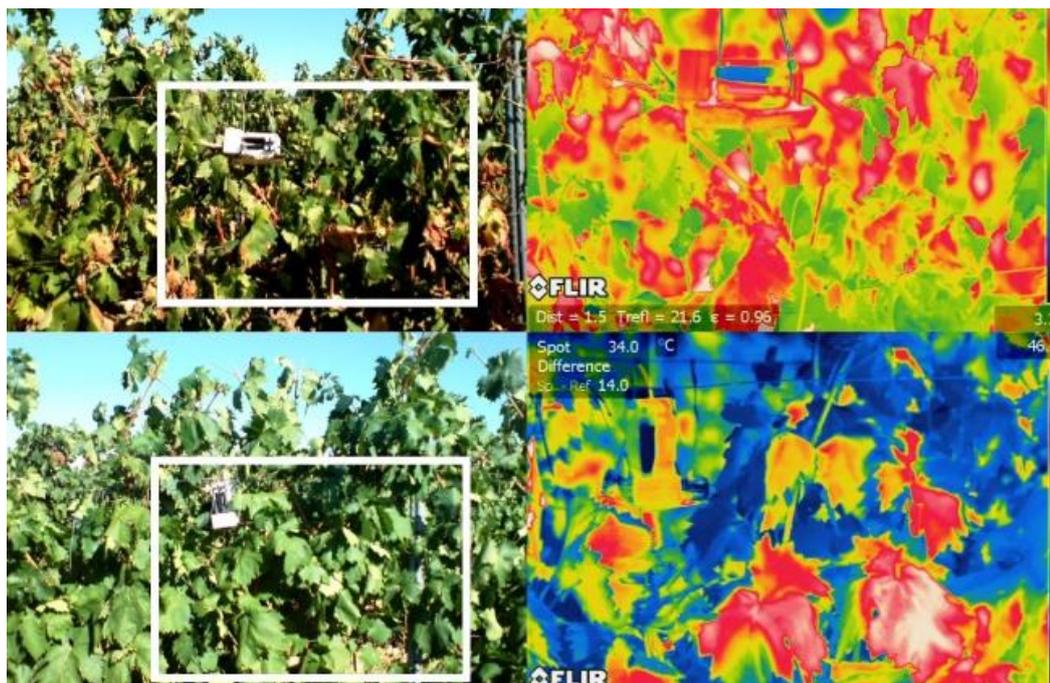


Ilustración 5 captura de imágenes con cámaras térmicas, que analizan toda la estructura de la planta.

Fuente: elmercurio.com

Las aplicaciones de esta tecnología van desde detectar que zonas han de ser regadas por su temperatura, hasta la detección de defectos o daños superficiales en cultivos. Es un método no destructivo, portátil, y que obtiene resultados de manera inmediata.

- **Reflectancia UV:**

Es un método por el cual se utiliza la radiación electromagnética de la región ultravioleta. Se utiliza para identificar algunos grupos funcionales de moléculas y para determinar el contenido y fuerza de una sustancia.

El principio físico en el que se basa es la **excitación de los electrones de valencia**. Cuando se pasa un electrón de la capa de valencia de un estado basal⁶ a un estado excitado se libera el exceso de energía en forma de calor, de esta manera podemos realizar una medición y obtener información sobre el entorno de las especies metálicas y orgánicas del elemento.

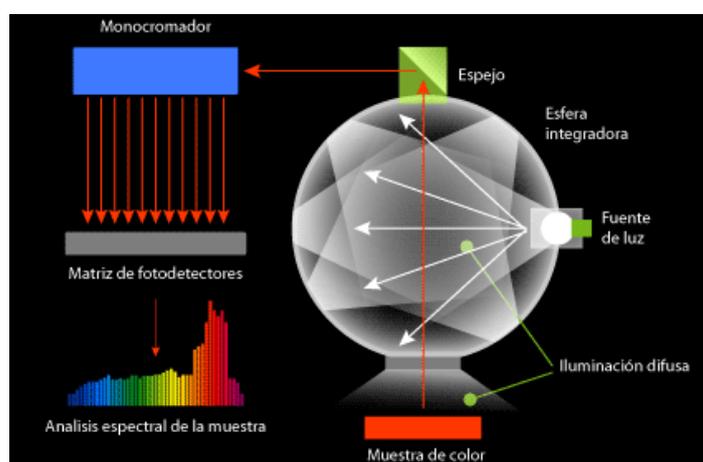


Ilustración 6 Espectrofotómetro de reflectancia

Fuente: gusgsm.com

- **Análisis Químico:**

Estudio de la composición química de una muestra a través de la química analítica. Hay numerosas formas de realizar un análisis químico y numerosos son también los instrumentos de medida, pero en general se basan en dos partes, o se identifica la sustancia o sustancias de las que se compone la muestra, o se busca y determina la cantidad o concentración en la que se encuentra la sustancia que se desea comprobar.

⁶ Estado Basal: Es el estado fundamental de un cuerpo, es decir, el estado cuántico de menor energía.

- **Sensores Ópticos:**

Son todos los sensores con la capacidad de detectar distintos factores a través de una lente óptica, aprovechando la interacción entre la luz y la materia.

Hoy día tienen numerosas aplicaciones en muchos campos de la industria alimenticia, desde el control de determinados gases en cámaras de refrigeración, hasta la detección de sustancias peligrosas en la misma planta. Son un método que no necesita de la destrucción del elemento a muestrear y que se puede transportar de manera sencilla pudiendo analizar cualquier punto de la producción, sin embargo, el alcance de detección es bastante limitado y son sensibles a los factores ambientales.



Ilustración 7 Sensor de Fibra Óptica Automatizado

Fuente: Sensores de fibra óptica para la detección de compuestos orgánicos volátiles basados en Xerogeles Silíceos Híbridos

- **Reflectancia VIS:**

Es un método similar a la reflectancia UV, pero en vez de utilizar la **radiación electromagnética** de la región ultravioleta cercana, utiliza la de la **región visible**.

El funcionamiento es el mismo, pasar un electrón de un estado fundamental a un estado excitado obteniendo información de la muestra.

- **Plantillas Manuales:**

Las plantillas manuales son otro método como las plantillas de defectos externos o de color, pero que se utiliza para la forma y el tamaño. La fruta se hace pasar por unos círculos calibrados y, como si se tratara de un calibre, puede pasar o no, obteniendo su tamaño aproximado.

Es un método muy extendido porque no entraña dificultad alguna, sin embargo, los errores en las mediciones son notables y la velocidad y precisión con la que se realiza el método no tiene nada que ver con la de otros métodos.



Ilustración 8 Plantillas de Calibración Manual

Fuente: Sistema electrónico de calibración de fruta por diámetro

- **Sensor de Ultrasonidos:**

Es un dispositivo capaz de medir distancias a través del tiempo que tarda en recibir un pulso que ha emitido. Este pulso es de alta frecuencia, es decir, no audible por el ser humano. El pulso emitido, rebota en los objetos cercanos y es reflejado hacia el sensor, el cual dispone de un micrófono adecuado a la frecuencia de dicho pulso.

Para obtener la información acerca de la distancia, se mide el tiempo entre pulsos, y sabiendo la velocidad del sonido, estimamos la distancia al objeto.

$$Distancia (cm) = \frac{0.5 * tiempo (\mu s)}{V_{sonido} (cm/\mu s)}$$

El que sea la mitad del tiempo se debe a que medimos desde que se emite, hasta que choca con el objeto y vuelve del objeto hasta el sensor, es decir, el sensor mide el doble del recorrido.

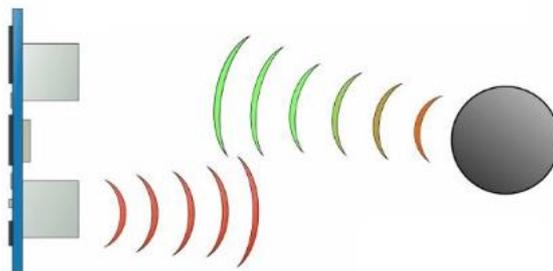


Ilustración 9 envío y Recepción de la Señal por Ultrasonidos

Fuente: www.luisllamas.es

- **Sensor IR:**

Con este método conjunto podemos obtener de manera automatizada el tamaño, peso y forma de cualquier fruta (siempre que la piel de esta devuelva el rayo infrarrojo).

En relación con el sensor IR el método es la utilización del espectro infrarrojo para emitir una señal de luz infrarroja, recibiendo el rebote de esta sobre el elemento y calculando a través del tiempo que ha tardado en recibir el rebote, la distancia exacta a la que se encuentra el elemento. Es un método muy utilizado hoy día no solo para calcular el tamaño o medir una distancia, sino también para detectar un elemento móvil o marcar un fin de carrera.

- **Celda de Carga:**

Una celda de carga es un transductor capaz de convertir una fuerza en una señal eléctrica, a través del uso de unas galgas internas. El tipo de celda de carga, marca a su vez el peso máximo que puede aguantar.

La celda de carga transmite al controlador la información con la ayuda de un módulo, cuya función es leer la lectura analógica del puente de Wheatstone, situado en el interior de la celda de carga y transformarla a digital con su conversor interno.



Ilustración 10 Celda de Carga y Transmisor HX711

Fuente: naylampmechatronics.com

- **Penetrómetro y Durómetro:**

La dureza de la fruta es uno de los marcadores más importantes de la madurez de la misma. Con este dispositivo se puede controlar si el estado de maduración es el adecuado cuando se va a producir la recolección o si la fruta va logrando los objetivos de maduración a lo largo de su vida en el árbol.

La diferencia principal entre un penetrómetro y un durómetro en el campo frutícola es la dureza de la propia fruta. El penetrómetro se utiliza en frutas duras como la pera, la manzana y el aguacate, mientras que el durómetro se utiliza en frutas blandas siendo un medidor no destructivo (Ejemplos de frutas medidas por durómetro son el tomate, la cereza, la uva o la ciruela).

La **dureza y firmeza** son dos parámetros muy importantes ya que nos dan información no solo de si es una fruta optima si no que a través de ellos podemos aproximar el tiempo que debe ser guardada en cámara y venderse como fruta fresca o si va a poder aguantar grandes viajes cuando se va a destinar a la exportación.



Ilustración 11 Penetrómetro

Fuente: infoAgro.com

Cada fruta tiene distintos índices de firmeza y dureza, con la siguiente tabla se observa distintos tipos de frutas y variedades de las mismas con sus índices de dureza recomendables para su recogida y el tipo de punta con el que se debe realizar el análisis.

Tipo de Fruta	Variedad	Punta Penetrómetro	Dureza (Kg)
Ciruela	Gioccia d'oro	Pequeña	4,9
	Santa Rosa	Grande	6,7-7,2
	Satsuma	Grande	4,5
	Satsuma	Pequeña	2,7
Pera	Conferencia	Pequeña	5,0-6,5
	Guyot	Pequeña	3,5
	Packham's	Pequeña	5,5-6,5
	William	Pequeña	8,1-9,4
	Decana del Comizio	Pequeña	4,0-5,4
Manzana	Golden Delicious	Grande	7,0-7,5
	Golden Smith	Grande	6,0-6,5
	Romme Beauty	Grande	5,0-6,0
	Granvenstein	Grande	7,0-7,5
Melocotón	Hale	Pequeña	4,5-5,8
	Elberta	Pequeña	4,9-6,3
	Red Haven	Pequeña	4,5-5,8
	Early Crawford	Pequeña	5,4-6,7

Tabla 20 Valores como resultado de un análisis de dureza por Penetrómetro

Elaboración propia. Fuente: infoAgro.com

El manual de uso de este aparato sería el siguiente: (InfoAgro, s.f.)

1. Coger el penetrómetro entre el pulgar y el índice de la mano derecha. Apretar el botón de encendido.
2. Situar la punta sobre el fruto y apretar progresivamente hasta hacer penetrar en la pulpa del fruto. Para cuando se alcanza el corte visible en el puntal. El puntal tiene que entrar en la pulpa progresivamente y no de golpe, si no la medición no será correcta.
3. Para evitar posibles errores de medición y controlar mejor la penetración del puntal, apoyar la mano izquierda con el fruto a la pared, entonces con el brazo derecho rígido, apretar sobre el penetrómetro sobre el cuerpo.
4. La lectura correcta será el valor medio de varias medidas.

- **Impactador:**

Se basa en impactar la fruta con un cuerpo esférico de masa y radio de curvatura conocido, midiendo la aceleración que sufre dicho cuerpo obteniendo como resultado de esta medición **la firmeza**.

Es una técnica que se ha de realizar en laboratorio con un equipo de alta precisión, ya que, si no, los resultados varían mucho los unos de los otros. Tiene ventajas en cuanto a la precisión de resultados frente a otros sensores de fuerza que miden la fuerza en función del tiempo, pero las mayores desventajas que presenta son las nombradas anteriormente, que el equipo no es portátil por lo que no se puede realizar el estudio en la misma explotación agrícola y es un equipo que tienen que estar muy bien calibrado y de alta precisión porque si no los resultados variarían los unos de los otros sin poder obtener información fiable.



Ilustración 12 Impactador

Fuente: Valero_34.PDF

- **Resonancia Acústica:**

La resonancia acústica es un método muy empleado para determinar, en muestras de materiales homogéneos, las características elásticas de los mismos, sin tener que realizar otros métodos que en su mayoría son destructivos, como un análisis elástico por compresión.

El método que sigue esta técnica se basa en aplicar energía que, en las frecuencias resonantes del material, se ve amplificada. El valor de la frecuencia resonante está relacionado con la geometría, la densidad y las propiedades elásticas de la muestra. Con todo esto es posible establecer en sustancias homogéneas y de geometrías simples expresiones que relacionen las propiedades del material y sus propiedades geométricas, con las frecuencias resonantes.

En el campo frutícola este método se enfrenta al problema de que las muestras a analizar ni son homogéneas ni tienen geometrías sencillas, sin embargo, se han realizado múltiples estudios con óptimos resultados.

Las **dos formas principales** de realizar este método han sido:

- Golpear el objeto y observar el sonido producido para poder determinar el estado de madurez
- Someter el objeto a una vibración forzada de modo que esta señal mecánica era transformada a señal eléctrica representándola como una onda con una amplitud determinada.



Ilustración 13 Sensor Acústico de firmeza

Fuente: horticom.com

Ambos dos métodos hoy se destinan para obtener resultados relacionados con la firmeza y con el coeficiente de rigidez.

- **Rayos X:**

A través de esta forma de medición podemos observar las características internas de las frutas sin tener que destruir la muestra. El proceso de la medición es simple, se irradia las frutas con un láser de baja intensidad y se analizan los resultados, pero la obtención e interpretación de los datos se ha de realizar por personas cualificadas por su complejidad.

Esta prueba no es perjudicial para el posterior consumo de las frutas siempre y cuando las concentraciones de los elementos irradiados sean menores o iguales a 10 kGy⁷.

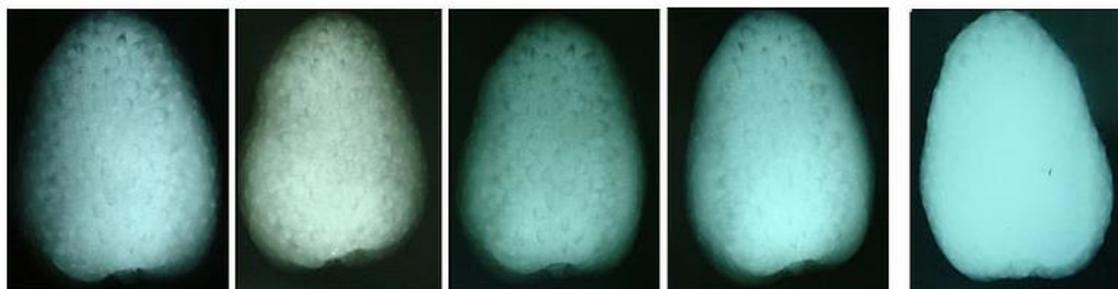


Ilustración 14 Radiografía del Proceso de Maduración de la Guanábana

Fuente: Agencia de Noticias UN

- **Resonancia Mecánica:**

Anteriormente se ha hablado de resonancia acústica, la cual es un caso particular de la resonancia mecánica. Se aplica una fuerza periódica que perturbe el estado natural del cuerpo, de modo que este, vibre acercándose al periodo de vibración característico del mismo.

La fuerza a la que se somete se lleva a cabo mediante el uso de un péndulo u otro elemento de condiciones similares, con el que, mediante el empuje o el impacto sobre la fruta, se lleve esta al estado de vibración periódica.

⁷ KGy (kilogray): El Gray Es una unidad derivada del sistema internacional de medidas que mide la dosis absorbida procedente de radiaciones ionizantes por un determinado material.

- **Sensor NMR:**

Es un sensor de resonancia magnética nuclear que utiliza las propiedades mecánico-cuánticas de los núcleos atómicos. Es un método no destructivo que da la posibilidad de observar la composición interna de la fruta, sin ser invasiva, es decir, se puede reutilizar el producto sin que sufra ningún daño.

A través de esta técnica se puede observar la microestructura de la fruta, observando desde poros internos en esta, hasta en que compartimentos celulares se encuentra el agua. Con esta información podemos determinar que procesos son aplicables a cada fruta (Desecación, Rehidratación, Congelación, etc.).

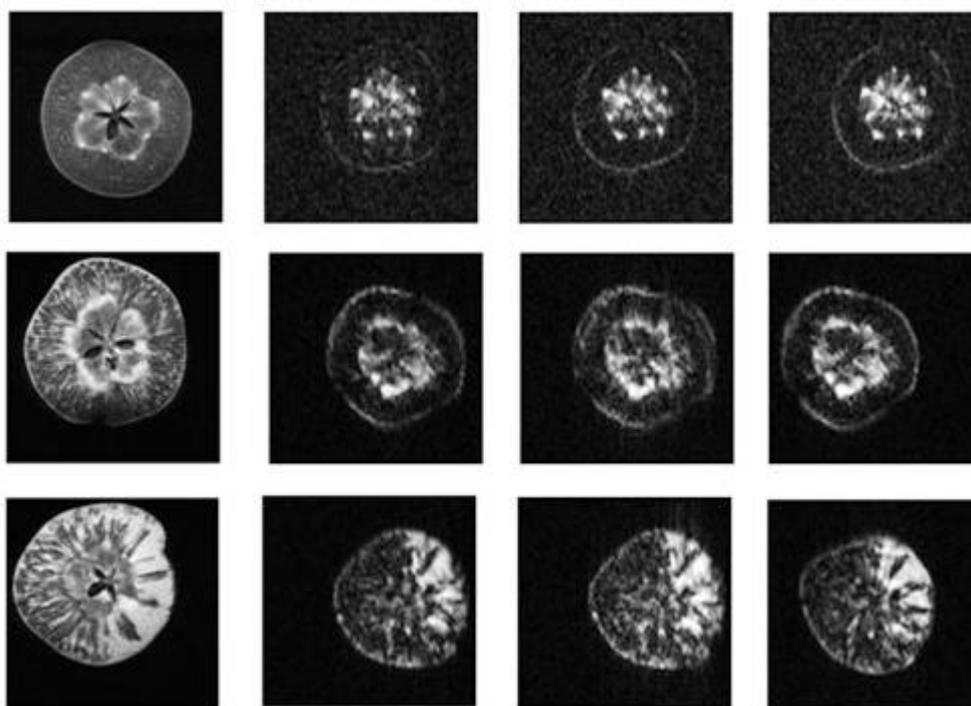


Ilustración 15 Imágenes de Resonancia Magnética Nuclear

Fuente: Resonancia magnética para revelar la calidad interna de los alimentos (UMP)

En estas imágenes podemos observar las dos partes de las que se compone el estudio sobre resonancia magnética nuclear de la universidad de Madrid. La primera columna son imágenes en estado estático de muestras con distintos grados de una afección llamada Vitrescencia⁸. Las otras columnas son las mismas muestras, pero adquiridas en estado dinámico.

⁸ *Vitrescencia: es la aparición de zonas vítreas en la pulpa del fruto, que se inicia en el interior del fruto, pero alcanza rápidamente el exterior.*

- **Compresión Confinada:**

Es un tipo de ensayo en el cual la muestra se coloca en una probeta cilíndrica, sometiéndola a una compresión sin posibilidad de desplazamiento radial y comprimiendo el flujo del fluido interior en esa misma dirección radial.

Se obtienen datos de la tensión nominal aplicada, de la deformación longitudinal y del desplazamiento del jugo sobre el filtro colocado debajo de la probeta.

Los elementos con los que se realiza la compresión pueden ser desde un vástago acabado en una semiesfera hasta un sacabocados cilíndrico.



Ilustración 16 Ensayo de Compresión Confinada Realizado por la Universidad de Madrid

Fuente: Medida Instrumental de la Harinosidad en manzana

- **Impactos de Ultrasonidos:**

Las ondas ultrasónicas son ondas cuya frecuencia está por encima del umbral de percepción del oído humano que se han utilizado a lo largo de los años con muchos fines científicos, destacando sobre todo su uso en medicina. Su gran utilización se debe principalmente a que son ondas inocuas y limpias que no afectan a la muestra sobre la que se realiza.

En el ámbito alimenticio los ultrasonidos se utilizan tanto para obtener información del interior del fruto (defectos, enfermedades, agentes externos, etc.) como para algunas técnicas de conservación de alimentos como el secado, congelado y descongelado.

Con la siguiente imagen se aprecia como se realiza un examen por ultrasonidos en un laboratorio.

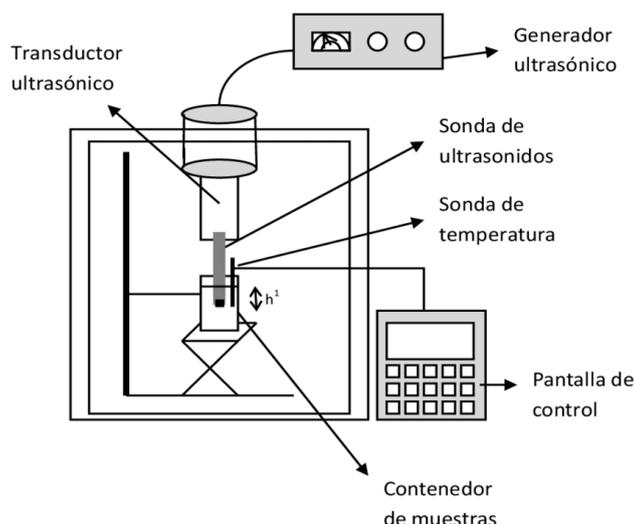


Ilustración 17 Representación esquemática de una sonda de ultrasonidos

Fuente: researchgate.net

- **Sensor NIR:**

Los sensores NIR hacen referencia a la región espectral del infrarrojo cercano que abarca desde los 780 nm hasta los 3000 nm. Estos sensores han pasado de no tener utilidad a considerarse, en la actualidad, métodos precisos y reproducibles para un análisis cuantitativo y cualitativo.

Entre las ventajas de la tecnología NIRS se destaca la rapidez de este método, la facilidad de manejo, la baja o nula necesidad de preparación de la muestra, el empleo de procedimientos no destructivos, la posibilidad de análisis de varios constituyentes de manera simultánea, la ausencia de residuos en la muestra, el bajo coste de mantenimiento y la alta velocidad de respuesta para la toma de decisiones.

Las desventajas también tienen que ser tenidas en cuenta, ya que la calibración ha de realizarse con método de referencia, hay una falta de personal especializado y este método se ve influido por factores externos como la temperatura o la humedad.

En la parte que mayor investigación y aplicación tiene esta tecnología es en el estado de madurez y contenido de azúcares de la fruta, más concretamente en la industria vitícola, ya que es el parámetro más importante de esta.



Ilustración 18 Sensor NIR

Fuente: SparkFun

Esta imagen corresponde a un módulo de Sensor NIR compatible con microcontroladores como Arduino o Raspberry Pi, capaz de obtener información de la muestra utilizando distintas longitudes de onda para conseguir mayor precisión.

- **Grados Brix:**

Los grados brix son una unidad utilizada para determinar el coeficiente total de materia seca disuelta en un líquido. Esta materia seca suele ser azúcar y nos sirve para obtener la graduación alcohólica del líquido que obtendremos en el proceso de fermentación o para saber el estado de maduración de la fruta realizando una serie de cálculos y relacionando este contenido en azúcares con otros valores que se han de obtener.

Los grados brix son medibles mediante un refractómetro, cuyo uso y forma está detallado más adelante. Los valores que se obtienen están dentro de una escala reglada y son comparables y transformables a través de tablas de conversión.



Ilustración 19 Refractómetro Brix

Fuente: servovendi.com

El uso de este elemento es simple, se colocan dos o tres gotas de la muestra sobre el prisma que contiene el refractómetro. Una vez colocada la muestra se cierra la tapa y el líquido se reparte homogéneamente entre la tapa y el prisma. Una vez realizado esto se sujeta el refractómetro bajo la luz solar y se observa en el ocular la medición.

- **Sonda Óptica:**

La sonda óptica es un elemento que nos posibilita la obtención de información observando la muestra mediante un microscopio electrónico que consigue un aumento del orden de 10.000.000 nm.

Debemos coger una muestra de la fruta, generalmente la pulpa, y colocarla sobre la lente para poder observar la composición de esta muestra y diferenciar entre sus elementos, pero siempre con una preparación de la muestra adecuada ya que, si no, la medición no se puede realizar.

Es un tipo de **prueba destructiva** y que requiere un análisis de laboratorio lo cual conlleva a que la realización de este análisis sea costosa y lenta en comparación a otras técnicas, sin embargo, la precisión de la obtención de datos y resultados es muy alta.

- **Sensores de Aromas:**

El aroma es uno de los parámetros con el que obtenemos una guía sensorial de si el elemento que estamos observando es de gran calidad. Para obtener esta medida sensorial se realizan diversos métodos como análisis químicos o paneles sensoriales⁹, ambos dos métodos son de coste elevado y requieren de un análisis que no es para nada inmediato.

Los sensores de aroma son la opción adecuada para eliminar estos problemas, pudiendo detectar si un elemento tiene un aroma rancio, avinagrado o atrojado¹⁰.

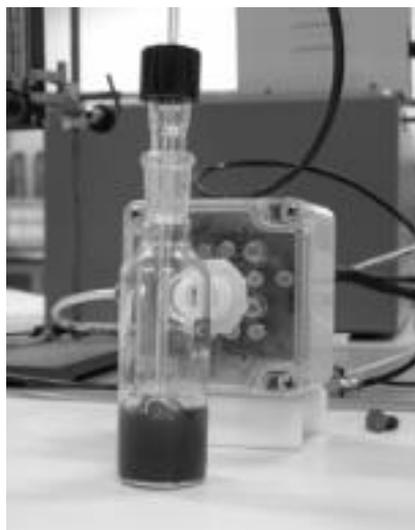


Ilustración 20 Sensor de Aromas

Fuente: Centro de Agroingeniería del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA)

El proceso de medida se realiza a través de la separación dos alícuotas¹¹ de muestra en dos frascos de vidrio que se dejan a temperatura ambiente, tras esto se acoplan los frascos a una cámara de sensores, comenzando así el proceso automático de obtención de la señal.

⁹ *Paneles Sensoriales: Son un método de obtención de la calidad de la muestra mediante la intervención de diversos individuos. Una de las maneras de realizar esta prueba es la llamada prueba del triángulo, damos tres muestras a cada individuo, dos iguales y una distinta y ellos deben determinar cuál es la distinta.*

¹⁰ *Atrojado: Sabor u olor de determinados elementos que han sufrido cierto grado de fermentación.*

¹¹ *Alícuota: Partes proporcionales.*

4.2. SELECCIÓN DE PRODUCTO Y SENSORES

Ahora que disponemos de toda la información necesaria (capacidades de la producción aragonesa, la importancia de la exportación de productos, las prioridades de los consumidores, los aspectos medibles y la forma de medirlos), se realizará un estudio exhaustivo sobre **qué fruta** se va a realizar el control de calidad, **el método** de control elegido y los **sistemas necesarios para llevarlo a cabo**.

4.2.1. *Elección de la fruta*

El estudio se centrará en un solo tipo de fruta, de esta manera podemos definir mejor que parámetros se tendrán en cuenta y la forma de medirlos, ya que no todas las frutas se miden de la misma manera.

Para realizar la selección se tendrá en cuenta: las hectáreas plantadas, la importancia del cultivo (Exportaciones, Importaciones, Antigüedad...), las variedades en uso y sus posibilidades dentro de Aragón (Necesidades de la planta, Terreno, Clima...). El conjunto de estos datos se mostrará en los siguientes párrafos, acompañados de una conclusión final.

- **Peral:**

- La ocupación de terreno en la actualidad es aproximadamente de 3.000 Has, siendo esta muy lejana de las más de 10.000 en el año 2000.
- Requiere de un clima suficientemente frío, primaveras y veranos de temperaturas poco elevadas y con escasez de heladas tardías, es decir, que las variaciones climáticas sean lo menos severas posibles.
- La exigencia del suelo es alta, siendo los tipos más adecuados, los limo-arcillosos y los silíceos.
- En Aragón se produce el 20% de la producción estatal, lo que significa que está situada en el segundo lugar en producción por detrás de Cataluña.
- No existe una denominación de origen propia como es el caso de otras comunidades como Cataluña (Pera de Lleida), La Rioja (Pera Rincón de Soto) o Murcia (Pera de Jumilla).

- **Manzano:**

- Ocupa un terreno similar al del peral, pero su descenso ha sido mucho más pronunciado, habiendo plantadas en el año 2000 casi 12.000 Has.
- Se adapta a climas muy diversos, pero siempre respetando sus necesidades de frío para el reposo invernal y con una alta necesidad de insolación
- Sus necesidades en cuanto a suelo tienen que ver con la pendiente (nunca superior al 20%), el tipo de suelo ha de ser arenoso y homogéneo y con gran cantidad de agua.
- Aragón se sitúa en segundo lugar en producción de manzana, aunque la diferencia es muy alta con respecto al primer lugar que ocupa Cataluña, teniendo esta una producción aproximadamente del doble.
- Las importaciones son un tema muy importante en este tipo de fruta, ya que España, en los últimos años, ha experimentado una gran disminución en la producción. Esto es debido a las necesidades climáticas de la planta. "La producción anual de manzana en España correspondiente a la media del período 2015-2017 fue de 473.799 t, lo que representa tan solo el 4,1% de la producción de la Unión Europea" (Iglesias Castellarnau & Carbó Pericay, 2018).
- Se destaca en España la denominación de origen reineta del Bierzo, compuesta por las variedades de manzana Reineta blanca y gris de la comarca del Bierzo.

- **Cerezo:**

- El terreno destinado a la plantación de cerezos a variado mucho a lo largo de los últimos años, siendo Calatayud la zona principal de este aumento, la cantidad de hectáreas que ocupa en la actualidad es de más de 8.000 frente a las 9.500 que ocupaba en el año 2000, una disminución mucho menor que en los casos del peral y del manzano.
- Sus requerimientos en cuanto al clima son entre 700 y 1400 horas de frío, que las heladas primaverales sean escasas, buena iluminación y aireación y lluvias de poca frecuencia en el momento de la maduración.

MARCO TEORICO

- El suelo debe ser ligeramente calizo y con buen drenaje, que no tenga un pH elevado, se prefieren laderas suaves de montañas, secanos frescos y zonas con muy pocos problemas de sequía.
- Extremadura es la primera zona de producción de cereza, seguida de Aragón que incluso algún año puntual se ha puesto en primer lugar. "La exportación de cerezas en el año 2007 alcanzó las 11.365 t, siendo los principales países de destino Alemania, Francia, Reino Unido, Italia, Países Bajos, Bélgica y Portugal" (Ministerio de Agricultura y Pesca, 2015).
- Hay que destacar la variedad de cereza picota en el valle del Jerte, única cereza con denominación de origen en el territorio español.
- **Melocotonero:**
 - Es de las plantaciones frutales de Aragón la que menores cambios ha sufrido en los últimos años, produciéndose solamente, un decrecimiento del 3%, pasando de las 14.000 Has del año 2000 a las 13.500 del año 2017. A su vez este fruto es el que ocupa en la actualidad la mayor extensión de terreno, un 35%.
 - Requiere un clima templado ya que no es muy resistente al frío, no soportando temperaturas más bajas de menos 20°C (a menos 15°C los daños en las flores ya casi sin irreparables), requiere bastante luz para obtener frutos de calidad, pero no demasiada en tronco y las ramas.
 - Los suelos más adecuados son frescos, profundos, de pH moderado y arenosos. Es sensible a la asfixia radicular¹².

¹² *Asfixia Radicular: Proceso en el que el agua desplaza al oxígeno del suelo limitando la respiración de las plantas por medio de las raíces.*

- Cataluña es la comunidad con mayor producción con un 23%, pero seguida muy de cerca por Aragón con un 21%. Se destacan las variedades aragonesas porque, aunque es la zona en la que mayor peligrosidad hay en heladas primaverales, también es la zona en la que el melocotonero obtiene mejor su tiempo de reposo invernal.
- España es el segundo país en producción a nivel europeo con más de un millón de toneladas, exportando este producto en su mayoría a la zona Euro, siendo las exportaciones a países fuera de la Unión Europea solo de un 10%.
- En Aragón se encuentra la denominación de origen de melocotón de Calanda, la cual es la única denominación de origen de frutal.

4.2.1.1. El Melocotonero

La elección del melocotonero se debe a la importancia de las exportaciones, la antigüedad del cultivo en Aragón, los pocos cambios sufridos en el número de hectáreas ocupadas y su número, el clima aragonés como un atributo en la calidad del melocotonero y la denominación de origen de calidad de melocotón de Calanda.

Con los siguientes gráficos y párrafos se respalda con datos esta decisión. Los primeros gráficos muestran la posición que ocupa España en la producción mundial, las exportaciones a los países de la unión europea y la producción de melocotón desde el año 2013 hasta el año 2017.

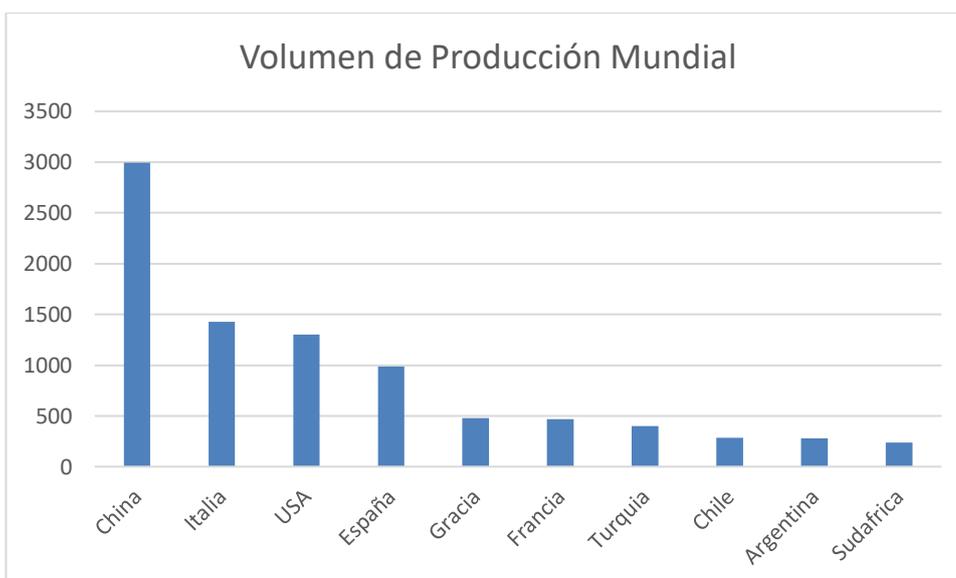


Tabla 21 Los 10 Países de mayor producción de melocotón a nivel mundial

Elaboración Propia Fuente: Interempresas Media, S.L.

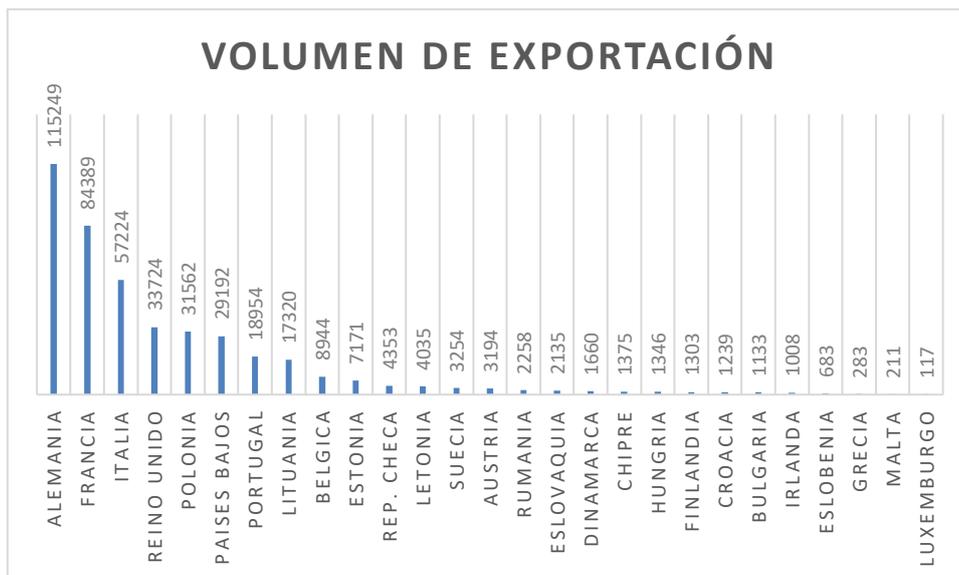


Tabla 22 Volumen de melocotones exportados desde España a los distintos países de la Unión Europea en 2017, por país (en toneladas)

Elaboración Propia Fuente: es.statista.com

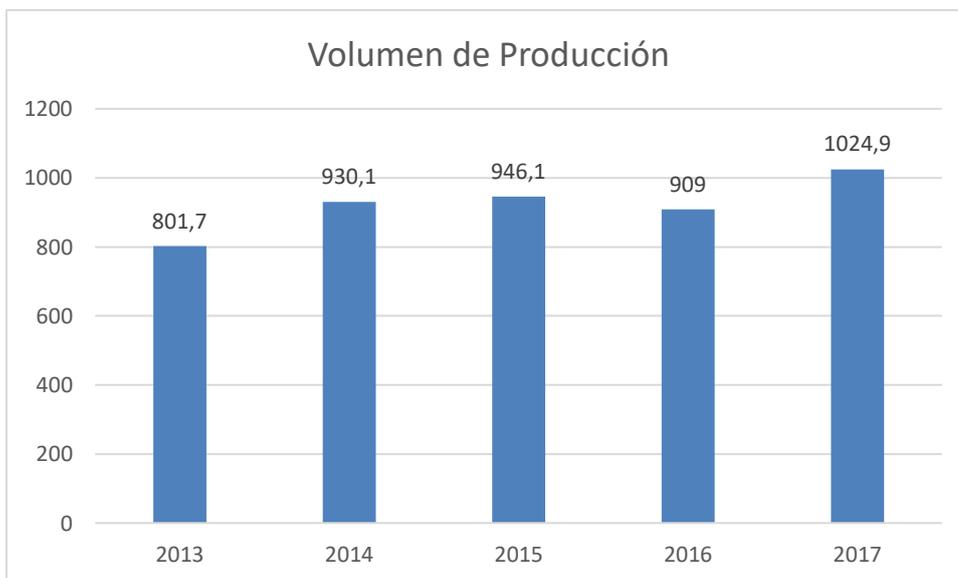


Tabla 23 Volumen de melocotones producidos al año en España desde 2013 hasta 2017 (en miles de toneladas)

Elaboración Propia Fuente: es.statista.com

Con estos gráficos se observa que **España tiene un lugar muy representativo dentro de la producción y exportación mundial de melocotón**, situándose en el cuarto lugar de producción y el primero de exportación a nivel europeo.

El melocotón, como la mayoría de las especies frutales, una de las maneras de las que obtiene de forma natural su calidad es mediante un fenómeno llamado reposo invernal. En otoño, cuando las temperaturas se vuelven más bajas, las plantas perenes de hoja no perene inician un proceso fisiológico, a través del cual, las yemas¹³ acumulan el frío necesario para poder brotar en primavera. Si este proceso no se lleva a cabo de manera adecuada se produce un retraso en la brotación de las yemas, del desarrollo foliar de los dardos¹⁴ y una floración generalmente heterogénea.

El clima de la comunidad aragonesa tiene como característica frente a los climas del resto de lugares donde se producen melocotones, que es más frío en invierno por su situación y la depresión del Ebro. Con este clima hay más riesgo de heladas primaverales que producirían, en determinados momentos de la floración, la pérdida de yemas y flores, pero también es la zona en la que mejor se produce el reposo invernal, por lo que el melocotón obtiene un aumento de la calidad considerable frente a zonas más cálidas.

Una vez observadas la exportación, la producción y las características climáticas beneficiosas para el melocotón, se ha de saber que parámetros y características debemos medir del melocotón. Marcaremos como referencia la **denominación de origen de melocotón de Calanda** como indicador de calidad máxima.

Características Melocotón	Valor
Tamaño mínimo	73 (mm) de Diámetro
Peso T1 (16)	313 (gr/unidad)
Peso T2 (18)	278 (gr/unidad)
Peso T3 (20)	250 (gr/unidad)
Peso T4 (24)	208 (gr/unidad)
Dureza mínima	3,5-5 (kg/0,5 cm ²)
PH en árbol	3,5-4,5
Azúcar mínimo (grados Brix)	12

Tabla 24 Características Melocotón de Calanda

Elaboración Propia Fuente: melocotondecandalanda.com

¹³ Yema: Brote recién aparecido de una planta.

¹⁴ Dardos: Son pequeñas formaciones que evolucionaran en brotes o ramilletes.

Destaca el apartado del peso. El melocotón de Calanda se empaqueta siempre en bandejas de cinco Kilogramos y de 16, 18, 20 o 24 unidades, ya que, la denominación de esta manera marca el peso aproximado que debe de tener cada melocotón.

Otro parámetro también a tener en cuenta es el color, que debe ser entre **amarillo-crema o amarillo-pajizo uniforme**, admitiéndose ligeros puntos o estrías de color rojizo, quedando descartadas las coloraciones verde o amarillo-anaranjadas.

Con todo esto se puede hablar de 6 características fundamentales marcadas por la denominación de Origen (Color, Tamaño, Peso, Dureza, PH y Azúcares), sin embargo, no nos podemos olvidar de otra medición necesaria, los defectos externos ya que el melocotón de Calanda tiene como característica que es embolsado, durante su maduración en el árbol, en bolsas de parafina protegiéndolo de caídas, efectos meteorológicos, productos fitosanitarios y plagas. Esta protección se realiza de forma manual y con la finalidad, a parte de la protección del mismo, de que la maduración y crecimiento sea óptima y de máxima calidad.



Ilustración 21 Melocotón de Calanda Embolsado

Fuente: Blog gardencenterejea.com

4.2.2. *Elección de los Parámetros a medir y de los Sensores*

Una vez se tiene toda la información de cómo se puede medir cada aspecto importante de la fruta, se realizará un análisis de cuáles son los aspectos más útiles, no solo para el consumidor, sino también para la empresa, ya que es al final la que va a dar el precio y va a decidir cuál es la calidad de cada fruta.

Comenzaremos definiendo los dos tipos generales de pruebas que se realizan (Pruebas destructivas y no destructivas) y se hablará de un parámetro que podrá ser medible en el futuro, el Aroma. El último punto de este apartado será la elección de los aspectos y aparatos de medida que incorporaremos en nuestro diseño.

Siempre se han realizado pruebas cuyo objetivo era determinar el estado de la fruta sin importar si esta era destruida o contaminada, porque no se disponía de otros métodos o por la rapidez de examen de los métodos destructivos.

Se ha de diferenciar entre pruebas destructivas, pruebas no destructivas contaminantes y pruebas no destructivas, ya que, dependiendo del examen a realizar, la muestra, puede ser utilizada en más exámenes, pero sin su posible incorporación al mercado alimenticio, ya que las pruebas realizadas han sido de carácter invasivo o contaminante.

Hay infinidad de técnicas, como las que se han explicado con anterioridad, que no requieren de la destrucción ni de la contaminación de la muestra, ahorrando así, gran cantidad de recursos, tiempo y dinero, tanto para las empresas como para los agricultores. Además, suelen ser más rápidas que los otros tipos de pruebas, ya que su nivel de automatización es superior al resto.

4.3. PARÁMETROS Y SENSORES ELEGIDOS

Se han nombrado que debe tener el melocotón de la denominación de origen de Calanda. Para realizar un estudio mediante varios sensores, estas serán las características marcadas.

Con estas características se elegirán los sensores que mejor se adapten al estudio. Con la siguiente tabla definimos cuales son los sensores y formas de medición aptos y más adelante procederemos a determinar cuáles son los más adecuados.

Característica	Sensor
Color	Cartas Patrón Colorímetro Análisis de Imagen
Forma y Tamaño	Plantillas Manuales Sensor Ultrasonidos Sensor IR Análisis de Imagen
Peso	Celdas de Carga Balanzas manuales
Madurez	Grados Brix Sensor NIR Sonda Óptica
Defectos	Plantillas Cámara Térmica Análisis de Imagen Reflectancia UV

Tabla 25 Características Elegidas y Sensores Adecuados

Elaboración Propia

Antes de realizar cualquier prueba y obtener información de fabricantes de sensores, se realizará una eliminación de elementos para que el estudio se centre en aquellos que tiene sentido automatizar.

Se debe eliminar aquellos que no nos puedan proporcionar un estudio no destructivo, que la medición no se pueda automatizar, que no podamos realizar la medición en el momento por que haya que enviar la muestra a un laboratorio para su análisis o que ya se haya medido en el campo y por medio de un análisis visual se pueda verificar.

- Método o análisis **destructivo**: Grados Brix y Sonda Óptica.
- Método o análisis **no automatizable**: Cartas Patrón, Plantillas manuales, Balanzas manuales y Plantillas de defectos.
- Método o análisis en **laboratorio**: Reflectancia UV.
- Método o análisis **descartado**: Madurez mediante Sensor NIR.

Analizando la documentación del sensor de ultrasonidos y el de infrarrojos, se decide que este último no forme parte del estudio, debido a que con ambos dos se consiguen mediciones muy similares, pero debido a la forma de la fruta el sensor de infrarrojos tiene un porcentaje de error mayor por el color y reflejo de la luz.

Tras este proceso de eliminación, los parámetros, sensores y formas de medición con las que se va a trabajar serán:

- **Color**: Colorímetro y Análisis de Imagen.
- **Forma y Tamaño**: Sensor de Ultrasonidos.
- **Peso**: Celdas de Carga.
- **Defectos**: Cámara Térmica y Análisis de Imagen.

4.4. FORMAS DE OBTENER LOS DATOS

Tras la elección de los parámetros a medir, se debe decidir la forma de comunicación con los elementos que realizarán la medición. Se dividirá en dos apartados o sistemas, la comunicación con los sensores y la obtención de datos mediante software.

Para el primer grupo el encargado de este trabajo será el microcontrolador Arduino, el cual por medio de lenguaje C++, nos ayudará en esta obtención de datos. Para el segundo grupo utilizaremos el software de cálculo matemático Matlab.

Arduino: Colorímetro, Sensores de Ultrasonidos e Infrarrojo, Celda de Carga y Cámara térmica.

Matlab: Análisis de Imagen.

4.4.1. *Arduino*

Arduino es una plataforma de prototipos de electrónica de código abierto fácil de utilizar. Obtiene información del entorno por medio de la recepción de entradas desde una variedad de sensores y es capaz de afectar a su alrededor. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o comunicarse con software en ejecución en un ordenador.

Las placas se pueden ensamblar a mano o comprarlas preensambladas y los diseños de referencia del hardware están disponibles bajo licencia "Open-Source", por lo que, son fáciles de adaptar a los requerimientos de cualquier sistema.

Aunque en el mercado existen diferentes plataformas y microcontroladores disponibles para computación física, Arduino tiene una serie de ventajas sobre las demás:

- **Precio:** Desde la posibilidad de ensamblarlo uno mismo, hasta la compra de placas de precio inferior a 20€.
- **Multiplataforma:** El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.
- **Entorno Simple y Claro:** El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también.
- **Código abierto y software extensible:** El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados. El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++
- **Código abierto y hardware extensible:** El Arduino está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel. Los planos para los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo.

4.4.1.1. Características

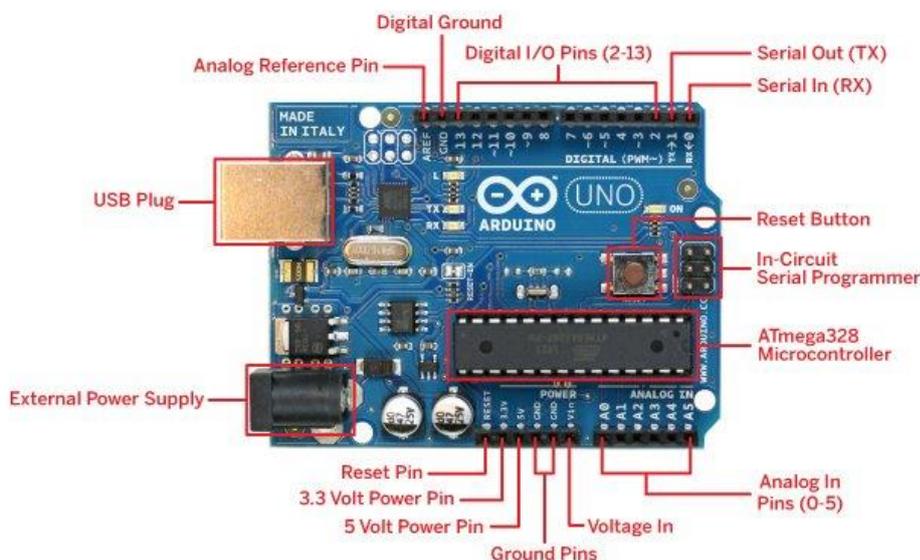


Ilustración 22 Pines Arduino

Fuente: aprendiendoarduino.wordpress.com

Alimentación:

Puede alimentarse a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa.

La alimentación externa (no USB) puede provenir de un adaptador de CA a CC (wall-wart) o batería. El adaptador se puede conectar al enchufar un conector positivo de 2.1 mm en el conector de alimentación de la placa. Los cables de una batería se pueden insertar en los conectores GND y Vin pin del conector POWER.

La placa puede operar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. Sin embargo, si se suministra con menos de 7 V, el pin de 5 V puede suministrar menos de cinco voltios y la placa puede volverse inestable. Si usa más de 12 V, el regulador de voltaje puede sobrecalentarse y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Pines de Alimentación:

Vin: El voltaje de entrada a la placa cuando está usando una fuente de alimentación externa (a diferencia de los 5 voltios de la conexión USB u otra fuente de alimentación regulada). Puede suministrar voltaje a través de este pin o, si suministra voltaje a través del conector de alimentación, acceda a través de este pin.

MARCO TEORICO

5V: Este pin produce un 5 V regulado desde el regulador en el tablero. La placa se puede alimentar con la toma de alimentación de CC (7-12 V), el conector USB (5 V) o el pin VIN de la placa (7-12 V). El suministro de voltaje a través de los pines de 5V o 3.3V evita el regulador y puede dañar su tarjeta.

3V3: Una fuente de 3.3 voltios generada por el regulador a bordo. El consumo máximo de corriente es de 50 mA.

GND: Pines de tierra

IOREF: Este pin en la placa proporciona la referencia de voltaje con la que opera el microcontrolador. Un blindaje correctamente configurado puede leer el voltaje del pin IOREF y seleccionar la fuente de alimentación apropiada o habilitar los traductores de voltaje en las salidas para trabajar con 5V o 3.3V.

Memoria:

El ATmega328 tiene 32 KB (con 0.5 KB ocupado por el gestor de arranque). También tiene 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM (que se pueden leer y escribir con la biblioteca EEPROM).

Pines Entrada y Salida:

Tiene 6 entradas analógicas, etiquetadas de A0 a A5, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto, miden desde tierra a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango.

Cada uno de los 14 pines digitales del Uno se puede usar como entrada o salida. Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir 20 mA como condición de operación recomendada y tiene una resistencia interna de pull-up (desconectada por defecto) de 20-50k ohm. Un máximo de 40 mA es el valor que no debe excederse en ningún pin de E / S para evitar daños permanentes al microcontrolador.

Tiene algunos pines digitales más especializados:

- Serie: 0 (RX) y 1 (TX).

Se usa para recibir (RX) y transmitir (TX) datos en serie TTL. Estos pines están conectados a los pines correspondientes del chip serie ATmega8U2 USB-to-TTL.

- Interrupciones externas: 2 y 3.

Estas clavijas se pueden configurar para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor.

- PWM: 3, 5, 6, 9, 10 y 11.

Proporcionan salida PWM de 8 bits.

- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).

Estos pines admiten comunicación SPI utilizando la biblioteca SPI.

- LED: 13.

Hay un LED integrado accionado por el pin digital 13. Cuando el pin tiene un valor ALTO, el LED está encendido, cuando el pin está BAJO, está apagado.

- TWI: pin A4 o SDA y pin A5 o SCL.

Soporte de comunicación TWI utilizando la biblioteca Wire.

4.4.2. *Matlab*

Matlab es un entorno de cálculo numérico y visualización que integra el análisis numérico, el cálculo matricial, el procesamiento de señales y los gráficos.

Es fácil de utilizar, siendo una de las principales herramientas estándar para cursos introductorios y avanzados de matemáticas, investigación e ingeniería. En industria su uso se centra en el análisis, la investigación y el desarrollo de nuevos productos tecnológicos.

Una de las ventajas principales son el uso de áreas específicas llamadas toolboxes, grupos de comandos que extienden el ambiente de Matlab para resolver problemas (procesamiento digital de señales, sistemas de control, redes neuronales, lógica difusa, wavelets...).



Ilustración 23 Ventana Principal Matlab

Elaboración Propia

La ventana principal de Matlab está constituida por la introducción de comandos, el conjunto de carpetas y documentos sobre los que se va a trabajar y que cargaremos en Matlab, una ventana de detalles del elemento que hemos seleccionado, una barra de acciones y un espacio de trabajo donde se puede acceder a todas las variables con las que se está trabajando.

5. PRUEBAS

5.1. SENSORES Y CALIBRACIÓN

En este apartado se elegirán el elemento concreto que realizara la medición, las pruebas prácticas de calibrado y se contrastara con las características especificadas con los fabricantes.

5.1.1. *DISTANCIA_Sensor Ultrasonidos HC-SR04*

Es un sensor adecuado para mediciones de un único objeto ya que el sonido rebota en las superficies generando ecos y falsas mediciones. Han de ser utilizados en entornos interiores y en zonas cerradas.

Su funcionamiento se basa en la medición del tiempo entre pulsos, se realiza una estimación de la distancia a la que se encuentra el objeto sobre el que la onda sonora ha impactado, mediante la velocidad del sonido. Este tiempo es el tiempo que tarda en llegar el pulso al objeto y volver del objeto al sensor, por lo que para la aproximación se debe utilizar la mitad de ese tiempo. A través de las siguientes formulas se ve cómo se realiza esta aproximación de la distancia medida y por medio de la imagen como ha de conectarse a Arduino.

$$V_s = 343 \frac{m}{s} = \frac{1}{2.92} \frac{mm}{\mu s} \rightarrow L(mm) = \frac{T(\mu s)}{V_s * 2}$$

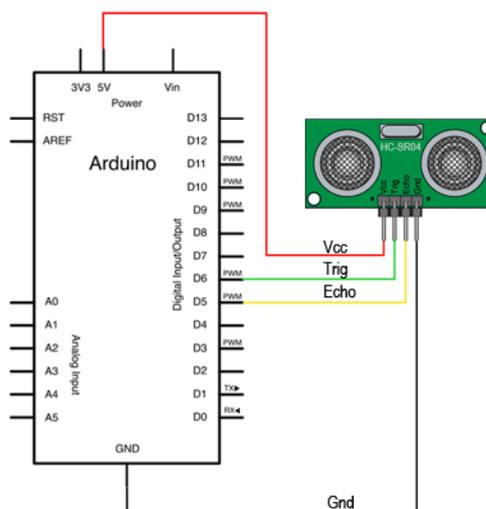


Ilustración 24 Esquema Conexión HC-SR04

Fuente: luisllamas.es

5.1.1.1. Calibración del Sensor

Este sensor se calibrará por medio de una distancia constante y predefinida, medida por un Pie de Rey, para obtener el máximo ajuste posible a la realidad.

Se realizarán 50 mediciones, descartando las 10 primeras para no tener con ellas errores en la estabilización del sensor o de la muestra. Se realizará la media y varianza del conjunto y un gráfico de dispersión para observar los datos. Este proceso será repetido 5 veces para que la calibración sea lo más correcta posible.

5.1.1.1.1. Código

```
1 byte EchoPin = 6;
2 byte TriggerPin = 5;
3 int Vector_U[51] = {0};
4 int ping(int TriggerPin, int EchoPin)
5 {
6     long duration, distance;
7     digitalWrite(TriggerPin, LOW); //para generar un pulso limpio ponemos a LOW 4us
8     delayMicroseconds(4);
9     digitalWrite(TriggerPin, HIGH); //generamos Trigger (disparo) de 10us
10    delayMicroseconds(10);
11    digitalWrite(TriggerPin, LOW);
12    duration = pulseIn(EchoPin, HIGH); //medimos el tiempo entre pulsos, en microsegundos
13    distance = (duration) / (2.92 * 2); //convertimos a distancia, en mm
14    return distance;
15 }
16
17 void setup()
18 {
19     Serial.begin(9600);
20     pinMode(TriggerPin, OUTPUT);
21     pinMode(EchoPin, INPUT);
22 }
23
24 void loop()
25 {
26     U();
27 }
28
29 void U()
30 {
31     if (Vector_U[50] == 0)
32     {
33         for (int i = 1; i < 51; i++)
34         {
35             Vector_U[i] = 138 - ping(TriggerPin, EchoPin);
36             Serial.println(Vector_U[i]);
37             delay(60);
38             if (i >= 11)
39             {
40                 int Media_U = Media_U + (Vector_U[i] - Media_U) / (i - 10);
41                 if (Vector_U[50] != 0)
42                 {
43                     Serial.print("Media de Dist: "); Serial.println(Media_U);
44                 }
45             }
46         }
47     }
48 }
```

5.1.1.1.2. UML

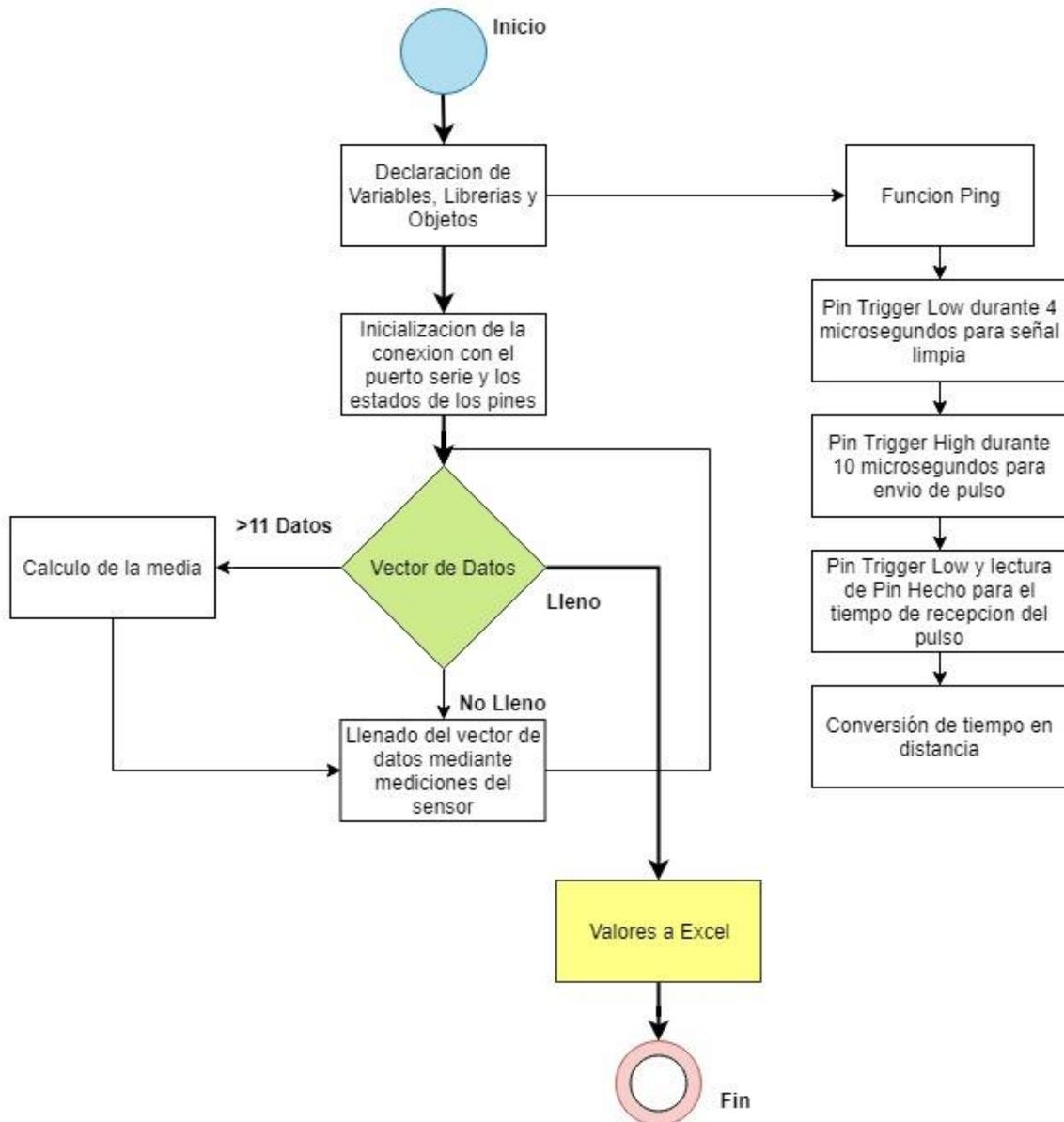


Tabla 26 UML Sensor Ultrasonidos

Elaboración Propia

5.1.1.2. Resultados

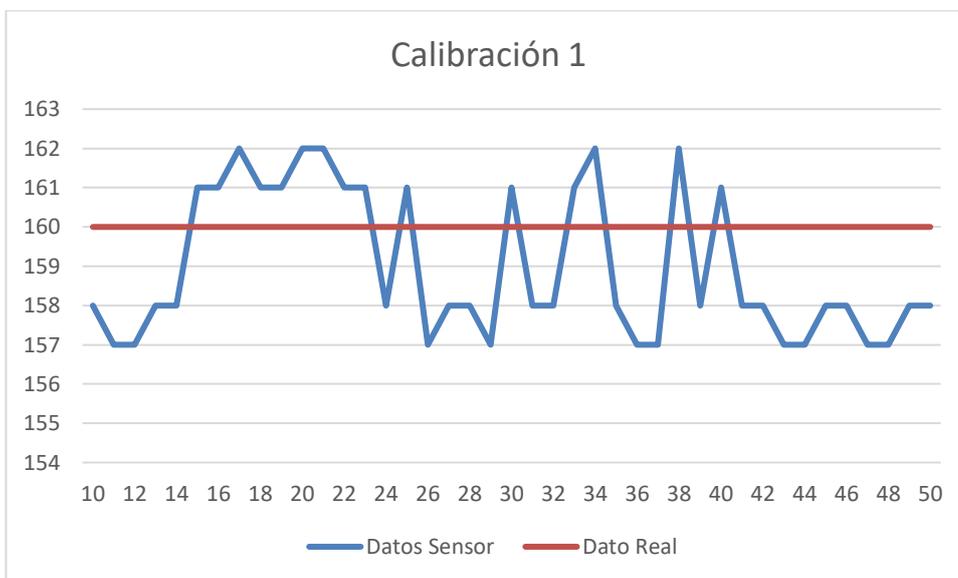


Tabla 27 Calibración 1 Tamaño

Elaboración Propia

Media	Varianza	Desviación
159	0.08974359	0.047366547

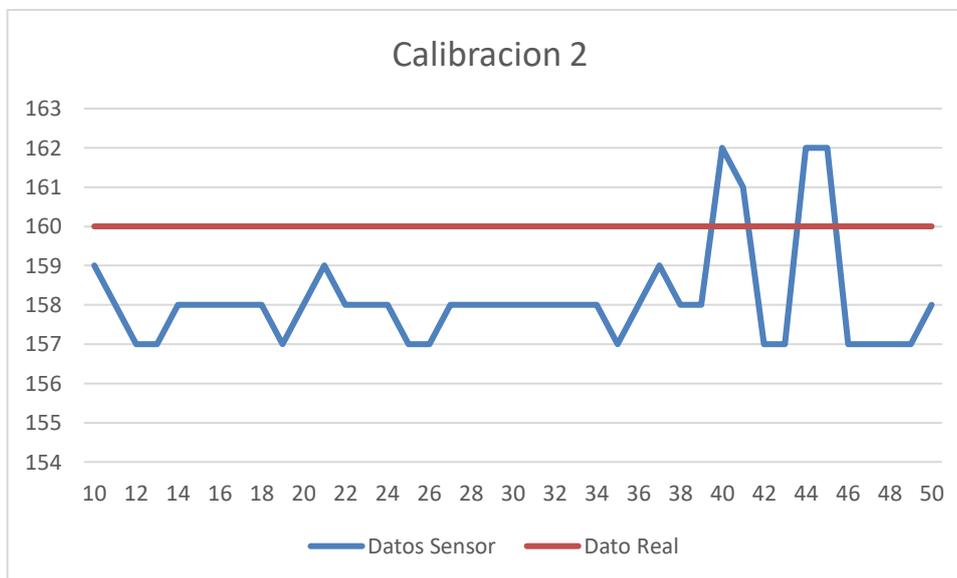


Tabla 28 Calibración 2 Tamaño

Elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
158.125	0.04511218	0.0335828

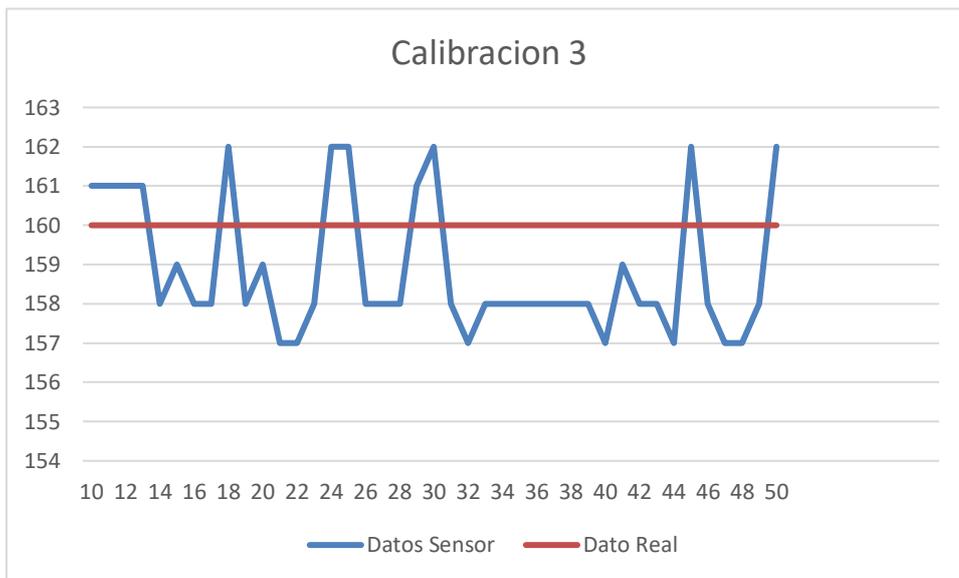


Tabla 29 Calibración 3 Tamaño

Elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
158.8	0.07461538	0.0431901

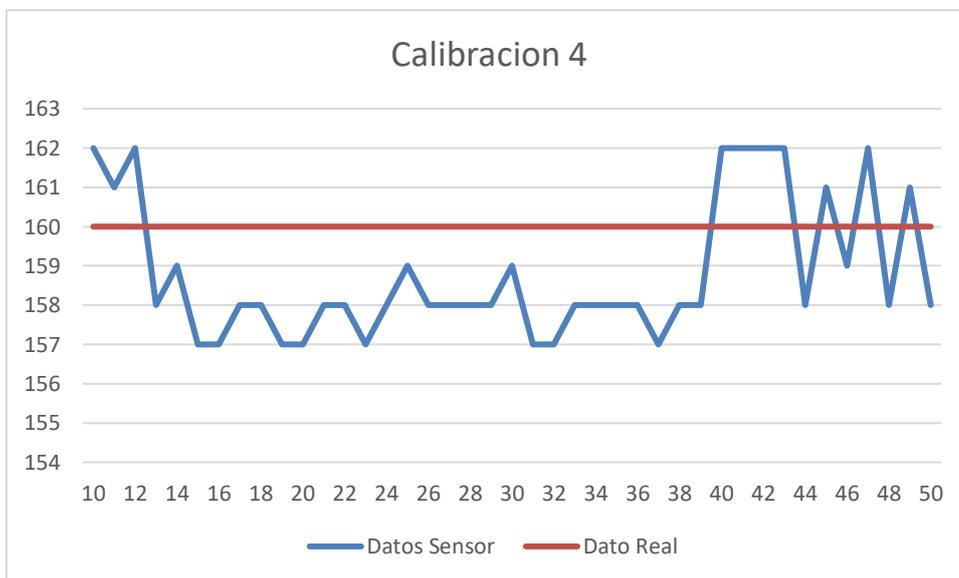


Tabla 30 calibración 4 Tamaño

Elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
158.725	0.0730609	0.04273783

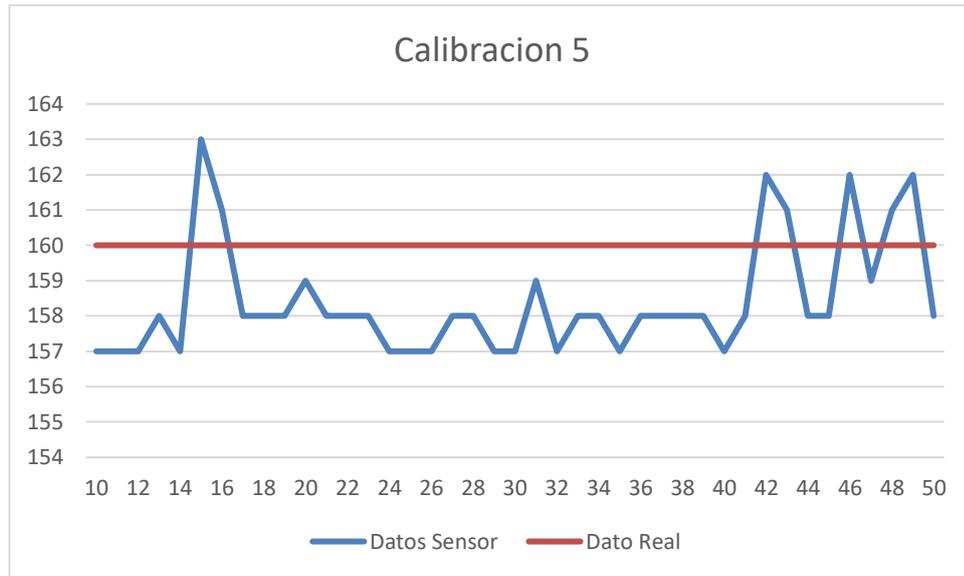


Tabla 31 calibración 5 Tamaño

Elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
158.45	0.06788462	0.04119606

Los resultados obtenidos son adecuados ya que la variación es de milímetros, lo cual nos da un error de ± 3 , valor con el que ya se cuenta, debido a que el fabricante nos lo proporciona.

5.1.2. COLOR_Colorimetro TCS34725

Es un sensor capaz de medir los valores RGB de un objeto determinado o de una luz. Realiza un tratamiento digital de la medición de color e incorpora un filtro infrarrojo para eliminar el ruido del entorno.

Incorpora una matriz de 3x4 fotodiodos (Rojo, Verde, Azul y Clear), que junto con 4 conversores analógico digitales de 16 bits, realizan la medición de los fotodiodos.

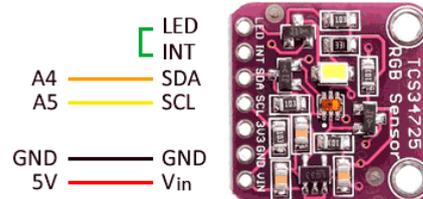


Ilustración 25 Esquema Conexión TCS34725

Fuente: luisllamas.es

PRUEBAS

La característica es el pin LED, el cual controla el encendido de la luz neutra, la cual está integrada en el módulo. Para mediciones más precisas es conveniente conectarlo a INT para marcar cuando se ha de encender o dejarlo sin conectar para que siempre este encendido.

Para medir con este sensor y que el código sea mucho más sencillo, implementaremos en Arduino la librería "Adafruit_TCS34725-master", la cual ha sido obtenida del repositorio GitHub.

5.1.2.1. Calibración del Sensor

Seguiremos un proceso similar que el del anterior sensor, cogemos una imagen que tenga una configuración RGB prefijada y realizamos la medición.

Se realizarán 50 mediciones, descartando las 10 primeras para no tener con ellas errores en la estabilización del sensor o de la muestra. Se realizará la media y varianza del conjunto y un gráfico de dispersión para observar los datos. Este proceso será repetido 3 veces, una para cada valor que compone el código RGB, para que la calibración sea lo más correcta posible. Una vez realizado este proceso se modificará el código para que se adapten los valores de RGB del sensor a los reales.

5.1.2.1.1. Código

```
1 #include <Wire.h>
2 #include "Adafruit_TCS34725.h"
3 #define redpin 3
4 #define greenpin 5
5 #define bluepin 6
6 #define commonAnode true
7 byte gammatable[256];
8 Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS, TCS34725_GAIN_4X);
9 int Vector_CR[51];
10 int Vector_CG[51];
11 int Vector_CB[51];
12
13 void setup()
14 {
15   Serial.begin(9600);
16   pinMode(redpin, OUTPUT);
17   pinMode(greenpin, OUTPUT);
18   pinMode(bluepin, OUTPUT);
19 }
20
21
22 void loop()
23 {
24   C();
25 }
```

```
26
27 void C()
28 {
29     if (Vector_CR[50] == 0)
30     {
31         for (int i = 1; i < 51; i++)
32         {
33             uint16_t clear, red, green, blue;
34             tcs.getRawData(&red, &green, &blue, &clear);
35             Vector_CR[i] = red * 0.87, DEC;
36             Vector_CG[i] = green * 0.75, DEC;
37             Vector_CB[i] = blue * 0.77, DEC;
38             //Serial.print(i, DEC);
39             Serial.print("\t");
40             Serial.print(Vector_CR[i]);
41             Serial.print("\t");
42             Serial.print(Vector_CG[i]);
43             Serial.print("\t");
44             Serial.println(Vector_CB[i]);
45             delay(60);
46             if (i >= 11)
47             {
48                 int Media_CR = Media_CR + (Vector_CR[i] - Media_CR) / (i - 10);
49                 int Media_CG = Media_CG + (Vector_CG[i] - Media_CG) / (i - 10);
50                 int Media_CB = Media_CB + (Vector_CB[i] - Media_CB) / (i - 10);
51                 if (Vector_CR[50] != 0)
52                 {
53                     Serial.print("Media de RGB Rojo: "); Serial.println(Media_CR);
54                     Serial.print("Media de RGB Verde: "); Serial.println(Media_CG);
55                     Serial.print("Media de RGB Azul: "); Serial.println(Media_CB);
56                 }
57             }
58         }
59     }
60 }
```

5.1.2.1.2. UML

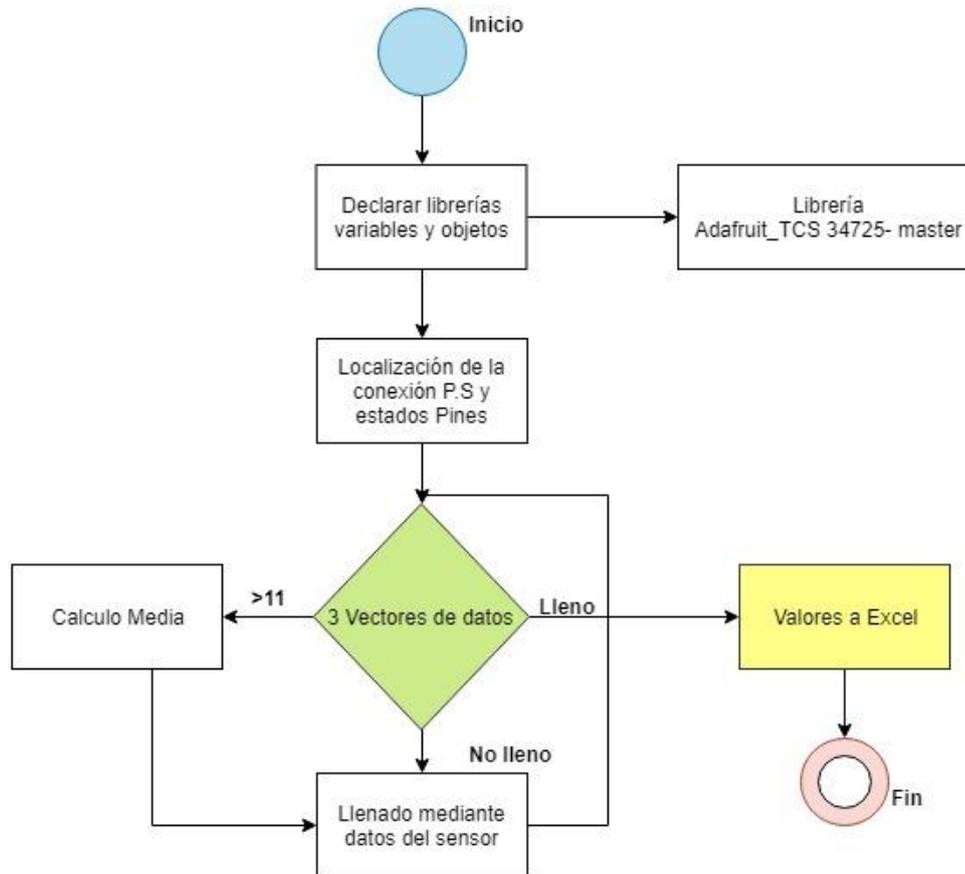


Tabla 32 UML Sensor RGB

Elaboración Propia

5.1.2.1. Resultados

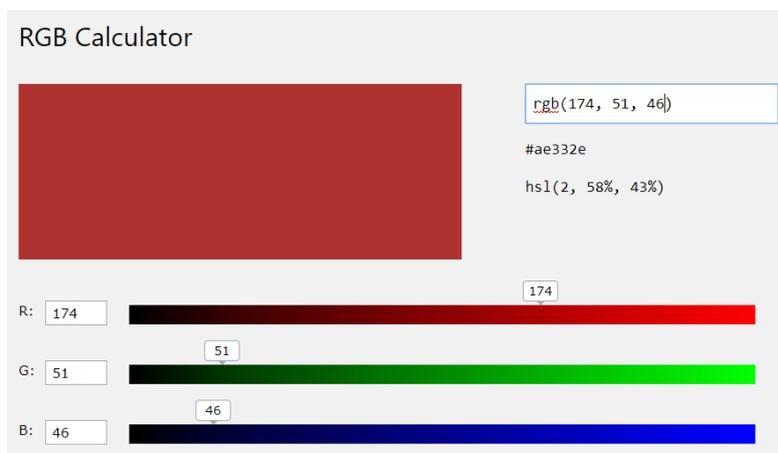


Tabla 33 RGB para color Rojo

Elaboración Propia

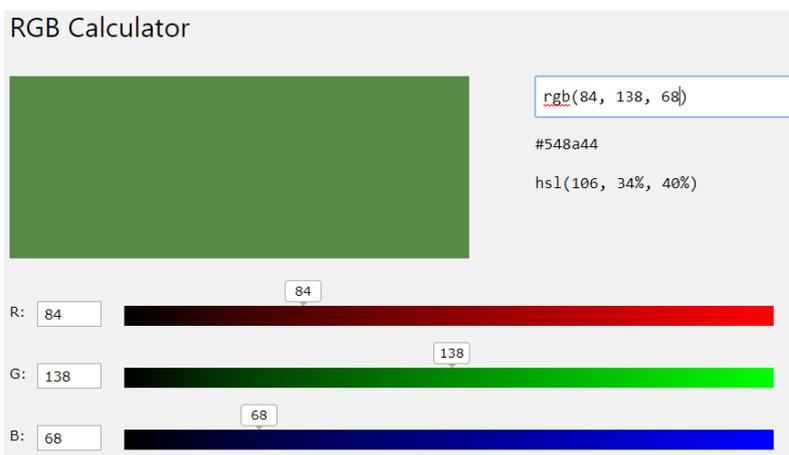


Tabla 34 RGB para color Verde

Elaboración Propia

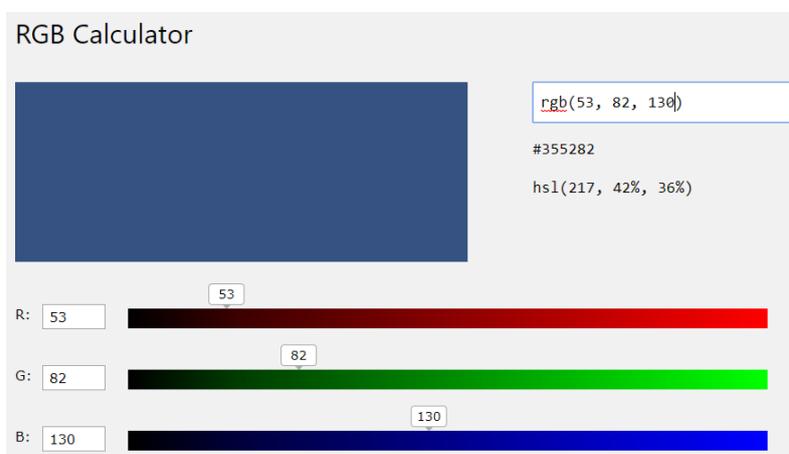


Tabla 35 RGB para color Azul

Elaboración Propia

Una vez ajustados los colores a las posibilidades del sensor, observamos que depende mucho de la iluminación y aunque esta sea buena, la obtención de colores no tiene una precisión absoluta.

5.1.3. DEFECTOS_ Cámara Térmica MLX90614

Es un sensor de temperatura infrarroja sin contacto que funciona según la ley de Stefan-Boltzmann, todo objeto que está por encima del cero absoluto ($^{\circ}\text{K}$), emite una radiación cuyo espectro es proporcional a su temperatura.

Esta constituido internamente por un chip de silicio con una fina membrana micro mecanizada sensible a la radiación infrarroja que, junto con la electrónica necesaria para amplificar y digitalizar la señal, calcula la temperatura.

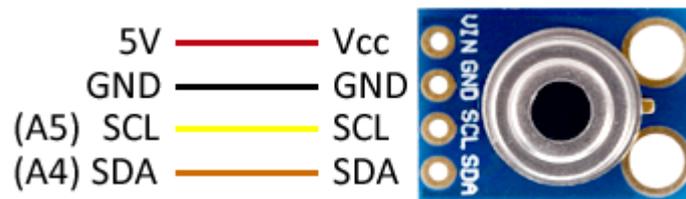


Ilustración 26 Esquema Conexión MLX90614

Fuente: luisllamas.es

Para medir con este sensor y que el código sea mucho más sencillo, implementaremos en Arduino la librería "Adafruit-MLX90614-Library-master", la cual ha sido obtenida del repositorio GitHub.

5.1.3.1. Calibración del Sensor

Seguiremos un proceso similar que el del anterior sensor, con un objeto cuya temperatura prefijada y realizaremos la medición.

Se realizarán 50 mediciones, descartando las 10 primeras para no tener con ellas errores en la estabilización del sensor o de la muestra. Se realizará la media y varianza del conjunto y un gráfico de dispersión para observar los datos. Este proceso será repetido 5 veces para que la calibración sea lo más correcta posible. Una vez realizado este proceso se modificará el código para que se adapten los valores de temperatura del sensor a los reales.

5.1.3.2. Código

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <Adafruit_MLX90614.h>
3 Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
4 int Vector_T[51] = {0};
5 int Vector_Tl[51] = {0};
6
7 void setup()
8 {
9     Serial.begin(9600);
10    pinMode(PinT, INPUT);
11    mlx.begin();
12 }
13
14 void loop()
15 {
16     T();
17 }
18
19 void T()
20 {
21     if (Vector_T[50] == 0)
22     {
23         for (int i = 1; i < 51; i++)
24         {
25             Vector_T[i] = mlx.readObjectTempC();
26             Serial.print(i); Serial.print(": Temp Obj: "); Serial.println(Vector_T[i]);
27             if (i >= 10)
28             {
29                 int Media_T = Media_T + (Vector_T[i] - Media_T) / (i - 10);
30                 if (Vector_T[50] != 0)
31                 {
32                     Serial.print("Media de Temp Obj: "); Serial.println(Media_T);
33                 }
34             }
35         }
36     }
37 }
```

5.1.3.2.1. UML Sensor Térmico

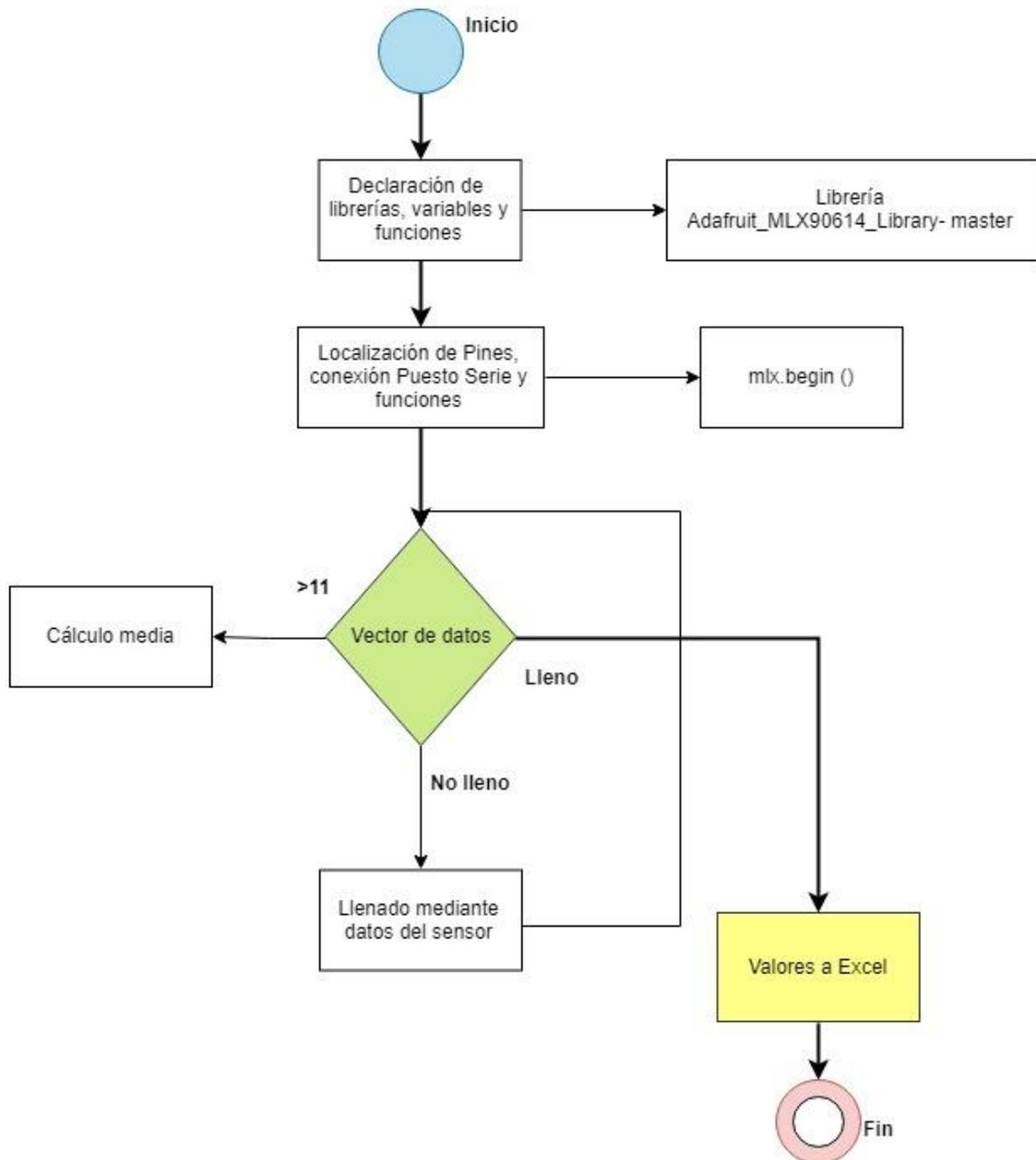


Tabla 36 UML Sensor Cámara Térmica

Elaboración Propia

5.1.3.3. Resultados

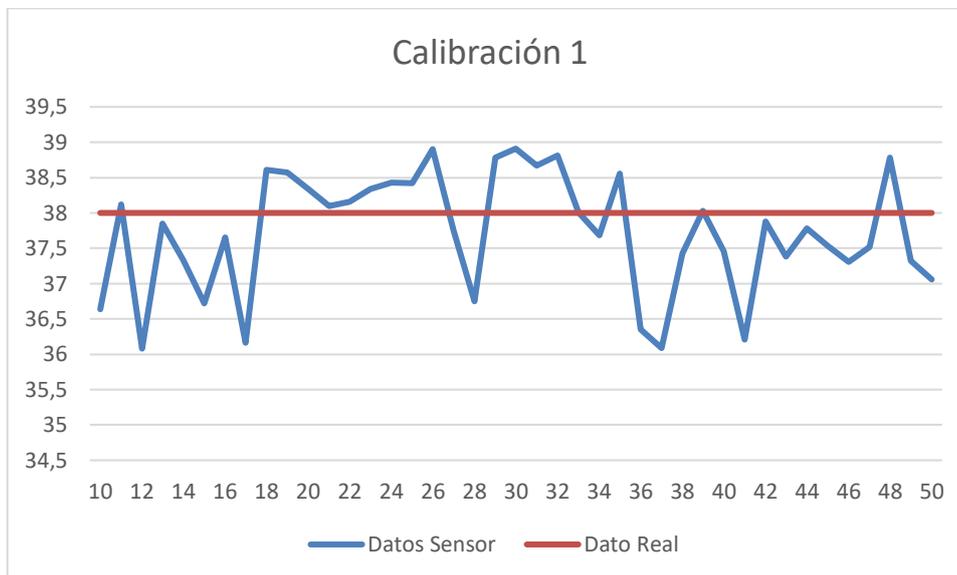


Tabla 37 Calibración 1 Temperatura

Elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
37.74575	0.0172896	0.020790383

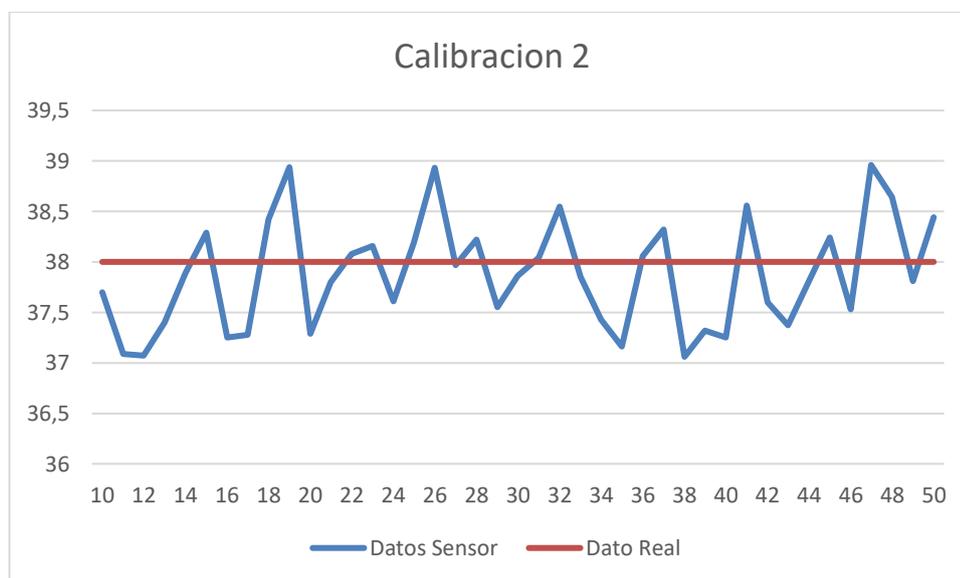


Tabla 38 calibración 2 Temperatura

elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
37.88225	0.00753442	0.01372445

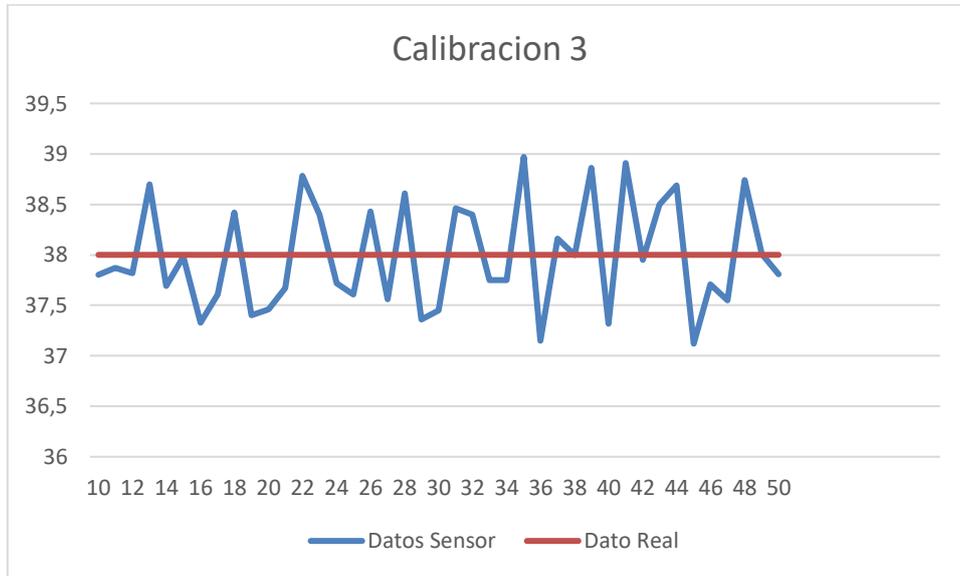


Tabla 39 Calibración 3 Temperatura

Elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
37.992	0.00719349	0.01341034

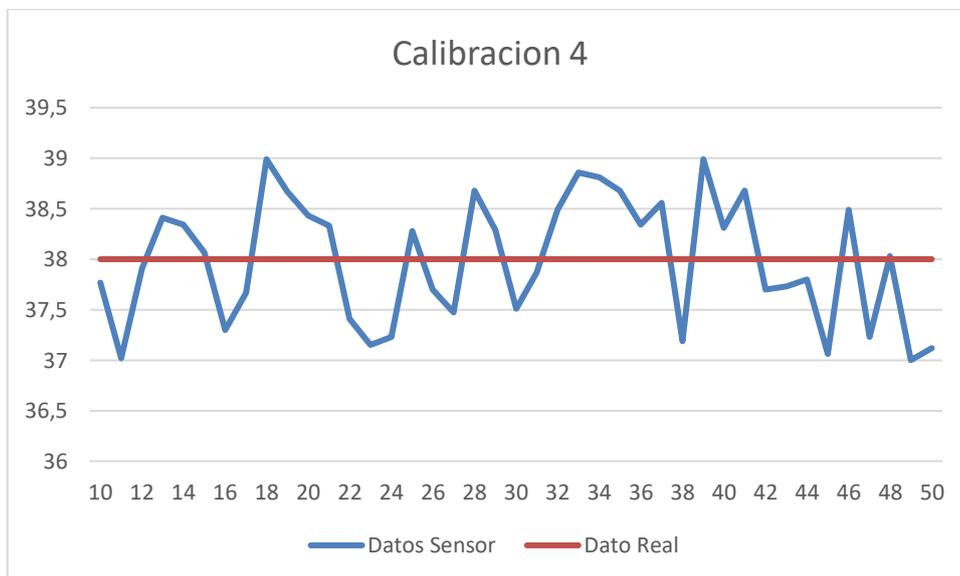


Tabla 40 Calibración 4 Temperatura

Elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
37.995	0.00955833	0.01545828

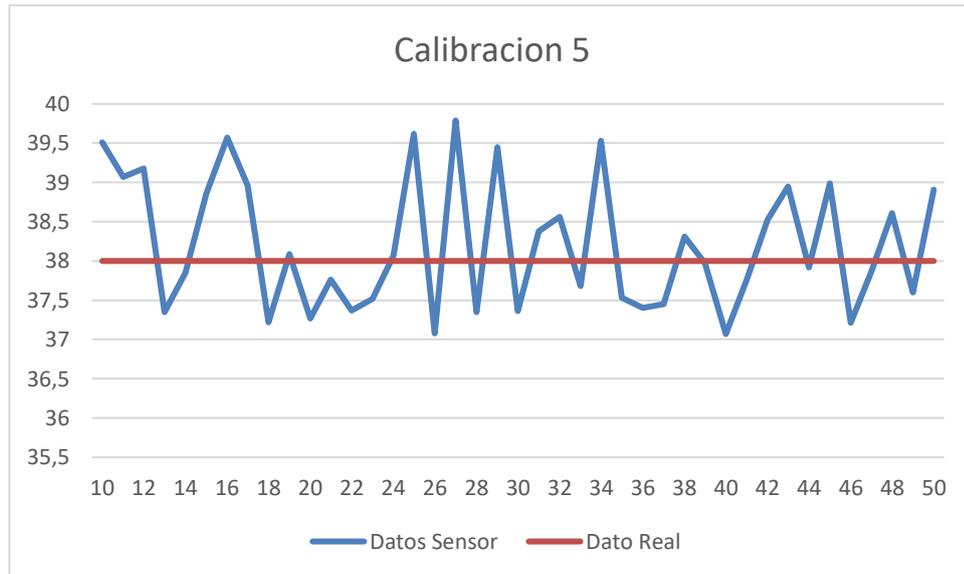


Tabla 41 Calibración 5 Temperatura

Elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
38.17525	0.0168632	0.02053242

Los resultados obtenidos caracterizan al sensor como óptimo, aunque los datos llegan a varias hasta ± 2 °C.

5.1.4. PESO_Celda de Carga + HX711

Una celda de carga es un transductor capaz de convertir una fuerza en una señal eléctrica, por medio de una o varias galgas internas, configuradas en puente Wheastone. Se mide la deformación por medio de pequeños patrones de resistencia, obteniendo una señal eléctrica que por medio de varias acciones nos proporciona la carga.

El transmisor de celda de carga HX711 es una interfaz entre la celda de carga y Arduino, el cual permite leer el peso. Lee la lectura del puente Wheastone, convirtiendo la lectura analógica en digital con su conversor analógico digital de 24 bits.

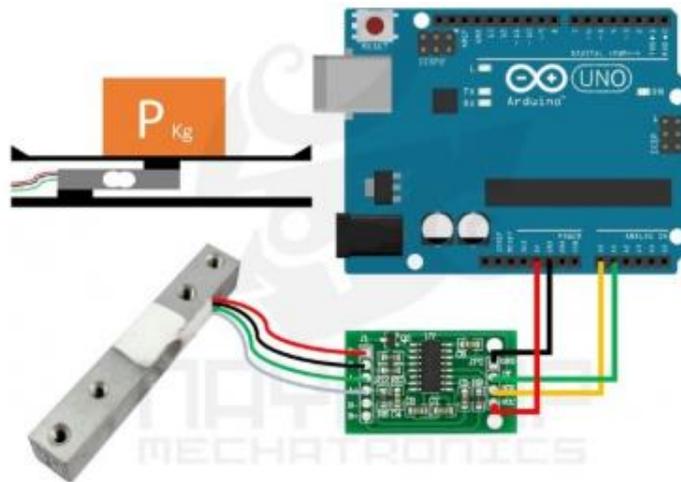


Ilustración 27 Esquema Conexión Celda de Carga + HX711

Fuente: naylampmechatronics.com

Para medir con este sensor y que el código sea mucho más sencillo, implementaremos en Arduino la librería "HX711-master", la cual ha sido obtenida del repositorio GitHub.

5.1.4.1. Calibración del Sensor

El primer paso con este sensor es hallar el valor de escala que se utilizara, es decir, el valor de conversión, utilizado para transformar el valor de lectura en un valor con unidades de peso.

Se elegirá un objeto con peso conocido, cercano al rango máximo de la celda. Una vez calculada la tara se coloca el peso conocido y el valor que se obtenga se escala por medio de la siguiente fórmula.

$$Escala = \frac{V_{Leido}}{P_{Real}}$$

Se coloca el valor obtenido en el código en el apartado `balanza.set_scale(Escala)`; y se realiza la medición.

5.1.4.2. Código

```
1 #include "HX711.h"
2 #define DOUT A1
3 #define CLK A0
4 HX711 balanza(DOUT, CLK);
5 float Vector_P[51] = {0};
6
7 void setup()
8 {
9     Serial.begin(9600);
10    Serial.print("Lectura del valor del ADC: ");
11    Serial.println(balanza.read());
12    Serial.println("No ponga ningun objeto sobre la balanza");
13    Serial.println("Destarando...");
14    Serial.println("...");
15    balanza.set_scale(822); // Establecemos la escala en gramos
16    balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.
17    Serial.println("Listo para pesar");
18 }
19
20 void loop()
21 {
22     P();
23 }
24
25 void P()
26 {
27     if (Vector_P[50] == 0)
28     {
29         for (int i = 1; i < 51; i++)
30         {
31             Vector_P[i] = balanza.get_units(5), 3;
32             delay(100);
33             Serial.println(Vector_P[i]);
34             if (i >= 11)
35             {
36                 int Media_P = Media_P + (Vector_P[i] - Media_P) / (i - 10);
37                 if (Vector_P[50] != 0)
38                 {
39                     Serial.print(i); Serial.print(": Media de Pesos: "); Serial.println(Media_P);
40                 }
41             }
42         }
43     }
44 }
```

5.1.4.3. UML Sensor Celda de Carga

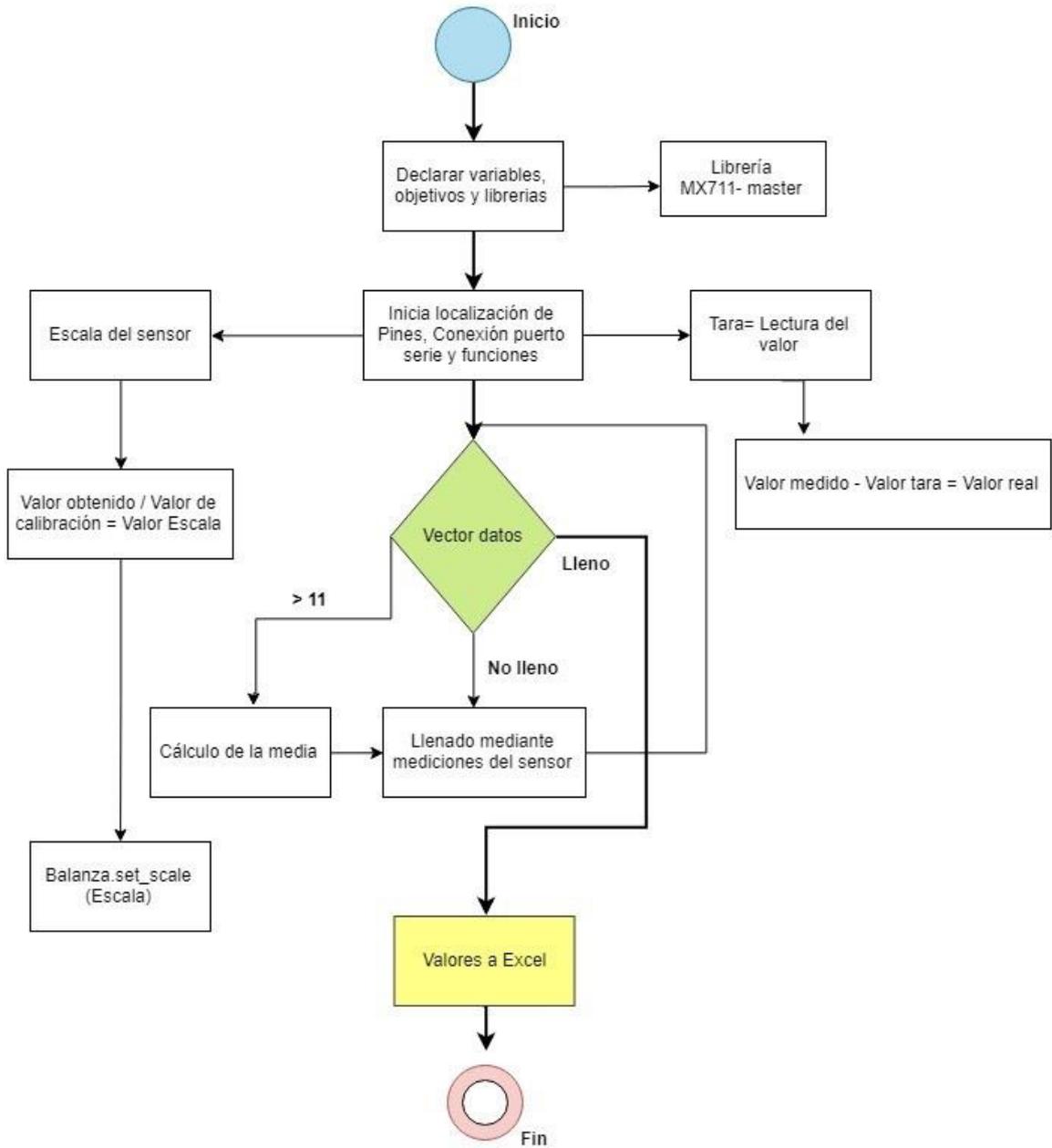


Tabla 42 UML Sensor Celda de Carga

Elaboración Propia

5.1.4.4. Resultados

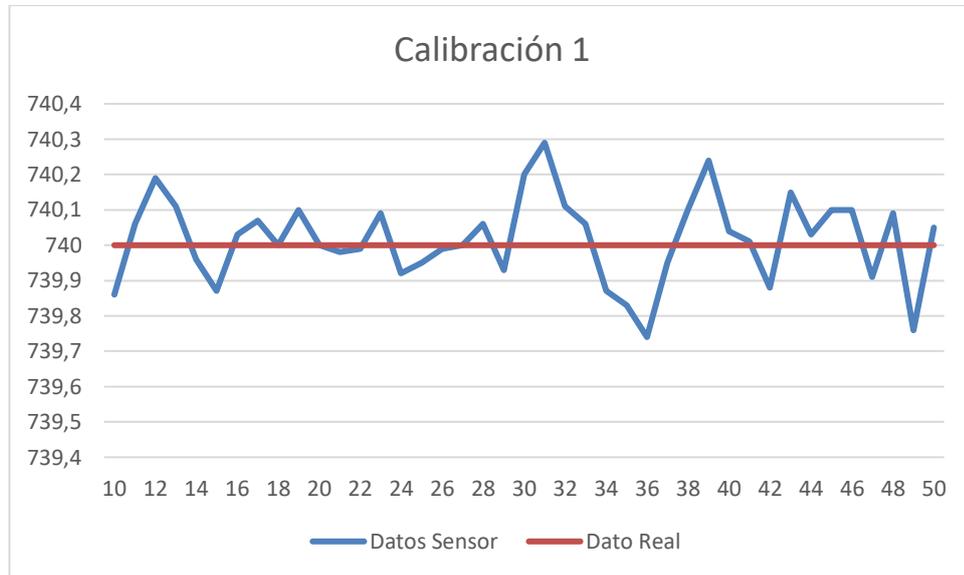


Tabla 43 Calibración 1 Peso

Elaboración propia

media	Varianza	Desviación
740.02025	0.0003557	0.00298204

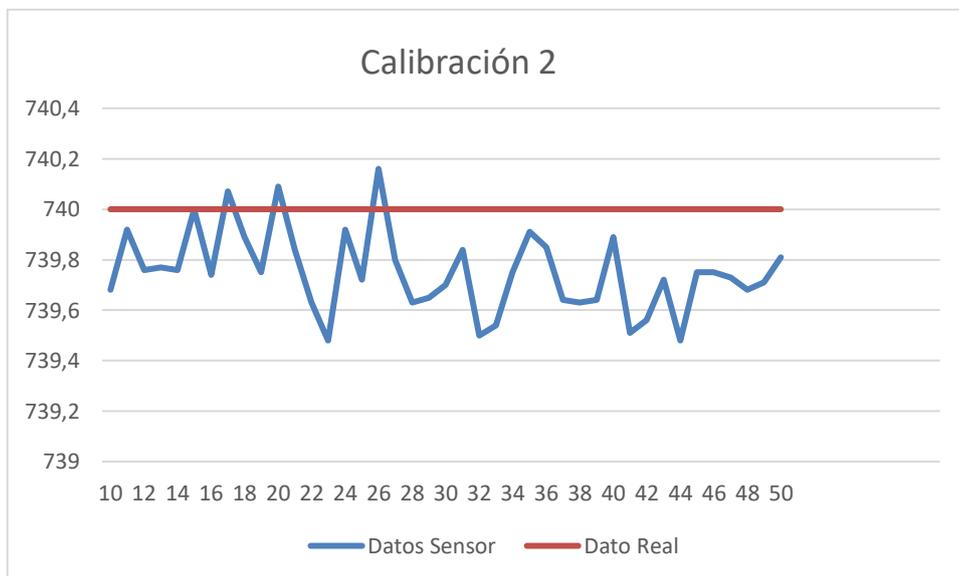


Tabla 44 calibración 2 Peso

Elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
739.75425	0.0006655	0.0040789

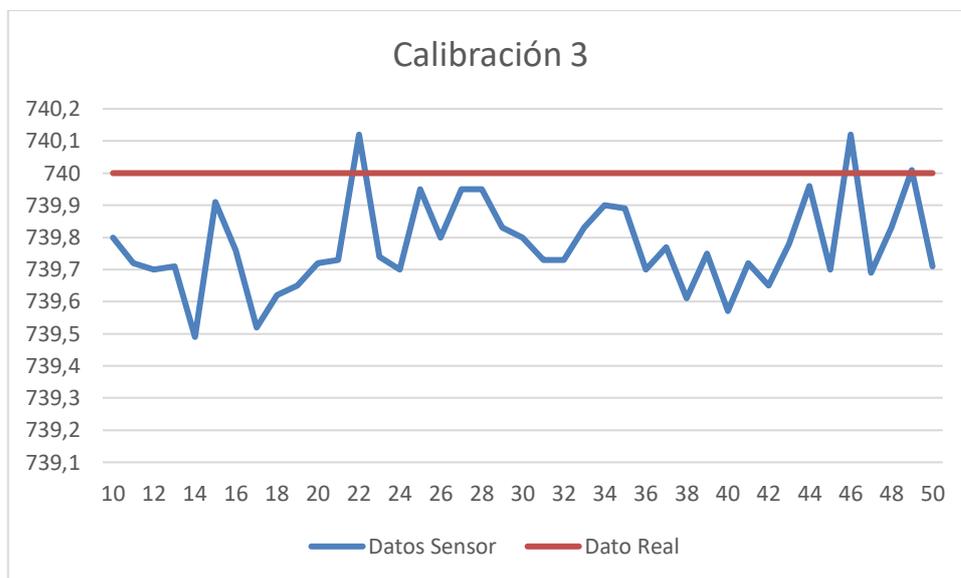


Tabla 45 calibración 3 Peso

elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
739.7755	0.00051474	0.003587259

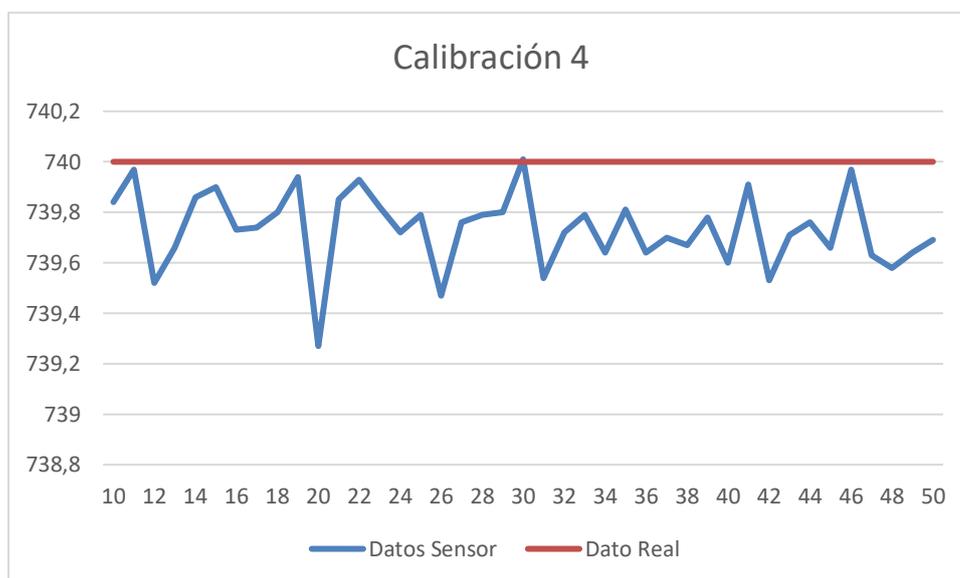


Tabla 46 Calibración 4 Peso

Elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
739.7325	0.00057638	0.00379598

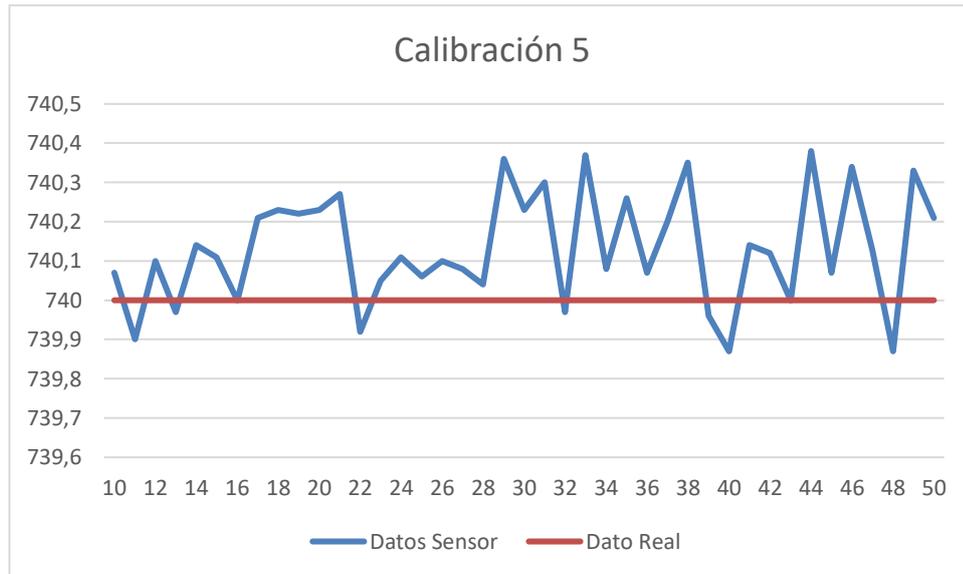


Tabla 47 calibración 5 Peso

elaboración Propia

media	Varianza	Desviación
740.13375	0.00051714	0.00359562

Se puede observar con esta calibración que los errores son de décimas de gramo, por lo que se cataloga el sensor como óptimo para el cálculo.

5.1.5. *Análisis de Imagen*

A través de este método se pretende obtener el porcentaje de defectos de las piezas, para ello se utilizará como calibración dos muestras, una de ellas descartada por defectos y otra aceptada.

5.1.5.1. *Código*

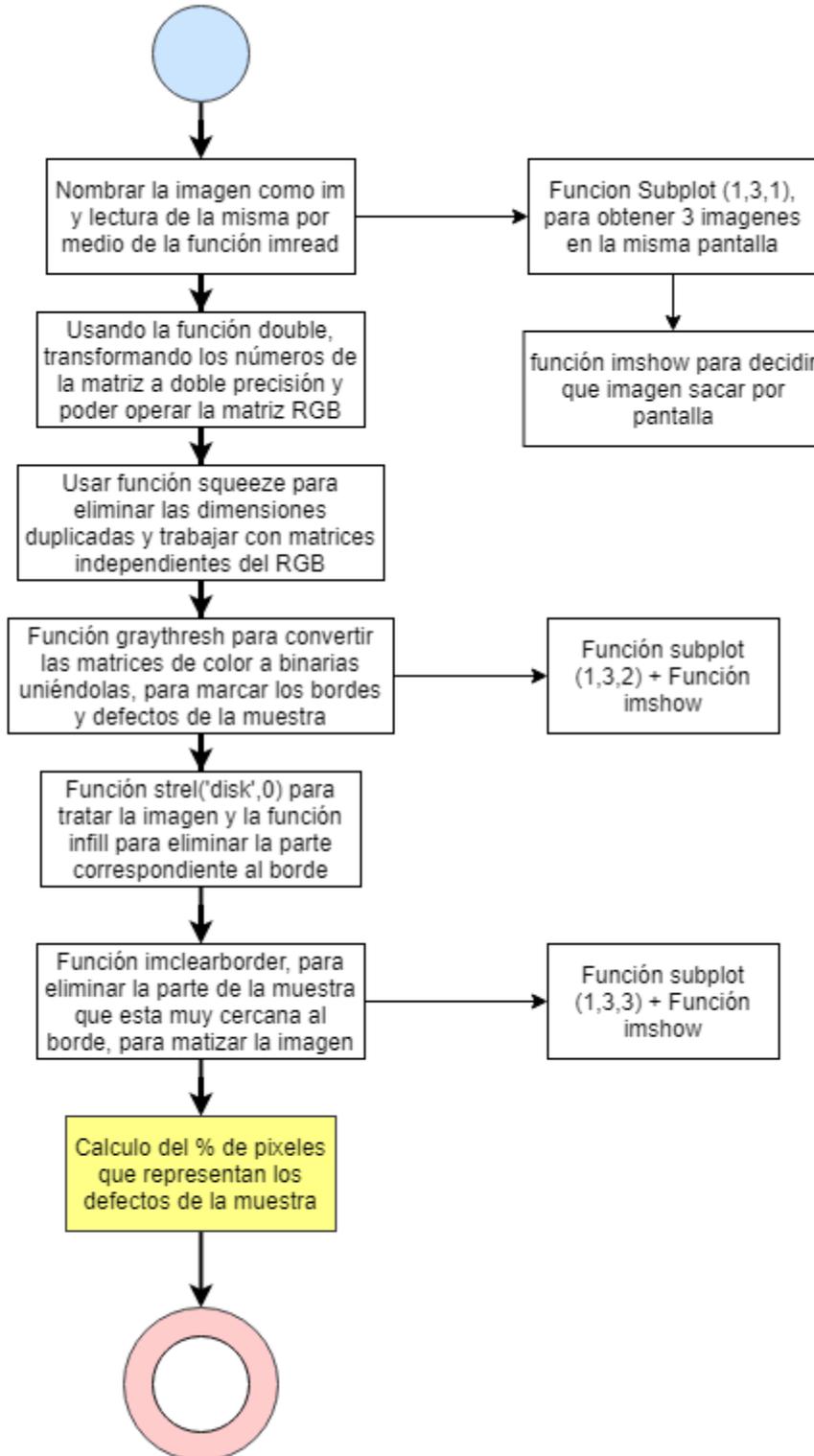
Las funciones implementadas en el código están referenciadas en los anexos.

```
im=imread('1.jpg');
subplot(1,3,1)
imshow(im); title('1. Imagen RGB [im]');
im=im2double(im);
[r c p] = size(im);
imR=squeeze(im(:,:,1));
imG=squeeze(im(:,:,2));
```

PRUEBAS

```
imB=squeeze(im(:,:,3));  
imBinaryR=im2bw(imR,graythresh(imR));  
imBinaryG=im2bw(imG,graythresh(imG));  
imBinaryB=im2bw(imB,graythresh(imB));  
imBinary=imcomplement(imBinaryR & imBinaryG & imBinaryB);  
subplot(1,3,2)  
imshow(imBinary); title('2. Imagen Binaria [imBinary]');  
se=strel('disk',0);  
imClean=imopen(imBinary,se);  
imClean=imfill(imClean,'holes');  
imClean=imclearborder(imClean);  
subplot(1,3,3)  
imshow(imClean); title('3. Imagen Defectos [imClean]');  
Pix=c*r;  
Defs=imClean;  
Defs=find(Defs==1);  
Defs=size(Defs);  
Defs=Defs(1);  
Marco_Defs=imBinary;  
Marco_Defs=find(Marco_Defs==1);  
Marco_Defs=size(Marco_Defs);  
Marco_Defs=Marco_Defs(1);  
Marco=Marco_Defs-Defs;  
Fruta=Pix-Marco;  
Porcent=Defs/Fruta;
```

5.1.5.2. UML Análisis de Imagen



5.1.5.3. Calibración

Primero veremos la imagen de defectos y las operaciones que se le han realizado para obtener los defectos. Con estos cálculos observamos que los defectos representan el 2,67 % del total.

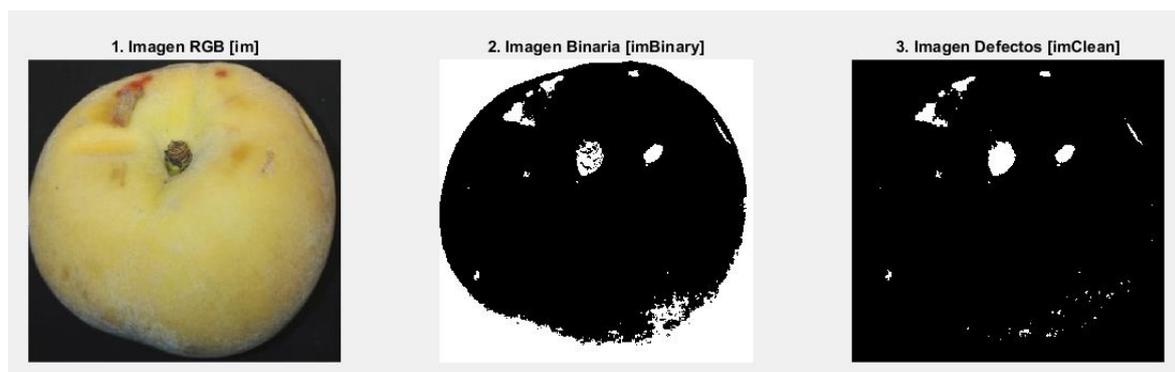


Ilustración 28 Imagen con Defectos

Elaboración Propia

En segundo lugar, la imagen catalogada como aceptable, cuyo porcentaje de defectos representa un 0,4% del total. Una de las cosas que se observan en esta imagen es que, aunque haya elementos que no pertenezcan a la muestra el propio software los discrimina de manera automática.

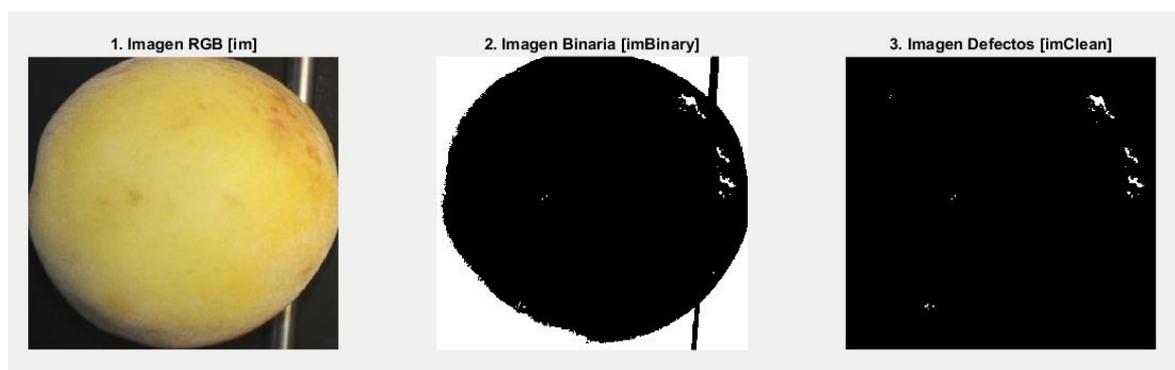


Ilustración 29 Imagen sin defectos

Elaboración Propia

5.2. MUESTRAS

Se ha elegido un conjunto de 8 muestras para realizar el análisis correspondiente a cada sensor anteriormente descrito y calibrado.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de cada muestra mediante fotografías y gráficos. Su leyenda es la siguiente:

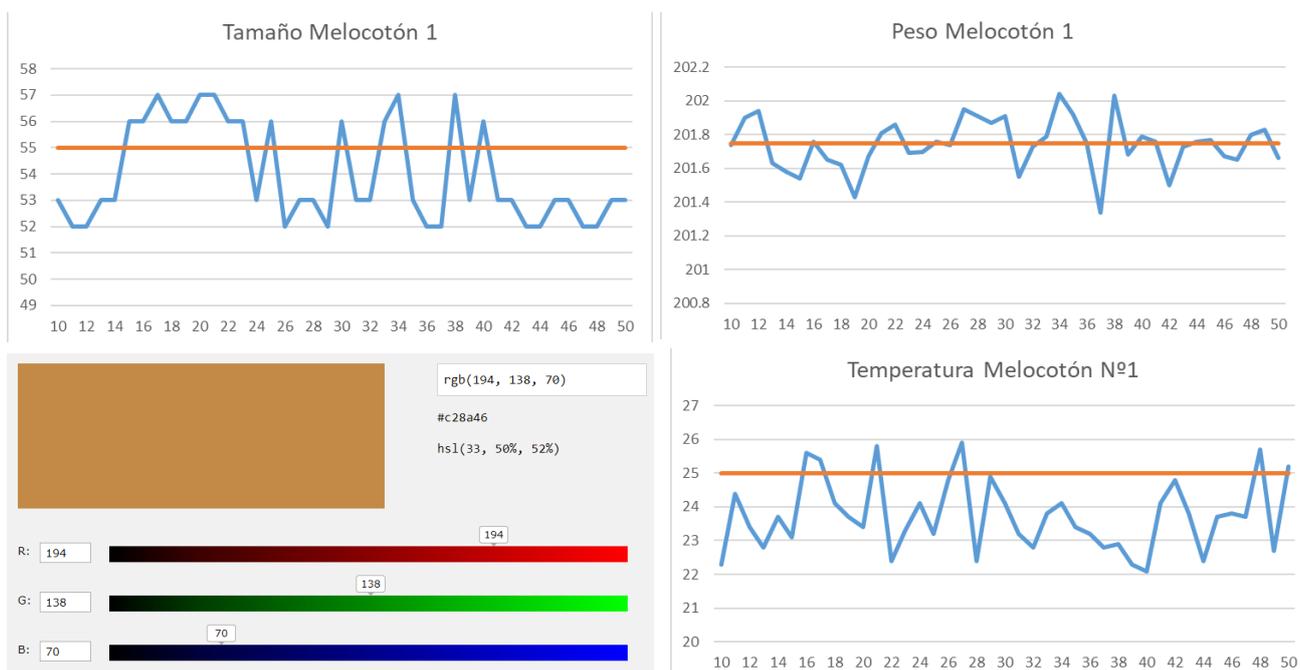
— Datos Obtenidos — Dato Real

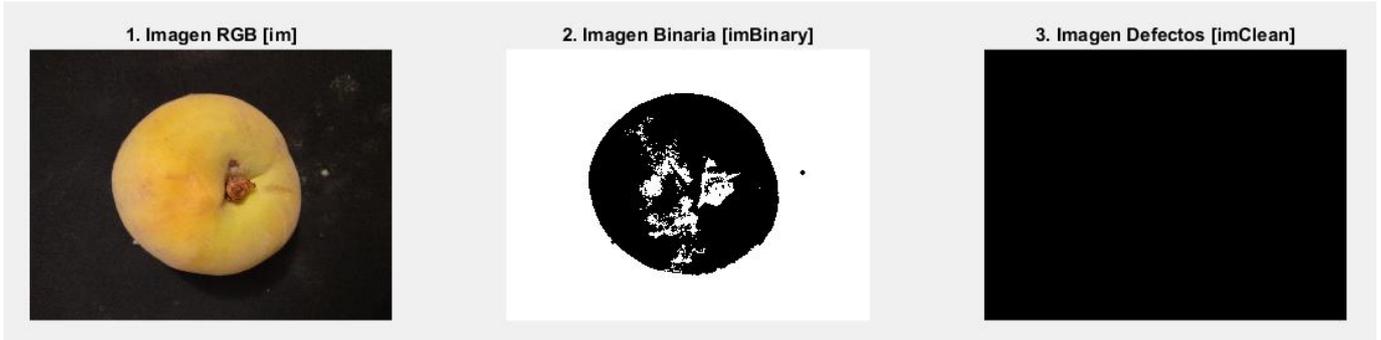
5.2.1. Muestra 1



Ilustración 30 Muestra de Melocotón N°1

Elaboración Propia



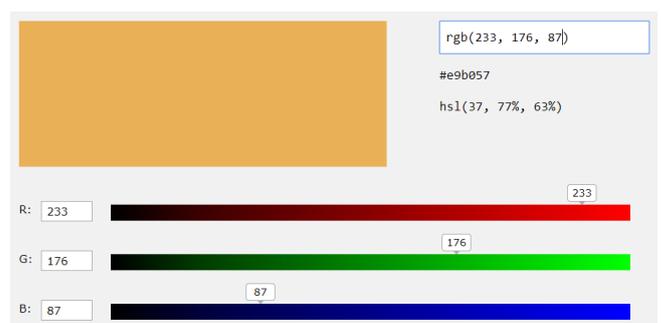
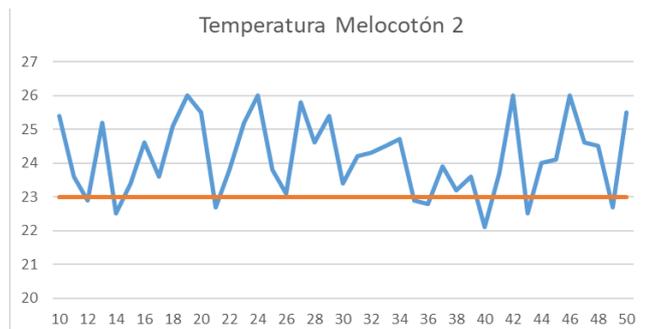
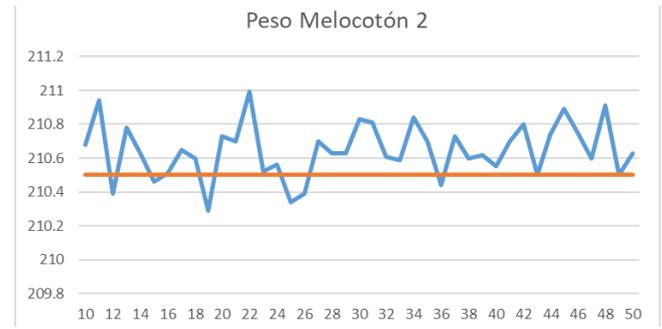
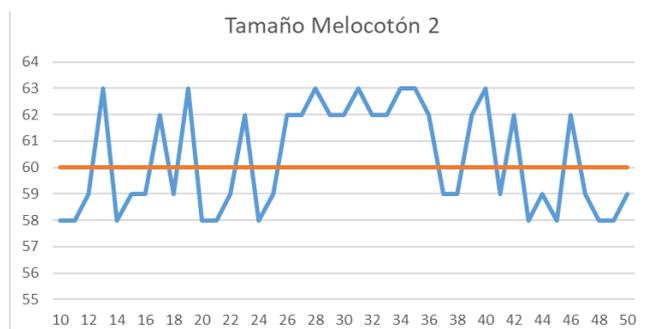


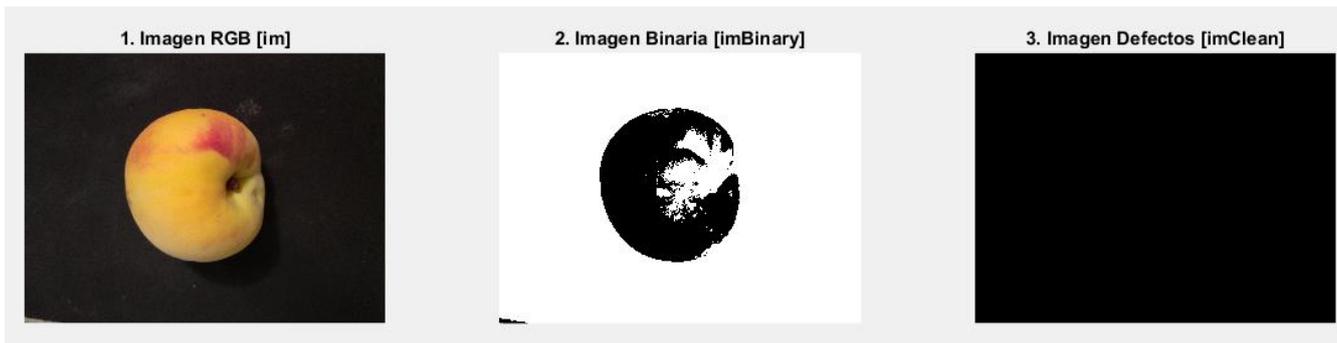
5.2.2. Muestra 2



Ilustración 31 Muestra de Melocotón N°2

Elaboración Propia



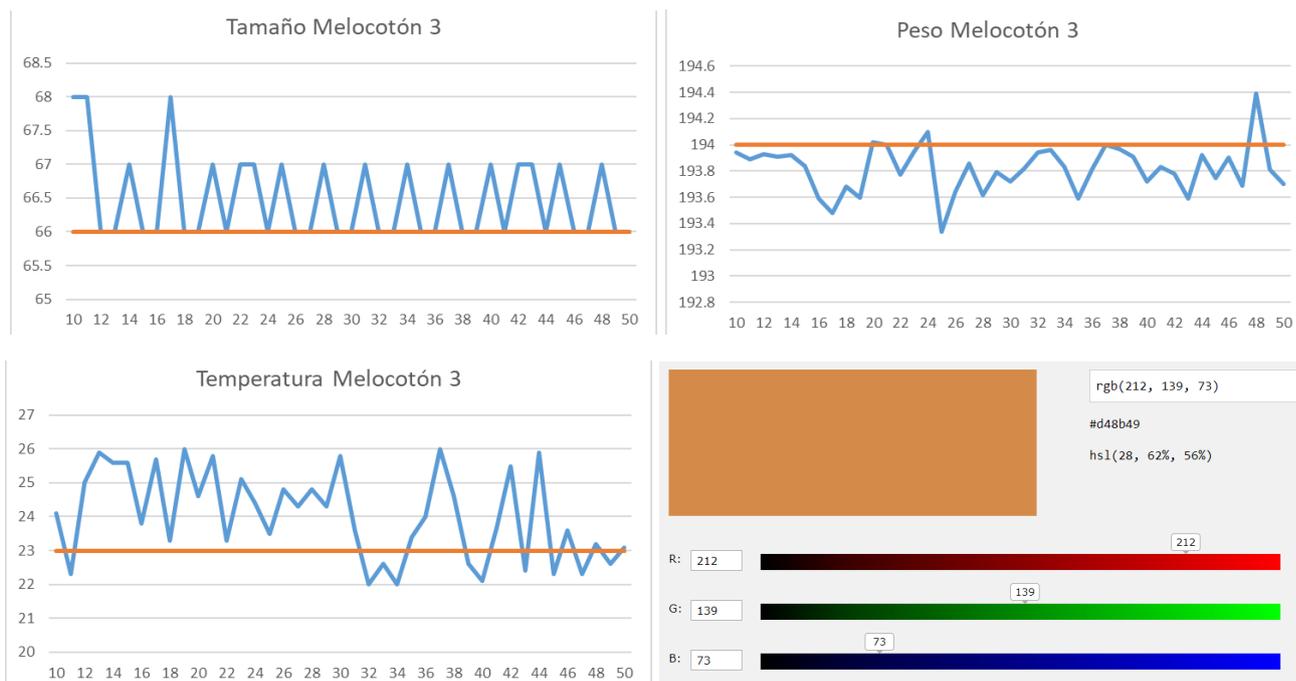


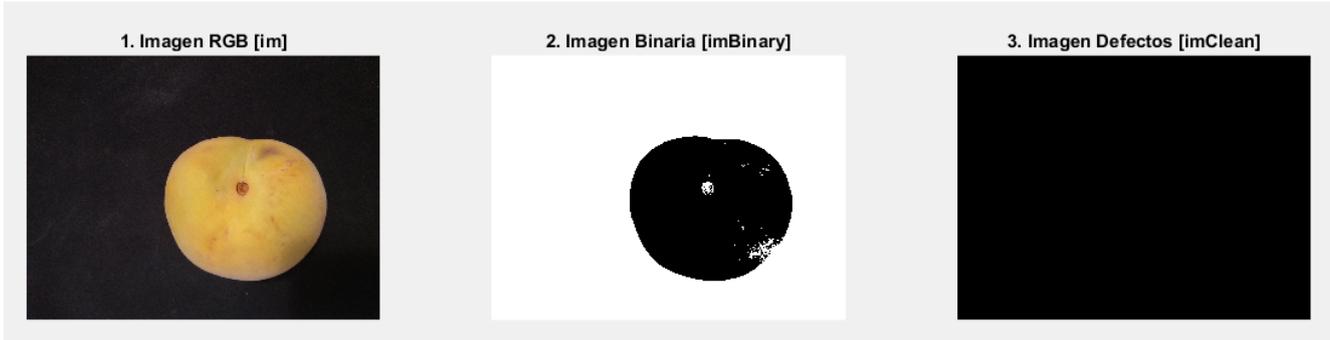
5.2.3. Muestra 3



Ilustración 32 Muestra de Melocotón N°3

Elaboración Propia



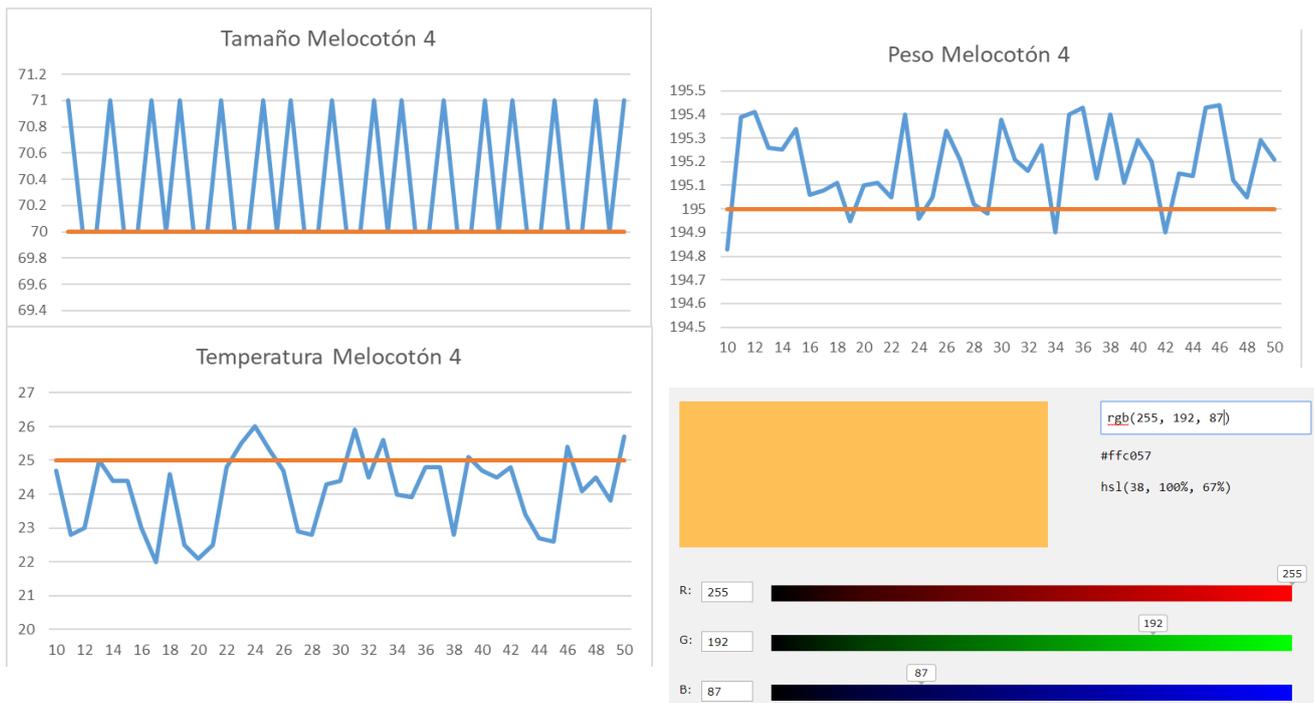


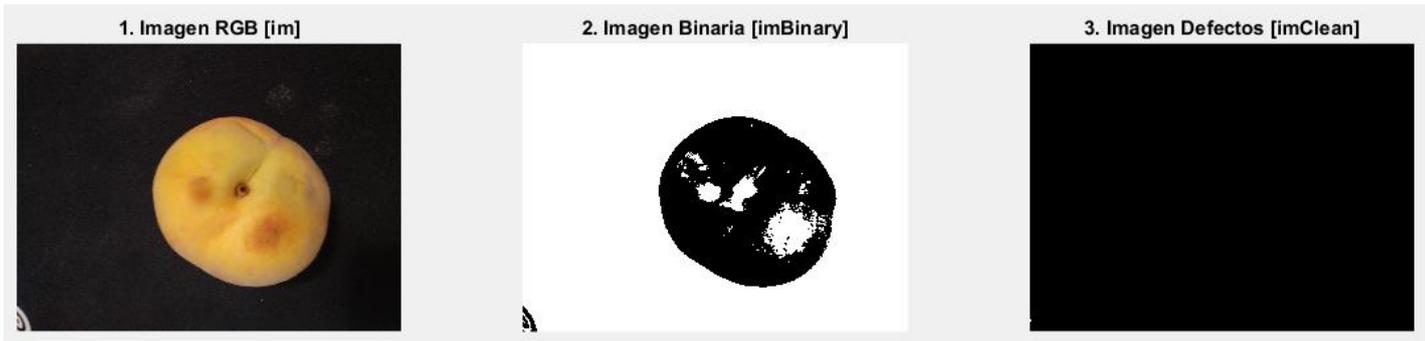
5.2.4. Muestra 4



Ilustración 33 Muestra Melocotón N°4

Elaboración Propia



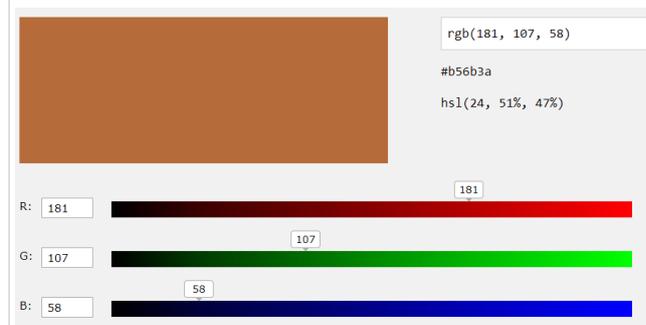
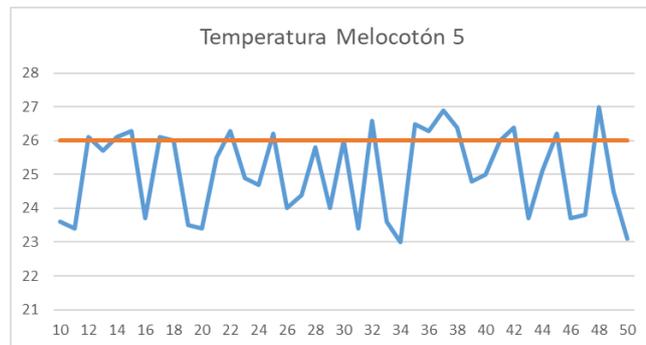
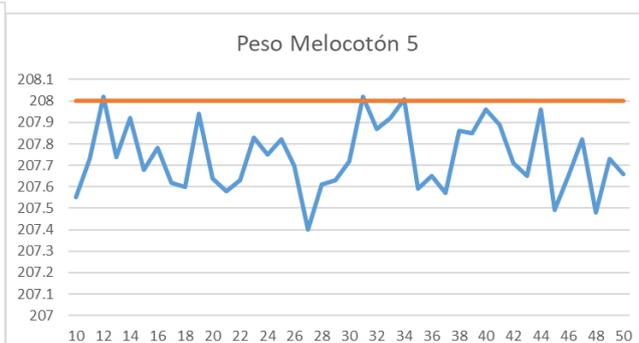
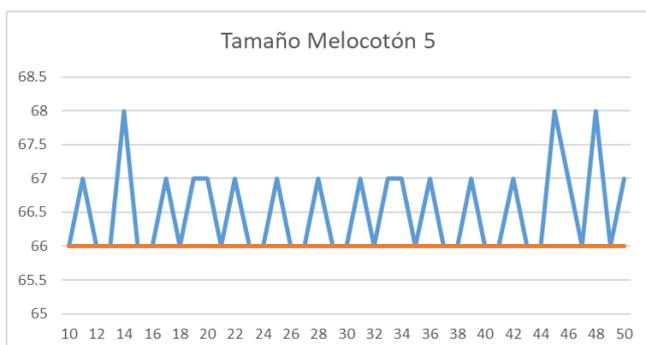


5.2.5. Muestra 5



Ilustración 34 Muestra Melocotón N°5

Elaboración Propia



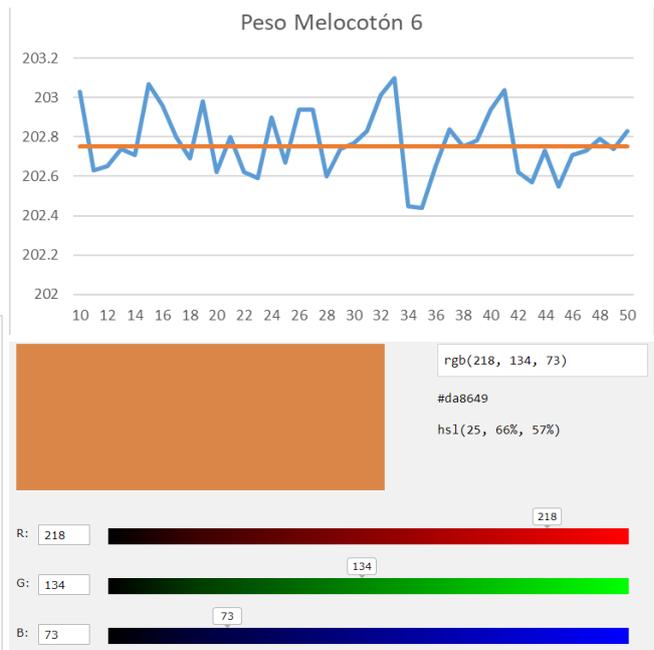
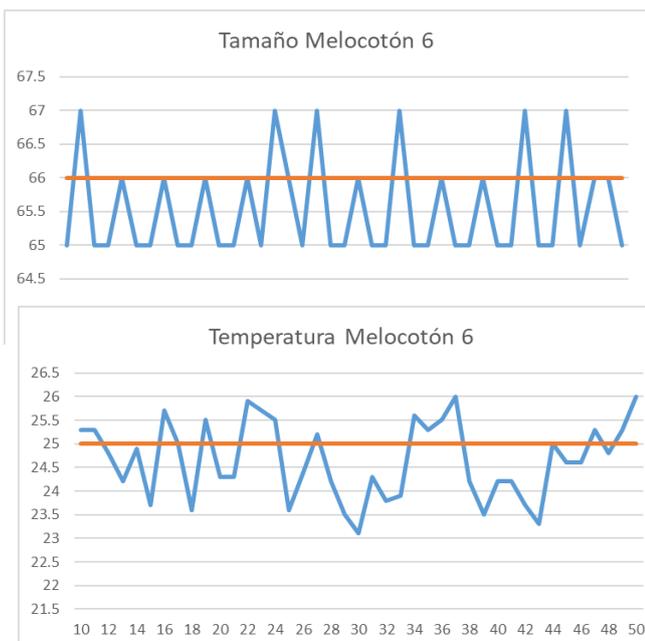


5.2.6. Muestra 6



Ilustración 35 Muestras Melocotón N°6

Elaboración Propia



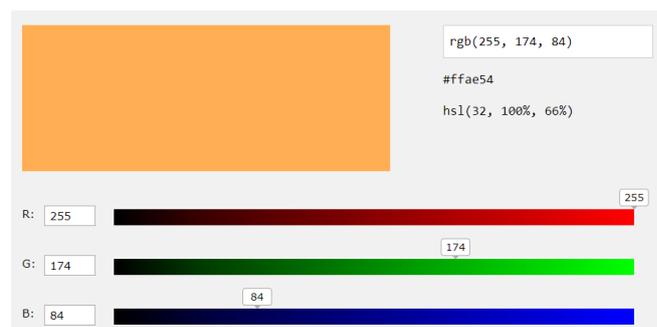
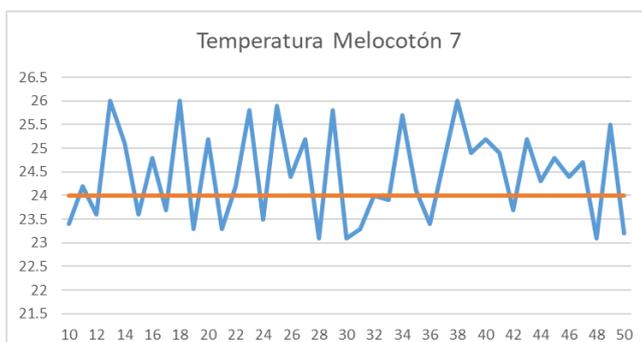
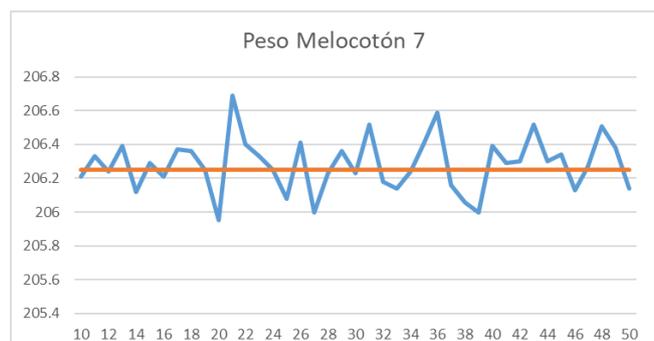
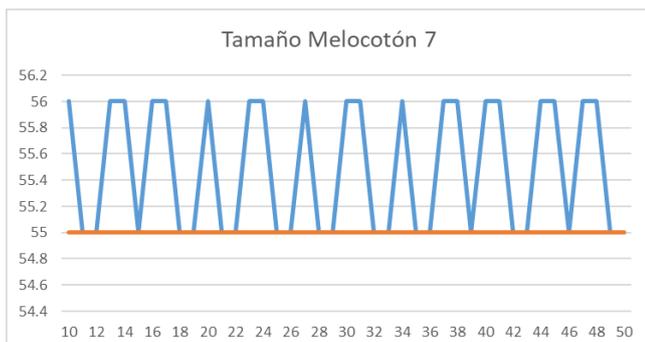


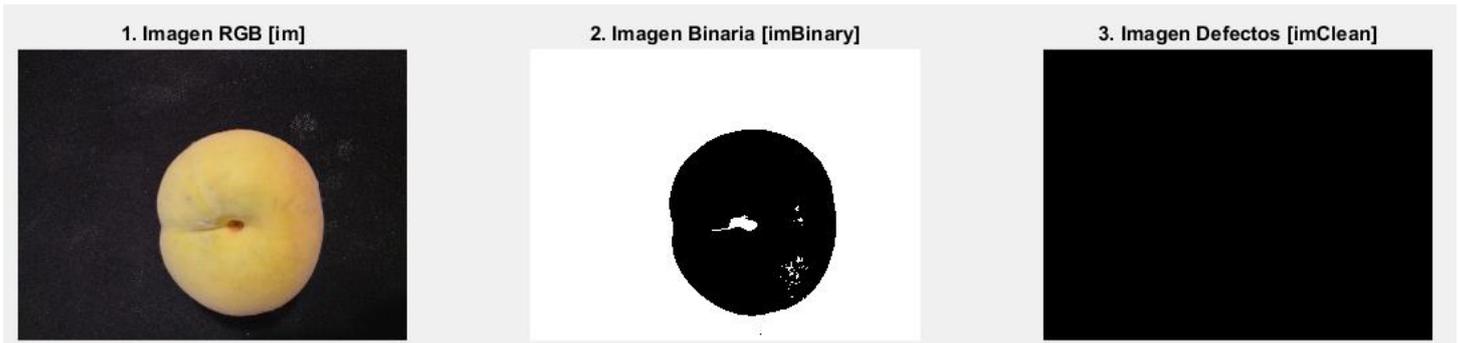
5.2.7. Muestra 7



Ilustración 36 Muestra Melocotón N°7

Elaboración Propia



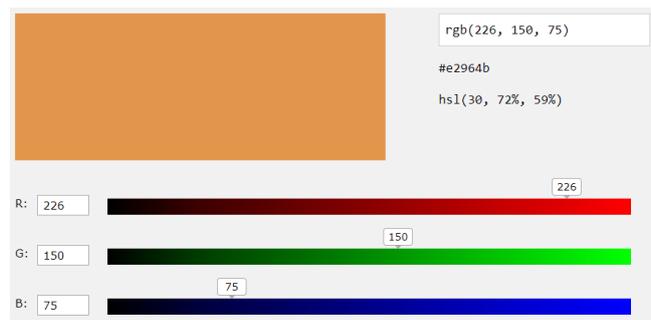
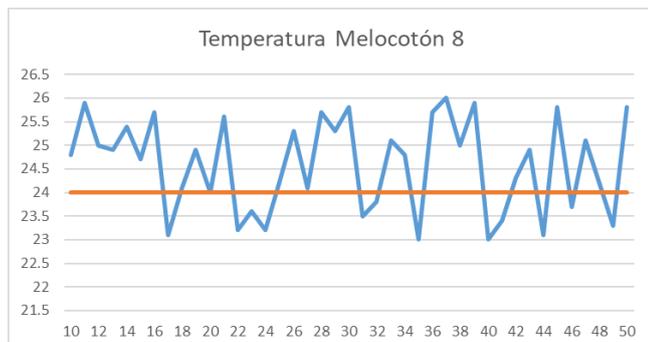
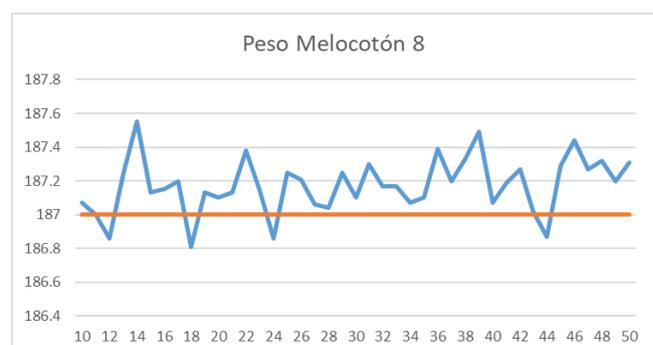
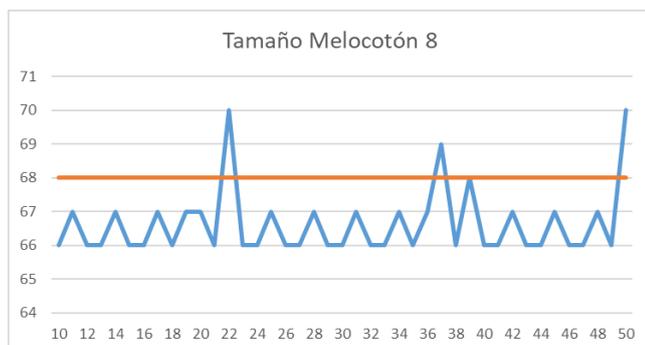


5.2.8. Muestra 8



Ilustración 37 Muestra Melocotón N°8

Elaboración Propia



5.3. CÓDIGO GENERAL ARDUINO

```
1 //Variables Globales
2 String Codigo;
3 boolean Tarar = false;
4 boolean Escalar = false;
5 boolean Ref = false;
6 boolean Select = false;
7 boolean Param = false;
8 float Pmax_cal; float Pmin_cal;
9 float Pmax_pes; float Pmin_pes;
10 float Pmax_colR; float Pmax_colG; float Pmax_colB; float Pmin_colR; float Pmin_colG; float Pmin_colB;
11 float Pmax_temp; float Pmin_temp
12
13 //Variables Temperatura
14 #include <Adafruit_MLX90614.h>
15 Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
16 int Vector_T[51] = {0};
17 int Vector_Tl[51] = {0};
18 int Media_T;
19 int Media_Tl;
20
21 //Variables distancia
22 byte EchoPin = 6;
23 byte TriggerPin = 5;
24 int Vector_U[51] = {0};
25 int Media_U;
26 int Dref;
27 int ping(int TriggerPin, int EchoPin)
28 {
29     long duration, distance;
30     digitalWrite(TriggerPin, LOW); //para generar un pulso limpio ponemos a LOW 4us
31     delayMicroseconds(4);
32     digitalWrite(TriggerPin, HIGH); //generamos Trigger (disparo) de 10us
33     delayMicroseconds(10);
34     digitalWrite(TriggerPin, LOW);
35     duration = pulseIn(EchoPin, HIGH); //medimos el tiempo entre pulsos, en microsegundos
36     distance = (duration) / (2.92 * 2); //convertimos a distancia, en mm
37     return distance;
38 }
39
```

```

40 //Variables Color
41 #include <Wire.h>
42 #include "Adafruit_TCS34725.h"
43 #define redpin 3
44 #define greenpin 5
45 #define bluepin 6
46 #define commonAnode true
47 byte gammatable[256];
48 Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS, TCS34725_GAIN_4X);
49 int Vector_CR[51];
50 int Vector_CG[51];
51 int Vector_CB[51];
52 byte PinC = 10;
53 boolean PC_c;
54
55 //Variables Peso
56 #include "HX711.h"
57 #define DOUT A1
58 #define CLK A0
59 HX711 balanza(DOUT, CLK);
60 int Escala;
61 int Vector_P[1] = {0};
62
63 void setup()
64 {
65   Serial.begin(9600);
66   pinMode(TriggerPin, OUTPUT); //Tamaño
67   pinMode(EchoPin, INPUT); //Tamaño
68   mlx.begin(); //Temp
69   pinMode(redpin, OUTPUT); //Color
70   pinMode(greenpin, OUTPUT); //Color
71   pinMode(bluepin, OUTPUT); //Color
72   Serial.println("HELP -> Ventana de Comandos");
73 }
74
75 void loop()
76 {
77   CG();
78   CE();
79   CP();
80 }
81

```

```
82 void CG ()
83 {
84     Codigo = Serial.readString();
85     if (Codigo == "HELP")
86     {
87         Serial.println(F("-----"));
88         Serial.println(F("TARA -> Realizar una Tara del peso de la celda de carga"));
89         Serial.println(F("ESCALA -> Marcar la escala del peso de la celda de carga"));
90         Serial.println(F("DIST -> Marcar la distancia de Referencia"));
91         Serial.println(F("PARAM -> Marcar los parametros de Calidad"));
92         Serial.println(F("ON -> Empezar con las mediciones, para su funcionamiento todas las demas variables deben tener valor"));
93         Serial.println(F("-----"));
94     }
95     if (Codigo.substring(0, 4) == "TARA")
96     {
97         Serial.print(F("Lectura del valor del ADC: "));
98         Serial.println(balanza.read());
99         Serial.println(F("No ponga ningun objeto sobre la balanza"));
100        Serial.println(F("Destarando..."));
101        Serial.println(F("..."));
102        balanza.set_scale(Escala); // Establecemos la escala en gramos
103        balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.
104        Serial.println(F("Listo para pesar"));
105        Tarar = true;
106    }

107    if (Codigo.substring(0, 6) == "ESCALA")
108    {
109        Codigo.substring(7, 12) = Escala;
110        Serial.println(F("Escala de Medida Actualizada"));
111        Escalar = true;
112    }
113    if (Codigo.substring(0, 4) == "DIST")
114    {
115        Codigo.substring(7, 11) = Dref;
116        Serial.println(F("Distancia de Referencia Actualizada"));
117        Ref = true;
118    }
119    if (Codigo.substring(0, 5) == "PARAM")
120    {
121        Serial.println(F("-----"));
122        Serial.println(F("PARAMCALIBRE -> Marca entre que calibres son aceptables las muestras"));
123        Serial.println(F("PARAMPESEO -> Marca entre que pesos son aceptables las muestras"));
124        Serial.println(F("PARAMCOLOR -> Marca entre que colores son aceptables las muestras"));
125        Serial.println(F("PARAMTEMP -> Marca entre que temperaturas son aceptables las muestras"));
126        Serial.println(F("-----"));
127        Param = true;
128    }
}
```

PRUEBAS

```

129   if (Codigo.substring(0, 2) == "ON" and Tarar == true and Escalar == true and Ref == true)
130   {
131       Serial.println(F("-----"));
132       Serial.println(F("CALIBRE -> Obtiene el calibre de la fruta"));
133       Serial.println(F("PESO -> Obtiene el peso de la fruta"));
134       Serial.println(F("COLOR -> Obtiene el color de la fruta"));
135       Serial.println(F("TEMP -> Obtiene la temperatura de la fruta"));
136       Serial.println(F("-----"));
137       Select = true;
138   }
139 }
140
141 void CP()
142 {
143   if (Param == true)
144   {
145     if (Codigo.substring(0, 12) == "PARAMCALIBRE")
146     {
147       if (Codigo.substring(13, 16) == "MAX")
148       {
149         Codigo.substring(17, 19) = Pmax_cal;
150         Serial.println(F("Calibre de Referencia Maximo Actualizado"));
151       }
152       if (Codigo.substring(13, 16) == "MIN")
153       {
154         Codigo.substring(17, 19) = Pmin_cal;
155         Serial.println(F("Calibre de Referencia Minimo Actualizado"));
156       }
157     }
158     if (Codigo.substring(0, 9) == "PARAMPESEO")
159     {
160       if (Codigo.substring(10, 13) == "MAX")
161       {
162         Codigo.substring(13, 16) = Pmax_pes;
163         Serial.println(F("Peso de Referencia Maximo Actualizado"));
164       }
165       if (Codigo.substring(10, 13) == "MIN")
166       {
167         Codigo.substring(13, 16) = Pmin_pes;
168         Serial.println(F("Peso de Referencia Minimo Actualizado"));
169       }
170     }
171     if (Codigo.substring(0, 10) == "PARAMCOLOR")
172     {
173       if (Codigo.substring(11, 14) == "MAX")
174       {
175         Codigo.substring(14, 17) = Pmax_colR;
176         Codigo.substring(18, 21) = Pmax_colG;
177         Codigo.substring(22, 25) = Pmax_colB;
178         Serial.println(F("Color de Referencia Maximo Actualizado"));
179       }

```

```

180         if (Codigo.substring(11, 14) == "MIN")
181     {
182         Codigo.substring(14, 17) = Pmin_colR;
183         Codigo.substring(18, 21) = Pmin_colG;
184         Codigo.substring(22, 25) = Pmin_colB;
185         Serial.println(F("Color de Referencia Minimo Actualizado"));
186     }
187 }
188 if (Codigo.substring(0, 9) == "PARAMTEMP")
189 {
190     if (Codigo.substring(10, 13) == "MAX")
191     {
192         Codigo.substring(13, 16) = Pmax_temp;
193         Serial.println(F("Temp de Referencia Maximo Actualizado"));
194     }
195     if (Codigo.substring(10, 13) == "MIN")
196     {
197         Codigo.substring(13, 16) = Pmin_temp;
198         Serial.println(F("Temp de Referencia Minimo Actualizado"));
199     }
200 }
201 }
202 }
203

```

```

204 void CE()
205 {
206     if (Select = true)
207     {
208         if (Codigo.substring(0, 7) == "CALIBRE")
209         {
210             U();
211             Vector_U[50] = 0;
212         }
213         if (Codigo.substring(0, 4) == "PESO")
214         {
215             P();
216             Vector_P[50] = 0;
217         }
218         if (Codigo.substring(0, 5) == "COLOR")
219         {
220             C();
221             Vector_CR[50] = 0;
222         }
223         if (Codigo.substring(0, 4) == "TEMP")
224         {
225             T();
226             Vector_I[50] = 0;
227         }
228     }
229 }
230

```

PRUEBAS

```
231 void U() //Funcion Tamaño
232 {
233     if (Vector_U[50] == 0)
234     {
235         for (int i = 1; i < 51; i++)
236         {
237             Vector_U[i] = Dref - ping(TriggerPin, EchoPin);
238             Serial.print(i); Serial.print(F(": Dist: ")); Serial.println(Vector_U[i]);
239             delay(50);
240             if (i >= 11)
241             {
242                 Media_U = Media_U + (Vector_U[i] - Media_U) / (i - 10);
243                 if (Vector_U[50] != 0)
244                 {
245                     Serial.print(F("Media de Dist: ")); Serial.println(Media_U);
246                     if (Media_U < Pmax_cal and Media_U > Pmin_cal)
247                     {
248                         Serial.println(F("Muestra dentro de las tolerancias de Tamaño"));
249                     }
250                     else
251                     {
252                         Serial.println(F("Muestra fuera de las tolerancias de Tamaño"));
253                     }
254                 }
255             }
256         }
257     }
258 }
259
```

```
261 void T() //Funcion Temp
262 {
263     if (Vector_T[50] == 0)
264     {
265         for (int i = 1; i < 51; i++)
266         {
267             Vector_T[i] = mlx.readObjectTempC();
268             Vector_Tl[i] = mlx.readAmbientTempC();
269             Serial.print(i); Serial.print(F(": Temp Obj: ")); Serial.print(Vector_T[i]);
270             Serial.print(F(": Temp Amb: ")); Serial.println(Vector_Tl[i]);
271             delay(50);
272             if (i >= 11)
273             {
274                 Media_T = Media_T + (Vector_T[i] - Media_T) / (i - 10);
275                 Media_Tl = Media_Tl + (Vector_Tl[i] - Media_Tl) / (i - 10);
276                 if (Vector_T[50] != 0)
277                 {
278                     Serial.print(F("Media de Temp Obj: ")); Serial.println(Media_T);
279                     Serial.print(F("Media de Temp Amb: ")); Serial.println(Media_Tl);
280                     if (Media_T < Pmax_temp and Media_T > Pmin_temp)
281                     {
282                         Serial.println(F("Muestra dentro de las tolerancias de Temperatura"));
283                     }
284                     else
285                     {
286                         Serial.println(F("Muestra fuera de las tolerancias de Temperatura"));
287                     }
288                 }
289             }
290         }
291     }
292 }
293
294 void C() //Funcion Color
295 {
296     if (Vector_CR[50] == 0)
297     {
298
299         for (int i = 1; i < 51; i++)
300         {
301             uint16_t clear, red, green, blue;
302             tcs.getRawData(&red, &green, &blue, &clear);
303             Vector_CR[i] = red, DEC;
304             Vector_CG[i] = green, DEC;
305             Vector_CB[i] = blue, DEC;
306             Serial.print(i, DEC); Serial.print(F("\tR:\t")); Serial.print(Vector_CR[i]);
307             Serial.print(F("\tG:\t")); Serial.print(Vector_CG[i]);
308             Serial.print(F("\tB:\t")); Serial.println(Vector_CB[i]);
309             delay(60);
310             if (i >= 11)
311             {
312                 int Media_CR = Media_CR + (Vector_CR[i] - Media_CR) / (i - 10);
313                 int Media_CG = Media_CG + (Vector_CG[i] - Media_CG) / (i - 10);
314                 int Media_CB = Media_CB + (Vector_CB[i] - Media_CB) / (i - 10);
```

PRUEBAS

```

315         if (Vector_CR[50] != 0)
316     {
317         Serial.print(F("Media de RGB Rojo: ")); Serial.println(Media_CR);
318         Serial.print(F("Media de RGB Verde: ")); Serial.println(Media_CG);
319         Serial.print(F("Media de RGB Azul: ")); Serial.println(Media_CB);
320         if (Media_CR<Pmax_colR and Media_CR>Pmin_colR)
321     {
322         if (Media_CG<Pmax_colG and Media_CG>Pmin_colG)
323     {
324         if (Media_CB<Pmax_colB and Media_CB>Pmin_colB)
325     {
326         Serial.println(F("Muestra dentro de las tolerancias de Color"));
327     }
328     }
329     }
330     else
331     {
332         Serial.println(F("Muestra fuera de las tolerancias de Color"));
333     }
334     }
335     }
336     }
337 }
338 }
339
340
341 void P() //Funcion Peso
342 {
343     if (Vector_P[50] == 0)
344     {
345         for (int i = 1; i < 51; i++)
346     {
347         Vector_P[i] = balanza.get_units(5), 3;
348         Serial.print(i); Serial.print(F(" : Peso: ")); Serial.print(Vector_P[i]);
349         if (i >= 11)
350     {
351         int Media_P = Media_P + (Vector_P[i] - Media_P) / (i - 10);
352         if (Vector_P[50] != 0)
353     {
354         Serial.print(i); Serial.print(F(" : Media de Pesos: ")); Serial.println(Media_P);
355         if (Media_P<Pmax_pes and Media_P>Pmin_pes)
356     {
357         Serial.println(F("Muestra dentro de las tolerancias de Peso"));
358     }
359     else
360     {
361         Serial.println(F("Muestra fuera de las tolerancias de Peso"));
362     }
363     }
364     }
365     }
366     }
367 }

```

5.4. ESQUEMA DE CONEXIONES ARDUINO

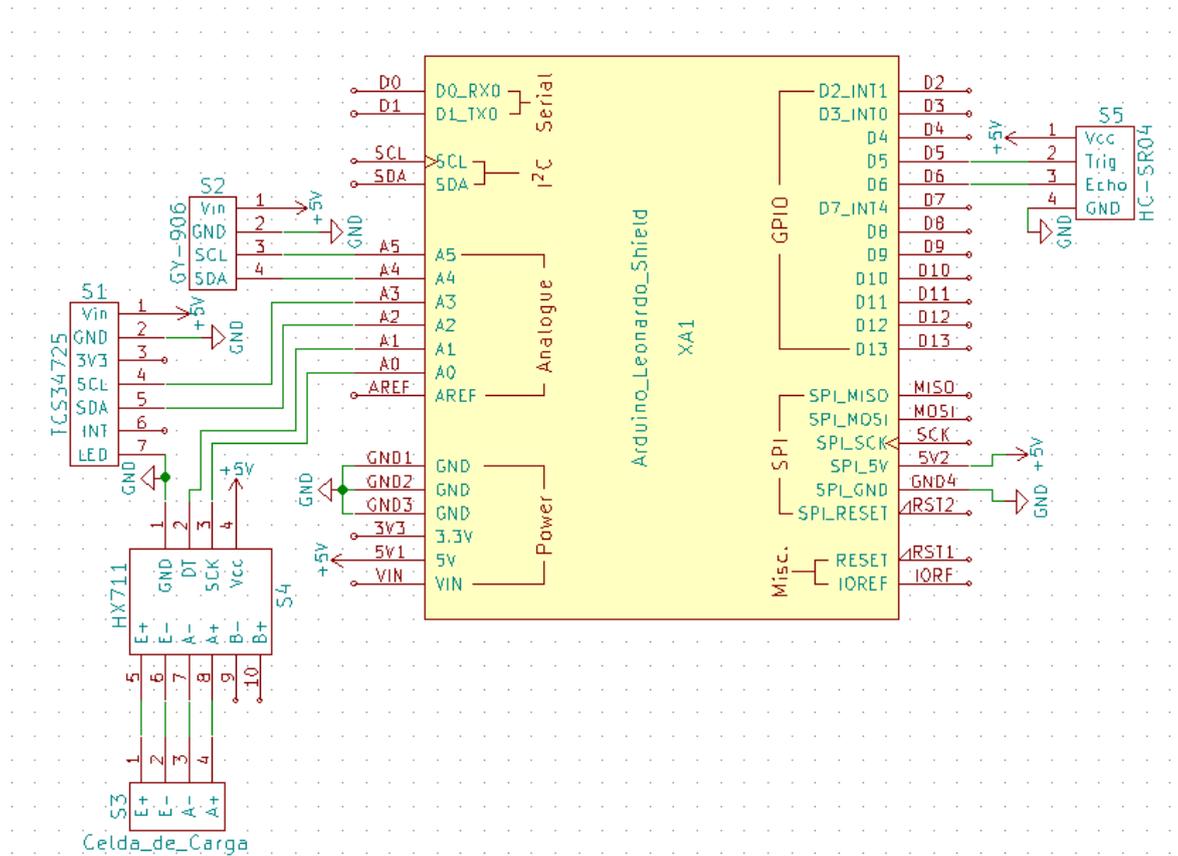


Ilustración 38 Esquema General de Sensores Arduino

Elaboración Propia

6. CONCLUSIONES

Siendo el objetivo de este trabajo la evaluación de una variedad frutal determinada, se puede decir que se ha realizado con éxito.

En cuanto a la elección frutal, he elegido el Melocotón, ya que España es el 4º productor a nivel mundial, convirtiéndose a su vez, en el mayor exportador de Europa. Su volumen de producción aumenta cada día más, destacando en Aragón el Melocotón de Calanda.

Para su realización me he encontrado con varias dificultades. La primera de ellas es la precisión en la obtención de los datos, pues hay diferencia entre los sensores utilizados y los profesionales, lo que ha supuesto mayor esfuerzo a la hora de interpretarlos. La segunda dificultad la he encontrado a la hora de utilizar la visión artificial como forma de obtención de datos relacionados con el color y los defectos, dado que los conocimientos que poseo acerca del programa MATLAB son básicos, dando lugar a que el cálculo simplemente se haya realizado de los % de defectos en las muestras.

Finalmente decir, que mientras la obtención del peso y el calibre de las muestras ha dado resultados satisfactorios, la medición del color y la temperatura no se ha podido implementar con los sensores elegidos, ya que la toma de datos es realizada en un punto de la superficie, no dando valores de la muestra en su conjunto.

La solución sería recorrer la muestra mediante el uso del correspondiente sensor, acoplándolo a servomotores para crear una matriz de las mediciones obteniendo el conjunto de datos. Por este motivo, la unión servomotor-sensor no se puede llevar a cabo, pues la velocidad de procesamiento de estos datos y su obtención son muy lentas en el tiempo, siendo este uno de los factores que más priman en un sistema de evaluación.

7. BIBLIOGRAFÍA

AGOUES, A. M. (2013). *SENSORES DE FIBRA ÓPTICA PARA LA DETECCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES BASADOS EN XEROGELES SILÍCEOS HÍBRIDOS*.

Agustí, M. (2004). *Fruticultura*. Madrid: Mundi Prensa Libros S.A.

Arduino, A. (s.f.). *aprendiendoarduino.wordpress.com*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/27/arduino-uno-a-fondo-mapa-de-pines-2/>

Camelo, A. F. (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas*. Roma: INTA E.E.A. Balcarce.

Diezma, B., & Ruiz-Altisent, M. (2004). Propiedades Acusticas y Calidad Interna. *Horticultura*, 38-39.

EEAD. (s.f.). *eead.csic.es*. Obtenido de <http://www.eead.csic.es/web/guest/home/who-we-are>

Elizondo, M. C. (Noviembre de 2002). *ftp.unicauca.edu.co*. Obtenido de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Identificacion/matlab_seminar/docs/Matlab6xConatec.pdf

GEA. (2000). *Gran Enciclopedia Aragonesa*. Obtenido de http://www.enciclopedia-aragonesa.com/voz.asp?voz_id=5905

Gil, C. (2017). La Hortofruticultura en Aragon. *I Encuentro Postcosecha* . Zaragoza.

GitHub. (s.f.). *GitHub.com*. Obtenido de <https://github.com/>

Iglesias Castellarnau, I., & Carbó Pericay, J. (2 de Marzo de 2018). *Interempresas.net*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/208474-El-cultivo-del-manzano-en-Espana-situacion-actual-e-innovacion-varietal.html>

InfoAgro. (s.f.). *infoAgro.com*. Obtenido de http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=4001

Lemus, E. C. (2012). *Sistema Electronico de Calibracion de Fruta por Diametro*.

Llamas, L. (s.f.). *www.luisllamas.es*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/>

Martin, J. J., & Cuevas, J. (2014). *La fruticultura del siglo XXI en España*. Cajamar Caja Rural.

BIBLIOGRAFIA

- MathWorks. (s.f.). *es.mathworks.com*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>
- Mechatronics, N. (s.f.). *naylampmechatronics.com*. Obtenido de https://naylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html
- Ministerio de Agricultura y Pesca, A. y. (2015). *Mapama.gob*. Obtenido de <https://www.mapama.gob.es/app/materialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?Ing=es&IdFicha=1159>
- Porto, J. P. (2017). *Definicion.DE*. Obtenido de <https://definicion.de/fruticultura/>
- Ruiz-Altisent, M., & Valero, C. (Enero de 1998). *researchgate.net*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/50276290_Propiedades_cualitativas_de_las_frutas_Que_se_puede_medir_hoy
- Spurgeon, D. (1976). *Hidden harvest*. International Development Research Centre.
- Zaragozano, D. J. (s.f.). *citarea.cita-aragon.es*. Obtenido de https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/2522/1/2014_079.pdf