



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 23 de Julio de 2024.

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Yojan Camilo Cardozo Gomez, con C.C. No. 1075309038,

Diego Mauricio Tovar Pascuas, con C.C. No. 1075321139,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o \_\_\_\_\_

Titulado: Diseño e implementación de un prototipo de colorímetro de bajo costo para la medición del nivel de tueste de café molido por medio de la escala agtron gourmet con registro en base de datos

presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de

Ingeniero electrónico \_\_\_\_\_;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**



**CARTA DE AUTORIZACIÓN**

**CÓDIGO**

**AP-BIB-FO-06**

**VERSIÓN**

**1**

**VIGENCIA**

**2014**

**PÁGINA**

**2 de 2**

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:






Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

|   |                           |         |   |          |      |   |  |        |  |
|---|---------------------------|---------|---|----------|------|---|--|--------|--|
|  | UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA |         |   |          |      |     |  |        |  |
|   | GESTIÓN DE BIBLIOTECAS    |         |   |          |      |   |  |        |  |
| DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO                                     |                           |         |   |          |      |   |  |        |  |
| CÓDIGO  | AP-BIB-FO-07              | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA  |  | 1 de 4 |  |

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Diseño e implementación de un prototipo de colorímetro de bajo costo para la medición del nivel de tueste de café molido por medio de la escala agron gourmet con registro en base de datos.

**AUTOR O AUTORES:**

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Cardozo Gomez              | Yojan Camilo             |
| Tovar Pascuas              | Diego Mauricio           |

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Quintero Polanco           | Jesús David              |

**ASESOR (ES):**

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Losada Sendoya             | Diego Fernando           |
| Barrera Campo              | Jose Fernando            |

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Electrónico

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Ingeniería Electrónica

**CIUDAD:** NEIVA, HUILA

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2024

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 104

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 4

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una **X**):

Diagramas   X   Fotografías   X   Grabaciones en discos        Ilustraciones en general   X   Grabados         
Láminas        Litografías        Mapas        Música impresa        Planos        Retratos        Sin ilustraciones        Tablas  
o Cuadros   X  

**SOFTWARE:** requerido y/o especializado para la lectura del documento: Microsoft Word / Adobe Reader.

**MATERIAL ANEXO:** Modelo 3D del soporte del prototipo, Código fuente en formato PDF.

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser *LAUREADAS* o *Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

| <u>Español</u>    | <u>Inglés</u>  | <u>Español</u> | <u>Inglés</u> |
|-------------------|----------------|----------------|---------------|
| 1. Agtron Gourmet | Agtron Gourmet | 6. Muestra     | Samples       |
| 2. Base de datos  | Database       | 7. Prototipo   | Prototype     |
| 3. Calibración    | Calibrate      | 8. _____       | _____         |
| 4. Colorímetro    | Colorimeter    | 9. _____       | _____         |
| 5. Instrumento    | Instrument     | 10. _____      | _____         |

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

El proyecto tiene como objetivo desarrollar e implementar un colorímetro de bajo costo especializado en clasificar el café tostado molido según la escala Agtron Gourmet, esto teniendo en cuenta los elevados costos de estos instrumentos y también para incentivar la investigación e industrialización de este producto en el país. Durante este proceso se recolectaron diversas muestras de café molido con diferentes niveles de tostado las cuales fueron clasificadas subjetivamente con los discos de Agtron Gourmet, esto para la calibración de esta escala al prototipo diseñado, comparando sus mediciones con el colorímetro CR-410 Chroma Meter suministrado por el Centro de Surcolombiano de Investigación en Café de la Universidad Surcolombiana. Además, el prototipo fue diseñado para almacenar las mediciones en una base de datos en la nube. El prototipo demostró ser preciso en las mediciones y logró evaluar las muestras clasificadas subjetivamente con un error máximo de 7%, también, su comportamiento fue similar a las mediciones hechas con las muestras son el colorímetro CR-410 Chroma Meter. El prototipo diseñado está calificado para medir muestras de café tostado molido con componentes a bajo costo, sin embargo, no se encontró en la región un

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



instrumento capaz de medir la escala Agtron Gourmet para lograr una calibración exacta. Debido a que el diseño del prototipo es un sistema programable se le facilita la incorporación de distintas escalas de medición de interés para la industria alimentaria.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

The project aims to develop and implement a low-cost colorimeter specialized in classifying ground roasted coffee according to the Agtron Gourmet scale. This initiative considers the high costs associated with such instruments and aims to stimulate research and industrialization of this product within the country. Throughout this process, various samples of ground coffee with different roast levels were collected and subjectively classified using Agtron Gourmet discs. This was done to calibrate the scale to the designed prototype, comparing its measurements with those from the CR-410 Chroma Meter provided by the Centro Surcolombiano de Investigación en Café at Universidad Surcolombiana. Additionally, the prototype was designed to store measurements in a cloud-based database. The prototype proved accurate in



measurements and successfully evaluated subjectively classified samples with a maximum error of 7%. Its performance closely matched measurements taken with the CR-410 Chroma Meter. While the designed prototype is capable of measuring ground roasted coffee samples at low cost, no instrument capable of measuring the Agtron Gourmet scale precisely was found in the region. Because the prototype design is programmable, it can easily incorporate different measurement scales of interest to the food industry.

### APROBACION DE LA TESIS

Nombre presidente Jurado: Jesús David Quintero Polanco.

Firma:

Nombre Jurado: Diego Fernando Losada Sendoya.

Firma:

Nombre Jurado: Jose Fernando Barrera Campo.

Firma:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLORÍMETRO DE  
BAJO COSTO PARA LA MEDICIÓN DEL NIVEL DE TUESTE DE CAFÉ  
MOLIDO POR MEDIO DE LA ESCALA AGTRON GOURMET CON  
REGISTRO EN BASE DE DATOS.**

**Yojan Camilo Cardozo Gómez**

**Cód. 20172163989**

**Diego Mauricio Tovar Pascuas**

**Cód. 20171157428**

**Director (a):**

**Mag. Jesús David Quintero Polanco**

**Línea de la propuesta: Instrumentación.**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA, COLOMBIA  
AÑO 2022**





# Contenido

|                                   | Pág. |
|-----------------------------------|------|
| Lista de figuras.....             | 4    |
| Lista de tablas .....             | 5    |
| Símbolos y abreviaturas .....     | 6    |
| 1. Antecedentes .....             | 7    |
| 2. Formulación del problema ..... | 12   |
| 3. Justificación.....             | 13   |
| 4. Objetivos .....                | 15   |
| 4.1. Objetivos específicos.....   | 15   |
| 5. Metodología.....               | 16   |
| 6. Ejecución.....                 | 19   |
| 6.1 Alcances y Limitaciones ..... | 19   |
| 6.2 Cronograma.....               | 20   |
| 6.3 Financiación .....            | 20   |
| Bibliografía.....                 | 24   |

## Lista de figuras

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Figura 1: Tipo de tueste .....</b>       | <b>8</b>    |
| <b>Figura 2: Escala Agtron Gourmet.....</b> | <b>9</b>    |
| <b>Figura 3.Diagrama de fases .....</b>     | <b>16</b>   |
| <b>Figura 4: Cronograma .....</b>           | <b>20</b>   |

## Lista de tablas

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1-1: Volumen de exportaciones colombianas de café según el tipo ..... | 7    |
| Tabla 2-1: Equipos.....   | 20   |
| Tabla 2-2: Materiales .....   | 21   |
| Tabla 2-3: Software.....  | 21   |

## Símbolos y abreviaturas

### Abreviaturas

| Abreviatura | Término |
|-------------|---------|
|-------------|---------|

---

|            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| <i>SCA</i> | Specialty Coffee Association         |
| <i>SQL</i> | Structured Query Language            |
| <i>NIR</i> | Espectroscopia de infrarrojo cercano |
| <i>PIB</i> | Producto Interno Bruto               |

## 1. Antecedentes

Colombia se ha dado a conocer por ser uno de los países con mayor exportación de café en el mundo, para el 2021 exportó 12.4 millones de sacos de 60 kg de café verde [1]; además, el país también produce y exporta en menor cantidad café tostado, el café soluble y café industrializado. Para el mismo año la exportación de café tostado aumentó considerablemente respecto al año anterior, los departamentos de Antioquia, Atlántico, Cundinamarca, Risaralda y Quindío lideraron exportando café tostado molido, mientras que en la exportación de café tostado en grano aparecen los departamentos del Huila, Nariño y Bogotá [2].

Tabla 1-1: Volumen de exportaciones colombianas de café según el tipo – anual (miles de sacos de 60Kg)

| Año         | Verde  | Verde descafeinado | Tostado en grano | Tostado y molido | Extracto y soluble | verde + industrializado | Total  |
|-------------|--------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------------|--------|
| <b>2015</b> | 11.970 | 22                 | 42               | 54               | 602                | 24                      | 12.714 |
| <b>2016</b> | 11.034 | 9                  | 40               | 52               | 708                | 1.001                   | 12.845 |
| <b>2017</b> | 11.385 | 15                 | 33               | 74               | 756                | 721                     | 12.983 |
| <b>2018</b> | 11.316 | 17                 | 38               | 59               | 779                | 542                     | 12.751 |
| <b>2019</b> | 11.977 | 16                 | 41               | 81               | 809                | 743                     | 13.668 |
| <b>2020</b> | 10.684 | 13                 | 44               | 90               | 880                | 817                     | 12.527 |
| <b>2021</b> | 10.664 | 33                 | 62               | 96               | 787                | 796                     | 12.439 |

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros.

El tostado del café es una práctica que lleva varios años perfeccionándose debido a que es una etapa fundamental en la transformación de este producto. En el tostado del café, el proceso más importante es la curva de tueste, transcurso en el cual se debe realizar un seguimiento a variables como la temperatura, el tiempo y la velocidad del tueste, las cuales influyen de manera directa en el sabor final. La clasificación del tostado depende del color que adquiere el grano durante este proceso, a nivel mundial el tueste del café se puede clasificar en tres tipos: tueste bajo, tueste medio y tueste alto, cada uno de estos le brinda al café características específicas como el sabor, aroma y la acidez.

Figura 1: Tipo de tueste.



**Fuente: Federación Nacional de Cafeteros.**

Clasificar en tres tipos el tostado del café no era suficiente para satisfacer la demanda en café especiales; por ende, la Asociación de Cafés Especiales conocida por su sigla en inglés como la SCA, creó una escala con mayor resolución y la denominó escala Agtron comercial. Esta escala se lleva a cabo con ayuda del espectrómetro Agtron, el cual mide la longitud de onda que se refleja sobre una muestra, de este modo se le asigna una calificación a la muestra de café en un rango de 0 a 100, siendo 0 la clasificación de café tostado con tonalidad más oscura hasta llegar a 100 que representa un café tostado con tonalidad más clara [3].

Posteriormente, la SCA crea la escala Agtron Gourmet, la cual tiene un mayor rango que va de 0 a 133, siendo 0 una puntuación para el café tostado más oscuro ascendiendo hasta 133 para el café tostado más claro. Esta escala es utilizada a nivel mundial y ha permitido a tostadores y a compradores tener una misma unidad de medición [3].

La SCA también tiene un sistema de clasificación de color de tostado, este sistema cuenta con 8 discos de color café con diferentes tonos diseñados para establecer colores precisos en cada grado de tueste según la escala Agtron Gourmet, los discos cuentan con un grado que los clasifica, siendo el grado 25 el disco más oscuro ascendiendo en intervalos de 10 grados, hasta llegar al 95 siendo este el disco más claro. Por medio de instrucciones dadas por la SCA, se realiza un análisis subjetivo de la muestra para asignarle un disco, de esta forma se puede clasificar las muestras de café tostado según la escala Agtron Gourmet [4].

Figura 2: Escala Agtron Gourmet (Sistemas con discos Agtron para clasificación subjetiva).



Fuente: Laboratorio CesurCafe, Universidad Surcolombiana.

Actualmente, a parte del espectrómetro Agtron existen en el mercado instrumentos para hacer este análisis de manera objetiva como el Analizador de Color de Café en Continuo CM-100, instrumento que muestra la clasificación del tostado del café

en la escala Agtron Gourmet, cuenta con análisis de humedad, puede desarrollar en tiempo real la curva de tostado, tiene calibración automática y es capaz de almacenar hasta 100 muestras con hora y fecha de la medición; este instrumento se encuentra aprobado por la SCA, es reconocido a nivel mundial y tiene un precio de US\$2.239 [5]. Otro instrumento es el Analizador de Tueste de Café RoastRite RA-710BF, el cual es compatible con la escala Agtron Gourmet, es de alta precisión y consistencia, sirve para medir tanto en café molido como en grano, cuenta con calibración automática y tiene un precio en el mercado de US\$1.300 [6]. También, con un costo de US\$469 se encuentra el espectrómetro Sensegood, es el instrumento de menor precio capaz de medir muestras de café y clasificarlas en la escala Agtron Gourmet, tiene la capacidad de medir en diferentes escalas cromáticas como la Cielab, Hunterlab y entre otras [7].

Debido a los altos precios de estos instrumentos y al crecimiento de la industria de cafés especiales en el mundo, se han desarrollado diferentes investigaciones, técnicas y métodos para la clasificación del tostado del café, algunas de estas se mencionan a continuación:

En [8] se realizó una investigación para evaluar el comportamiento del sensor de color TCS3200 en muestras de café para la construcción de un equipo de torrefacción de café en lazo cerrado. Con una cámara oscura para tener una iluminación controlada, un lente teleobjetivo, la tarjeta Arduino Mega y mediante la macro PLX-DAQ de Microsoft Excel, se realizó diferentes mediciones con el sensor a tres muestras de grano de café tostado clasificadas según la escala Agtron en 75, 55 y 35, las lecturas fueron promediadas y se graficaron para poder ser analizadas. En las mediciones hechas sobre la muestra con clasificación Agtron de 35 se obtuvieron resultados negativos debido a la diferencia considerable entre las distintas mediciones, por esta razón concluyeron que el sensor no era apto para ser implementado en el sistema de torrefacción en lazo cerrado. Respecto a la investigación en mención se debe tener en cuenta que las mediciones se realizaron



sobre granos de café donde el color no está distribuido uniformemente, por lo tanto, las mediciones sobre una muestra podrían haber variado considerablemente.

Una forma de clasificar el café según el valor Agtron, es a partir de colorímetros comerciales que brindan diferentes escalas, las cuales pueden ser comparadas y utilizar métodos para relacionarlas a la escala Agtron como se realiza en [9]. En este trabajo se obtuvo 30 muestras de café tostado molido con diferentes niveles de tueste, las cuales se analizaron de manera subjetiva con los discos Agtron para ser clasificadas, luego se tomaron medidas con los colorímetros Quantik, Probat y Minolta, donde se estableció una relación entre los discos Agtron y las escalas de los diferentes colorímetros.

Con ayuda de redes neuronales y el procesamiento digital de imágenes, se ha logrado estimar el tostado de café según la escala Agtron como se desarrolla en [10]. En este trabajo, logran clasificar el tostado del café partir de una cámara digital, luego las fotografías tomadas son procesadas en Matlab para obtener un modelo de transformación del espacio RGB entregado por la cámara a un espacio CIELAB, también se plantea un modelo a escala de grises para un posterior análisis. Mediante el espectrómetro M-basic II se realizó una clasificación objetiva de la escala Agtron a diferentes muestras con distintos niveles de tueste, a partir de los datos obtenidos se logró una clasificación Agtron con base en el modelo de visión artificial con un porcentaje de error aceptable, de este modo, el sistema a bajo costo es funcional tanto en granos de café como en café molido.

Finalmente, mediante un instrumento de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) combinada con calibración multivariante se logró correlacionar el valor Agtron en muestras de granos de café y café molido [11], al igual que en los anteriores trabajos expuestos, se necesitó diferentes muestras de café con diferentes niveles de tueste, las cuales fueron clasificadas de manera objetiva con el espectrómetro Agtron, con los datos obtenidos se realizaron diferentes ajustes en el desarrollo del modelo para probar su desempeño y así conseguir resultados exitosos.

## 2. Formulación del problema

El café por muchos años ha sido un producto importante en la economía colombiana; sin embargo, el país exporta en su gran mayoría café en grano verde y solo una pequeña cantidad es industrializado y comercializado. El tueste es un proceso clave en la industrialización y transformación del café, ya sea para productos básicos o para productos especiales, siendo estos últimos, atractivos en el comercio mundial y por los cuales los consumidores están dispuestos a pagar un mayor precio.

La escala de Agtron Gourmet es la preferida a nivel mundial para clasificar el grado de tueste, facilita obtener un grado de tostado idóneo para cada producto lo que proporciona a las diferentes marcas de café un toque único a su producto. Para este fin se hace uso de instrumentos como los espectrómetros y colorímetros, capaces de medir el grado de tueste de forma precisa; no obstante, para el caficultor promedio se encuentra fuera de su alcance adquirir estos instrumentos, el costo de estos equipos puede variar entre los 2 a los 10 millones de pesos colombianos, representando una cifra muy alta para el bolsillo del caficultor, sobre todo en la actualidad donde los costos de producción de café ha aumentado significativamente. A pesar de que en el mercado existen algunos colorímetros con precios asequibles, estos instrumentos no están adecuados para medir el café según la escala Agtron Gourmet, aunque el productor desee realizar un ajuste del colorímetro puede llegar a ser complejo ya que no cuenta con fácil acceso a laboratorios, ni a personal especializado para realizar una correcta calibración.

Según lo expuesto anteriormente, surge la pregunta ¿Es posible mediante instrumentación, diseñar un colorímetro de uso intuitivo que funcione en base a la escala de Agtron Gourmet como una alternativa de bajo costo para el caficultor promedio?

### 3. Justificación

El desarrollo tecnológico puede permitir soluciones rápidas y eficaces en la industria alimenticia, un control digitalizado sobre la calidad de los alimentos, en este caso del café tostado molido, es de gran interés para la industria cafetera que posee gran potencial en el mercado internacional y constantemente busca nuevas tecnologías y herramientas.

Actualmente Colombia tiene una tendencia a exportar materias primas, en lugar de procesarlas dentro del país y convertirlas en productos ya industrializados para que tenga un mayor valor agregado. De esta manera poder incentivar al sector agrícola e industrial, podría incrementar el PIB del país y secuencial a esto aumentar la tasa de empleo en Colombia.

El departamento del Huila posee cualidades favorables para la producción de café de alta calidad, cultiva aproximadamente 29.000 hectáreas de café, con alta tecnificación y productividad. El 53% de las exportaciones que se realizan desde el departamento son de café, que también tiene una gran demanda en el mercado interno. El departamento del Huila es uno de los mayores productores de café en Colombia, siendo un sector que genera empleo al 74% de la población rural del departamento, a más de 100.000 personas que se dedican a la caficultura. Con los anterior, se deja en claro la importancia de esta línea productiva para el departamento, siendo una fuente de empleo para muchas familias y un pilar de la economía en el Huila. Un correcto manejo de cosecha y postcosecha del café es esencial para lograr una mayor competitividad comercial, se cree que la propia producción de café verde ha ralentizado el desarrollo industrial en el departamento, causando un pobre interés en la industrialización de este campo [12].

La producción del café se sostiene gracias a un gran número de pequeños agricultores, quienes han transmitido los métodos de cultivo a través de las generaciones, es por eso que el presente proyecto de grado se plantea con la

intención apoyar a estos agricultores y por ende a la industria del café dentro del Huila y posiblemente a otros territorios.

Con un enfoque al producto, la competitividad comercial, el valor agregado y la calidad, se propone desarrollar un prototipo de un colorímetro en base a la escala de Agtron Gourmet que sea más asequible, de manejo amigable e intuitivo, para el usuario promedio sin necesidad de que posea conocimientos en electrónica, software o disciplinas afines, que funcione como una alternativa de bajo costo para que el caficultor promedio pueda obtener un grado de tostado idóneo que le proporcione un toque único a su producto y por tanto valor agregado, y de esta manera poder fortalecer la cultura cafetera en el departamento y en el territorio nacional, incentivando el comercio del café, no un café cualquiera, sino uno de alta calidad.

## 4. Objetivos

Desarrollar e implementar un prototipo de colorímetro especializado en clasificar el café tostado molido según la escala de Agtron Gourmet haciendo uso del sensor TCS 3200, registrando las mediciones en una base de datos utilizando SQL como una herramienta asequible para los pequeños y medianos productores de la población cafetera.

### 4.1. Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo de colorímetro compacto por medio del sensor TCS 3200 y el microcontrolador esp32, capaz de capturar la luminosidad de una muestra de café molido.
- Medir la luminosidad de distintas muestras de café tostado molido con diferentes niveles de tueste haciendo uso del prototipo y el colorímetro CR-410 Chroma Meter.
- Encontrar por medio de las mediciones realizadas con el prototipo y el colorímetro una relación que nos permita la conversión de datos medidos a la escala Agtron Gourmet correspondiente.
- Crear una base de datos en la nube con SQL para almacenar las mediciones hechas por el prototipo.

# Metodología

Figura 3. Diagrama de fases



## 5.1 Fase 1: Revisión teórica acerca de los procesos y clasificación de tostado de café, y el funcionamiento del sensor TCS3200.

Esta fase está enfocada en realizar un estado del arte del principio de funcionamiento del sensor TCS 3200, los procesos de producción y clasificación de café tostado para poder idear un prototipo a base de código Arduino capaz de medir la luminosidad que se refleja sobre una muestra de café tostado molido.

## **5.2 Fase 2: Diseño del prototipo.**

Se diseña un prototipo funcional que sea capaz de capturar la luminosidad de una muestra de café molido haciendo uso del lenguaje de programación de Arduino y el sensor TCS 3200, el prototipo estar dotado con un display para la visualización de los resultados.

## **5.3 Fase 3: Clasificación de muestras de café de manera subjetiva.**

Mediante la guía del personal e instrumentos del laboratorio de CersuCafe de la universidad Surcolombiana, se realiza un tostado de café donde se obtendrán varias muestras durante el proceso con distintos niveles de tueste, las muestras serán evaluadas de manera subjetiva acorde a las recomendaciones de la SCA por un grupo de personas voluntarias haciendo uso de los discos de Agtron Gourmet del laboratorio.

## **5.4 Fase 4: Calibración del prototipo.**

Utilizando el colorímetro CR-410 Chroma Meter, proporcionado por el laboratorio CersuCafe y el prototipo diseñado, se tomarán medidas sobre las muestras clasificadas y posteriormente serán analizadas. A través de los datos obtenidos se buscará acondicionar el colorímetro y el prototipo de manera que pueda clasificar las muestras de café molido según la escala de Agtron Gourmet para que los resultados sean visualizados en el display.

### **5.5 Fase 5: Creación de una base de datos y comunicación con el prototipo.**

Crear una base de datos capaz de almacenar las diferentes mediciones capturadas por el sensor para un análisis más detallado de la muestra, la base de datos brindará información y recomendaciones para los productores según el valor agron asignado a la muestra con marca temporal.

### **5.6 Fase 6: Prueba del funcionamiento del prototipo y la base datos.**

Testeo de la base de datos y la comunicación con el prototipo donde se someterá a prueba las funciones objetivo del aplicativo en busca de bugs o fallos en la lógica de negocio, para actualizar el software y corregir los mismos.

### **5.7 Fase 7: Documentación del proyecto, análisis de resultados y conclusiones.**

Se documentará todos los procesos realizados durante el proyecto, además de los logros, oportunidades, dificultades y lecciones aprendidas que se presenten durante el trayecto de diseño e implementación, se realizará un análisis a las mediciones realizadas por el prototipo, con las cuales se podrá concluir la viabilidad del prototipo y los resultados que se obtuvieron durante su periodo de prueba.



## **5.Ejecución**

### **6.1 Alcances y Limitaciones**

Como alcance del proyecto se planea desarrollar un prototipo que haga de instrumento de medición para el proceso de producción de café tostado molido, un prototipo que sea capaz de brindar una clasificación objetiva del nivel de tueste del café, de este modo se plantea un diseño ergonómico y económico, tanto como los componentes electrónicos del mercado permitan ser.

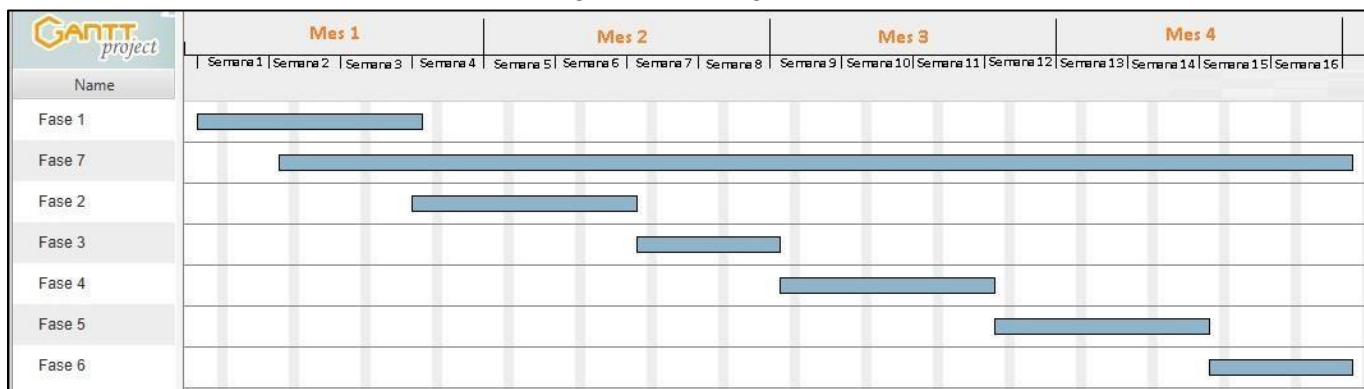
El proyecto también tiene como alcance facilitar el acceso a una herramienta para los pequeños productores de café verde, de una forma que pueda incentivarlos a llevar a cabo los procesos de producción de café tostado e industrializados.

Al estar enfocado a una población con conocimientos precarios sobre instrumentación o desarrollo de software, se diseñará la interfaz y los controles de tal forma que la curva de aprendizaje en el uso de la misma no resulte agobiante para el usuario promedio, por lo tanto, se plantea incorporar una pantalla en el prototipo de tamaño considerable para visualizar los resultados de manera clara, también se creará una base de datos de forma que los usuarios puedan tener registro de las mediciones obtenidas. Se debe tener en cuenta que el proyecto se centra en el desarrollo de un prototipo, donde es posible que al final se necesite de algunos reajustes o de incorporaciones al diseño para ser implementado de manera comercial.

Por último, es importante mencionar que cualquier resultado positivo producto de este proyecto no se limitará al departamento del Huila o de Colombia, sino también se presume será de utilidad para cualquier zona cafetera capaz de ejercer producción de café tostado molido en el mundo.

## 6.2 Cronograma

Figura 4: Cronograma.



Fuente: Autores.

## 6.3 Financiación

Tabla 2-1: Equipos

| Equipos                      |       |                |              |                  |                       |                      |
|------------------------------|-------|----------------|--------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| Descripción                  | Cant. | Valor Unitario | Recurso Usco | Recurso Facultad | Recurso Contrapartida | Entidad Financiadora |
| Sensor TCS 3200              | 1     | 18.500         | NO           | NO               | NO                    | Tesistas             |
| Tarjeta de desarrollo ESP 32 | 1     | 28.900         | NO           | NO               | NO                    | Tesistas             |
| Pantalla oled 0.9 pulgadas   | 1     | 21.000         | NO           | NO               | NO                    | Tesistas             |
| Fuente de alimentación de 5v | 1     | 8.000          | NO           | NO               | NO                    | Tesistas             |
| Otros                        | 1     | 10.000         | NO           | NO               | NO                    | Tesistas             |

Tabla 2-2: Materiales

| Materiales, insumos y servicios técnicos |       |                |              |                  |                       |                      |
|--|-------|----------------|--------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| Nombre                                   | Cant. | Valor Unitario | Recurso Usco | Recurso Facultad | Recurso Contrapartida | Entidad Financiadora |
| Servicio de impresión 3D                 | 1     | 60.000         | NO           | NO               | NO                    | Tesistas             |
| Servicio profesional                     | 2     | 828.000        | NO           | NO               | NO                    | Tesistas             |

Tabla 2-3: Software

| Software        |       |                |              |                  |                       |                      |
|-----------------|-------|----------------|--------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| Nombre          | Cant. | Valor Unitario | Recurso Usco | Recurso Facultad | Recurso Contrapartida | Entidad Financiadora |
| Arduino         | 1     | 0              | NO           | NO               | NO                    | Tesistas             |
| MySQL Workbench | 1     | 0              | NO           | NO               | NO                    | Tesistas             |

## **A. Anexo: Arduino**

Arduino es una plataforma de desarrollo basado en el hardware libre, sistema el cual permite la conexión entre microcontroladores y distintos sensores o actuadores de forma simple, por medio de un microcontrolador con la capacidad de ser reprogramable y una serie de pines hembra.

Posee una gran comunidad con una cantidad de documentación muy basta, funciona en los sistemas operativos Windows, Mac OS y Linux, posee un lenguaje de programación de fácil aprendizaje basado en C++, las placas que usan esta plataforma por lo general son de bajo costo, son reusables y muy versátiles para diferentes proyectos a causa de su fácil desmontaje de componentes externos a la placa [13].

## **B. Anexo: SQL**

El lenguaje de consulta estructurada (SQL) es un lenguaje de programación usado para almacenar y procesar información dentro de una base de datos relacional, la cual almacena la información en un formato de tablas, con filas y columnas que representan distintos atributos de datos y las relaciones entre los valores de datos.

Las instrucciones SQL son capaces de almacenar, actualizar, eliminar, buscar y recuperar información de las bases de datos, además de mantener y optimizar el rendimiento de la misma.

Es un lenguaje de consulta popular usado frecuentemente en distintos tipos de aplicaciones debido a que se integra bien con diferentes lenguajes de programación [14].

## **C. Anexo: MySQL Workbench**

MySQL Workbench es una herramienta disponible en Windows, Linux y Mac OS, este software posee la capacidad de crear modelado de datos, el desarrollo de SQL (Crear, ejecutar y optimizar consultas SQL), la inclusión herramientas de administración para la configuración del servidor, administrar usuarios y copias de seguridad, etc. Está diseñada para arquitectos de bases de datos, desarrolladores y administradores de bases de datos [15].

## Bibliografía

- [1] Federación Nacional de Cafeteros: Producción de café de Colombia cierra 2021 en 12,6 millones de sacos (12/01/2022), consultado el (3/10/2022). Tomado de la web: <https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-cierra-2021-en-126-millones-de-sacos/>.
- [2] Portafolio: Exportaciones de café tostado superan los US\$40 millones (18/07/2022), consultado el (4/10/2022). Tomado de la web: <https://www.portafolio.co/economia/exportaciones-de-cafe-tostado-en-colombia-mayo-de-2022-568340>.
- [3] La cafeografa: Hablemos de tueste (parte II), un mismo idioma (20/07/2018), consultado el (4/10/2022). Tomado de la web: <https://lacafeografa.com/2018/07/20/tuesteescalas/>.
- [4] Manual: Roast Color Classification System Edition Three - 2017, consultado el (6/10/2022) fuente: Laboratorio CesurCafe, Universidad Surcolombiana.
- [5] Analizador de Color de café en continuo. CM-100, consultado el (10/10/2022). Tomado de la web: <https://agromay.es/producto/analizador-de-color-de-cafe-en-continuo-cm-100/>.
- [6] Coffee Roast Analyzer RoastRite RA-710BF: consultado el (10/10/2022). Tomado de la web: <https://cmsale.com/products/analysis/color-analyzers/coffee-roast-analyzer-roastrite-ra-710bf>.
- [7] Espectrómetro sensegood: consultado el (18/10/2022). Tomado de la web: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Color-Measurement-System-olorimeter-Spectrophotometer-Instrument-1600199787800.html>.

[8] N. Marín y C. Gonzáles, “Comportamiento del sensor de color RGB TCS230 en granos de café escalas Agtron 75, 55 Y 35” Instituto Universitaria EAM (2016). Consultado el (18/10/2022). Tomado de la web: <http://app.eam.edu.co/ojs/index.php/ingeam/article/view/35>.

[9] H. Jiménez-Ariza, E. C. Correa, B. Diezma, V. Díaz-Barcos, B. Meneses, R. Oteros “Estudio de técnicas para la supervisión de calidad y clasificación de granos de café tostado: análisis de nuevas tecnología”, Universidad Politécnica de Madrid España (Septiembre, 2011). Consultado el (18/10/2022). Tomado de la web: [https://oa.upm.es/9604/1/Trabajo\\_Caf%C3%A9\\_tatiana.pdf](https://oa.upm.es/9604/1/Trabajo_Caf%C3%A9_tatiana.pdf).

[10] Dimas Samid Leme; Emanuelle Moraes de Oliveira; Bruno Henrique Groenner Barbosa; Rosemary Gualberto Fonseca A. Pereira; Flávio Meira Borém, “Plataforma digital para medición de café especial en grano escala agrtron obtenida mediante fotografías”, (2015). Consultado el (20/10/2022). Tomado de la web: [http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3518/168\\_IX-SPCB-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3518/168_IX-SPCB-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

[11] Fabiana de Carvalho Pires, Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira, Michel Rocha Baqueta, Patrícia Valderrama b2 Roney Alves da Rocha, “Espectroscopia de infrarrojo cercano y calibración multivariante como alternativa al Agtron para predecir grados de tostado en granos de café y cafés molidos”, (15/12/2021). Consultado el (21/10/2022). Tomado de la web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621014771>.

[12] Federación Nacional de Cafeteros: Café del Huila, consultado el (25/10/2022). Tomado de la web: <https://huila.federaciondecafeteros.org/cafe-de-cauca/>.

[13] Que es Arduino, consultado el (5/11/2022). Tomado de la web: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>

[14] Que es SQL, consultado el (5/11/2022). Tomado de la web: <https://aws.amazon.com/es/what-is/sql/>

[15] Mysql, consultado el (5/11/2022). Tomado de la web: <https://www.mysql.com/products/workbench/>