

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y**  
**ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**DE JAÉN**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO  
ELECTRÓNICO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE  
HUMEDAD DEL CAFÉ PERGAMINO EN LA  
COOPERATIVA AGRARIA CAFETALERA LA  
PROSPERIDAD DE CHIRINOS, SAN IGNACIO - PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**AUTORES** : Bach. Edison La Torre Santos  
Bach. Lorenzo Antonio Chinchay Rivera

**ASESOR** : Mg. Lenin Quiñones Huatangari

**Jaén – Perú, Abril 2021**



## FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 23 de junio del año 2021, siendo las 18:20 horas, se reunieron de manera virtual los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Mario Félix Olivera Aldana

Secretario: Mg. Jannier Alberto Montenegro Juárez

Vocal: Mg. Joseph Campos Ruiz

para evaluar la Sustentación del Informe Final:

( ) Trabajo de Investigación

( **X** ) Tesis

( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

**"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE HUMEDAD DEL CAFÉ PERGAMINO EN LA COOPERATIVA AGRARIA CAFETALERA LA PROSPERIDAD DE CHIRINOS, SAN IGNACIO - PERÚ"**, presentado por los Bachilleres **Edison La Torre Santos y Lorenzo Antonio Chinchay Rivera**, de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

( **X** ) Aprobar

( ) Desaprobar

( **X** ) Unanimidad

( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

- |                |            |               |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente   | 18, 19, 20 | ( )           |
| b) Muy bueno   | 16, 17     | ( )           |
| c) Bueno       | 14, 15     | ( <b>15</b> ) |
| d) Regular     | 13         | ( )           |
| e) Desaprobado | 12 o menos | ( )           |

Siendo las 19:20 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Presidente del Jurado Evaluador

Secretario del Jurado

Vocal del Jurado Evaluador

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
I. INTRODUCCIÓN .....	8
II. OBJETIVOS .....	14
2.1. Objetivo General.....	14
2.2. Objetivos Específicos.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Ubicación Geográfica. ....	15
3.2. Materiales y equipos. ....	15
3.3. Variables de Estudio. ....	16
3.3.1. Descripción de las variables de estudio.....	16
3.3.2. Operacionalización de variables independiente. ....	17
3.3.3. Operacionalización de variables dependiente. ....	18
3.4. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos. ....	19
3.4.1. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	19
3.4.2. Procedimiento.....	19
3.5. Análisis de datos. ....	21
IV. RESULTADOS .....	22
4.1. Características del cultivo de café en las provincias de Jaén y San Ignacio.....	22
4.2. Determinación y evaluación de los parámetros del diseño.....	23
4.2.1. Parte electrónica. ....	24
4.2.2. Diseño de dispositivo electrónico en 3D.....	27
4.2.3. Elaboración de modelo matemático para estimar humedad del café .....	28
4.3. Parámetros de diseño del dispositivo electrónico .....	29
4.3.1. Sketch en Arduino .....	29
4.3.2. Medidas de diseño.....	31
4.4. Validación del dispositivo electrónico.....	32
4.5. Evaluar económicamente el diseño y construcción del dispositivo electrónico .....	33
V. DISCUSIÓN .....	37
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	38
6.1. Conclusiones.....	38
6.2. Recomendaciones. ....	39

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
AGRADECIMIENTO .....	42
DEDICATORIA .....	43
ANEXOS. ....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipo y descripción de cada variable de estudio.....	16
Tabla 2 Operacionalización de la variable independiente .....	17
Tabla 3 Operacionalización de la variable dependiente .....	18
Tabla 4 Campaña agrícola de café en la provincia de San Ignacio, 2019-2020.....	22
Tabla 5 Campaña agrícola de café en la provincia de Jaén, 2019-2020.....	23
Tabla 6 Modelos matemáticos y su coeficiente de correlación .....	29
Tabla 7 Algoritmo para estimar la humedad de Café pergamino.....	29
Tabla 8 Muestras de medición de humedad y cálculo de error. ....	32
Tabla 9 Flujo de caja .....	35
Tabla 10 Datos para el cálculo del VAN y TIR .....	36
Tabla 11 Cálculo de VAN y TIR.....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Geográfica del distrito de Chirinos.....	15
Figura 2 Conexión interna del dispositivo electrónico.....	26
Figura 3 Bosquejo del diseño del dispositivo electrónico en SolidWorks .....	27
Figura 4 Vista interna del bosquejo de diseño.....	27
Figura 5 Modelos matemáticos para determinar humedad de café pergamino .....	29
Figura 6 Programación en Software Arduino.....	30
Figura 7 Plano de diseño del dispositivo electrónico .....	31
Figura 8 Gráfica de muestras de medición de humedad de café pergamino .....	33

## RESUMEN

Las provincias de Jaén y San Ignacio, son productores de café; sin embargo, los agricultores emplean la experiencia y métodos empíricos para determinar nivel de humedad del café en el proceso de secado. En ese sentido el objetivo de la investigación fue diseñar e implementar un dispositivo electrónico, para determinar la cantidad de humedad del café pergamino en la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos, San Ignacio – Perú. La metodología empleada consistió en identificar las características propias del cultivo de café en las provincias de Jaén y San Ignacio, se identificaron los parámetros del diseño como software, hardware, diseño en 3D y modelo matemático para determinar la humedad del café pergamino, además de la evaluación económica correspondiente. Se ha obtenido un dispositivo electrónico programado en Arduino Uno con sensor de humedad DTH22, que empleó el modelo matemático  $H_{CP} = 15.6215(H_s - 65.2203)^{0.166643}$ . El dispositivo electrónico puesto en funcionamiento es una alternativa económica a los equipos comerciales existentes en el mercado, que determinan la humedad de café pergamino.

### **Palabras clave:**

Tecnología de la información, producto agrícola, modelo matemático, lenguaje de programación.

## ABSTRACT

The provinces of Jaén and San Ignacio are coffee producers; however, farmers use experience and empirical methods to determine the moisture level of coffee in the drying process. In this sense, the objective of the research was to design and implement an electronic device to determine the amount of humidity of parchment coffee in the Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos, San Ignacio - Peru. The methodology used consisted of identifying the characteristics of coffee cultivation in the provinces of Jaén and San Ignacio, the design parameters were identified as software, hardware, 3D design and mathematical model to determine the humidity of parchment coffee, in addition to the corresponding economic evaluation. An electronic device programmed in Arduino Uno with DTH22 humidity sensor was obtained, which used the mathematical model  $H_{CP} = 15.6215(H_s - 65.2203)^{0.166643}$ . The electronic device put into operation is an economical alternative to existing commercial equipment on the market, which determine the humidity of parchment coffee.

### **Keywords.**

Information technology, agricultural product, mathematical model, programming language.



## I. INTRODUCCIÓN

El procesamiento del café, desde su cultivo hasta la venta, toma en consideración diversos parámetros que definen la calidad de éste. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) indica que, al inicio de este procesamiento, específicamente en el secado y almacenamiento, la temperatura y el contenido de humedad son factores principales que influyen en el deterioro de los granos. En este sentido, Oliveros *et al.* (2010) indica que para la comercialización de café la humedad exigida es el rango de entre el 10% - 12% en base humedad, mencionando que el secado del café es un proceso que evita el deterioro y, por tanto, conserva su calidad. También Puerta (2006) sugiere que cuando el grano de café pergamino contiene una humedad superior a 12.5% (base húmeda) existe riesgo de deterioro microbiológico por hongos y bacterias, daño físico, pergamino manchado y decoloración de la almendra, pérdida de calidad de la bebida, sabores sucio, mohoso, terroso y de reposo. Por consiguiente, la medición de humedad de granos de café debe ser exacta y presenta una gran importancia desde el punto de vista comercial, debido a que el precio varía en función de la humedad del grano (FAO, 1993).

Existen diversos métodos y equipos para medir el nivel de humedad en granos de café pergamino, siendo equipos portátiles, pequeños y fiables. Sin embargo, la desventaja de este tipo de tecnología es el costo que representa su adquisición; por ello se han desarrollado investigaciones para diseñar e implementar equipos de bajo costo.

Oliveros *et al.* (2010) indicaron que en el transcurso de secado se disminuye el contenido de humedad del café desde 53% (base húmeda) hasta el rango de comercialización, entre el 10% y 12%, con la finalidad de obtener un producto estable, que permanezca con una calidad física, organoléptica e inocuidad por vastos períodos, en las condiciones naturales de acopio en los almacenes. Para este procedimiento, se utilizó el secado solar, para bajos flujos de café, y el secado mecánico para flujos mayores o en sitios donde las condiciones climáticas son adversas para el secado solar. Para verificar la terminación del proceso de secado del café se recurrió a métodos empíricos basados en el color y la dureza de los granos. Por lo general estos métodos utilizados, no son confiables ni certeros, tal como se observó en un estudio efectuado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, con 623 muestras de café pergamino, obtenidas en igual número de fincas. Se encontró que el 25% de ellas tenían menos del 10% de humedad y el 13% más del 12% de humedad, es decir, el 38% de ellas no presentaba el contenido de humedad final

exigido en la comercialización, lo cual ocasiona pérdida en la calidad del café y afecta los ingresos del productor.

Pérez (2010), en su tesis diseño y construcción para la medición de contenido de humedad en granos tuvo como objetivo investigar un sistema de medición de cantidad de humedad en granos a través de un método capacitivo y circuitos electrónicos que admitan obtener una indicación eléctrica codificada, que pueda ser analizada y operada por un sistema de adquisición de datos convencional. La metodología utilizada se centró básicamente en cuatro objetivos: establecer las características estáticas que debe cumplir el instrumento de medición electrónico, plasmar el esquema electrónico y el perfeccionamiento estadístico para el procesamiento de las señales, desarrollar la caracterización del sensor de peso y del sistema de medida y construir una plataforma para la toma de mediciones por método capacitivo. Concluye que no solo establece un dispositivo de medición accesible sino también una experiencia muy completa en la parte de instrumentación, análisis de señales usando análisis de Fourier, modelado de sistemas dinámicos, electrónica análoga y procesamiento de señales.

Mata (2016) en su tesis diseño y validación de un medidor de humedad de bajo costo para camas de secado de café se planteó el objetivo de poner en funcionamiento un equipo autónomo, de precio económico, que pueda medir la humedad del café y que desempeñe las determinaciones mínimas para el secado apropiado dentro de condiciones de calidad de café. Para desarrollar su investigación siguieron pasos y procedimientos: Escoger las especificaciones de mayor importancia como son el hardware, software y las pruebas para la implementación del dispositivo que asegure una adecuada medición de humedad del grano de café según los estándares de calidad. Finalmente concluye que se obtuvo un diseño de un equipo de adquisición de datos de humedad de un rango no mayor del 30% ni menor del 10% de humedad de costo accesible \$300 con un error de  $\pm 2\%$  respecto a un equipo calibrado existente en el mercado.

Bedoya (2018) en su investigación denominado diseño de un sistema de instrumentación para medir la humedad del café en el secado solar con la finalidad de plantear un método de instrumentación para tantear el porcentaje de humedad del café en el secado solar. Su estrategia de trabajo consistió en aplicar un procedimiento mediante el método Gravimet y al mismo tiempo tomar lectura de la humedad y su masa donde tomaron en cuenta los siguientes factores: Humedad del café, humedad del ambiente, temperatura del

café y temperatura del ambiente. Descubriendo después de realizada la investigación, conclusiones que se enfocan directamente a los posibles errores no mencionadas en estudios realizados relacionadas con el método Gravimet.

Para Yubal (2020) Arduino es una plataforma de creación de electrónica, que está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar. Por consiguiente, permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. Es una placa basada en un micro controlador ATMEL. Los micros controladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa. El micro controlador de Arduino posee lo que se llama una interfaz de entrada, que es una conexión en la que podemos conectar en la placa diferentes tipos de periféricos. La información de estos periféricos que conectes se trasladará al micro controlador, el cual se encargará de procesar los datos. También cuenta con una interfaz de salida, que es la que se encarga de llevar la información que se ha procesado en el arduino a otros periféricos. Estos periféricos pueden ser pantallas o altavoces en donde va a reproducir los datos procesados, pero también pueden ser otras placas o controladores.

Hay dos maneras de medir la humedad del grano del café convencionalmente, la primera es medir la resistencia eléctrica dentro del grano y la segunda se da por la capacitancia eléctrica del grano. A pesar de medir la resistencia del grano no ha tenido tanto seguimiento por parte de las empresas y se han concentrado más en la capacitancia y la masa del grano, para poder medir el porcentaje de humedad. Para la capacitancia, se debe tomar en cuenta que los sensores se dividen en dos; los que miden la humedad relativa del aire, y mediante algoritmos se calcula indirectamente la humedad del grano, y los que miden propiamente la humedad del grano. En el mercado hay variedad de dispositivos con diferentes especificaciones, características y rangos de funcionamiento. Además, los alimentos o materias primas almacenadas pueden secarse a baja humedad o enmohecerse a alta humedad. El contenido de humedad se puede expresar de varias maneras, y la cantidad de métodos para medirlos es aún mayor (Visscher, 1999). Existen varias formas de expresar la humedad.

La presión de vapor. - Es esa parte de la presión total contribuida por el vapor de agua.

La humedad absoluta. – Es la masa de vapor de agua por unidad de volumen. Los efectos de la temperatura y la presión, excepto cerca de la saturación, de acuerdo con las leyes de los gases.

La humedad relativa. - Es la relación entre la presión de vapor real y la presión de vapor de saturación a la temperatura predominante. Generalmente se expresa como un porcentaje. Dado que la presión máxima de vapor de agua depende de la temperatura, la humedad relativa también depende, a un contenido de agua dado.

La temperatura del punto de rocío. - Es la temperatura a la que se debe enfriar un gas a presión constante para lograr la saturación.

Cuando el condensado es hielo, se llama punto de fractura. Con composición inalterable del gas, independiente de la temperatura, Cambia con la presión desde H<sub>2</sub>O proporcional a presión por supuesto, se producirá condensación si se alcanza la presión de vapor de saturación.

Casi siempre el término “humedad” se usa para describir la cantidad de agua que contienen los granos, y en el café no es la excepción. La humedad en el café se expresa de forma porcentual (bh) que quiere decir base humedad.

$$\text{Humedad en base humedad (bh)} = \frac{\text{peso de agua}}{\text{peso de producto}} \times 100 \quad (1)$$

Dónde, el contenido de humedad representa el porcentaje de masa de agua que contiene la muestra respecto a su masa total (mh). En la ecuación (1) la masa de agua es una fracción de la masa total, es decir la masa de agua es menor o igual a la masa total del material. La definición de “humedad en base humedad” permite identificar de manera “intuitiva” el punto en el cual el material sólo está constituido por materia seca (0%) y el punto en el que sólo está constituido de agua (100 %) (Martínez L. & Lira C., 2010, pág. 2).

Pérez (2010) indica que los sensores electrónicos sirven no solo para medir con mayor exactitud las magnitudes físicas, también permiten operar con dichas medidas. Sin embargo, no se puede hablar de los sensores sin sus acondicionadores de señal, por lo general los sensores ofrecen una variación de señal muy pequeña, por lo que es importante

equilibrar las características del sensor con las del circuito que le permite medir, acondicionar, procesar y actuar con dichas medidas.

Existen sensores en el mercado para medir magnitudes físicas, de los que se pueden enumerar:

- Temperatura
- Humedad
- Presión
- Posición
- Movimiento
- Caudal
- Luz
- Imagen
- Corriente
- Conductividad
- Resistividad
- Biométricos
- Acústicos
- Imagen
- Aceleración
- Velocidad
- Inclinación
- Químicos

Se pueden diferenciar las siguientes definiciones:

**Sensor:** Dispositivos que pueden ser sensores pasivos o activos que reciben una señal o estímulo y responde con una señal eléctrica.

**Sensor activo:** Requiere una fuente externa de excitación como las Resistor Temperature Detector o celdas de carga.

**Sensor pasivo:** Es un sensor que no requiere una fuente externa de excitación como los termopares, termocuplas o fotodiodos.

**Transductor:** Es un convertidor de un tipo de energía a otra que por lo general es codificada.

Las nuevas tecnologías de adaptación de los sensores como parte de una cadena de dispositivos, formando un sistema. Estos, son los amplificadores operacionales en sus diferentes estructuras de montaje, pasando por filtros o por procesadores analógicos, convirtiendo estas señales de analógico a la digital, para luego ser procesados los datos con un DSP o Microcontrolador y actuando por medio de las salidas lógicas del procesador o por medio de un convertidor digital.

Pérez (2010) define que medidores de humedad llamados "higrómetros", empleados durante el acopio de granos, deben estar correctamente regulados, ya que trabajan por

distintos métodos y pueden dar origen a varios errores, como: (a) El higrómetro no está calibrado. (b) No efectuar las correcciones por temperatura de los granos para el caso del método capacitivo, el valor que indica los higrómetros puede ser hasta un punto mayor o menor que la realidad dependiendo de la temperatura del grano. (c) No tener en cuenta el revenido del grano. Esto se produce en los granos que han sido secados artificialmente, y que es tanto más notable cuanto más severo haya sido dicho secado. Este fenómeno se debe a que los higrómetros corrientemente empleados en el acopio de granos miden más la humedad superficial de la semilla que la interna.

El café es el principal producto agrícola de exportación en el Perú. Según el último Censo Nacional Agropecuario 2012 un aproximado de 223 mil familias conducen 425 400 hectáreas de café, localizadas en 15 regiones, 95 provincias y 450 distritos. No obstante, solo Junín, San Martín, Cajamarca, Cusco, Amazonas, Huánuco y Pasco concentran el 91% del total de productores. El rendimiento promedio del café es bajo, si se compara con otros países productores: la media nacional alcanza apenas 13 qq/ha. No obstante, algunas zonas cafetaleras tienen mejor nivel de desarrollo como Jaén, Bagua, San Ignacio o Villa Rica, entre otras, los niveles de producción oscilan entre 30 qq/ha. y 80 qq/ha (Díaz y Carmen, 2017, p.9). Sin embargo, uno de las dificultades que afronta los productores cafetaleros es el alto costo que tienen los equipos que existen en el mercado para determinar la humedad del café, razón por la cual es casi inaccesible para un pequeño productor, motivo por el que almacenan su producto con humedad relativamente inadecuada para que conserve las propiedades organolépticas.

El cultivo y la comercialización de café es una de las actividades motoras del desarrollo de las provincias de Jaén y San Ignacio. Sin embargo, tanto los campesinos como las empresas comercializadoras y las industrias que se dedican al procesamiento de este producto enfrentan retos y desafío que deben atenderse utilizando conocimientos tanto en el manejo del cultivo como en el diseño de tecnologías que permitan optimar procesos para mejorar la calidad del café industrializado que se ofrece al mercado. En este sentido, los caficultores asociados a la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos, tiene deficiencias para determinar con precisión los niveles de humedad del café pergamino que se produce y se comercializa en la zona. Saber administrar condiciones de humedad del café pergamino es una variable de enorme importancia puesto que garantiza la calidad del producto en sus procesos de industrialización y consecuentemente mejora las ofertas

generando grandes ventajas para los campesinos que cultivan este producto y para las empresas. En consecuencia, en este trabajo de investigación hemos diseñado un dispositivo electrónico cuyo objetivo principal es medir con exactitud los niveles de humedad del café pergamino en la Cooperativa Agraria Cafetalera la “Prosperidad” de Chirinos y cuyos beneficios serán de enorme importancia puesto que a partir de confirmar la efectividad de este dispositivo se podrá replicar como un instrumento de usos frecuente para medir la humedad del café en otras empresas y lugares.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General.**

- Diseñar e implementar un dispositivo electrónico, para determinar la cantidad de humedad del café pergamino en la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos, San Ignacio – Perú.

### **2.2. Objetivos Específicos.**

- Identificar las características propias del cultivo de café en las provincias de Jaén y San Ignacio.
- Determinar y evaluar los parámetros del diseño del dispositivo electrónico.
- Seleccionar los parámetros de diseño del dispositivo electrónico.
- Validar el dispositivo electrónico comparando sus resultados con otros existentes en el mercado.
- Evaluar económicamente el diseño y construcción del dispositivo electrónico.

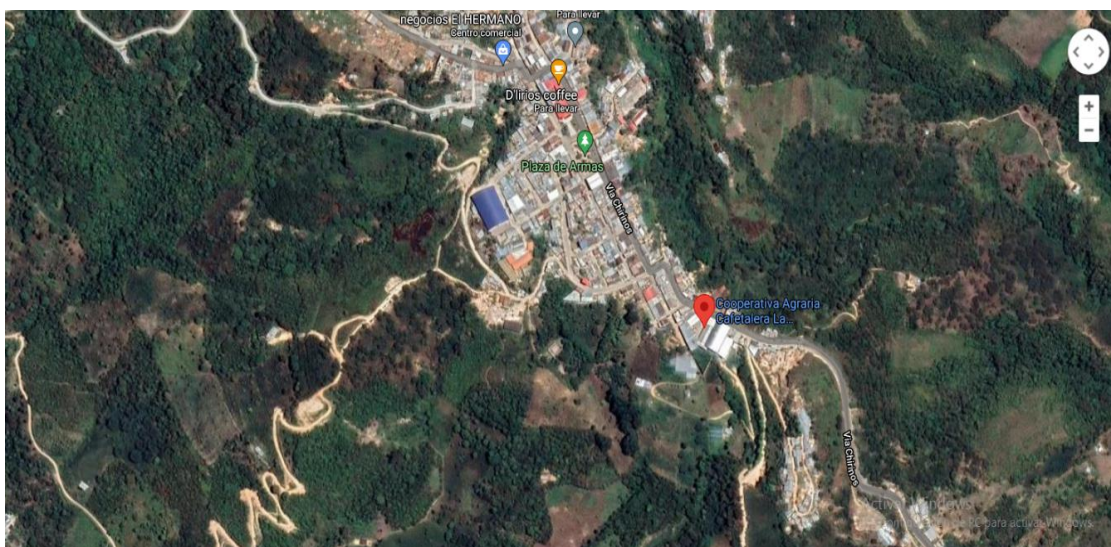
### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación Geográfica.

Las instalaciones de la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos. Ubicada en la calle José Olaya S/N; en la región Cajamarca, provincia de San Ignacio, distrito de Chirinos. A una altitud de 1858 m. s. n. m. Coordenadas  $5^{\circ}18'18''S$   $78^{\circ}54'00''O$ , (ver Figura 1).

**Figura 1**

*Ubicación Geográfica del distrito de Chirinos*



Fuente: Google Maps 2021

#### 3.2. Materiales y equipos.

Los materiales y equipos utilizados para el diseño, programación, implementación y validación del dispositivo electrónico fueron:

- Humidímetro de granos Wile Coffee.
- Humidímetro Draminski TwistGrain Pro.
- Software Curve Expert Professional.
- Software SolidWorks.
- Impresora 3D, marca PRUSA V3.14.
- Filamento para imprimir PLA.
- Software de programación Arduino.



- Placa Arduino Uno.
- Potenciómetro 10k Ohm.
- Sensor DTH22.
- Kit de Jumpers.
- Interruptor de 2 vías.
- Pantalla LCD.
- Batería.
- Destornillador.
- Pernos.
- Cautín.
- Hilo de estaño.

### 3.3. Variables de Estudio.

#### 3.3.1. Descripción de las variables de estudio.

**Tabla 1**

*Tipo y descripción de cada variable de estudio*

<b>Tipo</b>	<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Variable Independiente	Nivel de humedad del café pergamino.	Entre el 10% y 12%, es el nivel de humedad con el fin de obtener un producto estable, que conserve su calidad física, organoléptica e inocuidad
Variable dependiente	Dispositivo electrónico.	Dispositivo electrónico que permitirá estimar el nivel de humedad del grano.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2. Operacionalización de variables independiente.

**Tabla 2**

*Operacionalización de la variable independiente*

<b>Variable</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos</b>
Nivel de humedad del café pergamino en el secado solar.	Para el Centro de Comercio Internacional. En el artículo Calidad del café - grado de humedad y secado; indica que no todos los cafés son iguales, y las condiciones fluctúan de un lugar a otro. Generalmente, un 11 % es recomendable. El café cuyo grado de humedad es superior al 12.5 % no se debe almacenar	Para la comercialización del café pergamino es primordial tener una humedad donde el producto mantenga sus propiedades organolépticas.	Características de humedad del grano en el proceso de secado solar.	Constantes humedad en el proceso de secado solar. Niveles de humedad de acopio en la cooperativa  Humedad de café seco.	Libros, revistas, tesis, artículos. Registro manual de acopio.  Equipo de medición de humedad electrónico de la cooperativa.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3. Operacionalización de variables dependiente.

**Tabla 3**

*Operacionalización de la variable dependiente*

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Instrumentos
Dispositivo electrónico	Mata Marin, (2016). Indicó que se hizo un trabajo de investigación para determinar la posibilidad de diseño de un dispositivo electrónico que cumpla con ciertas especificaciones para el funcionamiento adecuado a las demandas de campo de secado de café; para lo cual se escogieron los componentes electrónicos necesarios para cumplir el objetivo.	Se seguirá una serie de pasos desde el diseño del dispositivo electrónico, componentes electrónicos, sensores hasta la programación e implementación. Donde cabe mencionar que un dispositivo electrónico es un objeto que sirve como referencia para futuros modelos en una misma cadena de producción.	Diseño del dispositivo electrónico.	Humedad de café recién lavado.	Sensor de humedad.
				Humedad del café seco, bajo estándares de compra	Registro manual de acopio, instrumento de medición de humedad del café capacitivo
				Parámetros electromecánicos del diseño	Cuadros comparativos, hojas de especificaciones, bases teóricas y documentos. Software IDE
				Programación	Arduino
				Visualización	Pantalla oled 0.97x1, software de programación
			Implementación del dispositivo electrónico.	Hardware	Desarrollo bajo hardware Arduino
				Alimentación eléctrica	Batería
				Capacidad de almacenamiento de datos	Modulo SD

Fuente: Elaboración propia.

### **3.4. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos.**

#### **3.4.1. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

Mediante la técnica de muestreo por conveniencia se realizó la estimación de la humedad de café pergamino. Se seleccionaron tres variedades de café: Catimor, Caturra, Borbón; de la producción de los socios de la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos.

Se tomaron nueve (09) muestras para la creación del modelo matemático y cuarenta (40) muestras para evaluar el comportamiento del dispositivo electrónico, ver Anexo 1 y Anexo 2. Estas fueron recogidas del secado solar de los productores. Para este fin, se utilizaron dos medidores electrónicos de humedad de la marca Wile Coffee y Draminski TwistGrain Pro, calibrados y empleados por la Cooperativa.

#### **3.4.2. Procedimiento.**

El proceso seguido fue el siguiente:

1. Se seleccionaron las especificaciones relevantes para el desarrollo del dispositivo, que permita una adecuada medición de humedad del grano de café según los estándares de calidad del producto en mención.
2. Se diseñó la parte física del dispositivo en el software Solidworks con partes aseguibles; para la medición de temperatura y humedad, específicamente del café pergamino.
  - ✓ Se analizó las especificaciones de hardware y sensores para el desempeño adecuado del dispositivo electrónico.
  - ✓ Se seleccionó componentes con especificaciones pertinentes considerando el balance rendimiento y costo.
3. Se imprimieron las piezas del dispositivo electrónico en la impresora 3D del Instituto de Ciencias de Datos de la Universidad Nacional de Jaén.
4. Se determinaron algoritmos para aumentar la exactitud en la medición de la humedad del grano de café.
  - ✓ Se investigó algoritmos de regresión no lineal para el modelado de humedad de grano de café pergamino.

- ✓ Se seleccionó el algoritmo que cumpla un mejor desempeño del dispositivo considerando las especificaciones a cumplir, es decir el máximo coeficiente de correlación este cerca a uno.
- 5. Se implementó el dispositivo electrónico, considerando el algoritmo del modelo matemático en la plataforma de desarrollo.
- 6. Se diseñó pruebas que fundamenten el buen funcionamiento y cumplimiento de las especificaciones básicas para el secado del café.
- 7. Se emplearon los estadísticos: Promedio, ver ecuación (2); error absoluto ( $E_A$ ), ver ecuación (3); error relativo ( $E_R$ ), ver ecuación (4) y coeficiente de correlación ( $R^2$ ). Con el objetivo de evaluar el desempeño del dispositivo electrónico, en contraste con equipos comerciales.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

$$E_A = |Hcp_{de} - Hcp_{sc}| \quad (3)$$

$$E_R = \frac{E_A}{Hcp_{de}} \quad (4)$$

Donde:

$Hcp_{de}$  es la humedad del café pergamino dado por el dispositivo electrónico.

$Hcp_{sc}$  es la humedad del café pergamino dado por el software comercial.

- 8. Se evaluó económicamente el diseño e implementación del dispositivo electrónico a través del Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), ver ecuaciones (5) y (6).

$$VAN = -Inv + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j} \quad (5)$$

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (6)$$

Donde:

$F_j$  es el flujo neto en el periodo  $j$ .

$Inv$  es la inversión inicial.

$I$  es la tasa de descuento del inversionista.

$n$  es el periodo de tiempo en meses de evaluación o vida útil del proyecto.

$F_n$  es el flujo efectivo anual.

Cálculo de la tasa de interés o costo de oportunidad mensual ver ecuaciones (7) y (8).

$$Da = \frac{I}{1 + I} \quad (7)$$

Donde:

$Da$  es descuento anual o costo de oportunidad

$I$  es tasa de interés bancario.

$$Dm = (1 + Da)^{\left(\frac{1}{n} - 1\right)} \quad (8)$$

Donde:

$Dm$  es descuento mensual o costo de oportunidad.

$Da$  es descuento anual.

$n$  es periodo de evaluación.

### 3.5. Análisis de datos.

La forma de recopilar toda la información y datos siguió el siguiente proceso.

- ✓ Recopilación de la información: Datos obtenidos de la humedad del café pergamino empleando dispositivo electrónico y dos equipos comerciales. Este trabajo se realizó en las instalaciones de la Cooperativa, la cual fue útil para la elaboración del modelo matemático.
- ✓ Organización de la información y datos recopilados: Se empleó el software Excel para dicho fin.
- ✓ Análisis de la información: Consistió en la elaboración de modelos matemáticos, además se comparó los datos del dispositivo electrónico; con las mediciones arrojadas de los equipos comerciales.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Características del cultivo de café en las provincias de Jaén y San Ignacio.

Las provincias de Jaén y San Ignacio se encuentran ubicadas en la zona Nor Oriental de la región Cajamarca; se caracterizan por la diversidad de microclimas. En Jaén el clima es moderadamente templado con intensas lluvias que disminuyen en los meses de mayo y agosto; en las zonas de los 2000 msnm; la temperatura oscila entre los 16° C a 23° C y en las zonas con alturas menores a 1000 msnm, fluctúa entre los 28° C y 32° C. Mientras que San Ignacio, presenta climas cálidos en los valles bajos de los ríos Chinchipe y Tabaconas, donde las temperaturas llegan hasta los 30° C; por el contrario, en las zonas altas el clima es templado o frío. En consecuencia, de los variados climas que presentan en todo el territorio de estas provincias; existen una variedad de cultivos agrícolas no obstante el cultivo más predominante a partir de los 1200 msnm es el café. Las variedades de café más cultivadas son: Typica o Nacional, Caturra, Catimor, Bourbon, Catuai y Pache, una menor cantidad cultiva la variedad Geisha. La producción de café en toneladas (Tn) y las hectáreas (Ha) en cosecha por distrito en las provincias de Jaén y San Ignacio en la campaña agrícola 2019 – 2020, (ver Tablas 4 y 5).

Aproximadamente un 80% de caficultores secan su producto a luz solar (pampillos de secado), mientras que el 20% han implementado algunos mecanismos más avanzados para el secado (carpas solares, módulo de secado, etc.).

**Tabla 4**

*Campaña agrícola de café en la provincia de San Ignacio, 2019-2020*

Distrito	Producción (Tn)	Cosechas (Ha)
Huaringo	3787.536	3722.00
Chirinos	4998.26	4661.00
La Coipa	4735.48	6211.00
Tabaconas	7516.73	6554.00
Namballe	3572.6	3731.00
San José de Lourdes	6883.46	4464.00
San Ignacio	7643.048	7385.00

Fuente: Agencia Agraria Jaén

**Tabla 5***Campaña agrícola de café en la provincia de Jaén, 2019-2020*

<b>Distrito</b>	<b>Producción (Tn)</b>	<b>Cosechas (Ha)</b>
Bellavista	997.68	844.00
Colasay	3304.4	3004.00
Chontali	2986.51	2715.00
Huabal	2775.13	2569.00
Jaén	4253.709	3867.00
Las Pirias	1611.02	1478.00
Poma huaca	836.779	841.00
Pucará	176.118	177.00
Sallique	152.228	153.00
San Felipe	107.409	108.00
San José del Alto	3618.44	3289.50
Santa Rosa	3390.22	3082.00

Fuente: Agencia Agraria Jaén.

#### **4.2. Determinación y evaluación de los parámetros del diseño**

Los parámetros se han determinado, en base a la revisión de estudios e investigaciones realizadas en Colombia, Costa Rica; donde han utilizado el software arduino para programar e implementar dispositivos similares al desarrollado en la investigación. Se ha tomado como referencia los siguientes trabajos de investigación. “Diseño de un sistema de instrumentación para medir la humedad del café en el secado solar. Universidad Tecnológica de Pereira, Programa de ingeniería eléctrica”. “Diseño y validación de un medidor de humedad de bajo costo para camas de secado de café. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Eléctrica”. “Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos . Cenicafé”.



#### **4.2.1. Parte electrónica.**

En el dispositivo electrónico implementado se han utilizado los siguientes elementos electrónicos:

- **1 Arduino UNO R3.**

Se ha optado por utilizar una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo (software), diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

Se eligió porque es el componente más comercial en el mercado, tiene un bajo costo comparado con plataformas similares, alta flexibilidad y de sencilla programación. El arduino utilizado tiene las siguientes características:

- 14 pines digitales de entrada / salida
- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de operación: 5V
- Memoria Flash: 32 KB

- **1 LCD 1602 I2C.**

Son dispositivos diseñados para mostrar información en forma gráfica; se ha elegido porque posee un esquema de conexión sencillo y alta precisión. Esto permite que se visualice lo procesado en el software. El utilizado tiene las siguientes características:

- Luz de fondo azul.
- Interface: IIC/I2C.
- Tipo de pantalla: STN, Reflective, azul negativo.
- Área de visualización tamaño: 6.5 x 1.5 cm.
- Resolución de 16x2 (caracteres x líneas).

- **1 Sensor DTH22.**

Es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir

el aire circundante, muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos. Se ha utilizado porque se caracteriza al tener la señal digital calibrada por lo que asegura calidad y fiabilidad a lo largo del tiempo; características:

- Voltaje de operación: 3V – 6V DC
- Rango de medición: -40°C a 80 °C.
- Precisión de medición de temperatura:  $<\pm 0.5$  °C.
- Resolución Temperatura: 0.1°C.
- Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH.
- Precisión de medición de humedad: 2% RH.
- Resolución Humedad: 0.1%RH.
- Tiempo de sensado: 2s.

- **1 Potenciómetro.**

Utilizado porque son más fiables y útiles; componente electrónico utilizado para controlar la intensidad de corriente a lo largo de un circuito.

- Valor: 10k Ohm.
- Tolerancia: 20%
- Potencia: 250mW (1/4W)
- Salida doble OTA, OTB

- **Kit de Jumpers.**

Son conectores económicos y de uso sencillo.

- Medida: 20 cm
- Entrada: Macho / hembra

- **Fuente de alimentación.**

Indispensable para alimentar el dispositivo electrónico. Se utilizó una batería (pila) porque el equipo implementado es portátil.

- 1 batería de 9 V.

- **1 interruptor.**

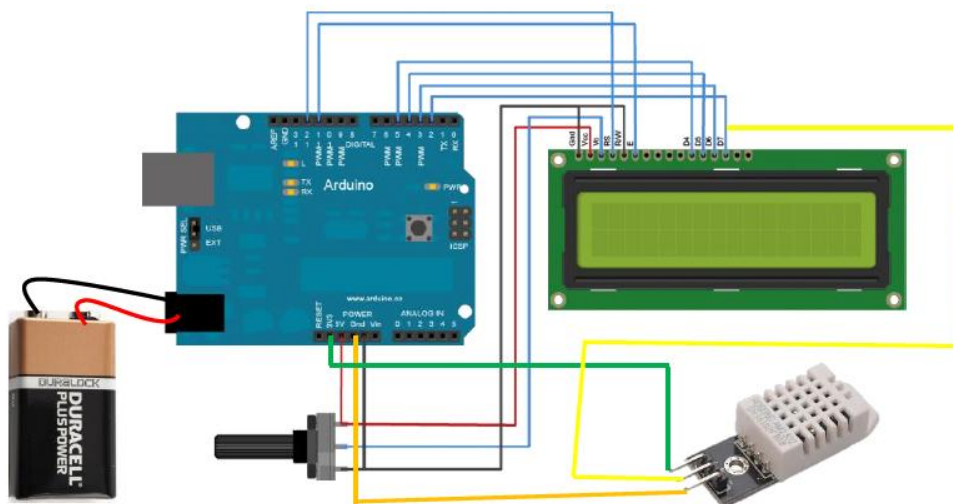
Usado para abrir y cerrar la corriente eléctrica que ingresa en el dispositivo electrónico.

- Terminales: 2 Pin (ON-OFF)

Diagrama de conexiones internas del dispositivo electrónico el cual incluye todos los componentes electrónicos utilizados para su implementación (ver Figura 2). En la figura se muestra también las conexiones de un dispositivo a otro para su correcto funcionamiento.

**Figura 2**

*Conexión interna del dispositivo electrónico*



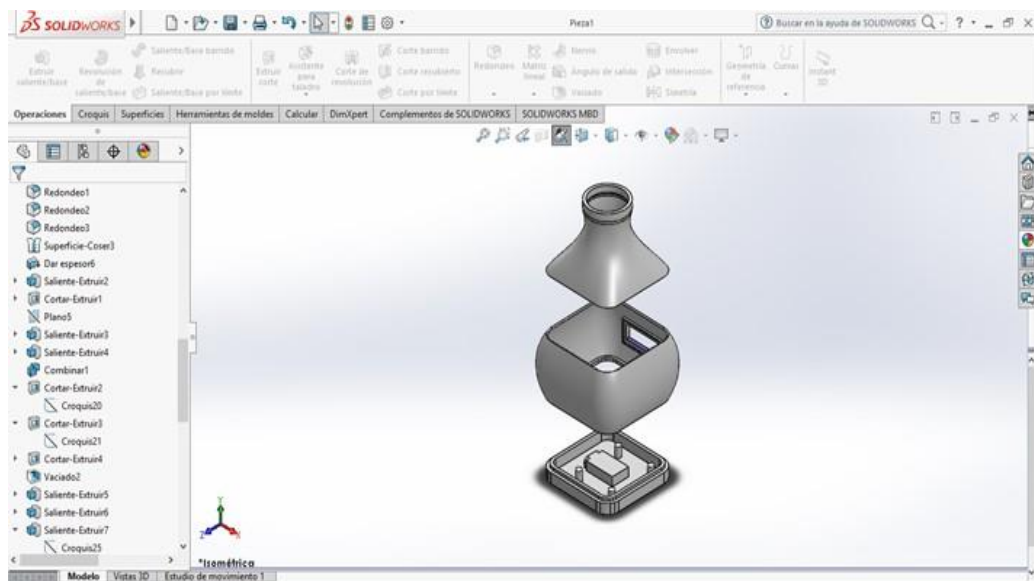
Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2. Diseño de dispositivo electrónico en 3D

El diseño consistió en 5 piezas separadas, el cual fue esbozado en un programa de diseño CAD 3D (ver Figura 3). Se utilizó SolidWorks porque es un software de diseño; que permite crear y simular modelos sólidos en 3D. La interfaz de diseño intuitivo y el software integrado trabajan de manera conjunta donde ofrece la libertad de centrarse en la innovación. Maximiza la productividad de diseño y recursos de ingeniería para obtener productos mejores y más rentables de forma más rápida.

**Figura 3**

*Bosquejo del diseño del dispositivo electrónico en SolidWorks*

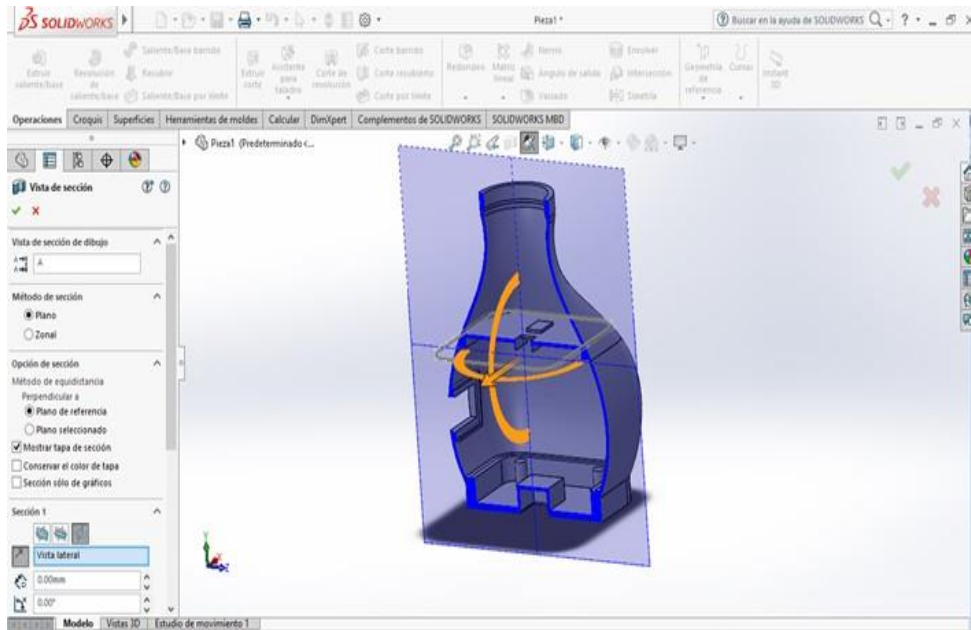


Fuente: Elaboración propia.

Vista en 3D del interior del dispositivo electrónico, donde se incluye una cavidad para la implementación del sensor y otra para la batería, (ver Figura 4).

**Figura 4**

### Vista interna del bosquejo de diseño



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3. Elaboración de modelo matemático para estimar humedad del café

Se obtuvieron cuatro modelos matemáticos para determinar la humedad del café pergamino, mediante el software Curve Expert Professional. Se han considerado los que arrojan coeficiente de correlación cerca a uno, (ver Tabla 6). En la Figura 5 se muestra la curva de los modelos matemáticos de las ecuaciones (9), (10), (11), (12).

$$H_{cp} = 15.6215(H_s - 65.2203)^{0.166643} \quad (9)$$

$$H_{cp} = 60.9853 - 0.1932H_s - \frac{0.0001343}{(H_s)^2} \quad (10)$$

$$H_{CP} = 28.7376e^{-e^{(5.1669-0.08833*H_s)}} \quad (11)$$

$$H_{CP} = \frac{28.9980}{1 + \left(\frac{H_s}{62.6156}\right)^{-7.1758}} \quad (12)$$

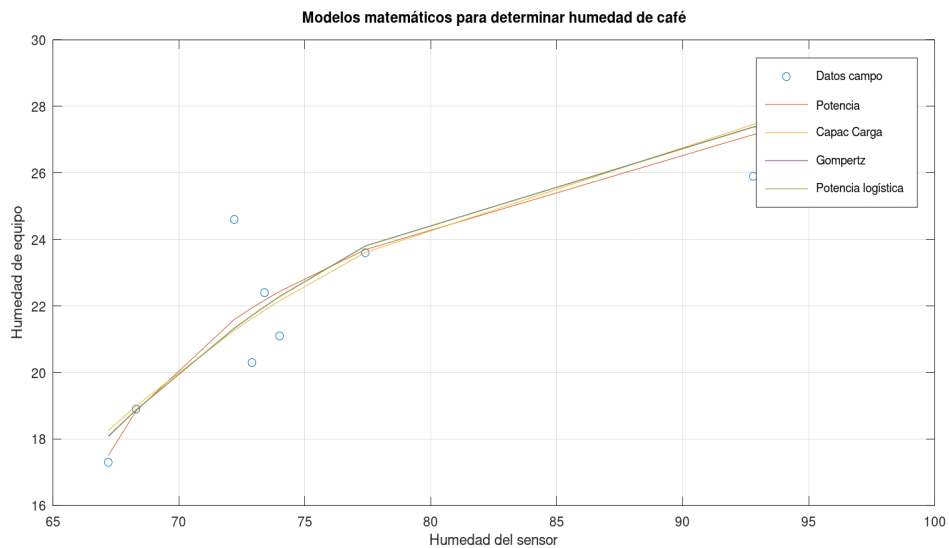
**Tabla 6**

*Modelos matemáticos y su coeficiente de correlación*

Modelo	Descripción	R <sup>2</sup>
Potencia	Ecuación (9)	0.85
Capacidad de carga	Ecuación (10)	0.83
Gompertz	Ecuación (11)	0.83
Potencia logística	Ecuación (12)	0.83

**Figura 5**

*Modelos matemáticos para determinar humedad de café pergamino*



Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Parámetros de diseño del dispositivo electrónico

#### 4.3.1. Sketch en Arduino

Se ha desarrollado un algoritmo (ver Tabla 7) para estimar la humedad del café pergamino, teniendo como parámetro de entrada la humedad del sensor.

**Tabla 7**

*Algoritmo para estimar la humedad de Café pergamino*

Algoritmo	Estimar la humedad del café pergamino	Fuente:
Entrada	Humedad relativa (Hs)	
Salida	Humedad de café pergamino (Hcp)	
Inicio	Leer humedad relativa de café pergamino	
	$H_{cp} = 15.6215(H_s - 65.2203)^{0.166643}$	
Fin	Mostrar humedad de café pergamino	

Elaboración propia.

Rango de humedad para determinar el modelo matemático 29.2% a 17.3% de humedad relativa (ver anexo 1)

Se realizó la programación del equipo electrónico mediante el Software Arduino. Para estimar la humedad del café pergamino, la humedad relativa fue recolectada por el sensor DTH22, (ver Figura 6).

### **Figura 6**

## Programación en Software Arduino

```

proyecto_sensor_de_cafe
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#include "DHT.h" //include the DHT library
#include <LiquidCrystal.h> //include the LiquidCrystal library
#define DHTPin 2 //define DHT pin
LiquidCrystal lcd(1, 3, 4, 5, 6, 7); //define LCD pins (RS, E, D4, D5, D6, D7)
DHT dht;
int A=15.62147136188259;
int B= -65.22028652927725;
float C=0.1666428992681533;
float z;
float humi;
void setup() {
  dht.setup(DHTPin);
  lcd.begin(16,2); //initializes the LCD and specifies the dimensions
}
void loop() {
  float humi = dht.getHumidity();
  float y= (humi-B);
  float z = pow(y,C);
  float x= z*A;
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("HUMEDAD DE CAFE: ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("ES: ");
  lcd.print(x);
  lcd.print(" %");
  delay(500);
}

```

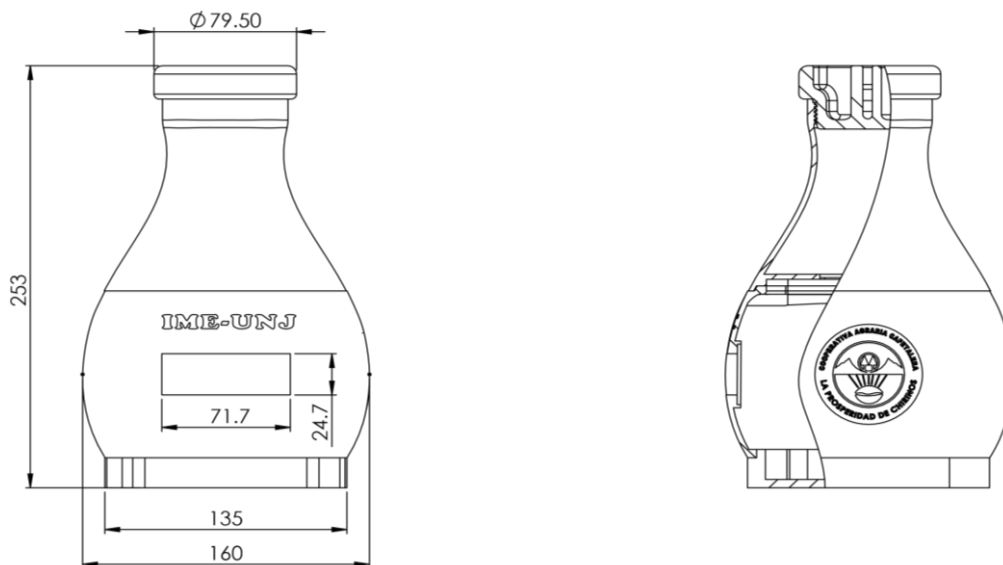
Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.2. Medidas de diseño.

Vista completa y sus respectivas medidas del dispositivo electrónico diseñado en el Software SolidWorks, (ver Figura 7).

**Figura 7**

*Plano de diseño del dispositivo electrónico*



Fuente: Elaboración Propia.



#### 4.4. Validación del dispositivo electrónico.

Se realizó la toma de cuarenta (40) mediciones de humedad (muestra) con equipos comerciales Wile Coffe y Draminski TwistGrain Pro proporcionados por la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad de Chirinos” y se comparó con el dispositivo electrónico implementado; resultando un error relativo de 1%, (ver Tabla 8).

**Tabla 8**

*Muestras de medición de humedad y cálculo de error.*

Muestra	Wile Coffe	Draminski TwistGrain	Dispositivo Electrónico	Promedio	Error	
					Absoluto	Relativo
M1	11.6	11.7	11.48	11.593	0.076	0.007
M2	13.1	13.4	13.55	13.350	0.167	0.012
M3	15.6	15.9	16.04	15.847	0.164	0.010
M4	14.5	14.5	14.65	14.550	0.067	0.005
M5	12.3	12.5	12.68	12.493	0.129	0.010
M6	7.9	7.6	7.8	7.767	0.111	0.014
M7	10.9	10.7	11.08	10.893	0.129	0.012
M8	12.6	12.6	12.98	12.727	0.169	0.013
M9	14.4	14.6	14.78	14.593	0.129	0.009
M10	15.9	15.7	16.08	15.893	0.129	0.008
M11	15.4	15.4	15.56	15.453	0.071	0.005
M12	16.3	16.1	16.23	16.210	0.073	0.005
M13	13.7	13.8	14.05	13.850	0.133	0.010
M14	12.2	12.4	12.1	12.233	0.111	0.009
M15	11.1	11.2	10.59	10.963	0.249	0.023
M16	11.6	11.9	12.09	11.863	0.176	0.015
M17	16.3	16.3	15.88	16.160	0.187	0.012
M18	12.9	13.1	12.92	12.973	0.084	0.007
M19	14.3	14.1	13.77	14.057	0.191	0.014
M20	17.8	17.6	17.98	17.793	0.129	0.007
M21	11.5	11.1	10.88	11.160	0.227	0.020
M22	16.1	16.1	16.18	16.127	0.036	0.002
M23	13.5	13.5	14.11	13.703	0.271	0.020
M24	12.9	12.9	13.22	13.007	0.142	0.011
M25	11.4	11.2	10.98	11.193	0.142	0.013
M26	17.3	16.9	16.7	16.967	0.222	0.013
M27	13.9	13.5	13.52	13.640	0.173	0.013
M28	16.5	16.8	15.98	16.427	0.298	0.018
M29	13.9	13.6	13.79	13.763	0.109	0.008
M30	16.2	16.2	16.91	16.437	0.316	0.019
M31	11.9	12.1	11.89	11.963	0.091	0.008
M32	13.6	13.8	14.02	13.807	0.142	0.010
M33	14.6	14.7	15.04	14.780	0.173	0.012
M34	12.3	12.5	11.99	12.263	0.182	0.015
M35	19.6	19.9	18.75	19.417	0.444	0.023

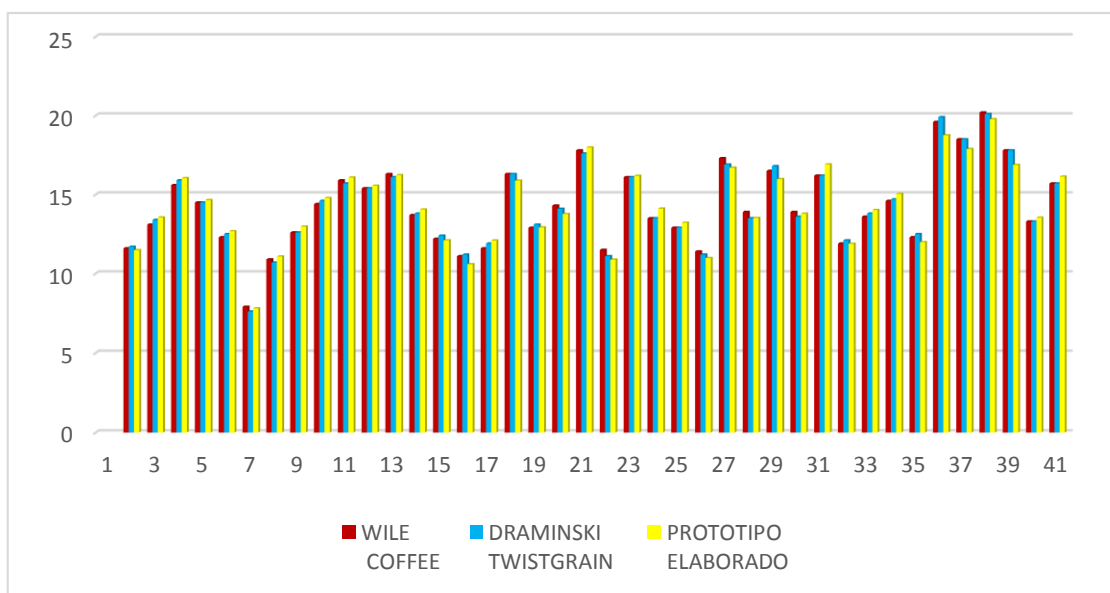
M36	18.5	18.5	17.88	18.293	0.276	0.015
M37	20.2	20.1	19.77	20.023	0.169	0.008
M38	17.8	17.8	16.88	17.493	0.409	0.023
M39	13.3	13.3	13.54	13.380	0.107	0.008
M40	15.7	15.7	16.14	15.847	0.196	0.012
<b>Error promedio</b>					0.17	1%

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra la gráfica de barras de las mediciones de humedad del café pergamino con equipos comerciales Wile Coffe, Draminski TwistGrain pro y el dispositivo electrónico (ver Figura 8); donde el mayor porcentaje de humedad sentido es de 20.2% y el menor es de 7.6%.

**Figura 8**

*Gráfica de muestras de medición de humedad de café pergamino*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. Evaluar económicamente el diseño y construcción del dispositivo electrónico

Para el análisis de la rentabilidad del proyecto diseño y construcción del dispositivo electrónico se ha realizado mediante el cálculo de Valor Actual Neto y de la Tasa Interna de Retorno; el flujo de caja proyectado es 12 meses; donde la cantidad de venta de los equipos elaborados tiene un incremento progresivo a partir del 2do mes; estos valores se han asumido teniendo en consideración la cantidad de socios de la Cooperativa. Asimismo, el Valor Actual Neto (VAN) es S/ 7986.89; con una Tasa

Interno de Retorno (TIR) de 29.55% (ver Tablas 9, 10 y 11) en la cual se demuestra que el proyecto es rentable ya que el TIR es mayor que la tasa de interés.

Se ha asumido una tasa de interés o costo de oportunidad de 28% anual; el cual llevado a una tasa de interés mensual es de 2.078%; ver ecuación (8). Para el cálculo del costo de oportunidad en este proyecto se ha acogido una tasa de interés de 14% anual; ver ecuación (7) que es la más baja en el mercado del sistema bancario otorgado a micro empresas dado por Scotiabank para empréstitos a cuotas fijas de 181 a 360 días.

**Tabla 9***Flujo de caja*

Ítem	Mes 01	Mes 02	Mes 03	Mes 04	Mes 05	Mes 06	Mes 07	Mes 08	Mes 09	Mes 10	Mes 11	Mes 12
1.- INGRESOS	S/ 3000	S/ 2000	S/ 4000	S/ 6000	S/ 8000	S/ 10000	S/ 12000	S/ 14000	S/ 16000	S/ 18000	S/ 20000	S/ 22000
1.1.- Aporte de capital	S/ 2000											
1.2.- Cantidad de venta de equipos	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
1.3.- Precio de unidad de equipo	S/ 1000	S/ 1000	S/ 1000	S/ 1000	S/ 1000	S/ 1000	S/ 1000	S/ 1000	S/ 1000	S/ 1000	S/ 1000	S/ 1000
2.- EGRESOS	S/ 1520	S/ 2370	S/ 4070	S/ 5770	S/ 7670	S/ 9370	S/ 11070	S/ 12770	S/ 14470	S/ 16170	S/ 18070	S/ 19770
2.1.- Retorno del aporte del capital					S/ 200	S/ 200	S/ 200	S/ 200	S/ 200	S/ 200	S/ 400	S/ 400
2.2.- Cantidad fabricación de equipos	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
2.3.- Precio de construcción por unidad de equipo	S/ 850	S/ 850	S/ 850	S/ 850	S/ 850	S/ 850	S/ 850	S/ 850	S/ 850	S/ 850	S/ 850	S/ 850
2.4.- Alquiler de local	S/ 350	S/ 350	S/ 350	S/ 350	S/ 350	S/ 350	S/ 350	S/ 350	S/ 350	S/ 350	S/ 350	S/ 350
2.5.- Costo de luz eléctrica	S/ 150	S/ 150	S/ 150	S/ 150	S/ 150	S/ 150	S/ 150	S/ 150	S/ 150	S/ 150	S/ 150	S/ 150
2.6.- Costo de agua potable	S/ 50	S/ 50	S/ 50	S/ 50	S/ 50	S/ 50	S/ 50	S/ 50	S/ 50	S/ 50	S/ 50	S/ 50
2.7.- Costo de teléfono + Internet	S/ 120	S/ 120	S/ 120	S/ 120	S/ 120	S/ 120	S/ 120	S/ 120	S/ 120	S/ 120	S/ 120	S/ 120
FLUJO NETO	S/ 1480	-S/ 370	-S/ 70	S/ 230	S/ 330	S/ 630	S/ 930	S/1230	S/ 1530	S/1830	S/1930	S/2230

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10***Datos para el cálculo del VAN y TIR*

Periodo (N)	12 meses
Tasa de Interés (I) o costo de oportunidad	de 2.078%
Inversión Inicial	S/. 2000
Flujos.	Monto
F1	S/. 1,480.00
F2	-S/. 370.00
F3	-S/. 70.00
F4	S/. 230.00
F5	S/. 330.00
F6	S/. 630.00
F7	S/. 930.00
F8	S/. 1,230.00
F9	S/. 1,530.00
F10	S/. 1,830.00
F11	S/. 1,930.00
F12	S/. 2,230.00

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11***Cálculo de VAN y TIR*

n	FNE	(1+i) <sup>n</sup>	FNE/(1+i) <sup>n</sup>
1	S/ 1,480.00	1.021	S/ 1,449.87
2	-S/ 370.00	1.042	-S/ 355.09
3	-S/ 70.00	1.064	-S/ 65.81
4	S/ 230.00	1.086	S/ 211.84
5	S/ 330.00	1.108	S/ 297.75
6	S/ 630.00	1.131	S/ 556.86
7	S/ 930.00	1.155	S/ 805.30
8	S/ 1,230.00	1.179	S/ 1,043.39
9	S/ 1,530.00	1.203	S/ 1,271.46
10	S/ 1,830.00	1.228	S/ 1,489.81
11	S/ 1,930.00	1.254	S/ 1,539.23
12	S/ 2,230.00	1.280	S/ 1,742.28
		VAN=	S/ 7,986.89
		TIR=	29.55%

Fuente: Elaboración propia.

## V. DISCUSIÓN

Luego de haber desarrollado y ejecutado los mecanismos de recojo de información para desarrollar e implementar un dispositivo tecnológico para medir la humedad del café en la cooperativa agraria cafetalera “La prosperidad” de Chirinos del distrito de Chirinos se describe los procesos de desarrollo y ejecución del proyecto, así como conclusiones sobre las cuales se plantean sus respectivas discusiones.

La validación y/o comparación del dispositivo electrónico desarrollado se llevó a cabo en cuarenta (40) muestras de café pergamino de tres variedades en la zona; en el laboratorio de la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos donde quedó evidenciado un error del  $\pm 1\%$  respecto a los equipos comerciales Wile Coffe y Draminski TwistGrain Pro facilitados por la entidad. Siendo este resultado menor a lo propuesto por Mata en el 2016 en su tesis diseño y validación de un medidor de humedad de bajo costo para camas de secado de café; donde concluye que se obtuvo un diseño de un equipo de adquisición de datos de humedad que obtuvo un error de  $\pm 2\%$  respecto a un equipo calibrado existente en el mercado.

Se determinaron y evaluaron los parámetros del diseño del dispositivo electrónico, con un diseño original; además de ello confiable y que garantiza una determinación de humedad confiable respecto a equipos existentes en el mercado. El diseño Consistente en una placa arduino, un sensor DTH22, un LCD 1602 12C, un potenciómetro de 10k Ohm, kit de jumpers, fuente de alimentación, interruptor y el modelo matemático  $H_{CP} = 15.6215(Hs - 65.2203)^{0.166643}$  donde el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) fue 0.85.

El dispositivo se validó a través un muestreo de 40 lecturas de humedad de café pergamino semi seco y seco con valores que van de 20.2% a 7.6%; dando como resultado un error relativo de  $\pm 1\%$  respecto a los equipos portátiles de marcas reconocidas y utilizadas por la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos. Se ha implementado el dispositivo asegurando una adecuada medición de humedad del grano de café según los estándares de calidad; el rango de humedad para determinar el modelo matemático fue 29.2% a 17.3% más pequeño a lo propuesto por Mata en Costa Rica el 2016; en cambio el costo del dispositivo implementado en esta investigación es de S/.1000.00 es similar al propuesto al autor antes mencionado. Se considera que es un costo bastante económico respecto a equipos (humidímetros de granos) existentes en el mercado.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones.

Se identificaron las características propias del cultivo de café en las provincias de Jaén y San Ignacio; la producción de café se cultiva entre altitudes de 1000 a 1900 m.s.n.m, los niveles de temperatura para producción de café se da entre 16 a 21 °C, con humedades ambientes de 70 a 95 %, y una geografía un poco accidentadas. con el incremento del cultivo de café y la producción del mismo; en la campaña agrícola de café 2019 – 2020 obtuvieron una producción de 24209.643 Ton. Y 39137.114 Ton con una cosecha de 22127.5 Ha y 36728.00 Ha respectivamente; por lo que para aportar en la cadena de comercialización del producto se ha desarrollado un dispositivo electrónico para medir la humedad del café pergamino, de bajo costo para la adquisición del pequeño caficultor donde con un moderado presupuesto pueda acceder a adquirir un equipo eficiente y a la vanguardia de la tecnología.

Se determinaron para el diseño e implementaron del dispositivo electrónico los siguientes parámetros: Arduino, sensor, pantalla LCD, fuente de alimentación, interruptor, potenciómetro, jumpers; con un diseño original; además de ello confiable y que garantiza una determinación de humedad confiable respecto a equipos existentes en el mercado, para ello se ha utilizado componentes electrónicos eficientes que avalan un desempeño seguro, de alto rendimiento y sensibilidad a las lecturas de humedad en granos.

Se seleccionaron los parámetros de diseño del dispositivo electrónico los cuales están plasmados en la implementación y programación del equipo desarrollado. Consistente en una placa arduino Uno, un sensor DTH22, un LCD 1602 12C, un potenciómetro de 10k Ohm, kit de jumpers, fuente de alimentación, interruptor y el modelo matemático  $H_{CP} = 15.6215(H_s - 65.2203)^{0.166643}$  donde el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) fue 0.85. Así mismo, precisar que queda abierta la posibilidad de investigar e implementar la programación con otro tipo de sensores o modelos matemáticos que garanticen una precisión de medición de humedad menor al  $\pm 1\%$  RH.

Se validó el dispositivo electrónico para medir la humedad del café pergamino comparando sus resultados con existentes en el mercado, mediante un muestreo de 40 lecturas de humedad de café pergamino semi seco y seco con valores que van de 20.2% a 7.6%; dando como resultado un error relativo de  $\pm 1\%$  respecto a los equipos portátiles de marcas reconocidas y utilizadas por la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos.

Se evaluó económicamente el diseño y construcción del dispositivo electrónico, a través del Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno teniendo como resultado los valores de S/. 7,986.89 y 29.55 % respectivamente; se tuvo como prioridad optimizar costos para la adquisición de los pequeños caficultores cuyo valor monetario asciende a S/. 1000 por unidad.

## **6.2. Recomendaciones.**

A la Universidad Nacional de Jaén impulsar la investigación científica y tecnológica en coordinación con los diversos actores de la sociedad, que permitan resolver problemáticas propias del área de influencia de la institución.

A la carrera profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, considere y fortalezca cursos sobre diseño e implementación de dispositivos electrónicos.

A las Cooperativas cafetaleras impulsar investigaciones científicas y tecnológicas en cooperación con universidades e institutos, la cual permitirá dar valor agregado a la producción del agricultor.

A los interesados en hacer investigación aplicada a la realidad, se les sugiere formar equipos multidisciplinarios que permita llevar con éxito dicho proceso.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga Ramos, G. M., & Ramírez Tijero, P. C. (2019). *Evaluación del incremento de las exportaciones de café peruano a Alemania*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Programa Académico de Administración y Negocios Internacionales.
- Añamuro Pampamallco, R. P. (2015). *Efecto del almacenamiento del café pergamino variedad Bourbon (Coffea arabica L.) en las propiedades físicas y sensoriales*. Tesis pre grado, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Barzola Cárdenas, A., Quiñonez Huatangari, L., Vásquez Ochoa, B., Pérez Guevara, I., & Díaz Torres, M. (2020). *Estimación de humedad de café pergamino utilizando un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos en Jaén-Perú*. Universidad Nacional de Jaén, Facultad de Industrias Alimentarias.
- Bedoya García, J. D. (2018). *Diseño de un sistema de instrumentación para medir la humedad del café en el secado solar*. Universidad Tecnológica de Pereira, Programa de ingeniería eléctrica.
- Díaz Vargas, C., & Carmen Willems, M. (2017). *Línea de Base del sector café en el Perú*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD.
- Fernández, Y. (2020). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*. Xataka Basics.
- LLendó Sánchez, E. (2012). *Diseño de un sistema de control domótico*. Universitat Politècnica de València, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica.
- Mamani Limachi, M. E. (2012). *Evaluación del efecto de la humedad relativa, temperatura y tiempo en el almacenamiento de café pergamino (Coffea arabica), a 3826 m.s.n.m.* Tesis pre grado, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Martínez L., E., & Lira C., L. (2010). *Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos*. Simposio de Metrología 2010, Centro Nacional de Metrología.
- Mata Marin, F. (2016). *Diseño y validación de un medidor de humedad de bajo costo para camas de secado de café*. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Eléctrica.

- Nacho Paucara, R. O. (2016). *Sistema de control domóticobasado en arduino, aplicación móvil y voz*. Universidad Mayor De San Andres, Facultad de Ciencias Puras y Naturales.
- Oliveros Tacsón, C., López Valencia, L., Marcela Buitrago, C., & Moreno Cárdenas, E. L. (2010). *Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos*. Cenicafé.
- Pérez Castro, W. (2010). *Diseño y construcción de un sistema para la medición de contenido de humedad en granos*. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías.
- Puerta Quintero, G. I. (2006). *La Humedad Controlada del grano reserva la calidad del café*. Cenicafe.
- Riveros, E. (2017). *Uso de Arduino en Programación Electrónica*. Universidad Tecnológica Nacional, Licenciatura en Tecnología Educativa.
- Yurrita Elgueta, M. (1969). *Evaluación de dos métodos rápidos para determinar el contenido de humedad del café*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Gerente de la Cooperativa y a su personal que labora por dar las facilidades técnicas y especializadas sobre medición de humedad de café pergamino.

Al Instituto de Ciencia de Datos de la Universidad Nacional de Jaén por la orientación y apoyo en la impresión en 3D del dispositivo electrónico.

Al técnico Javier Pérez Oclocho por su orientación en la programación de Arduino Uno y sensor de humedad.

Al técnico en Mecánica de Máquinas y Herramientas Osman Darwin Tello Correa por su contribución y orientación en el diseño del dispositivo en el software SolidWorks.

## **DEDICATORIA**

A Dios por prestarme la vida, mis padres Segundo Félix y Adelaida Hortensia por haberme dado una formación ética y con valores; ¡infinitamente agradecido! a todos mis hermanos por su contante apoyo incondicional y a todas las personas que han contribuido de alguna u otra manera en mi formación profesional.

Edison.

A Dios por bendecirme cada día y guiar mis pasos, a mis queridos padres Gregorio Chinchay y Herminia Rivera ejemplo de lucha, sacrificio, respeto y trabajo, gracias a ellos por sus consejos y apoyo constante; a todas las personas que contribuyeron en mi formación profesional y en la elaboración de mi tesis, toda mi estima personal.

Lorenzo.

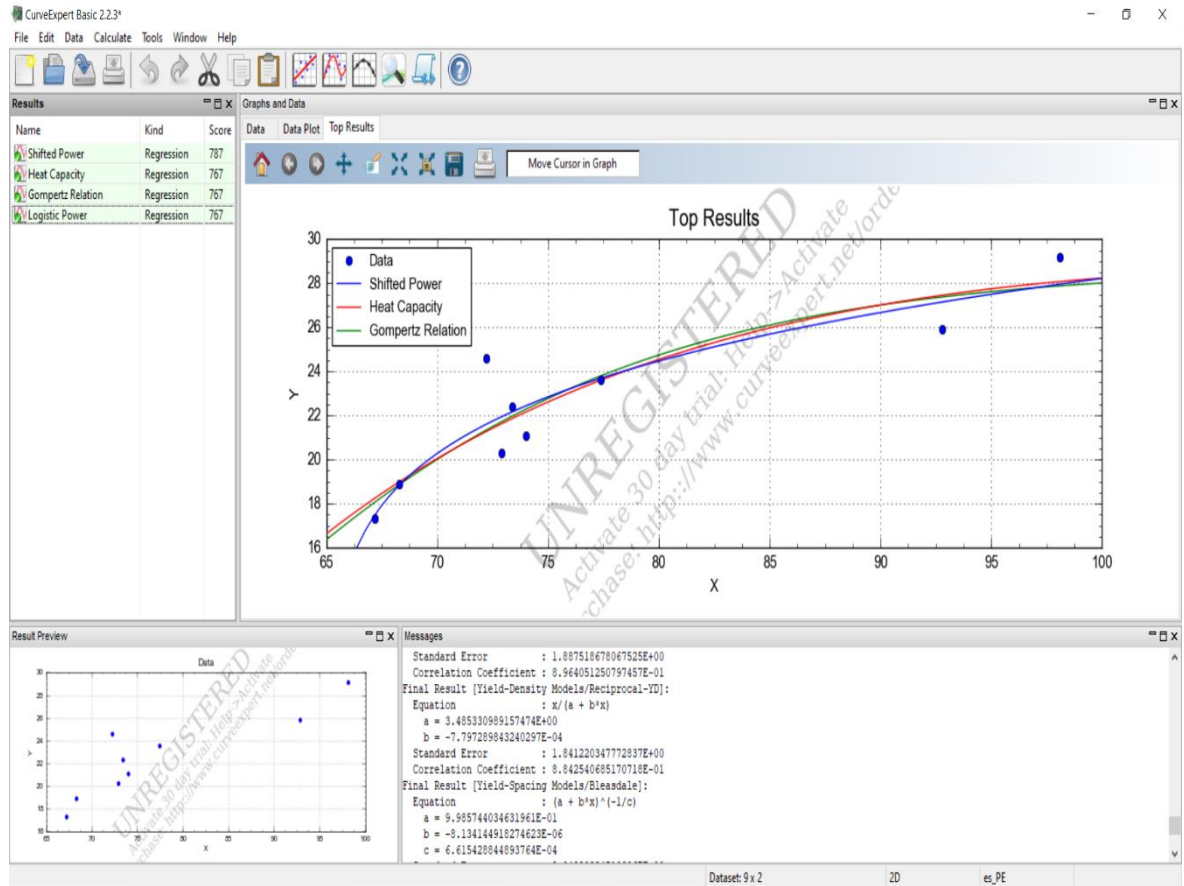
## ANEXOS.

Anexo 1. Tabla de mediciones de humedad.

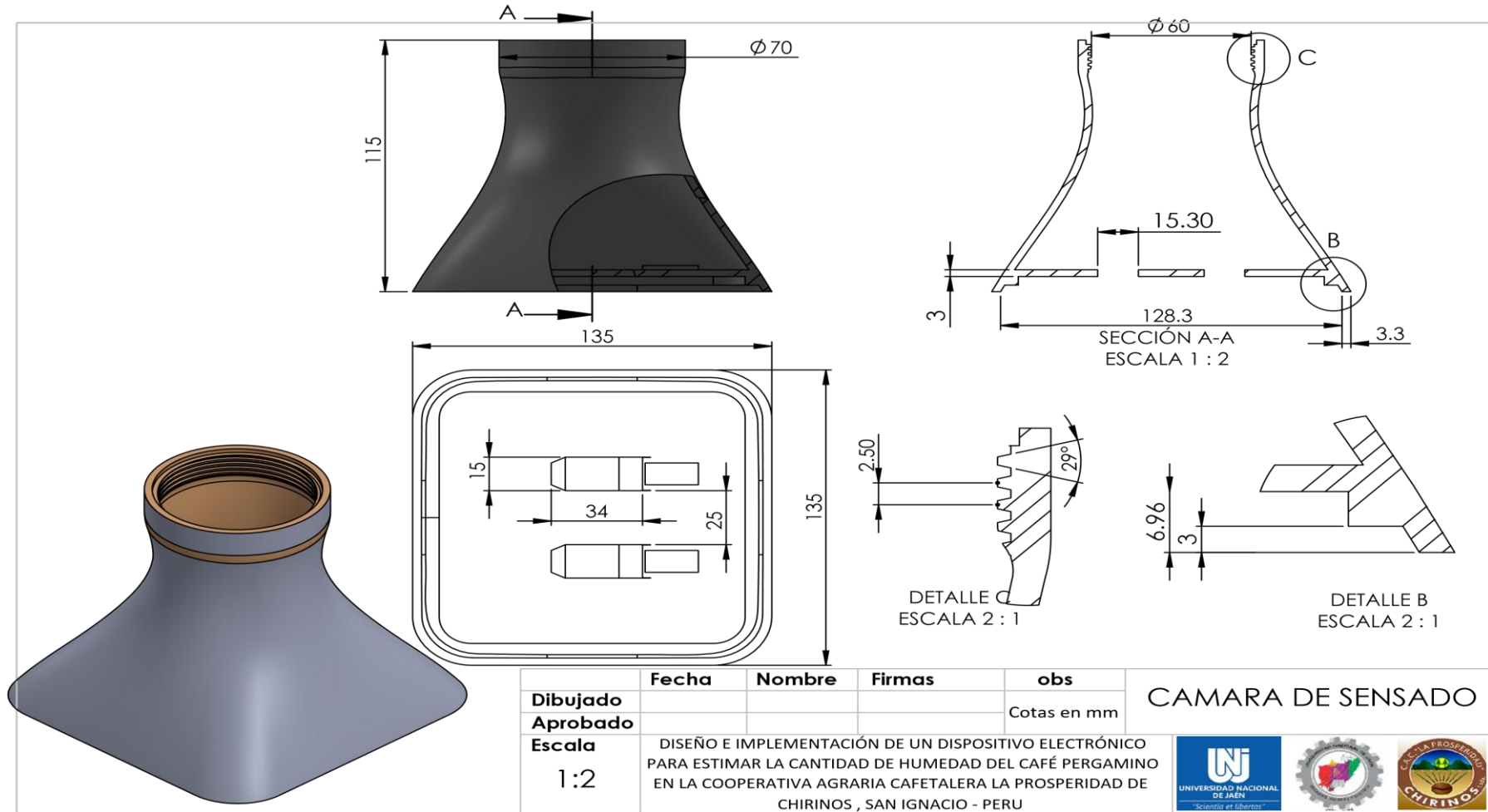
Muestra	Validar el dispositivo		
	Wile Coffee	Draminski TwistGrain Pro	Dispositivo electrónico elaborado
M1	11.6	11.7	11.48
M2	13.1	13.4	13.55
M3	15.6	15.9	16.04
M4	14.5	14.5	14.65
M5	12.3	12.5	12.68
M6	7.9	7.6	7.8
M7	10.9	10.7	11.08
M8	12.6	12.6	12.98
M9	14.4	14.6	14.78
M10	15.9	15.7	16.08
M11	15.4	15.4	15.56
M12	16.3	16.1	16.23
M13	13.7	13.8	14.05
M14	12.2	12.4	12.1
M15	11.1	11.2	10.59
M16	11.6	11.9	12.09
M17	16.3	16.3	15.88
M18	12.9	13.1	12.92
M19	14.3	14.1	13.77
M20	17.8	17.6	17.98
M21	11.5	11.1	10.88
M22	16.1	16.1	16.18
M23	13.5	13.5	14.11
M24	12.9	12.9	13.22
M25	11.4	11.2	10.98
M26	17.3	16.9	16.7
M27	13.9	13.5	13.52
M28	16.5	16.8	15.98
M29	13.9	13.6	13.79
M30	16.2	16.2	16.91
M31	11.9	12.1	11.89
M32	13.6	13.8	14.02
M33	14.6	14.7	15.04
M34	12.3	12.5	11.99
M35	19.6	19.9	18.75
M36	18.5	18.5	17.88
M37	20.2	20.1	19.77
M38	17.8	17.8	16.88
M39	13.3	13.3	13.54
M40	15.7	15.7	16.14

Muestra	Creación de modelo	
	Sensor DTH22	Promedio Detectores de Humedad
M1	98.1	29.2
M2	92.8	25.9
M3	72.2	24.6
M4	77.4	23.6
M5	73.4	22.4
M6	74	21.1
M7	72.9	20.3
M8	68.3	18.9
M9	67.2	17.3

## Anexo 2. Salida del software Curve Expert profesional



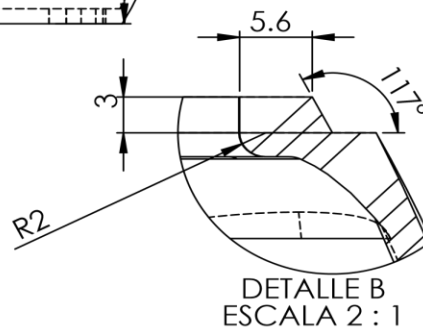
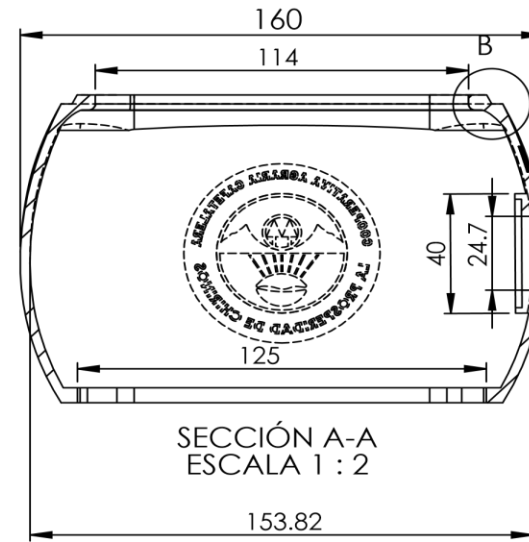
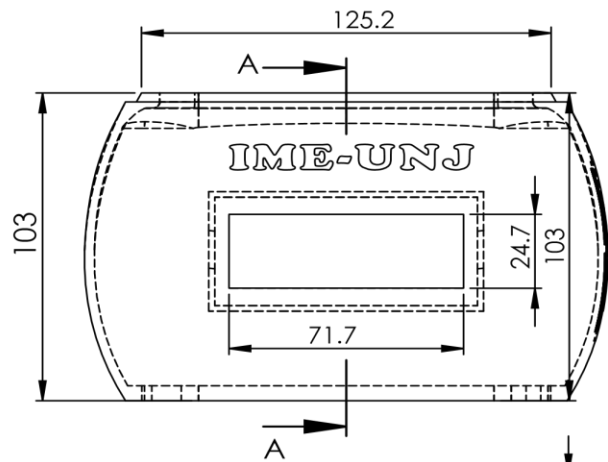
### Anexo 3. Planos de diseño del dispositivo electrónico.



Dibujado	Fecha	Nombre	Firmas	obs
Aprobado				Cotas en mm
Escala	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE HUMEDAD DEL CAFÉ PERGAMINO EN LA COOPERATIVA AGRARIA CAFETALERA LA PROSPERIDAD DE CHIRINOS, SAN IGNACIO - PERU			
1:2				

CAMARA DE SENSADO



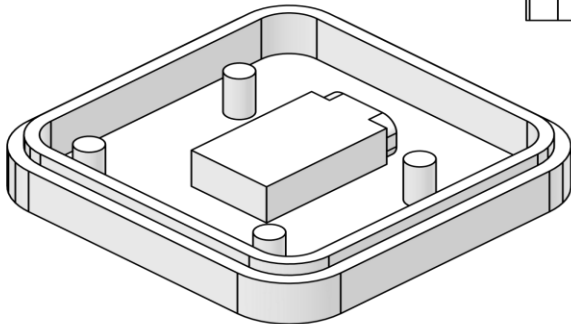
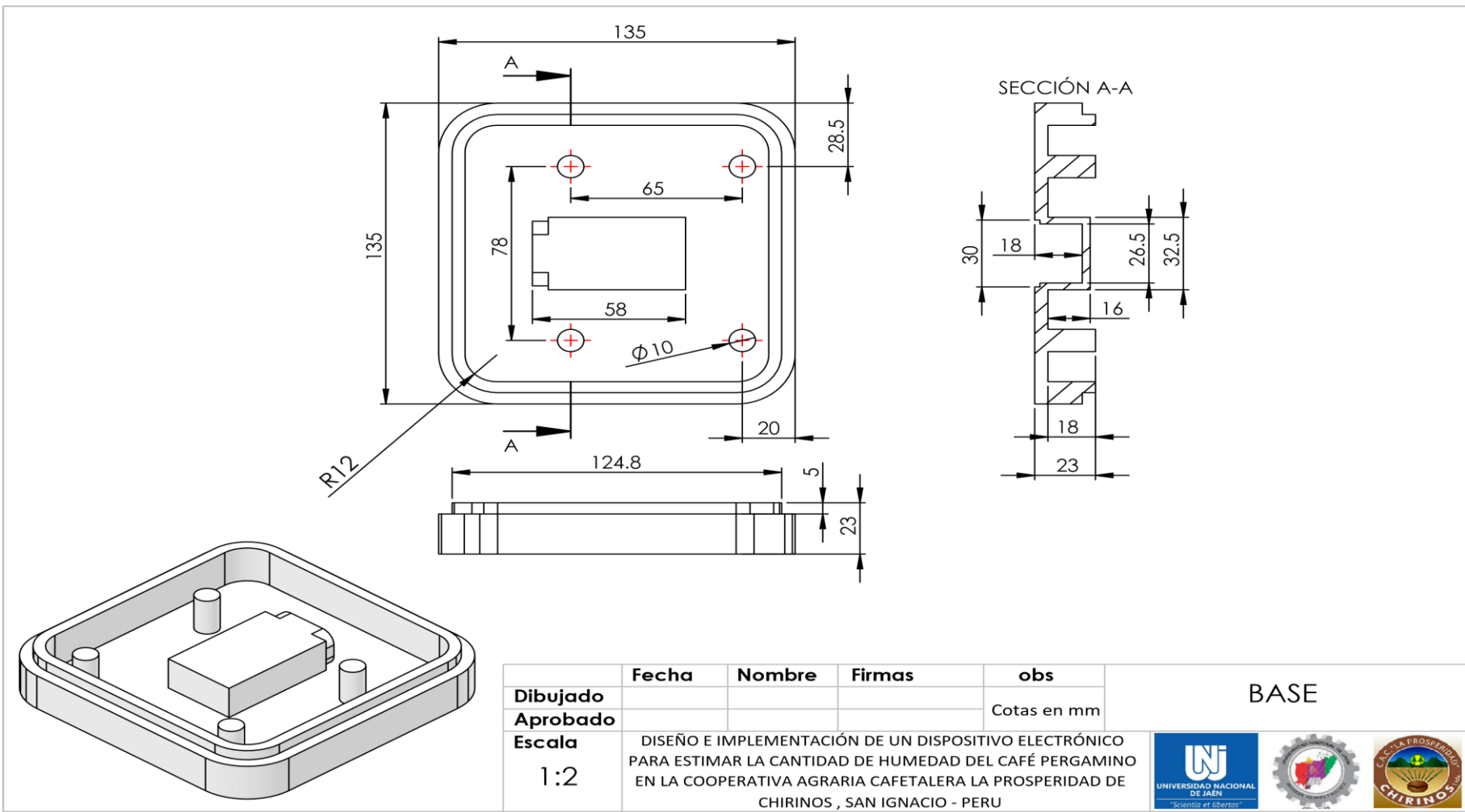


	Fecha	Nombre	Firmas	obs
Dibujado				
Aprobado				Cotas en mm
Escala	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE HUMEDAD DEL CAFÉ PERGAMINO EN LA COOPERATIVA AGRARIA CAFETALERA LA PROSPERIDAD DE CHIRINOS, SAN IGNACIO - PERU			
1:2				

## CAMARA PORTA ELECTRONICA



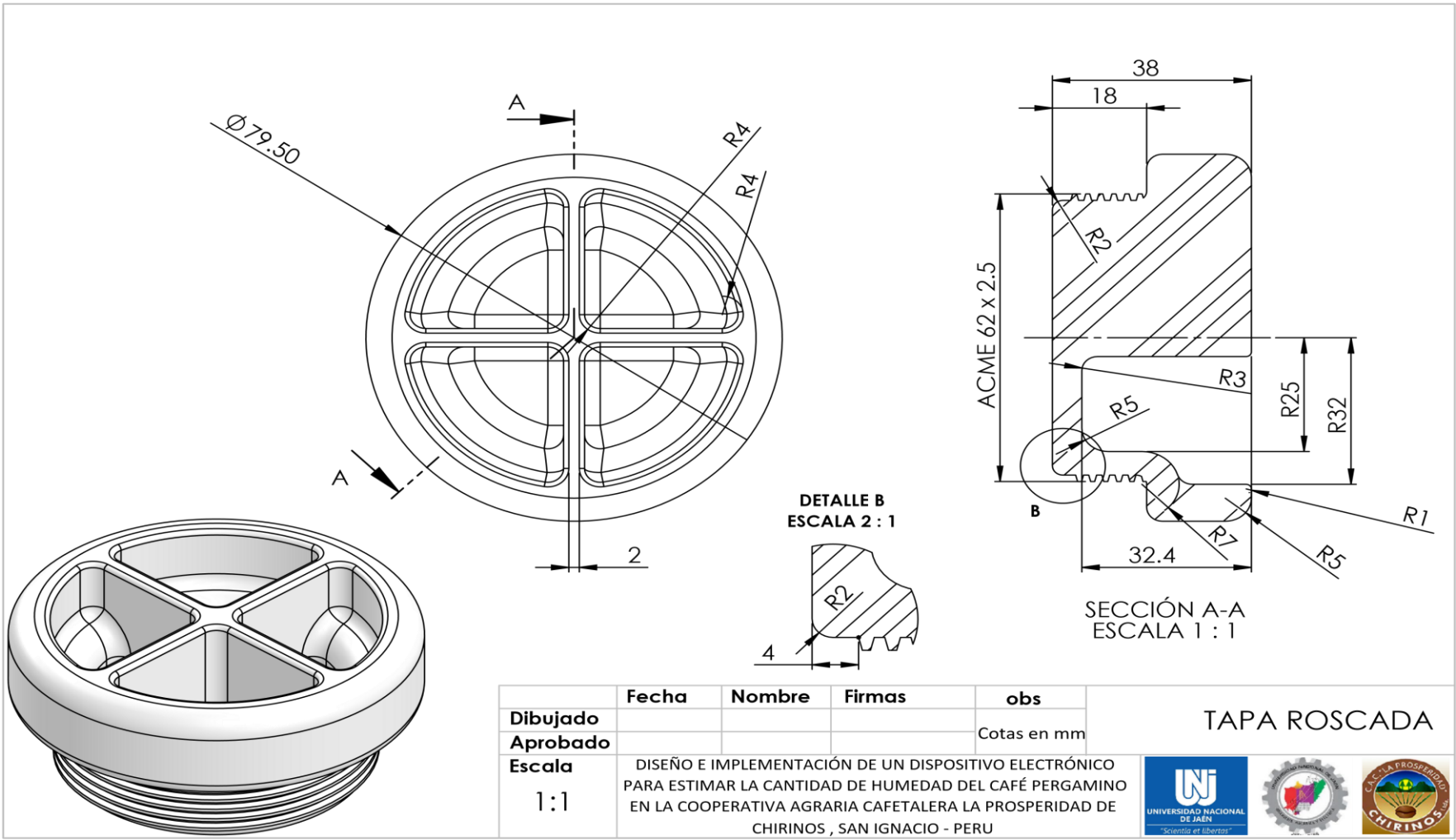




	Fecha	Nombre	Firmas	obs
Dibujado				
Aprobado				Cotas en mm
Escala	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE HUMEDAD DEL CAFÉ PERGAMINO EN LA COOPERATIVA AGRARIA CAFETALERA LA PROSPERIDAD DE CHIRINOS, SAN IGNACIO - PERU			
1:2				

BASE

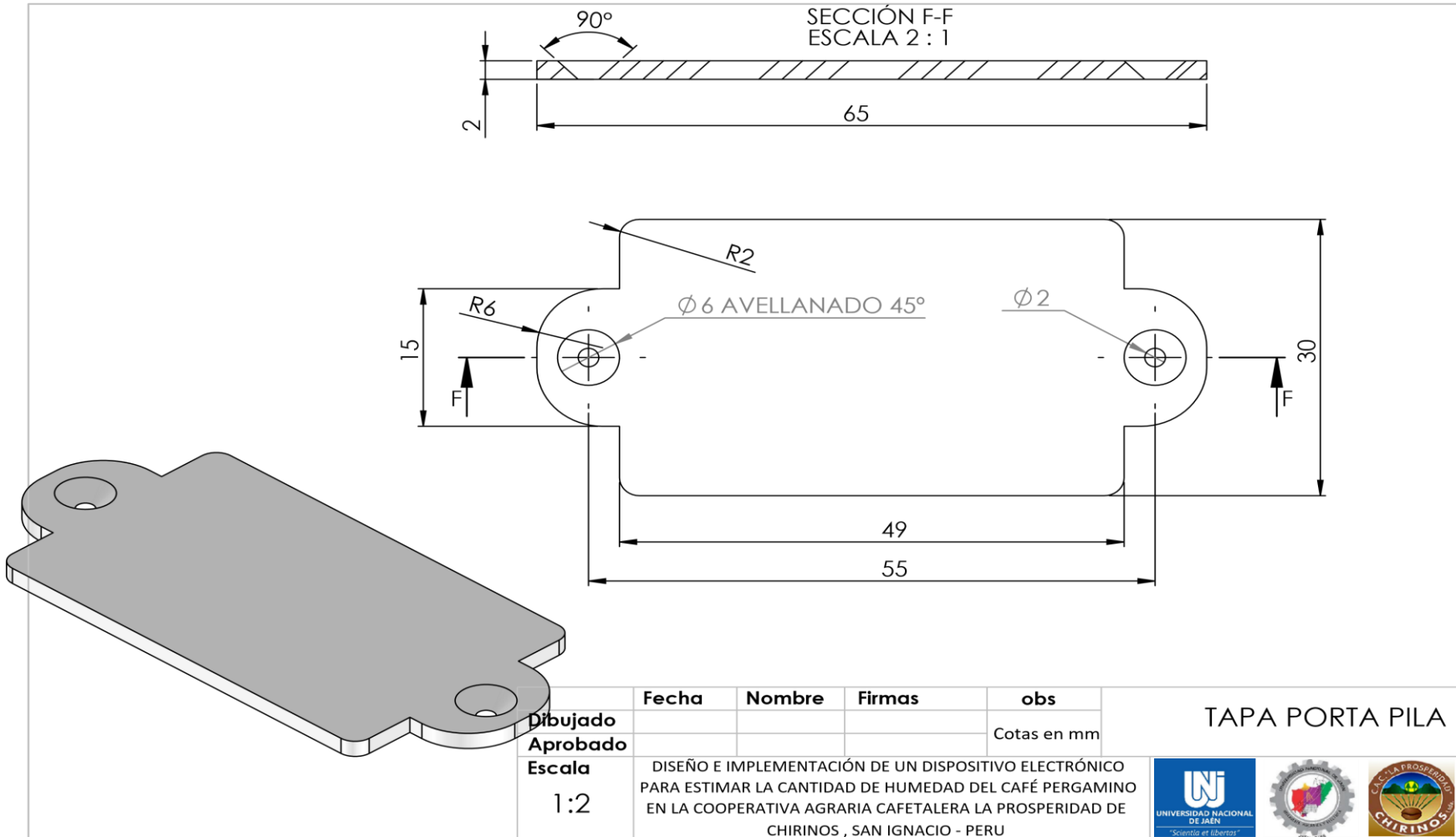




	Fecha	Nombre	Firmas	obs
Dibujado				
Aprobado				Cotas en mm
Escala	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE HUMEDAD DEL CAFÉ PERGAMINO EN LA COOPERATIVA AGRARIA CAFETALERA LA PROSPERIDAD DE CHIRINOS, SAN IGNACIO - PERU			
1:1				

TAPA ROSCADA

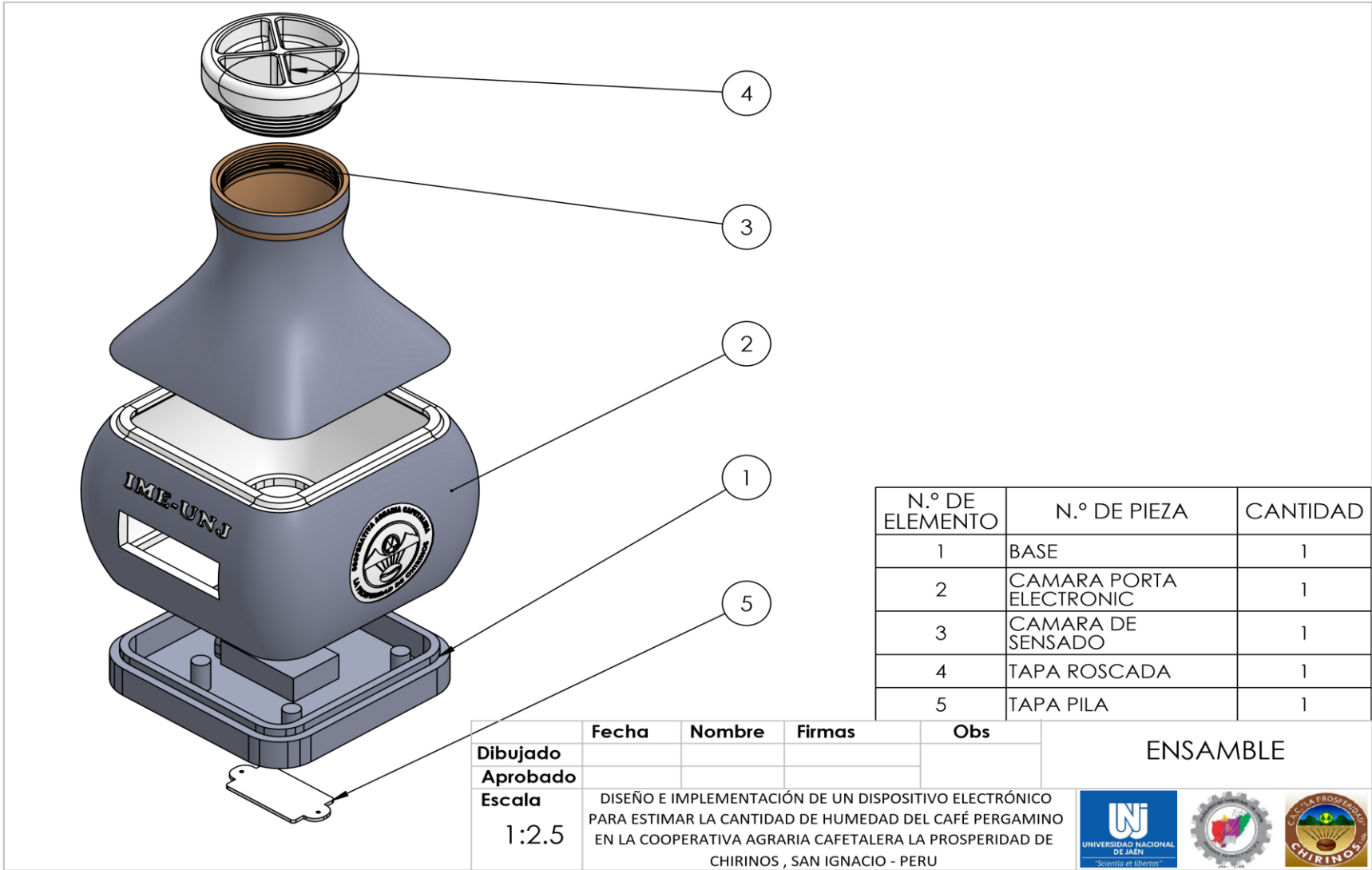




	Fecha	Nombre	Firmas	obs
Dibujado				
Aprobado				Cotas en mm
Escala	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE HUMEDAD DEL CAFÉ PERGAMINO EN LA COOPERATIVA AGRARIA CAFETALERA LA PROSPERIDAD DE CHIRINOS, SAN IGNACIO - PERU			
1:2				

TAPA PORTA PILA





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	BASE	1
2	CAMARA PORTA ELECTRONIC	1
3	CAMARA DE SENSADO	1
4	TAPA ROSCADA	1
5	TAPA PILA	1

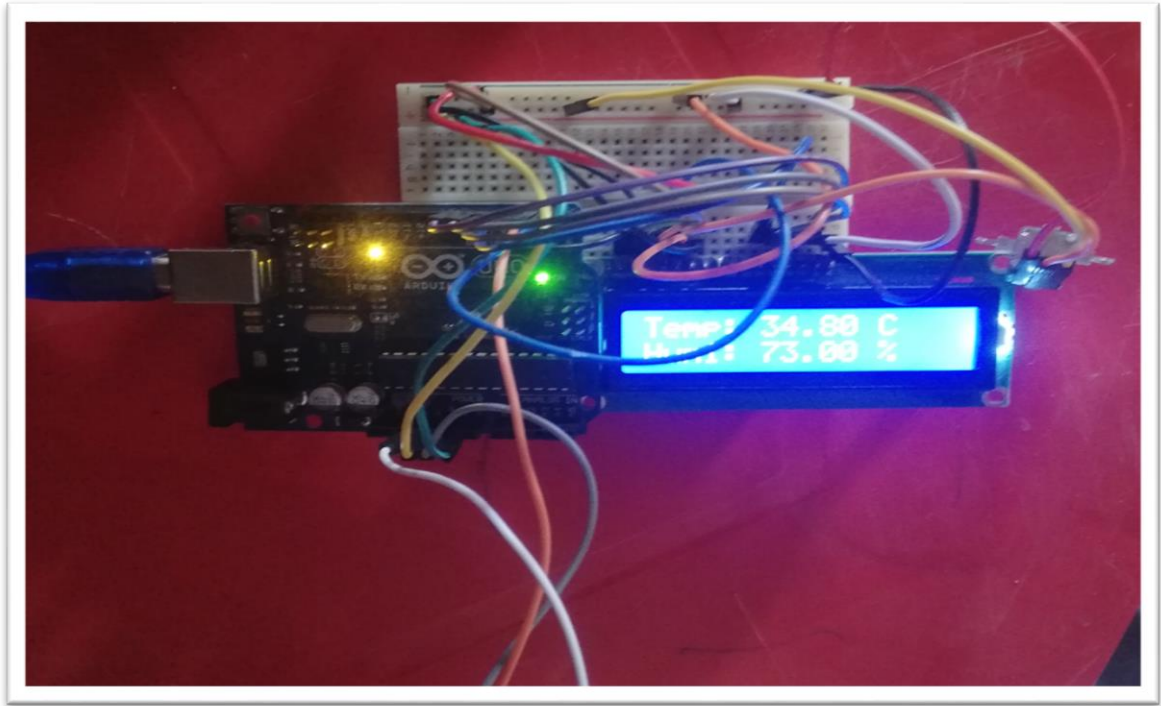
Dibujado	Fecha	Nombre	Firmas	Obs
Aprobado				
Escala	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE HUMEDAD DEL CAFÉ PERGAMINO EN LA COOPERATIVA AGRARIA CAFETALERA LA PROSPERIDAD DE CHIRINOS , SAN IGNACIO - PERU			
1:2.5				

ENSAMBLE

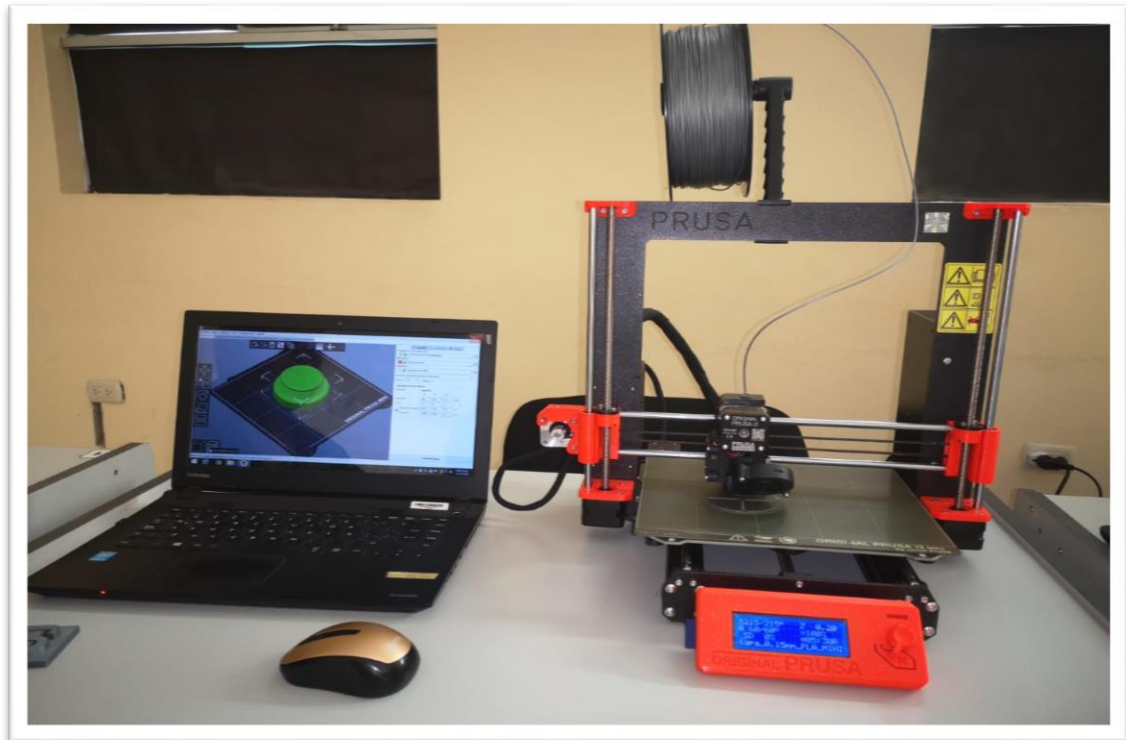


#### Anexo 4. Galería fotográfica.

Prueba de funcionamiento de Arduino

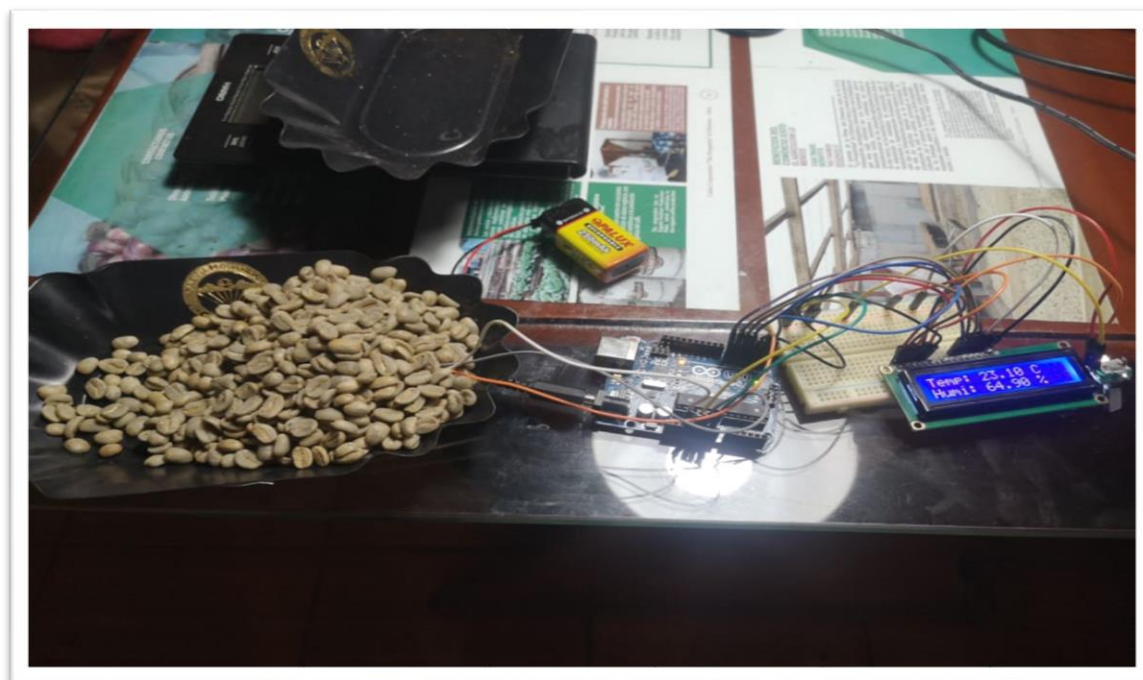


Impresión en 3D del dispositivo electrónico





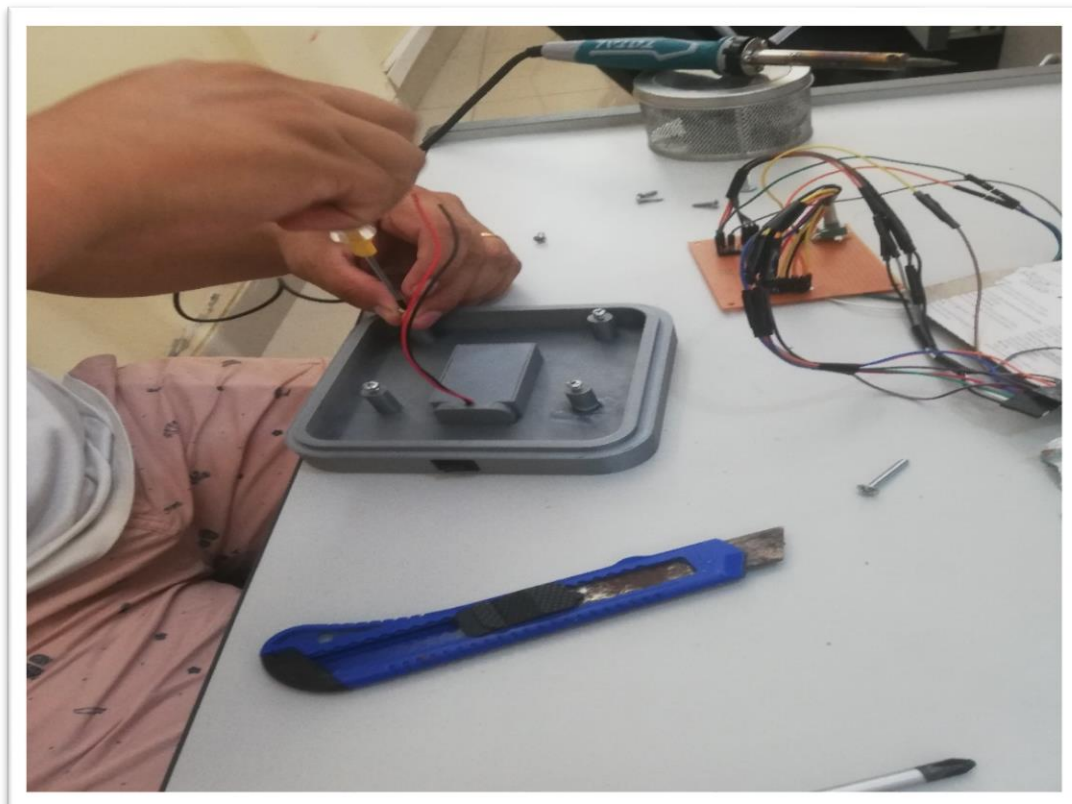
Toma de lectura de humedad de café.



Muestreo de café pergamino.



Ensamblado del dispositivo electrónico.



Vista del dispositivo electrónico



Comparación del resultado de estimación de humedad.

