

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Automatización del control del secado de arroz a través de un sistema IoT para la  
empresa BRANICDAL S.A

INGE - 2515

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Telecomunicaciones**

Presentado por:

Jonathan Andrés Andrade Borbor

Nadia Fiorella Chaguay Orrala

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## Dedicatoria

---

A Dios por ser el mayor motor de mi vida, mi esposo Vicente Rodríguez por todo su amor y por no dejarme desmayar en este sueño, mis padres Oscar Chaguay y Pilar Orrala porque fueron los primeros que creyeron en mí, quien en vida fue mi abuelita Rachel Imperia por sembrar en mí lo más importante, mi hermanita Nathaly Chaguay por enseñarme a ser ejemplo, mi suegra Mercedes Morán por ser otra mamá para mí, mi mejor Amiga Ashley Luque por 17 años de aguante, amor y Sebitas Chele

### **Nadia Chaguay**

Este proyecto está dedicado en especial para mi madre María que ha sido un pilar fundamental para terminar mi carrera, mi padre Francisco pese que ya no está es muy importante para mí, mi pareja Beyda que ha sido un apoyo incondicional, mis mascotas Bella, Romeo , Ahri y Otis que me han acompañado a lo largo de mi carrera, mis hermanos, sobrinos y demás miembros mi familia, mis amigos y personas cercanas a mí.

### **Jonathan Andrade**

## Agradecimientos

---

A Dios por permitirme vivir este sueño dándome la vida, por estar en cada paso de este largo camino, pero sobre todo por darme la sabiduría de llevar los estudios, mi hogar y ministerio, al ritmo que Él deseaba y no al que yo quería.

**Nadia Chaguay**

Mis agradecimientos van para la universidad ESPOL, mis profesores a lo largo de todos estos años, mis profesores de tesis Dr. Juan Carlos Avilés Castillo y MSc. Verónica Alexandra Soto Vera por guiarme a desarrollar este integrador, a mis compañeros de universidad, a mi familia y amigos que me brindaron su apoyo.

**Jonathan Andrade**

## Declaración Expresa

Nosotros Jonathan Andres Andrade Borbor y Nadia Fiorella Chaguay Orrala acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

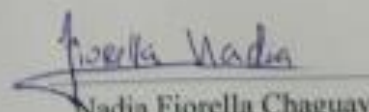
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 24 de mayo del 2024.



Jonathan Andres  
Andrade Borbor



Nadia Fiorella Chaguay  
Orrala

## **Evaluadores**

---

**MsC. Verónica Alexandra Soto Vera**

Profesor de Materia

---

**PhD. Juan Carlos Avilés Castillo**

Tutor de proyecto

## Resumen

El presente trabajo surge a partir de la necesidad de modernizar y optimizar el proceso de secado del arroz en la empresa BRANICDAL S.A. La producción de arroz en el Ecuador, que llegó a 1.6 millones de toneladas en el año 2023, a pesar de su relevancia económica, todavía aplica métodos tradicionales para el secado que requieren supervisión constante y pueden limitar la eficiencia del proceso.

En respuesta a esto se desarrolló e implementó un prototipo automatizado de cama de secado a escala 1:10, utilizando tecnología IoT para un monitoreo preciso en tiempo real de la humedad del arroz. La humedad ideal para el almacenamiento seguro del arroz es del 9.5% al 11%, previniendo problemas como moho y fisuras. El sistema automatizado envía alertas vía Telegram cuando la humedad alcanza el rango deseado y apaga automáticamente los ventiladores, optimizando el proceso y reduciendo la intervención humana.

Esta automatización mejora la eficiencia del proceso y garantiza un control preciso de la humedad, que facilita su almacenamiento y comercialización.

**Palabras Clave:** Arroz, alertas, temperatura, humedad.

## **Abstract**

*This work arises from the need to modernize and optimize the rice drying process at BRANICDAL S.A. Rice production in Ecuador, which reached 1.6 million tons in 2023, despite its economic relevance, still employs traditional drying methods that require constant supervision and can limit process efficiency.*

*In response, an automated drying bed prototype at a 1:10 scale was developed and implemented, using IoT technology for precise real-time monitoring of rice moisture. The ideal moisture for safe storage of rice is between 9.5% and 11%, preventing issues like mold and cracks. The automated system sends alerts via Telegram when the moisture reaches the desired range and automatically shuts off the fans, optimizing the process and reducing human intervention.*

*This automation improves process efficiency and ensures precise moisture control, facilitating storage and commercialization.*

**Keywords:** *Rice, alerts, temperature, moisture.*

## Índice General

Resumen.....	VI
Abstract.....	VII
Índice General.....	VIII
Abreviaturas.....	XII
Simbología.....	XIII
Índice de figuras.....	XIV
Índice de tablas.....	XIV
Capítulo 1.....	1
1. Introducción.....	2
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1 Arroz.....	5
<i>1.4.1.1 Tipos de arroz.....</i>	<i>5</i>
<i>1.4.1.2 Composición física del arroz.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.1.3 Composición química del arroz.....</i>	<i>7</i>



1.4.2 Almacenamiento del arroz .....	8
1.4.3 Secado de arroz .....	8
<i>1.4.3.1 Tipos de secado.</i> .....	9
<i>1.4.3.2 Temperatura de secado</i> .....	10
<i>1.4.3.3 Humedad de secado</i> .....	10
1.4.4 Plataforma de alerta en tiempo real .....	10
<i>ThingsBoard.</i> .....	10
<i>Ubidots.</i> .....	10
<i>Blynk.</i> .....	10
<i>Losant.</i> .....	10
1.4.5 Trabajos similares .....	11
Capítulo 2 .....	13
2. Metodología.....	14
2.1 Investigación acerca del arroz .....	15
2.2 Visita a la empresa BRANICDAL S.A. ....	15
2.3 Requerimientos del cliente .....	15
2.4 Diseño de la solución.....	16
2.4.1 Software .....	16
<i>2.4.1.1 Interfaz de visualización.</i> .....	16
<i>2.4.1.2 Programación del control de la humedad y del aviso de alerta</i> .....	17

2.4.2 Hardware.....	19
2.4.2.1 Diseño físico del sistema .....	19
2.4.2.2 Microcontrolador y demás componentes .....	20
Capítulo 3 .....	24
3. Resultados y análisis.....	25
3.1 Propuesta de solución .....	25
3.1.1 Cama de secado.....	25
3.1.2 Sistema de censado de humedad.....	26
<i>Comportamiento de la humedad en el secado de arroz por camas</i> .....	26
<i>Condiciones de la automatización del sistema de secado.</i> .....	26
<i>Ubicación de sensores en la cama de secado</i> .....	26
3.1.3 Conexión de los sensores al microcontrolador .....	27
3.1.4 Sensor y microcontrolador escogido.....	27
3.1.5 Código de procesamiento en el ESP32 de los datos que recogen los sensores.....	28
3.1.6 Ancho de banda requerido para el sistema IoT.....	28
3.1.7 Pruebas medición de parámetros .....	30
3.1.8 Envío de alerta por mensajería instantánea.....	30
3.2 Materiales y costos del diseño .....	31
3.2.1 Materiales.....	32
3.2.2 Costo de componentes .....	32

3.3 Prototipo .....	33
3.3.1 Conexión del prototipo y diseño de la interfaz de medición .....	34
3.4 Validación, pruebas y errores del prototipo de secado de arroz .....	35
3.4.1 Mediciones en la cama del secado .....	37
3.5 Observaciones para su instalación .....	40
Capítulo 4 .....	42
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	43
4.1.1 Conclusiones.....	43
4.1.2 Recomendaciones .....	44
Referencias .....	45
Anexos.....	48
<i>Anexo A. Entrevista al cliente.....</i>	48
<i>Anexo B. Graficas.....</i>	49
<i>Anexo C. Diagrama de circuito del prototipo.....</i>	50
<i>Anexo D. Tabla de conexión de los sensores con el ESP32.....</i>	50
<i>Anexo E. Código.....</i>	51

## Abreviaturas

CIAT Centro Internacional de Agricultura Tropical

DC Direct Current

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations

IDE Integrated Development Environment

INIAP Instituto Nacional autónomo de Investigaciones Agropecuarias

IoT Internet Of Things

PIB Producto Interno Bruto

SFL Silo Flat Bottom

VDF Variador de Frecuencias

## Simbología

° C	Grados Celsius
Seg	Segundos
Kg	Kilogramo
m	Metro
V	Voltios
MHz	Mega hertzio
cm	Centímetro
Kbps	Kilo bits por segundo

## Índice de figuras

Figura 2.1 Esquema metodológico del sistema de control del secado de arroz.....	14
Figura 2.2 Diagrama de flujo del funcionamiento del censado .....	18
Figura 2.3 Diseño de la cama prototipo de secado.....	20
Figura 3.1 Medidas de la cama de secado.....	25
Figura 3.2 Distribución de sensores en la cama de secado.....	27
Figura 3.3 Paquetes analizados con el software de Wireshrak .....	28
Figura 3.4 Gráficas Humedad vs Tiempo y Temperatura vs Tiempo mostradas en ThingSpeak .....	30
Figura 3.5 Bot de Telegram con mensajería instantánea y alerta .....	31
Figura 3.6 Diagrama esquemático del prototipo .....	33
Figura 3.7 Interfaz de medición en ThingSpeak .....	34
Figura 3.8 Prototipo final de cama de secado .....	35
Figura 3.9 Diagrama de flujo del prototipo.....	36
Figura 3.10 Gráfica de la Humedad vs Tiempo en los diferentes puntos.....	38
Figura 3.11 Gráfica de la Temperatura vs Tiempo en los diferentes puntos.....	39
Figura 3.12 Ubicación de los sensores en la cama del cliente .....	41

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Composición química de los granos de arroz.....	7
Tabla 2.1 Cuadro comparativo ThingSpeak vs Ubidots .....	17
Tabla 2.2 Cuadro comparativo ESP32 vs Arduino uno .....	21
Tabla 2.3 Cuadro comparativo sensor V1.2 vs DTH11 .....	22
Tabla 3.1 Costo de componentes del prototipo .....	33
Tabla 3.2 Puntos de medición en la cama de secado .....	37
Tabla 3.3 Humedad del arroz en los diferentes puntos.....	37
Tabla 3.4 Temperatura del arroz en los diferentes puntos.....	38

# Capítulo 1

## 1. Introducción

En el Ecuador la producción de arroz es importante para la economía y el bienestar de las familias, su producción, comercialización y consumo, establecen un aporte constante a la sociedad ecuatoriana. Solo en el año 2023 la producción anual de arroz en el Ecuador fue de 1,6 millones de Toneladas, de la cual el 69,0% se concentra en la provincia del Guayas. Dicha producción tuvo una variación positiva del 4.8% con respecto al año anterior (IpiALES & Cuichán, 2024), y se prevé un incremento en los próximos años.

El arroz representa el 1,55% del PIB Ecuatoriano, dejando un 4% de la producción a la exportación y el 96% al consumo interno que representa un consumo per cápita anual de aproximadamente 48Kg/persona (AgroBayer Ecuador, 2022). El consumo de arroz es relativamente alto en comparación con otros elementos naturales de la canasta básica.

Siendo el arroz un componente importante en la alimentación en el país, se vuelve importante cuidar cada segmento de la producción, en especial el proceso el secado de este, para mejorar la calidad del producto que se ofrece al consumidor. Sin embargo, actualmente la mayoría de los productores realiza este proceso de forma manual, o mediante el llamado “secado natural”, es decir exponiéndolo al sol, removiéndolo cada 8 horas y midiendo el nivel de humedad. Una cantidad pequeña de productores realizan el secado a través de camas de aire caliente, sistema que funciona usando generación de calor con candiles a gas, y ventiladores de tipo industrial que realizan el esparcimiento de abajo hacia arriba de dicho calor a lo largo de toda la base de la “cama”. Esta estructura generalmente es una malla de acero con huecos de 2mm. Particularmente, en la empresa BRANICDAL S.A., el proceso manual requiere que una persona revise periódicamente la humedad y luego de 20 horas de secado del arroz, se asegure de que la humedad se encuentre aproximadamente en un 15%. En comparación con los grandes productores nacionales e internacionales, estos últimos



lo hacen de forma más eficiente, por lo que el reto de la mayoría es mejorar el proceso productivo para convertir al arroz nacional en un producto que sea favorable de exportación a gran escala. En este objetivo y analizando la tecnología que se tiene en la actualidad, se propone mejorar la producción mediante la automatización del secado de arroz a través de un sistema IoT, el cual se presentaría como una solución eficiente e inmediata para optimizar el proceso.

### **1.1 Descripción del problema**

El arroz cosechado tiene una humedad aproximada del 28% por lo que se lo debe secar antes de ser almacenado y así evitar que se llene de agentes que destruya la producción llenándolo de moho y bacterias, dejándolo no apto para el consumo humano lo que afecta su comercialización. Actualmente se utilizan unas camas donde fluye aire caliente por debajo que es impulsado por un ventilador, proceso que necesita de revisión humana periódica para medir la humedad del arroz y así controlar manualmente el encendido y apagado del ventilador.

### **1.2 Justificación**

La automatización del control del secado del arroz a través de un sistema IoT tiene algunas ventajas significativas, entre las cuales se indican las siguientes:

El secado preciso según el tipo de arroz asegura una alta calidad en el producto final, y esto genera una satisfacción para el consumidor final y un ahorro en el productor, ya que reducirán desperdicios por no tener la humedad adecuada para el almacenamiento del arroz.

El gas utilizado para la producción del calor se reduce ya que no existen esos intervalos de tiempo de descuido del operador (frecuentemente entre 1 y 3 horas) en los que el sistema sigue encendido a pesar de que el arroz ya ha alcanzado la humedad.

El productor tendrá un ahorro económico por la utilización de un menor número de horas de trabajo de las personas que se encuentran a cargo de la revisión de la humedad del arroz.

Al tener un apagado automático de los ventiladores, el ahorro energético para la empresa productora mejora la eficiencia al optimizar el uso de energía eléctrica con la consecuente reducción de los costos operativos.

Al adoptar nuevas tecnologías, la empresa BRANICDAL S.A. puede aumentar su presencia en el mercado ya que se incrementará los kilos de arroz producidos mensualmente.

Cuando se reduce el desperdicio y se mejora la eficiencia en una empresa estamos contribuyendo a la sostenibilidad de esta.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar e implementar un prototipo de sistema automatizado para controlar el secado de arroz por medio de la tecnología IoT.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Controlar la humedad del arroz a través de sensores que permitan visualizar los parámetros de humedad en tiempo real.
- Integrar un sistema de alerta que envíe notificaciones cuando la humedad del arroz haya llegado entre el 9.5 y 11% de humedad, y apagar los ventiladores.
- Realizar un análisis de costos para la elaboración e implementación del sistema automatizado para determinar su viabilidad económica.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Arroz

El cultivo de arroz en Ecuador se centra en la región del Litoral, especialmente en las provincias de Guayas y Los Ríos. Estas zonas arroceras presentan una amplia variedad de condiciones climáticas que abarcan desde el trópico húmedo hasta el trópico seco, con temperaturas que oscilan entre 20°C y 30°C. Las precipitaciones varían significativamente, con máximas de hasta 2500 mm y mínimas de 500 mm anuales, y una alta humedad relativa. A pesar de su fertilidad, la principal limitante es la disponibilidad de agua, siendo mínima en extensas áreas de secano y dependiente de las lluvias. El agua es crucial para el crecimiento del arroz, por lo que su disponibilidad, permanencia en el suelo y manejo son factores fundamentales para distinguir entre las área de secano y de riego. Se calcula que el 60% de superficie sembrada es de secano y el 40% se dedica al riego. (INIAP, s.f.)

Desde enero de 1969, las investigaciones han priorizado el desarrollo de variedades de arroz de alto rendimiento, resistentes a enfermedades y plagas, con buena calidad molinera y culinaria. Estas investigaciones también han validado prácticas de cultivo que aumentan la producción nacional. La calidad del grano depende de la demanda de productores, industriales y consumidores. Las variedades seleccionadas por el Instituto Nacional autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) son de grano largo (6.6 a 7.5 mm), extralargo (más de 7.5 mm), translúcido, con más del 60% de grano entero al pilado, de textura suave y granos sueltos al cocinarse. (INIAP, s.f.)

**1.4.1.1 Tipos de arroz.** Los tipos de arroz comercializados en el Ecuador se basa en las variedades de semillas que se ha desarrollado como también introducidas por el INIAP ha dado 13 tipos de arroz, los cuales son:

- INIAP 2 e INIAP 6, provenientes del IRRI en Filipinas, introducidas en 1971.

- INIAP 7, INIAP 415, INIAP 10, INIAP 11 e INIAP 12, del CIAT en Colombia, introducidas en 1976, 1979, 1986, 1989 y 1994, respectivamente.
- INIAP 14, del IRRI en Filipinas, introducida en 1999.
- INIAP 15, INIAP 16, INIAP 17 e INIAP 18, desarrolladas por INIAP en Ecuador, introducidas en 2006, 2007 y 2010, respectivamente. (Celi, s.f.)

Además, existen otras variedades producidas por empresas privadas y agricultores, como SFL09, SFL011, IRGA 417, F-50, F-21 y SGO-667. (Chafla Candlo, 2022) Para el presente proyecto se enfocarán en los 2 tipos que maneja el cliente:

- **SFL 09**

La variedad de arroz SFL-09 fue introducida a los agricultores ecuatorianos por INDIA - PRONACA en diciembre de 2010. Esta semilla se distingue por tener un grano largo y un ciclo de crecimiento corto, permitiendo la cosecha en un periodo de entre 110 y 115 días durante el invierno, y entre 120 y 125 días en el verano. Los granos miden entre 7 y 7.2 mm de longitud y presentan una tonalidad más clara en comparación con otras variedades disponibles en el mercado. (Mata Delgado, 2014)

- **SFL 011**

Este tipo de arroz fue introducido por los agricultores de INDIA-PRONACA se cultiva en las provincias del Guayas, Manabí y los Ríos. El tipo de semilla es de grano largo con un periodo cosecha entre 122 días en invierno y 131 días en verano, el grano de arroz sin cascara alcanzan a medir 7.5 mm de longitud. (Aviles Tufiño, 2021)

**1.4.1.2 Composición física del arroz.** Las características físicas son varias como la forma del grano de arroz, incluyendo su grosor y longitud, es crucial desde un punto de vista comercial, ya que determina su destino, ya sea para consumo directo o para la elaboración de subproductos derivados. Las propiedades físicas del grano, como la anchura, longitud, color, envejecimiento y transparencia, son indicadores importantes de la calidad del arroz. La cantidad de amilosa en el almidón del arroz es un factor principal para su aceptabilidad, ya que está directamente relacionado con la expansión del volumen y la absorción de agua durante la cocción, así como con la dureza o consistencia, blancura y opacidad del arroz cocido. (Rodríguez Almarza, 2007)

**1.4.1.3 Composición química del arroz.** El arroz está compuesto principalmente por carbohidratos, proteínas y minerales, y no contiene colesterol. Su composición química varía según la variedad de la semilla y las condiciones medioambientales. La cáscara representa aproximadamente el 20% del grano, con un contenido de sílice también del 20%. El salvado de arroz constituye entre el 10% y el 15% del grano, siendo una fuente significativa de proteínas (12% al 15%) y lípidos (15% al 20%). En términos de composición química, los carbohidratos predominan, representando aproximadamente el 80% en forma de almidón. La proteína es el segundo componente más abundante, con un rango que varía entre el 6.3% y el 7.9%. Aunque los lípidos están presentes en menor cantidad, entre el 2% y el 3%, desempeñan un papel importante en la nutrición humana.

**Tabla 1.1**

*Composición química de los granos de arroz*

<b>Composición del Arroz</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Carbohidratos	79,9
Proteínas	7,1
Fibra Dietética	1,3
Grasas	0,7
Minerales	0,6

*Nota.* En la Tabla 1.1 se especifican los porcentajes de composición química que cuenta los granos de arroz, Datos tomados del trabajo investigativo de titulación de (Chafla Candlo, 2022)

#### **1.4.2 Almacenamiento del arroz**

El almacenamiento del arroz blanco es crucial para diversas partes de la industria de procesamiento y comercio de este cereal. Las ventajas de almacenar arroz blanco son evidentes, también presenta riesgos y desafíos relacionados con la conservación de su calidad y cantidad durante el almacenamiento. El almacenamiento del arroz cáscara requiere un control estricto de la humedad y la temperatura para mantener su calidad física y organoléptica. (Braunbeck, s.f.)

El arroz cáscara se almacena en silos con capacidades que varían entre 30 y 1500 toneladas. En estos silos, se controlan y verifican continuamente la humedad y la temperatura del grano para evitar problemas de comportamiento para evitar su rotura y la consecuente pérdida de calidad y valor.

La alta humedad durante todo el año puede facilitar la contaminación del producto almacenado, por lo que es esencial utilizar materiales en los silos que no se descompongan con el tiempo y que prevengan la oxidación. En la construcción de estructuras resistentes a la corrosión, se suelen utilizar dos tipos de materiales: acero inoxidable y acero galvanizado. (Baidal Galarza, 2009)

#### **1.4.3 Secado de arroz**

El secado del arroz consiste en reducir la cantidad de agua presente en el grano tras su recolección, hasta alcanzar un nivel que permita su almacenamiento seguro. Este proceso es crucial para prevenir el desarrollo de hongos, microorganismos e insectos.

### 1.4.3.1 Tipos de secado

***Secado natural.*** Para el secado natural, se construyen estructuras simples que varían según el producto, el lugar y el clima. Las más comunes son los patios de secado, que son superficies construidas con ladrillo, concreto o tierra apisonada. Estos patios están bordeados por un pequeño muro de 10 cm y tienen una pendiente del 1% al 2% para permitir el escurrimiento del agua de lluvia.

***Secadores mecánicos.*** El secado mecánico utiliza el principio de transferencia de calor por convección forzada, mediante aire caliente impulsado por un ventilador. El grano se coloca sobre un piso de lámina perforada o malla metálica, que incluye ductos o túneles para la circulación del aire. Algunos secadores mecánicos cuentan con compuertas que permiten cambiar la dirección y el sentido del flujo de aire, así como descargar el grano una vez seco.

***Secado en hornos.*** Este método utiliza hornos eléctricos, de gas o de leña, manteniendo temperaturas bajas durante períodos prolongados para evitar quemar los productos.

***Secado en bandejas.*** Se utilizan bandejas metálicas perforadas para facilitar la circulación del aire. Estas bandejas se colocan de manera que concentren el calor, optimizando el proceso de secado.

(Baidal Galarza, 2009)

**1.4.3.2 Temperatura de secado.** La temperatura ideal para secar arroz oscila entre 40 y 60°C. Si se utiliza una temperatura más alta, el arroz podría cocinarse en lugar de secarse. (PARDO SALINAS & TACURY TINOCO, 2009)

**1.4.3.3 Humedad de secado.** Antes del proceso de secado, el arroz generalmente tiene un nivel de humedad cercano al 20%. Para que pueda ser pilado y estar listo para el consumo, los niveles de humedad establecidos deben estar entre un mínimo del 10% y un máximo del 13%. (PARDO SALINAS & TACURY TINOCO, 2009)

#### **1.4.4 Plataforma de alerta en tiempo real**

Actualmente existen diferentes plataformas IoT que permiten enviar alertas en tiempo real como lo son las siguientes:

**ThingsBoard.** Es una plataforma de código abierto que permite recopilar, procesar, visualizar y gestionar datos de diferentes dispositivos IoT en tiempo real. (oracle.com, 2023)

**Ubidots.** Esta plataforma de IoT permite el envío de datos de sensores a una nube, la visualización de tableros y mapas en tiempo real, la gestión de datos de sensores y de dispositivos conectados. (<https://connectamericas.com>, s.f.)

**Blynk.** Es una plataforma IoT que sirve para crear apps móviles y web tanto en Android como en iOS en sistemas que se desarrollan con Arduino o Raspberry Pi, gracias a esta plataforma se puede gestionar dispositivos conectados. (humanizationoftechnology.com/, 2018)

**Losant.** Es una plataforma de IoT industrial y comercial que proporciona distintas herramientas para gestionar y visualizar diversos dispositivos conectados. (losant.com, s.f.)



### 1.4.5 Trabajos similares

En esta sección se revisan los trabajos relacionados con el proyecto:

Tesis "Mejoramiento de una Secadora por Tandas de una Piladora de Arroz", Franklin Javier Chippe Villacrés, 2008, ESPOL. La problemática estudiada se relaciona con secadoras por tandas que presentan problemas de rendimiento y calidad, afectando la eficiencia del proceso productivo y la calidad final del producto. Esto incluye tiempos prolongados de secado, consumo excesivo de energía y variabilidad en la humedad final del arroz. La solución que propuso un mejoramiento en el diseño y operación de la secadora por tandas. El enfoque se centró en:

1. Optimización del diseño de la secadora: Modificaciones estructurales y mejoras en los componentes clave para aumentar la eficiencia térmica y la uniformidad en el secado del arroz.
2. Mejoras en los controles operacionales: Implementación de controles más precisos y automatizados para regular las condiciones de secado, como temperatura y flujo de aire.
3. Uso de tecnologías avanzadas: Integración de tecnologías modernas que permitan un mejor monitoreo y control del proceso de secado. (Villacrés, 2008)

Tesis "Mejorar el Proceso de Secado del Arroz en la Piladora 'El Porvenir'", Jorge Javier Baidal Galárza, 2009, Universidad de Especialidades Espíritu Santo. El estudio aborda temas relacionados con la ineficiencia y baja calidad en el proceso de secado del arroz en la piladora; los problemas más relevantes se asocian con ineficiencia energética en el proceso de secado debido a un consumo de energía mayor que la necesaria ocasionada por la falta de optimización y control adecuado. Otro aspecto del estudio corresponde a la calidad del arroz debido a inconsistencias en la humedad, que afecta la calidad final del producto además de costos operativos elevados por la ineficiencia del proceso. Todos estos factores impactan negativamente la rentabilidad de la piladora. Finalmente, al

no haber una automatización y control adecuado se requería de una alta dependencia de la intervención manual, lo que incrementaba el riesgo operativo. Se propusieron soluciones las cuales incluyen:

1. Optimización del proceso de secado: Rediseño de los componentes clave para mejorar la eficiencia térmica y la uniformidad del secado, como también protocolos y procedimientos estandarizados para asegurar un manejo óptimo del proceso de secado.
2. Automatización y control: Instalación de sensores para monitorear la temperatura y la humedad durante el proceso de secado.
3. Capacitación y formación: Capacitación del personal de la piladora en el uso de las nuevas tecnologías y en las mejores prácticas operativas para asegurar una correcta implementación y operación del sistema mejorado. (Galárza, 2009)

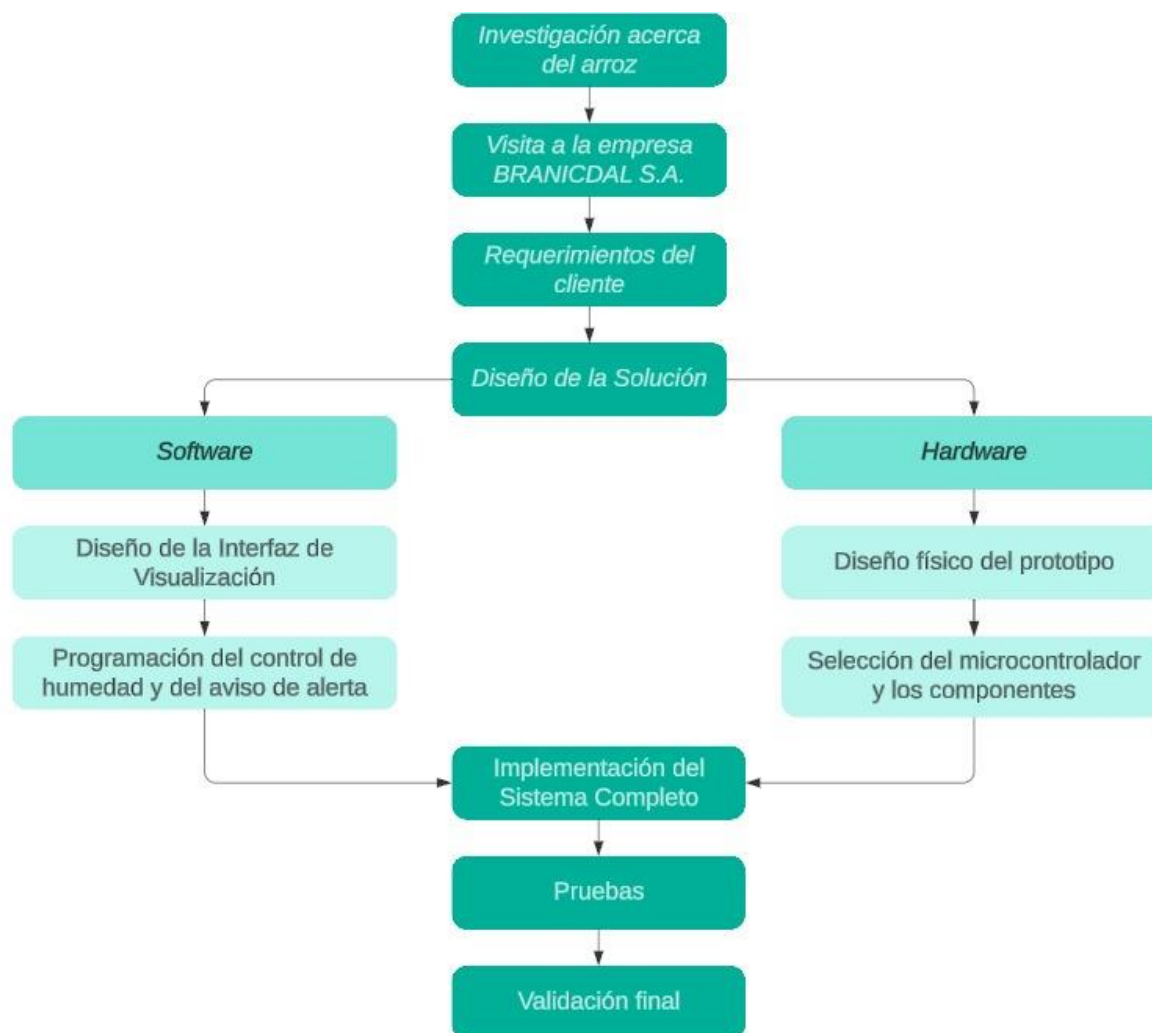
## Capítulo 2

## 2 Metodología

En esta sección del capítulo 2 se describe la metodología implementada (Figura 2.1) para la elaboración del proyecto en donde se identificó y se escogió una solución posible y conveniente para el proyecto, respetando los requerimientos y limitaciones establecidos.

**Figura 2.1**

*Esquema metodológico del sistema de control del secado de arroz*



*Nota.* La Figura 2.1 muestra la ejecución de los procesos que se emplean en todo el sistema IoT

## **2.1 Investigación acerca del arroz**

En la sección anterior se realizó una investigación sobre el arroz, en base a lo cual se pudo conocer su composición física y química en las etapas previas a su secado, lo que ayudó a entender que el arroz puede perjudicarse si no se obtiene el secado adecuado y determinar cuáles son los parámetros críticos para lograr un adecuado control automatizado.

## **2.2 Visita a la empresa BRANICDAL S.A.**

El 5 de junio del 2024 se realizó la primera visita a la empresa BRANICDAL para entender la necesidad de la empresa. En la visita se observó que la empresa tiene camas de secado con dimensiones: 12 m de largo, 4 m de ancho y 1,5 m de alto. Por cada secado en cada cama ingresan aproximadamente 425 quintales de arroz con cascara. En el Anexo A se observa la entrevista con el cliente.

La empresa utiliza 2 fuentes de calor en las camas, la principal y más eficiente es el secado a gas y la segunda forma es secado al horno. En el capítulo 1 se habló de estos tipos de secado. Para conocer la humedad del arroz durante el secado, la persona encargada toma una muestra del arroz con cascara y lo lleva a un medidor de humedad de granos. La primera medida generalmente la realizan a las 20 horas de ingresar el arroz a secar porque a ese tiempo el arroz está a una humedad aproximada del 15 %. Luego, cada hora se hace la medición hasta que el arroz tenga una humedad de 10.5 a 11 %, evento que ocurre después de 24 horas del ingreso del arroz a la cama. Con estos datos se delimitaron los requerimientos y limitaciones para automatizar el proceso.

## **2.3 Requerimientos del cliente**

Luego de la visita a la piladora de la empresa se conversó con el cliente, y se llegó al consenso que, debido a las limitaciones por los horarios del ingreso del arroz, el resto de la infraestructura de la

empresa y los recursos económicos solo se podía trabajar en el diseño de hardware y software de un prototipo.

## **2.4 Diseño de la solución**

Para alcanzar la solución propuesta en el proyecto, se necesitó dividir el diseño en dos partes fundamentales, software y hardware. Esta separación permitió abordar de manera estructurada los distintos componentes y desafíos técnicos, asegurando que cada aspecto del proyecto fuera desarrollado con la atención y el enfoque adecuado. La integración de estas dos secciones resultó esencial para lograr los objetivos establecidos y para garantizar el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto.

### **2.4.1 Software**

**2.4.1.1 Interfaz de visualización.** Para la visualización de los datos de la humedad en tiempo real se eligieron plataformas que cumplan con las siguientes características:

- Visualización en tiempo real de los datos obtenidos por los sensores.
- Proyección de los datos en gráficos estadísticos.
- Procesamiento de datos recogidos por los sensores.
- Envío de mensajes de alerta cuando los datos cumplan un parámetro dado.
- Recepción de los datos por medio de WiFi.
- Buena capacidad de procesamiento de datos.

Dentro de las plataformas investigadas se obtuvieron como las principales a ThingSpeak y Ubidot, mismas que se comparan a continuación en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1***Cuadro comparativo ThingSpeak vs Ubidots*

<b>Característica</b>	<b>ThingSpeak</b>	<b>Ubidot</b>
Aplicación	Investigativa	Profesional e industrial
Interfaz	Amigable con el programador	Más difícil para el programador
Compatible con	HTTP, MQTT, Web sockets	HTTP, MQTT, TCP/UDP y otros
Procesamiento	Procesado basado en Matlab	Herramientas sólidas de procesamiento y analítica
Visualización	Gráficos de líneas, barras y medidores	Dashboard avanzados y personalizables
Escalabilidad	Poca, proyectos pequeños	Mucha, hecha para proyectos a gran escala
Precio	Nivel gratuito, limitado	Nivel gratuito, limitado

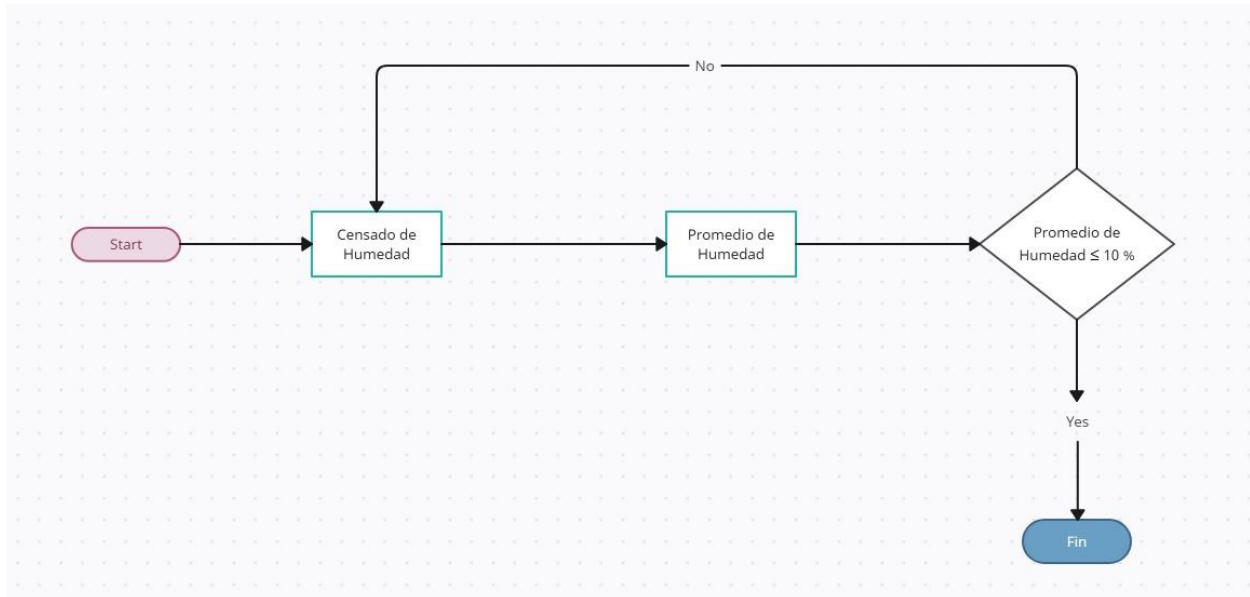
*Nota.* La Tabla 2.1 muestra la comparación de software usados para la realización de dispositivos IoT

#### **2.4.1.2 Programación del control de la humedad y del aviso de alerta.**

En la Figura 2.2 se muestra la programación mediante un diagrama de flujo general de como funcionaría el control de humedad, esto con la finalidad de poder implementarlo en cualquier lenguaje de programación, además en el Anexo E se detalla el código implementado en el lenguaje de programación C ++ , en la plataforma Arduino IDE .

**Figura 2.2**

*Diagrama de flujo del funcionamiento del censado*



*Nota.* En el diagrama se observa la metodología de la implementación del prototipo IoT y su funcionamiento.

Según lo investigado el control de humedad se podría programar en los siguientes lenguajes de programación, mismos que son compatibles con una gran cantidad de microcontroladores:

- **Arduino IDE**

Un entorno de desarrollo integrado (IDE) es un programa informático que incluye herramientas de programación, como un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Puede ser específico para un lenguaje de programación o soportar varios. En el caso de Arduino, el IDE también incluye herramientas para cargar el programa compilado en la memoria flash del hardware. (Aprendiendo Arduino wordpress, 2016).



- **Micro Python**

Es un intérprete compacto y eficiente del lenguaje de programación Python, diseñado para funcionar en microcontroladores y entornos con recursos limitados. Un intérprete actúa como una capa lógica de software entre el código y el hardware. En otras palabras, es responsable de procesar el código de programación y permitir que el hardware como un ordenador o un microcontrolador que ejecute las acciones descritas en él. (ESPloradores, 2019)

- **Visual Estudio Code**

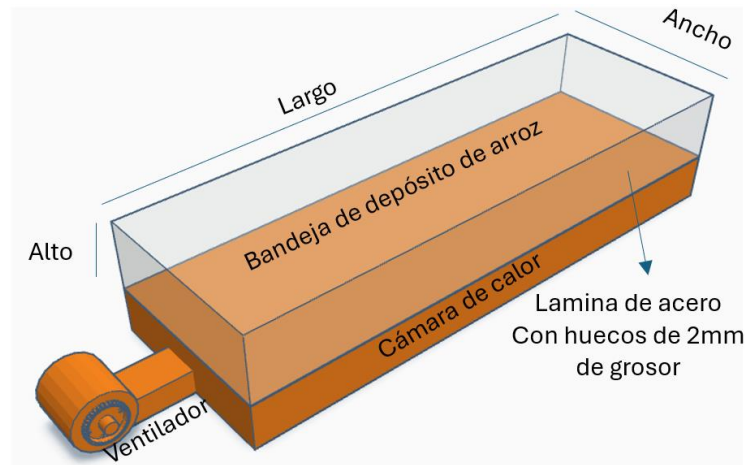
Visual Studio Code (VS Code) es un editor de código desarrollado por Microsoft. Es gratuito, de código abierto y funciona en Windows, GNU/Linux y MacOS. Visual estudio se integra bien con Git, admite la depuración de código y ofrece una amplia variedad de extensiones, permitiendo programar en casi cualquier lenguaje. Es un editor eficiente que facilita la escritura, depuración y prueba de código. (Flores, 2022)

## **2.4.2 Hardware**

**2.4.2.1 Diseño físico del sistema.** La cama se diseñó con un ventilador, el cual extrae el aire de la fuente de calor y lo lleva hacia el interior de la cámara, misma que en su parte superior tiene un lamina de acero con huecos de aproximadamente 2mm de grosor y que es la base de la bandeja donde se deposita el arroz húmedo. Se optó por este diseño similar al del cliente, con el objetivo de que cualquier parámetro o medida tomada pueda al ser analizada y procesada, modelarse en escala para el interesado principal. Todas las características del diseño de la cama de secado se las pueden observar en la Figura 2.3.

**Figura 2.3**

*Diseño de la cama prototipo de secado*



*Nota.* Se observa el diseño de la cama de secado elaborado en la plataforma de Tinkercad.

#### 2.4.2.2 Microcontrolador y demás componentes

**Microcontrolador.** Dentro del mundo de los microcontroladores se tiene una lista larga de ellos en el mercado, sin embargo, se dirigió la investigación de estos basándose en ciertas características que se necesitan para el proyecto:

- Más de 10 pines analógicos
- Precio accesible
- Módulo de conexión a internet
- Permita la conexión con sensores de humedad
- Velocidad suficiente para transportar una gran cantidad de datos por varias horas seguidas
- Compatible con los distintos tipos de protocolo de comunicación

A continuación, se realiza una comparación en la Tabla 2.2 entre los dos microcontroladores más compatibles con las características requeridas.

**Tabla 2.2***Cuadro comparativo ESP32 vs Arduino uno*

<b>Característica</b>	<b>ESP32</b>	<b>Arduino UNO</b>
Numero de pines Digitales	36	14
Numero de pines Analógicos	18	6
Interfaces	UART, SPI, I2C, I2S, CAN, Ethernet MAC	UART, SPI, I2C
WiFi	Si	No
CPU velocidad	Hasta 240 MHz	16 MHz
Alimentación	2.2 – 3.6 V	75 V
Desarrollo plataformas	Arduino IDE, Espressif IDF	Arduino IDE
Precio	9,50	15

*Nota.* En la Tabla 2.2 se muestra la comparación y características de los microcontroladores que se pretende usar.

**Sensor de humedad.** Para el diseño físico del prototipo se necesitó de 3 sensores de humedad, uno en la parte superior, otro en la parte media y finalmente en la parte inferior de la bandeja de depósito debido a que normalmente la diferencia que hay de la humedad en la parte baja y alta en los granos de arroz es de 1.5 a 2 %. (Niño, 2008)

Los sensores deben cumplir con los siguientes parámetros:

- Soporte hasta 60°C
- Resista exposición a ambientes húmedos

- Conexión a un microcontrolador
- Precio Accesible
- Bajo consumo

Luego de revisar los diferentes tipos de sensores de humedad que llegan al mercado ecuatoriano, se obtuvo al sensor V1.2 y el DTH11, la Tabla 2.3 muestra la comparación técnica entre estos dos sensores de humedad seleccionados.

**Tabla 2.3**

*Cuadro comparativo sensor V1.2 vs DTH11*

<b>Característica</b>	<b>Capacitivo V1.2</b>	<b>DTH11</b>
Numero de Pines	3 pines	4 pines
Alimentación	3.3 a 5 v	3 a 5 v
Mediciones	Mide humedad	Mide humedad y temperatura
Comunicación	Se conecta a un microcontrolador	Se conecta a un microcontrolador
Tecnología	Se basa de forma capacitiva con circuito integrado para la medición	Usa un sensor resistivo y un circuito integrado para la medición
Plataforma	Arduino IDE, Rasberry Pi	Arduino IDE, Rasberry Pi
Precio	\$2	\$3,50

*Nota.* La Tabla 2.3 muestra los sensores de humedad compatibles con los microcontroladores descritos en la Tabla 2.2

**Ventilador.** Para el proyecto se necesitó de un ventilador en modo extractor para que pudiera absorber el aire caliente que se genera en la fuente de calor y expulsarlo hacia la cámara de calor de la cama de secado.

***Controlador de corriente.*** Para poder controlar el encendido de motores, ventiladores o arranque de dispositivos que requieran un nivel de corriente considerable se usan accionadores que permiten el paso de corriente a través de un embobinado; uno de estos dispositivos son los relés que permiten asegurar que la corriente se mantenga dentro de límites para proteger los componentes electrónicos y prevenir daños.

## Capítulo 3

### 3. Resultados y análisis

En el capítulo 2 se establecieron los criterios necesarios para la construcción de la cama de secado. En esta sección se detalla la propuesta de solución que cumpla con los objetivos planteados.

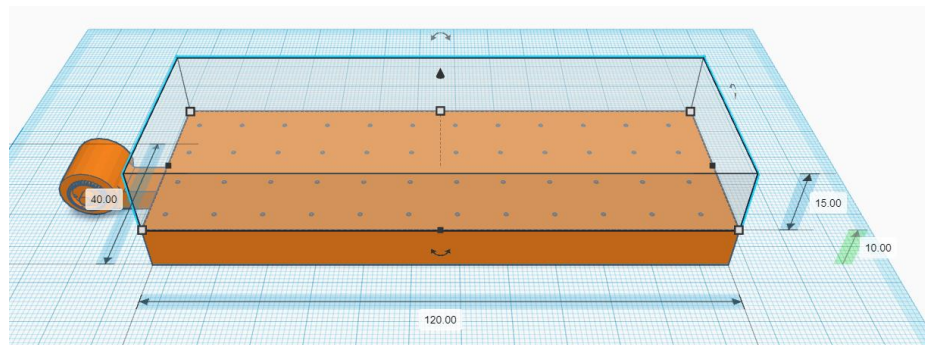
#### 3.1 Propuesta de solución

##### 3.1.1 Cama de secado

Se construye una cama de secado a escala con relación 1:10 a la del cliente; la cama instalada en la empresa tiene las dimensiones 4m de ancho, 12m de largo y 1.5m de altura (adicional, 1m de alto en la parte de abajo), mientras que el prototipo tiene 0.40m de ancho, 1.2m de largo y 0.15m de altura (adicional, 0.10m de altura en la parte inferior de la parrilla).

#### Figura 3.1

*Medidas de la cama de secado*



*Nota.* En la Figura 3.1 se observa la maqueta en 3D elaborada en la plataforma de Tinkercad, de la cama de secado de granos de arroz.

En la parte inferior se construye una cámara vacía por el cual va a fluir el aire caliente que será impulsado por el ventilador centrífugo; este subirá hasta la superficie enmallada con orificios por el que pasará secando así los granos de arroz que se encuentran sobre dicha malla.

### 3.1.2 Sistema de censado de humedad

**Comportamiento de la humedad en el secado de arroz por camas.** Según La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) , la temperatura del arroz que está en la parte baja de la cama, por encima de la plancha perforada, y la temperatura existente en la parte superior no deben exceder en  $60^{\circ}\text{C}$  para evitar fisuras del cereal (FAO, s.f.). Además, de acuerdo con la información ya publicada (Niño, 2008) y las mediciones obtenidas (Tabla 3.3), se conoce que la diferencia de humedad en los granos de arroz entre la parte baja y alta de la cama se encuentra en el rango de 1.5 – 2% .

Partiendo de estos datos se tiene la siguiente nomenclatura y criterio:

- Humedad en la parte superior de la capa de arroz ( $H_s$ )
- Humedad inferior de la capa de arroz ( $H_i$ )
- Humedad deseada por el cliente ( $H_f = \text{promedio}(H_i, H_s) \leq 10\%$ )

**Condiciones de la automatización del sistema de secado:**

*Si  $H_f > 10\%$  , entonces el ventilador seguira encendido*

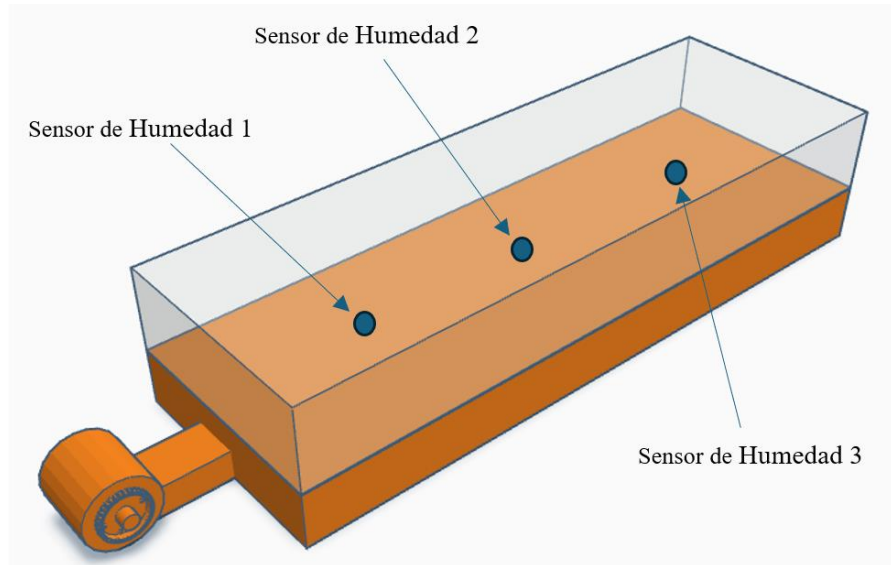
*Si  $H_f \leq 10\%$  el ventilador se apaga y termina el secado*

**Ubicación de sensores en la cama de secado.** En la Figura 3.2 se muestra el diagrama de distribución donde hay tres sensores para medir la humedad en la parte inferior, central y superior de la capa de arroz, siguiendo el mismo principio mencionado anteriormente, se realizará un promedio de las lecturas de los sensores antes de aplicar las condiciones establecidas.



### Figura 3.2

#### *Distribución de sensores en la cama de secado*



*Nota.* En la Figura 3.2 se muestra como estarán distribuido los sensores de humedad de tal manera que abarque toda el área de la cama.

#### 3.1.3 Conexión de los sensores al microcontrolador

Los sensores se conectan a un microcontrolador, donde llegan los datos y mediante un código de programación son procesados y enviados a la interfaz de visualización para que el operador pueda observar en tiempo real la humedad y temperatura en la que se encuentra el arroz.

#### 3.1.4 Sensor y microcontrolador escogido

El sensor v1.2 se escogió debido a su robustez; este sensor tiene la propiedad de ser impermeable lo que le permite trabajar en ambientes muy húmedos sin el peligro de que le entre agua y se dañe, lo que lo hace el candidato ideal para el proyecto.

El microcontrolador que se escogió fue el ESP32 debido a su compatibilidad con WiFi, pero también debido al gran número de puertos que tiene.

### 3.1.5 Código de procesamiento en el ESP32 de los datos que recogen los sensores

El código desarrollado en la plataforma Arduino IDE recopilará los datos de los tres sensores de humedad, los cuales estarán dispuestos verticalmente a 0, 5 y 10 centímetros, respectivamente, para cubrir toda la cama de secado. Los valores de cada sensor se promediarán, ya que no se encuentran a la misma altura: uno estará en la parte inferior de la cama (rejillas), otro en la parte media y el último en la parte superior. Esto permite abarcar toda la cama de secado y verificar que la humedad disminuya de manera uniforme. Los valores de humedad se promedian y el resultado se lo compara con el valor de 10%. Si el promedio es mayor que la referencia, el sistema sigue censando. En el momento que el promedio de todos los sensores llegue o sea menor que el 10%, el sistema envía un mensaje de alerta por medio de la plataforma de Telegram. El diseño de la aplicación de software (codificación del microcontrolador ESP32) permite solicitar en cualquier momento los valores ya sea de humedad o de temperatura a través de la red de internet.

### 3.1.6 Ancho de banda requerido para el sistema IoT

El ancho de banda requerido para el proceso de envío de los datos medidos desde los sensores por medio del ESP32 al servidor de ThingSpeak se hará analizando el tráfico de red usando el software de Wireshark, analizando los bytes enviados mediante los protocolos de red.

### Figura 3.3

*Paquetes analizados con el software de Wireshark*

fe80::93a6:1744:ffe6:2c11	fe80::1	DNS	94 Standard query 0x83b7 A thingspeak.com
fe80::93a6:1744:ffe6:2c11	fe80::1	DNS	94 Standard query 0x9fa1 HTTPS thingspeak.com
fe80::1	fe80::93a6:1744:ffe6:2c11	DNS	178 Standard query response 0x9fa1 HTTPS thingspeak.com SOA ns-1598.awsdns-07.co.uk
fe80::1	fe80::93a6:1744:ffe6:2c11	DNS	126 Standard query response 0x83b7 A thingspeak.com A 35.175.71.62 A 34.230.137.73
fe80::93a6:1744:ffe6:2c11	fe80::1	ICMPv6	86 Neighbor Solicitation for fe80::1 from e0:d5:5e:86:96:ff
fe80::1	fe80::93a6:1744:ffe6:2c11	ICMPv6	78 Neighbor Advertisement fe80::1 (rtr, sol)

*Nota.* En la Figura 3.3 se muestra el análisis de paquetes elaborado en Wireshark para ver la cantidad de consumo en bytes del IoT.

**Paso 1: Calcular el tamaño del paquete en bits**

La cantidad de bytes por paquete enviado al servidor es alrededor de 656, que corresponde a:

$$656 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits/byte} = 5.248 \text{ kbits/paquete}$$

**Paso 2: Calcular la tasa de envío en paquetes por segundo**

Si se envía 1 paquete cada 60 segundos, la tasa de envío es:

$$1 \text{ paquete} / 60 \text{ segundos} = 0.017 \text{ paquetes por segundo}$$

**Paso 3: Calcular el consumo de datos en kilobits por segundo**

Consumo de datos = Tamaño del paquete \* Tasa de envío

$$\text{Consumo} = 5.248 \frac{\text{kbits}}{\text{paquete}} \times 0.017 \text{ paquetes/seg} = 0.089216 \frac{\text{kbits}}{\text{seg}}$$

**Paso 4: Calcular el consumo de datos en un día**

$$\text{Consumo por día} = 0.089216 \frac{\text{kbits}}{\text{seg}} \times 86400 \frac{\text{seg}}{\text{día}} = 7708.26 \text{ kbits/día}$$

Para manejar valores más conocidos se lo transforma en Megabytes:

$$\frac{7708.26 \text{ kbytes}}{8000} \frac{\text{}}{\text{día}} = 0.96 \text{ Megabytes/día}$$

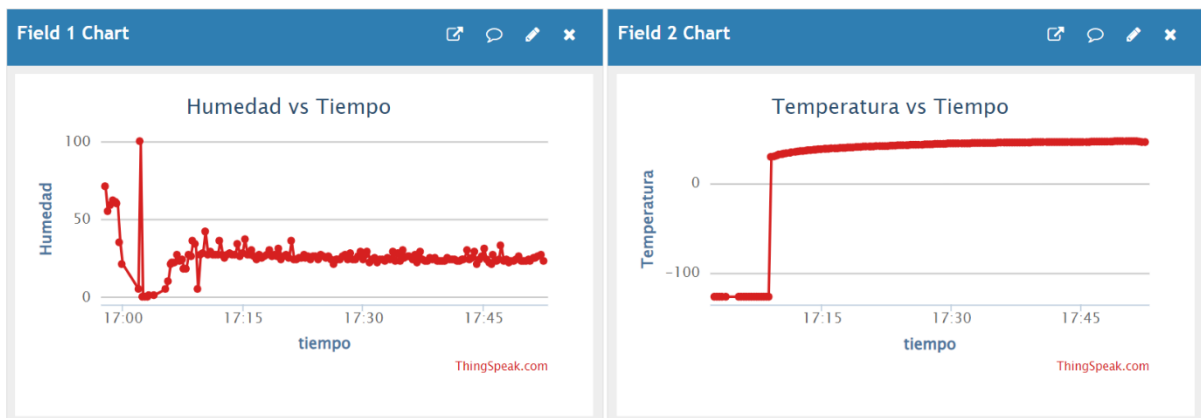
Como se observa se trata de un consumo mínimo para los estándares actuales que manejan paquetes de Gigabytes en un plan móvil y para plan fijo tampoco va a generar mucho tráfico pues también las velocidades van desde los 50 Megabytes por segundo por lo que no va a afectar el desempeño de la red.

### 3.1.7 Pruebas medición de parámetros

Las pruebas se realizaron una vez concluida la implementación del sistema, es decir, tras el ensamble del hardware y software. Las pruebas se efectuaron en el prototipo diseñado que simula un proceso de secado en camas usado por el cliente en un tamaño a escala cumpliendo así con los requerimientos planteados. Al tomar las muestras se pudo visualizar tanto la temperatura como la humedad en el panel de ThingSpeak como se muestra en la Figura 3.4

**Figura 3.4**

*Gráficas Humedad vs Tiempo y Temperatura vs Tiempo mostradas en ThingSpeak*



*Nota.* En la Figura 3.4 se muestra la graficas de comportamiento de la humedad en los granos a medida que transcurre el tiempo , así mismo la temperatura .

### 3.1.8 Envío de alerta por mensajería instantánea

Se utilizó la aplicación de Telegram ya que es una de las redes sociales más utilizadas para mensajería instantánea. Además, que la aplicación permite crear bots y conectarlo con el software de Arduino IDE , lo que facilita la implementación de sistemas IoT como el desarrollado en este proyecto.

**Figura 3.5**

*Bot de Telegram con mensajería instantánea y alerta*



*Nota.* En la Figura 3.5 se muestra cómo será la mensajería instantánea con el sistema IoT, junto con un mensaje de alerta cuando la humedad ha alcanzado el rango de humedad del 10%.

### 3.2 Materiales y costos del diseño

El diseño del sistema propuesto involucra una serie de componentes electrónicos y sensores para monitorear y controlar las condiciones de los granos de arroz. A continuación, se detalla la lista de materiales utilizados, así como sus costos asociados.

### 3.2.1 Materiales

1. **ESP32:** Microcontrolador con conectividad WiFi y Bluetooth integrado, utilizado como unidad central de procesamiento y comunicación del sistema.
2. **Sensor de humedad de suelo capacitivo v1.2:** Sensor utilizado para medir la humedad del suelo, que proporciona datos precisos y estables sin la corrosión asociada con los sensores resistivos.
3. **Sensor de temperatura de suelo:** Dispositivo utilizado para medir la temperatura del suelo, esencial para monitorear las condiciones ambientales y tomar decisiones informadas sobre el riego.
4. **Ventilador DC a 12V:** Ventilador de corriente continua utilizado para regular la temperatura del ambiente donde se encuentra el sistema, mejorando la eficiencia del control climático.
5. **Módulo relé:** Módulo utilizado para controlar el encendido y apagado del ventilador DC, actuando como un interruptor controlado electrónicamente por el ESP32.
6. **Pantalla LCD:** Pantalla utilizada para mostrar la información relevante del sistema en tiempo real, incluyendo las lecturas de los sensores y el estado del ventilador.
7. **Módulo I2C:** Es un dispositivo electrónico que facilita la comunicación, conecta múltiples dispositivos en un mismo bus de datos, usando solo dos líneas, una para la señal de reloj (SCL) y otra para los datos (SDA).

### 3.2.2 Costo de componentes

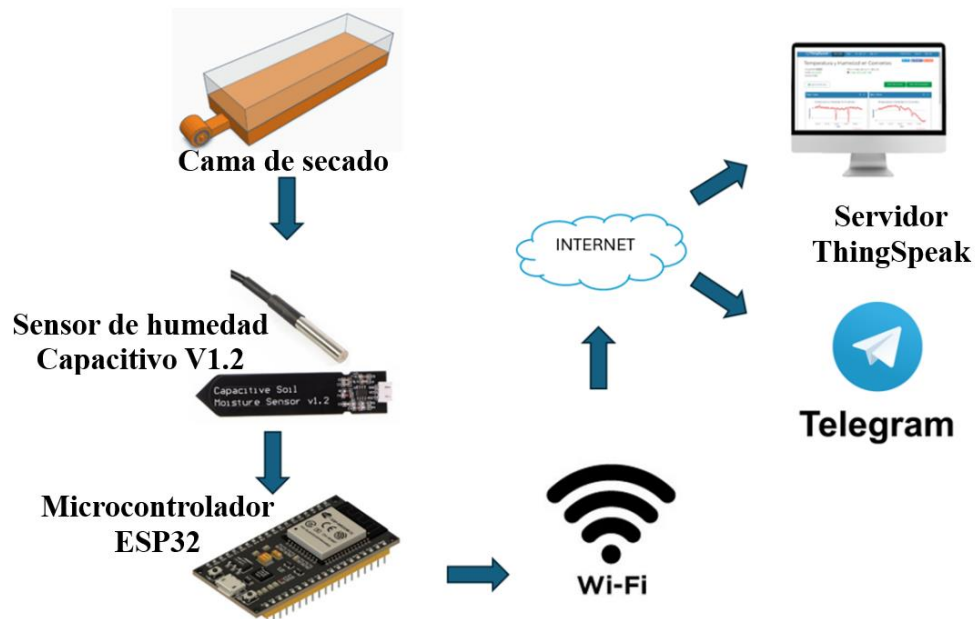
Para visualizar de una mejor manera el costo total de los componente se realizó la Tabla 3.1, que se muestra a continuación:

**Tabla 3.1***Costo de componentes del prototipo*

<i>Material</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (USD)</i>	<i>Costo Total (USD)</i>
<i>ESP32</i>	1	\$10.00	\$10.00
<i>Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo v1.2</i>	3	\$2.00	\$6.00
<i>Sensor de Temperatura de Suelo</i>	1	\$1.50	\$1.50
<i>Ventilador DC a 12V</i>	1	\$5.00	\$5.00
<i>Módulo Relé</i>	1	\$4.00	\$4.00
<i>Pantalla LCD</i>	1	\$4.00	\$4.00
<i>Modulo I2C</i>	1	\$3.50	\$3.50
<i>Cable utp</i>	30	\$0.60	\$18.0
<b>Total</b>			<b>\$52</b>

*Nota.* La Tabla 3.1 muestra la selección de estos componentes, fue realizada considerando tanto la funcionalidad requerida como la eficiencia en términos de costos, buscando un equilibrio entre calidad y presupuesto para asegurar la viabilidad del proyecto.

### 3.3 Prototipo

**Figura 3.6***Diagrama esquemático del prototipo*

*Nota.* En la Figura 3.6 se muestra la secuencia requerida para la medición de los parámetros de humedad y temperatura.

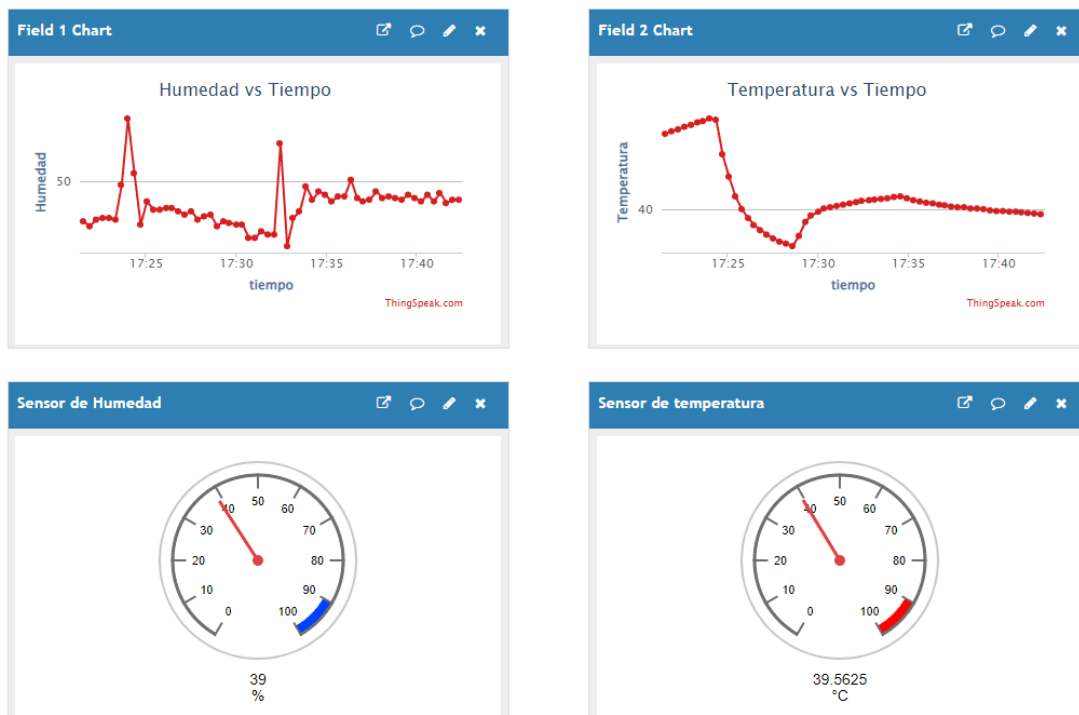
Los sensores, ubicados en distintos puntos de la cama de secado, medirán la humedad cada minuto. Mediante la programación en Arduino IDE, los valores registrados serán procesados por el microcontrolador y transmitidos al servidor a través de la conexión WiFi, permitiendo su visualización en tiempo real en ThingSpeak y en la app de Telegram (ver Figura 3.6) .

### 3.3.1 Conexión del prototipo y diseño de la interfaz de medición

Se utilizó la plataforma de ThingSpeak para visualizar los datos de los sensores que estarán monitoreando en tiempo real los parámetros de la humedad y temperatura, esos valores serán enviados al servidor para que puedan ser observados, lo que ayudará a analizar el comportamiento de la humedad a través del tiempo, como se está secando el arroz o si existe algún fallo en los sensores.

**Figura 3.7**

*Interfaz de medición en ThingSpeak*



*Nota.* En la Figura 3.7 se presenta la interfaz de medición desarrollada en ThingSpeak y se observan los gráficos de Humedad vs Tiempo y Temperatura vs Tiempo, y los medidores en tiempo real.

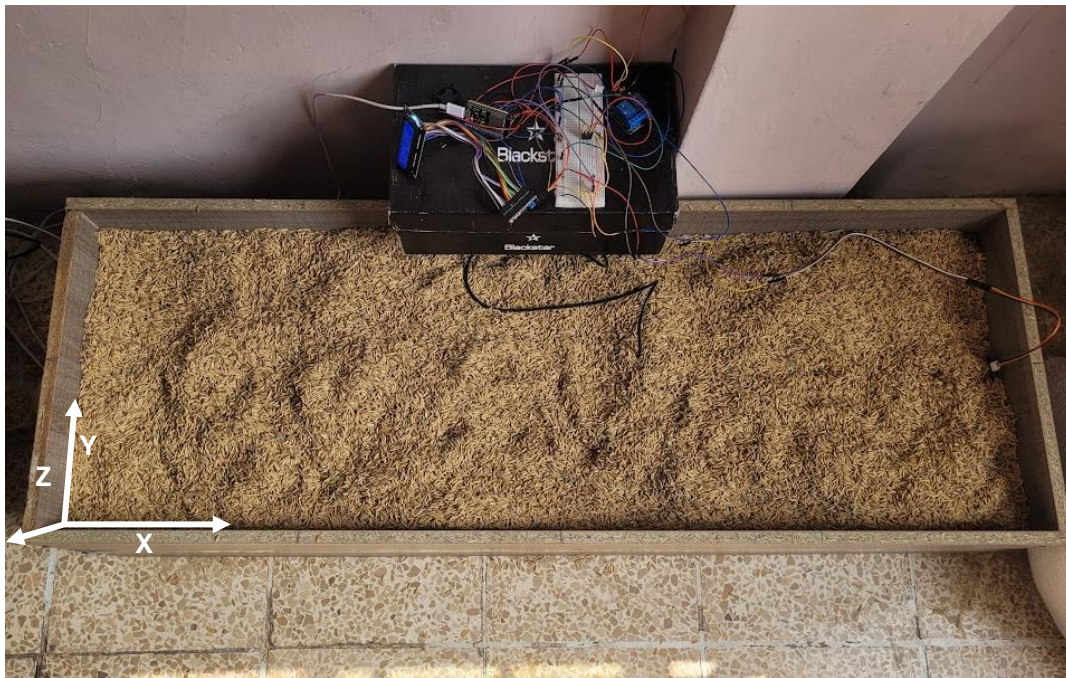


### 3.4 Validación, pruebas y errores del prototipo de secado de arroz

Se efectuó el análisis y monitoreo continuo del proceso de secado de los granos de arroz visualizando los parámetros del control, humedad y temperatura óptima que deben tener los granos. Este proceso se realizó una vez ensamblado el prototipo visualizado en la Figura 3.8, el cual se sometió a diversas evaluaciones hasta alcanzar el método más eficiente posible, asegurando así el cumplimiento de los objetivos principales.

**Figura 3.8**

*Prototipo final de cama de secado*



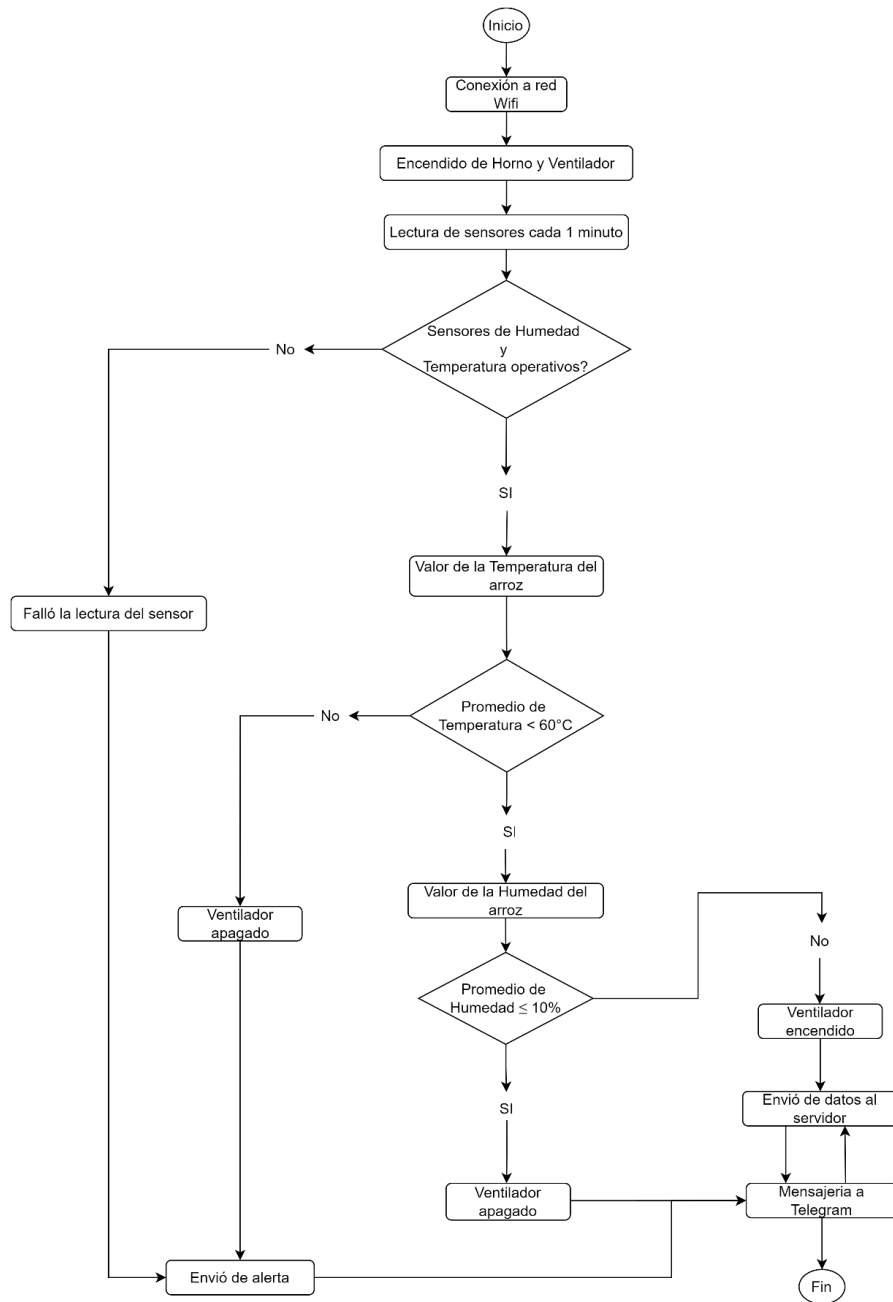
*Nota.* En el prototipo se realizó la validación de todo el sistema junto con los parámetros de medición ya establecidos en el prototipo.

Para entender un poco el proceso se debe conocer que los sensores se conectan al ESP32 y este a la red WiFi donde se recibirán los datos de los sensores cada minuto, llevándolos al servidor hasta que el promedio de la temperatura de los sensores llegue al 10%, en ese momento se apagará el ventilador centrífugo encargado de llevar el aire caliente a la cámara de calor y se enviará una alerta

por mensajería instantánea indicando que el arroz está seco. En el proceso también se dan otras condiciones que se pueden apreciar mejor en el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 3.9

**Figura 3.9**

*Diagrama de flujo del prototipo*



*Nota.* En la Figura 3.9 se observa el diagrama de flujo que se realizó para implementar el prototipo de sistema de secado de arroz .

### 3.4.1 Mediciones en la cama del secado

Para tomar las mediciones se hicieron en 3 puntos diferentes, estos puntos se consideran según el origen marcado en el plano de referencia de la Figura 3.8:

**Tabla 3.2**

*Puntos de medición en la cama de secado*

PUNTO	X (CM)	Y(CM)	Z(cm)
PUNTO A	30	20	0
PUNTO B	60	20	5
PUNTO C	90	20	10

*Nota.* En la Tabla 3.2 se muestran los puntos donde se tomaron muestras de humedad y temperatura

Se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 3.3**

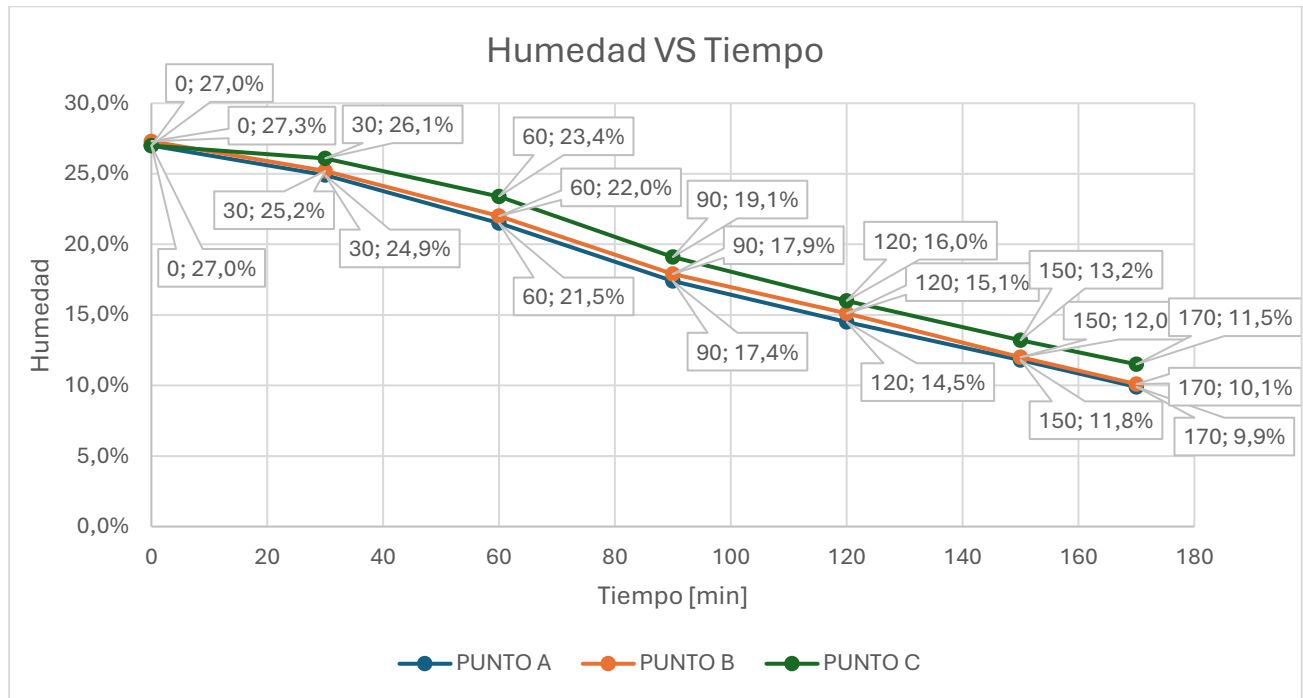
*Humedad del arroz en los diferentes puntos*

TIEMPO [MIN]	HUMEDAD		
	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C
0	27,0%	27,3%	27,0%
30	24,9%	25,2%	26,1%
60	21,5%	22,0%	23,4%
90	17,4%	17,9%	19,1%
120	14,5%	15,1%	16,0%
150	11,8%	12,0%	13,2%
170	9,9%	10,1%	11,5%

*Nota.* En la Tabla 3.3 se observa los valores de humedad en cada punto elegido , además cómo se comporta cuando transcurre el tiempo hasta llegar a la humedad deseada del 10%.

**Figura 3.10**

*Gráfica de la Humedad vs Tiempo en los diferentes puntos*



Como se visualiza en la Figura 3.10 y la Tabla 3.3 para el prototipo realizado a escala 10:1 cada 30 minutos el arroz va reduciendo aproximadamente 3% de humedad, para estas pruebas se utilizó arroz húmedo que el cliente entregó con una humedad del 27% dejando un tiempo de secado de 170 minutos o 2.5 horas, si se lo escala multiplicándolo por el factor de 10 como en la cama original del cliente el tiempo sería de 25 horas, lo que se aproxima con los datos recopilados del cliente.

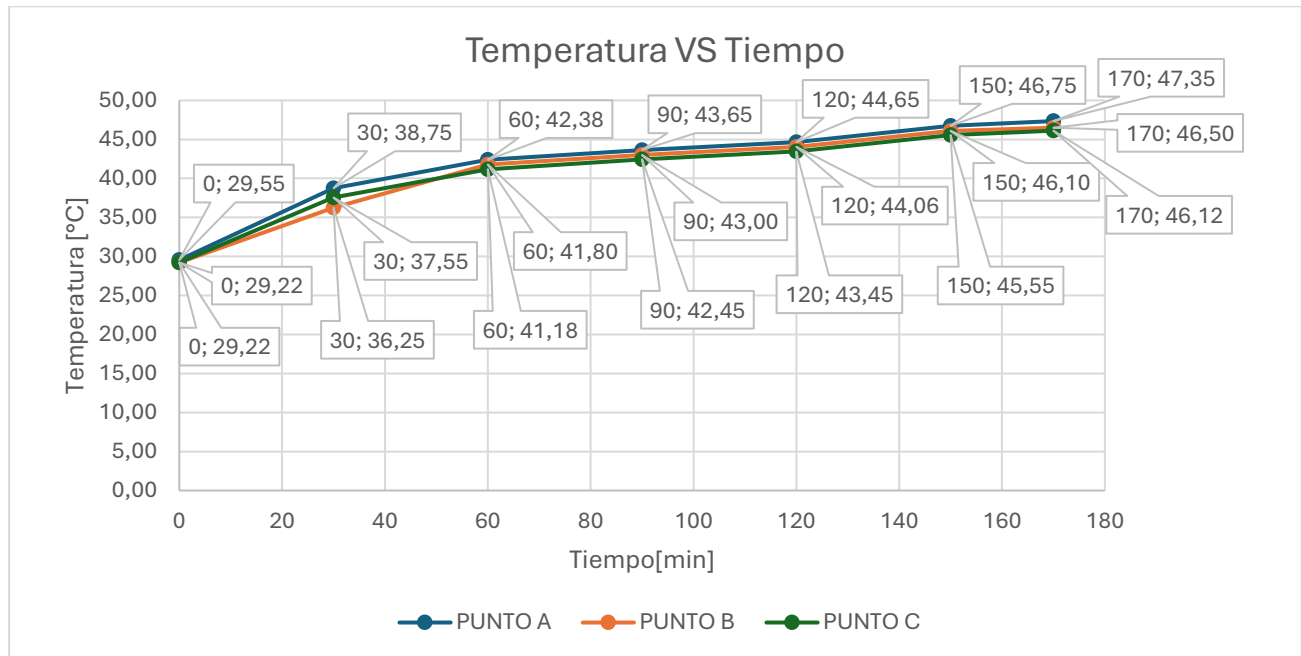
**Tabla 3.4**

*Temperatura del arroz en los diferentes puntos*

TEMPERATURA			
TIEMPO [MIN]	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C
0	29,55	29,22	29,22
30	38,75	36,25	37,55
60	42,38	41,80	41,18
90	43,65	43,00	42,45
120	44,65	44,06	43,45
150	46,75	46,10	45,55
170	47,35	46,50	46,12

**Figura 3.11**

*Gráfica de la Temperatura vs Tiempo en los diferentes puntos*



En la Tabla 3.4 y la Figura 3.11 se aprecia que la temperatura no supera los 60 °C y que entre el fondo y la superficie no hay una variación superior de 1.5°C, lo que muestra que el secado tuvo éxito y las medidas de la cama son las correctas ya que se cumple con los estándares y recomendaciones de la FAO, como lo son medidas que debe tener la cama de secado de arroz, la temperatura de secado, la variación de la humedad entre el fondo y la superficie del arroz.

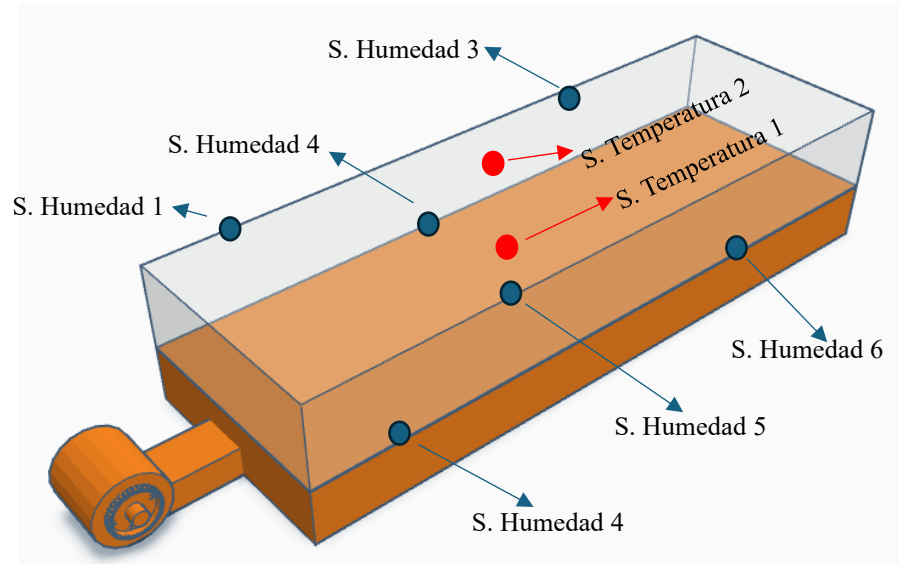
### 3.5 Observaciones para su instalación

El prototipo elaborado para el estudio del comportamiento de la humedad en granos de arroz se logró de manera exitosa, sin embargo, para la implementación en la empresa BRANICDAL S.A., se debe tener en cuenta ciertos aspectos que se detallan a continuación:

- Para la ubicación de los sensores de humedad en la cama de secado de arroz, se debe verificar que se encuentren fijos por lo que se recomienda su instalación en las paredes laterales de la cama, ya que al moverse tienden a medir datos erróneos.
- En cuanto al número de sensores de humedad se recomienda instalar 6 de estos, a lo largo del eje de las “x” definido en la Figura 3.8: dos al “inicio”, dos en la “parte media” y por último dos al “final” de la cama, en los tres casos se pondrá uno en el fondo y otro en la superficie hablando del eje “y”, para así tener una distribución homogénea de los sensores y promediar correctamente la variación de humedad en el arroz. Para una mejor apreciación de como quedarían los sensores, puede visualizar la Figura 3.12.
- Para la medición de temperatura colocar 2 sensores en el centro de la cama, uno en la parte baja y otro en la superficie, para que los granos puedan estar en constante monitoreo y así evitar que se sobrecalienten y pierdan calidad (ver Figura 3.12) .
- Para el encendido y apagado automático del ventilador (motor) se recomienda un variador de frecuencia “VDF”, un Relé de estado sólido y un contactor trifásico, estos ayudarán a manejar correctamente las altas potencias y evitar daños en el sistema electrónico.

**Figura 3.12**

*Ubicación de los sensores en la cama del cliente*



*Nota.* La Figura 3.12 muestra como debe ser distribuidos los sensores de humedad y temperatura en la cama del secado del cliente.

## Capítulo 4



## 4.1 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1.1 Conclusiones

El enfoque de esta investigación se centró en optimizar el proceso de secado mediante la implementación de sensores para monitoreo en tiempo real, automatización de procesos clave y un análisis detallado de la viabilidad económica del sistema. A continuación, se presentan los principales hallazgos y logros alcanzados en relación con los objetivos planteados, así como las implicaciones prácticas de las recomendaciones implementadas.

1. Se logró desarrollar e implementar un prototipo de sistema automatizado para el control del secado de arroz utilizando tecnología IoT. Este sistema no solo facilita el monitoreo continuo de la humedad del arroz, sino que también permite optimizar el proceso de secado, asegurando una mayor uniformidad y eficiencia en el proceso.
2. La integración de sensores que permiten visualizar los parámetros de humedad en tiempo real ha demostrado ser fundamental para mantener el control preciso sobre el secado del arroz. Esto, en combinación con el sistema de alerta que se activa cuando la humedad alcanza el rango ideal (9.5-11%), garantiza que el proceso se detenga en el momento óptimo, evitando tanto el sobre secado como el secado insuficiente.
3. El análisis de costos realizado sugiere que la implementación del sistema automatizado es económicamente viable. Los beneficios asociados con la mejora en la calidad del secado y la reducción de la intervención manual justifican la inversión inicial en el desarrollo y la implementación del sistema.

#### 4.1.2 Recomendaciones

- La implementación de un sistema que permita la adaptación y control preciso de la fuente de calor, de manera que su encendido y apagado puedan ser gestionados directamente por el procesador.
- La implementación de un sistema mecánico automático que realice el removido del arroz cada 30 minutos para que exista una mayor uniformidad en la reducción de la humedad en el arroz.

## Referencias

- AgroBayer Ecuador*. (2022). Obtenido de <https://www.agro.bayer.ec/>: <https://www.agro.bayer.ec/es-ec/cultivos/arroz.html#:~:text=Su%20participaci%C3%B3n%20en%20el%20PIB,48kg%20por%20persona%20al%20a%C3%B1o>
- Aprendiendo Arduino wordpress*. (11 de Diciembre de 2016). Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/ide-arduino/>
- Aviles Tufiño, R. M. (2021). *cia.uagraria.edu.ec*. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AVILES%20TUFIO%20ROSALINDA%20MELISSA.pdf>
- Baidal Galarza, J. J. (Novembre de 2009). *Repositorio UEES*. Obtenido de [repositorio.uees.edu.ec](http://repositorio.uees.edu.ec/): <http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/596/1/Tesis%20PDF.pdf>
- Braunbeck, C. M. (s.f.). *ISUU*. Obtenido de [issuu.com](http://issuu.com/): <https://issuu.com/graosbrasil/docs/granos150online/s/17477485>
- Celi, R. (s.f.). *Tecnología INIAP*. Obtenido de [www.iniap.gob.ec](http://www.iniap.gob.ec/): <https://www.iniap.gob.ec/programa-1/#:~:text=Las%20variedades%20que%20el%20INIAP,y%20granos%20sueltos%20al%20cocinar>
- Chafla Candlo, W. G. (08 de July de 2022). *DSPACE ESPOCH*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/>: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17802/1/27T00547.pdf>
- ESPloradores*. (8 de Abril de 2019). Obtenido de [https://www.esploradores.com/python\\_y\\_micropython\\_que\\_son/](https://www.esploradores.com/python_y_micropython_que_son/)
- FAO. (s.f.). Obtenido de <https://www.fao.org/4/x5059S/x5059S03.htm>

Flores, F. (22 de Julio de 2022). *Openwebinars*. Obtenido de <https://openwebinars.net/blog/que-es-visual-studio-code-y-que-ventajas-ofrece/>

Galárza, J. J. (2009). *MEJORAR EL PROCESO DE SECADO DEL ARROZ EN LA PILADORA "EL*.

Samborondon: UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO. Obtenido de

<http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/596/1/Tesis%20PDF.pdf>

<https://connectamericas.com>. (s.f.). Obtenido de connectamericas.com:

<https://connectamericas.com/es/company/ubidots#:~:text=Este%20producto%20permite%20enviar%20datos,de%20datos%20en%20tiempo%20real>.

[humanizationoftechnology.com/](https://humanizationoftechnology.com/). (6 de november de 2018). Obtenido de Tecnología Humanizada:

<https://humanizationoftechnology.com/blynk-plataforma-de-internet-de-las-cosas-en-la-red/revista/2018/volumen-4-2018/11/2018/>

*INIAP*. (s.f.). Obtenido de tecnologia.iniap.gob.ec: <https://tecnologia.iniap.gob.ec/arroz/>

Ipiates, O., & Cuichán, M. (Abril de 2024). *ecuadorencifras*. Obtenido de [www.ecuadorencifras.gob.ec](http://www.ecuadorencifras.gob.ec):

[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/2023/Boletin\\_tecnico\\_ESPAC\\_2023.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Boletin_tecnico_ESPAC_2023.pdf)

*losant.com*. (s.f.). Obtenido de docs.losant.com: <https://docs.losant.com/getting-started/what-is-losant/>

Mata Delgado, V. A. (2014). *Repositorio UCSG*. Obtenido de [repositorio.ucsg.edu.ec](http://repositorio.ucsg.edu.ec):

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/990/3/T-UCSG-PRE-TEC-ARRA-2.pdf>

Niño, A. C. (2008). *Molinería de Arroz* (Vol. II). Bogota. Obtenido de

<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18574>

*oracle.com*. (3 de April de 2023). Obtenido de docs.oracle.com: <https://docs.oracle.com/es/learn/oci-streaming-thingsboard/index.html#introduction>

PARDO SALINAS, C. D., & TACURY TINOCO, C. A. (2009). *DSPACE UNL*. Obtenido de [dspace.unl.edu.ec](https://dspace.unl.edu.ec):  
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17028/1/Pardo%20Salinas%2c%20Charles%20David%2c%20Tacury%20Tinoco%2c%20Cesar%20Augusto.pdf>

Rodríguez Almarza, M. B. (11 de December de 2007). *Tesis Elecetronicas UACH*. Obtenido de [cybertesis.uach.cl](http://cybertesis.uach.cl): <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/far696d/sources/far696d.pdf>

Villacrés, F. J. (2008). *Mejoramiento de una Secadora por Tandas de una Piladora de*. Guayaquil: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/31890/1/D-65692.pdf>

## **Anexos**

### ***Anexo A. Entrevista al cliente***

1. ¿Cuál es su nombre?

Paul Jiménez

2. ¿Cuál es el nombre de su empresa?

BRANICDAL S.A.

3. ¿Dónde queda su empresa?

Km 81 Vía Palestina-Balzar, Colimes

4. ¿Cuántos tipos de camas de secado tiene en su empresa?

Dos.

5. ¿Cuáles son los tipos de Cama de secado?

Cama de secado a Gas y Cama de secado por horno (se quema tamo)

6. ¿Qué tiempo demora en secar el arroz en cada cama?

En la cama de secado a gas 24 horas aproximadamente y en la cama por horno aproximadamente 36 horas.

7. ¿Cuáles son las dimensiones de la cama que tiene en su empresa?

15 metro de largo x 4 metros de ancho x 1.5 metros de alto

8. Cuando se can el arroz, ¿Qué alto de la caman ocupan, Hasta que altura llega el arroz?

Un metro de alto.

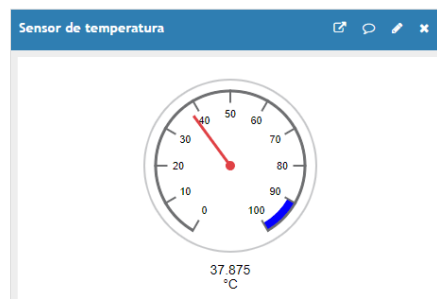
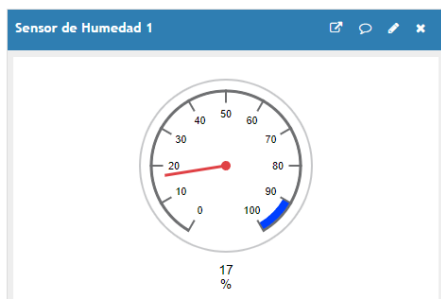
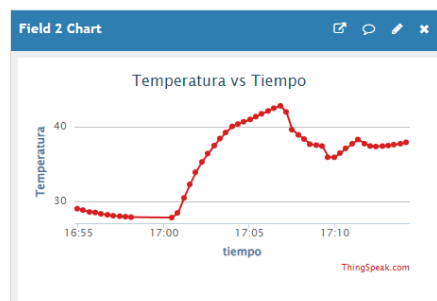
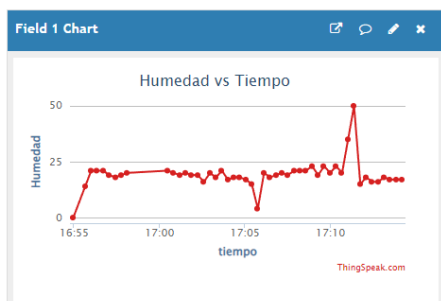
9. ¿Normalmente con qué humedad les llega el arroz a ustedes?

27%

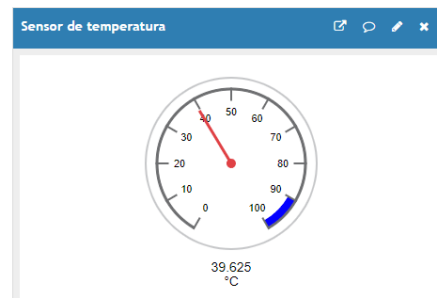
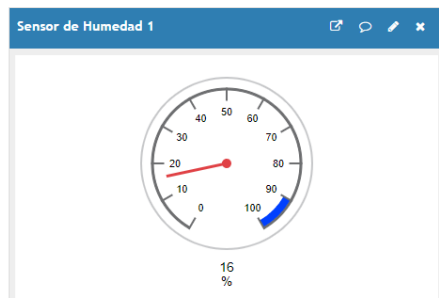
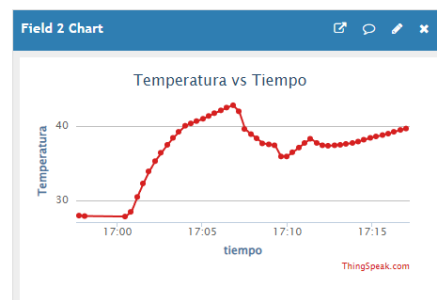
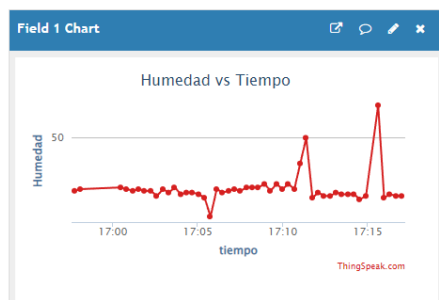
10. ¿A qué humedad ustedes dejan de secar el arroz? ¿Cuál es su humedad ideal?

Entre 9.5% y 11%

## Anexo B. Graficas de medición en ThingSpeak

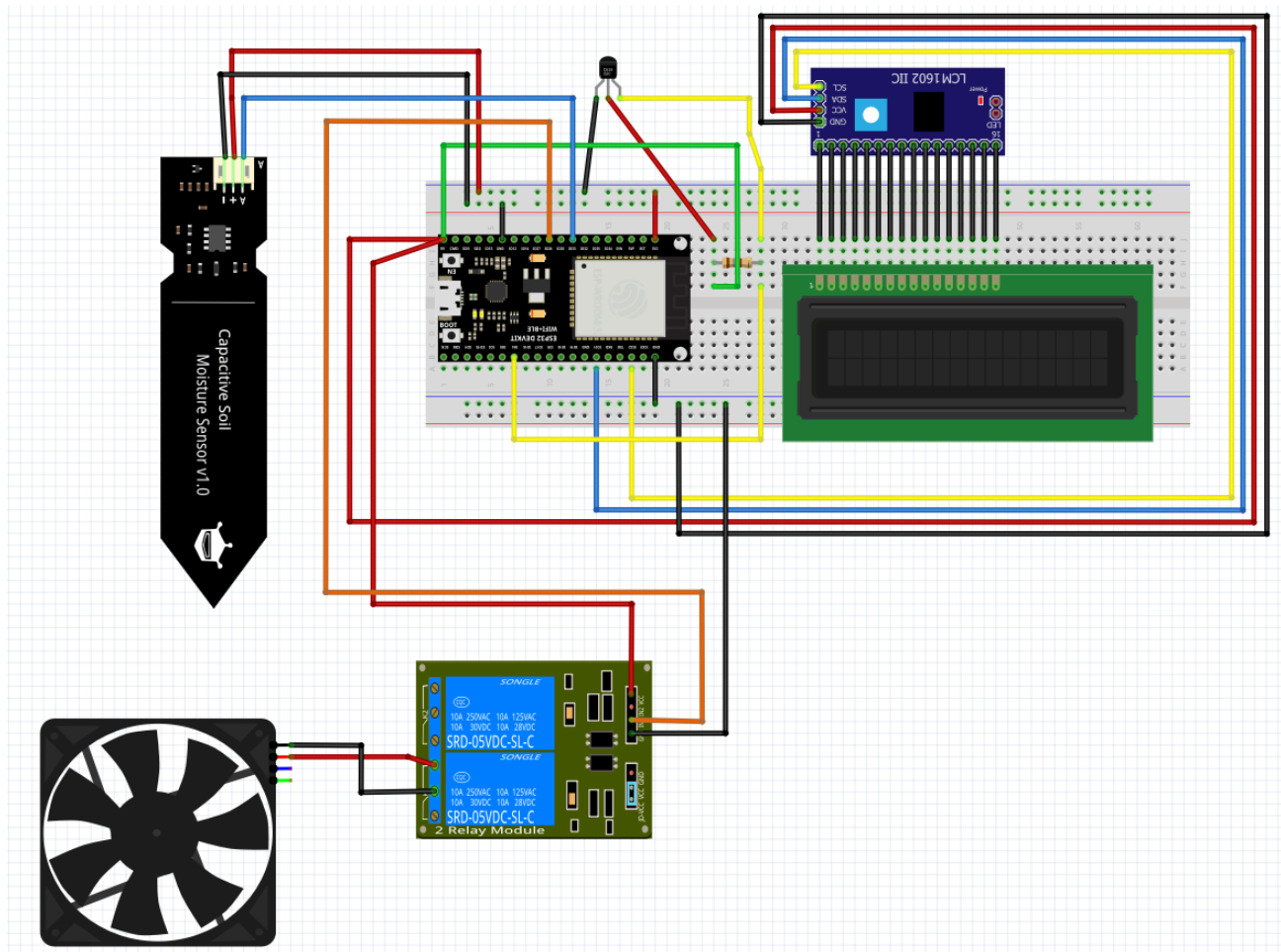


*Nota.* Medición en tiempo real vista desde plataforma ThingSpeak



*Nota.* Medición después de más de 5 minutos de la Figura anterior

### Anexo C. Diagrama de circuito del prototipo



*Nota.* Diagrama de conexión de todo el sistema IoT elaborado en Fritzing

### Anexo D. Tabla de conexión de los sensores con el ESP32

<i>Componente</i>	<i>Pin del componente</i>	<i>Pin en el ESP32</i>
<i>Sensor de humedad Capacitivo v1.2</i>	Data	GPIO 33
<i>Sensor de temperatura DS18B20</i>	Data	GPIO 4
<i>Modulo I2C</i>	VCC	5V
	GND	GND
	SDA	GPIO 21
	SCL	GPIO 22
<i>Modulo Relé</i>	IN1	GPIO 26



**Anexo E. Código**

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <WiFi.h>
#include <ThingSpeak.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <WiFiClientSecure.h>

// Configuración del LCD I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Configuración del sensor de humedad de suelo capacitivo
int ValorAire = 2610;
int ValorAgua = 2000;
const int pinSensorHumedad = 33;

// Configuración del sensor de temperatura DS18B20
const int pinSensorTemperatura = 4;
OneWire oneWire(pinSensorTemperatura);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// Configuración del relé
const int pinRele = 26; // Conectar IN1 del relé a GPIO 26

// Configuración WiFi
const char* ssid = "Nombre de la Red"; //Colocar nombre de la Red WIFI
const char* password = "Clave de la Red"; //Contraseña de la Red WIFI

// Configuración de ThingSpeak
unsigned long myChannelNumber = Número de canal;//Número de tu canal de ThingSpeak
const char* myWriteAPIKey = "Escribe_API_KEY"; //Clave API-KEY de ThingSpeak
WiFiClient client;

// Configuración de Telegram
const char* botToken = "6897576090:AAFQYmsBBD4W568e5NfZqCXGKbehji9LzaU";/Bot creado
en Telegram para medir la humedad y temperatura del arroz
const char* chat_id = "ID de usuario de Telegram"; // Colocar ID del chat a donde
se enviarán las alertas en Telegram

WiFiClientSecure secured_client;
UniversalTelegramBot bot(botToken, secured_client);

```

```

// Variables
int valorHumedadSuelo = 0;
int porcentajeHumedadSuelo = 0;
float temperatura = 0.0;
unsigned long lastUpdateTime = 0;
unsigned long previousMillis = 0;
bool alertSent = false;
bool sensorHumedadFallido = false;
bool sensorTemperaturaFallido = false;

void setup() {
  Serial.begin(115200); // Inicializar comunicación serial

  // Inicializar el LCD
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Inicializando...");
  delay(2000);

  // Inicializar el sensor de temperatura DS18B20
  sensors.begin();

  // Configurar el pin del relé
  pinMode(pinRele, OUTPUT);
  digitalWrite(pinRele, HIGH); // Asegurar que el relé esté apagado al inicio (relé
activado en LOW)

  // Conectar a WiFi
  connectToWiFi();

  // Mostrar dirección IP en el Monitor Serial
  Serial.print("IP Address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());

  // Iniciar ThingSpeak
  ThingSpeak.begin(client);

  // Configurar cliente seguro para Telegram
  secured_client.setCACert(TELEGRAM_CERTIFICATE_ROOT);
}

void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  // Intentar reconectar si el WiFi se desconecta

```

```

if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    connectToWiFi();
}

// Leer el valor del sensor de humedad (valor crudo)
valorHumedadSuelo = analogRead(pinSensorHumedad);

// Mostrar el valor crudo del sensor de humedad en el Monitor Serial
Serial.print("Valor crudo del sensor de humedad: ");
Serial.println(valorHumedadSuelo);

// Calcular el porcentaje de humedad basado en los valores calibrados
porcentajeHumedadSuelo = map(valorHumedadSuelo, ValorAire, ValorAgua, 0, 100);
porcentajeHumedadSuelo = constrain(porcentajeHumedadSuelo, 0, 100);

// Leer la temperatura del sensor DS18B20
sensors.requestTemperatures();
if (sensors.getTempCByIndex(0) == DEVICE_DISCONNECTED_C) {
    temperatura = -999; // Indicativo de fallo
    sensorTemperaturaFallido = true;
} else {
    temperatura = sensors.getTempCByIndex(0);
    sensorTemperaturaFallido = false;
}

// Mostrar la humedad y la temperatura en la pantalla LCD
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Humedad: ");
lcd.print(porcentajeHumedadSuelo);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Temp: ");
lcd.print(temperatura);
lcd.print(" C");

// Mostrar valores en el Monitor Serial
Serial.print("Humedad del suelo (porcentaje): ");
Serial.print(porcentajeHumedadSuelo);
Serial.println("%");
Serial.print("Temperatura: ");
Serial.print(temperatura);
Serial.println(" °C");

```

```

// Enviar datos a ThingSpeak cada 60 segundos
if (currentMillis - lastUpdateTime >= 60000) {
  ThingSpeak.setField(1, porcentajeHumedadSuelo);
  ThingSpeak.setField(2, temperatura);
  int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);

  if (x == 200) {
    Serial.println("Canal actualizado con éxito");
  } else {
    Serial.println("Error al actualizar canal. Código de error: " + String(x));
  }

  lastUpdateTime = currentMillis;
}

// Apagar la secadora y enviar mensajes de alerta según la condición
if (temperatura > 60) {
  digitalWrite(pinRele, HIGH); // Apagar la secadora (relé activado en LOW)
  if (!alertSent) {
    String alertMessage = "Ventiladores apagados, el arroz ha superado la
temperatura de 60 °C";
    bot.sendMessage(chat_id, alertMessage, "");
    alertSent = true;
  }
} else if (porcentajeHumedadSuelo <= 11) {
  digitalWrite(pinRele, HIGH); // Apagar la secadora (relé activado en LOW)
  if (!alertSent) {
    String alertMessage = "El secado de arroz ha terminado, su humedad es del
11%";
    bot.sendMessage(chat_id, alertMessage, "");
    alertSent = true;
  }
} else {
  digitalWrite(pinRele, LOW); // Encender la secadora (relé desactivado en HIGH)
  alertSent = false;
}

// Enviar alertas de fallos en los sensores
if (sensorHumedadFallido) {
  bot.sendMessage(chat_id, "Fallo en la lectura del sensor de humedad.", "");
  sensorHumedadFallido = false; // Solo enviar un mensaje por fallo
}
if (sensorTemperaturaFallido) {
  bot.sendMessage(chat_id, "Fallo en la lectura del sensor de temperatura.", "");
  sensorTemperaturaFallido = false; // Solo enviar un mensaje por fallo
}

```

```

}
// Revisar si hay nuevos mensajes en Telegram
if (currentMillis - previousMillis >= 2000) {
  int numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
  while (numNewMessages) {
    Serial.println("Tienes un nuevo mensaje");
    handleNewMessages(numNewMessages);
    numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
  }
  previousMillis = currentMillis;
}
}

void handleNewMessages(int numNewMessages) {
  for (int i = 0; i < numNewMessages; i++) {
    String chat_id = String(bot.messages[i].chat_id);
    String text = bot.messages[i].text;

    if (text == "/humedad") {
      String message = "Humedad: " + String(porcentajeHumedadSuelo) + "%";
      bot.sendMessage(chat_id, message, "");
    } else if (text == "/temperatura") {
      String message = "Temperatura: " + String(temperatura) + " C";
      bot.sendMessage(chat_id, message, "");
    } else {
      bot.sendMessage(chat_id, "Comando no reconocido. Usa /humedad o
/temperatura.", "");
    }
  }
}

void connectToWiFi() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Conectando WiFi");
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("WiFi Conectado");
  delay(2000);
}
}

```