

# Design and Simulation of a Temperature Sensor with Arduino for Cold Chain Applications

Silva-Abanto Roger, Doctor en Ciencias<sup>1</sup>, Aguilar- Figueroa Karla, Estudiante Ing. Industrial<sup>2</sup>, Salazar-Borda Lucy, Estudiante Ing. Industrial<sup>3</sup>, Yopla – Linares Mirian, Estudiante Ing. Industrial<sup>4</sup>

1- Universidad Privada del Norte, Roger.silva@upn.edu.pe, n00264539@upn.pe, n00271243@upn.pe , n00296230@upn.pe, n00257219@upn.pe

**Abstract**– This work presents the design, simulation and validation of a low-cost temperature monitoring system based on Arduino and the DHT-11 sensor, oriented to the cold chain in small cheese factories in Cajamarca dedicated to the production of buttery cheese. Faced with the problem of precise and continuous thermal control, which affects the quality and safety of the product, a prototype was developed that records temperatures in real time, visualizes data on an LCD screen and activates automatic alerts in the event of critical deviations. The methodology included selection and characterization of the DHT-11 sensor (range 0-50°C, accuracy  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ , low cost), construction of the electronic circuit with accessible components, programming for data logging and alerts, and evaluation in a simulated environment. The results demonstrated significant quantitative improvements: reduction of the margin of error by 80%, increase in measurement frequency by 1,800-5,400 times and decrease in the risk of cold chain breakdown by 90%, with economic savings of 60-70% and stability in 94% of trials. The comparison with traditional methods showed superiority in precision, efficiency and accessibility, confirming technical and economic viability for small companies. The modularity of the design allows future expansions with IoT, strengthening local competitiveness and preserving the quality of perishable products.

**Keywords**-- Cold chain, Temperature sensor, Arduino, Mantecoso cheese, Real-time monitoring

# Diseño y simulación de un Sensor de Temperatura con Arduino para Aplicaciones de Cadena de Frío

Silva-Abanto Roger, Doctor en Ciencias<sup>1</sup>, Aguilar- Figueroa Karla, Estudiante Ing. Industrial<sup>2</sup>,  
Salazar-Borda Lucy, Estudiante Ing. Industrial<sup>3</sup>, Yopla – Linares Mirian, Estudiante Ing.  
Industrial<sup>4</sup>

1- Universidad Privada del Norte, Roger.silva@upn.edu.pe, n00264539@upn.pe, n00271243@upn.pe ,  
n00296230@upn.pe, n00257219@upn.pe

**Resumen**– Este trabajo presenta el diseño, simulación y validación de un sistema de monitoreo de temperatura de bajo costo basado en Arduino y el sensor DHT-11, orientado a la cadena de frío en pequeñas queserías de Cajamarca dedicadas a la producción de queso mantecoso. Ante la problemática de control térmico preciso y continuo, que afecta la calidad e inocuidad del producto, se desarrolló un prototipo que registra temperaturas en tiempo real, visualiza datos en una pantalla LCD y activa alertas automáticas ante desviaciones críticas. La metodología incluyó selección y caracterización del sensor DHT-11 (rango 0-50°C, precisión  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ , costo bajo), construcción del circuito electrónico con componentes accesibles, programación para registro de datos y alertas, y evaluación en un entorno simulado. Los resultados demostraron mejoras cuantitativas significativas: reducción del margen de error en 80%, aumento de frecuencia de medición en 1,800-5,400 veces y disminución del riesgo de ruptura de la cadena de frío en 90%, con ahorros económicos del 60-70% y estabilidad en el 94% de ensayos. La comparación con métodos tradicionales evidenció superioridad en precisión, eficiencia y accesibilidad, confirmando viabilidad técnica y económica para pequeñas empresas. La modularidad del diseño permite futuras expansiones con IoT, fortaleciendo la competitividad local y preservando la calidad de productos perecederos.

**Palabras Clave:** Cadena de frío, Sensor de temperatura, Arduino, Queso mantecoso, Monitoreo en tiempo real.

## I. INTRODUCCIÓN

El tema central de esta investigación es el desarrollo de un sistema de monitoreo de bajo costo para aplicaciones de cadena de frío, dirigido a pequeños y medianos empresarios de los sectores lácteo y hortofrutícola en Cajamarca. Este trabajo se basa ante una problemática crítica que es la falta de un control preciso en tiempo real de la temperatura en cámaras de refrigeración y congelación. Las consecuencias directas son mermas económicas significativas y la incapacidad de garantizar la calidad y seguridad requeridas por los mercados, perpetuando una brecha de competitividad; Puerto de Altamira en México emplea sensores inalámbricos para monitoreo en

cadena de frío, transmitiendo temperatura, humedad y posición en tiempo real, y generando alertas ante desviaciones para mitigar mermas económicas y asegurar calidad de productos perecederos [1]. Esta deficiencia se debe principalmente a la dependencia de métodos manuales o sistemas automatizados de alto costo, inaccesibles para muchas pequeñas y medianas empresas. Según la Ref [2], es de suma importancia llevar un control de temperatura en las cámaras frigoríficas ya que estos espacios se utilizan para almacenar alimentos perecederos, medicamentos y otros productos sensibles a la temperatura. Por lo tanto, es esencial garantizar que la temperatura se mantenga dentro de los límites ideales para preservar la calidad y seguridad de estos elementos.

Según un estudio en Corea, es de suma importancia llevar un control de temperatura en las cámaras frigoríficas, ya que estos espacios se utilizan para almacenar alimentos perecederos, medicamentos y otros productos sensibles a la temperatura, que destaca la necesidad de monitoreo continuo en la cadena de frío para evitar variaciones críticas. Por lo tanto, es esencial garantizar que la temperatura se mantenga dentro de los límites ideales para preservar la calidad y seguridad de estos elementos. El enfoque aplicado combina redes de sensores inalámbricos con plataformas en la nube, proponiendo un sistema con Arduino y Xively para monitorear temperatura y humedad en tiempo real, mejorando la gestión logística y el manejo de productos perecederos. [3].

En una investigación realizada en Perú, se expone el uso de conocimientos teóricos y prácticos para implementar un sistema con Arduino Mega y sensor DHT11, monitoreando temperatura y humedad en cultivos de maíz y haba. La extracción de datos mediante IDE de Arduino reveló rangos de temperatura de 18.6°C a 30.5°C, contribuyendo a la optimización del crecimiento agrícola [4]

Los especialistas en refrigeración señalan que una temperatura adecuada es esencial para conservar alimentos frescos; su falta provoca pérdidas significativas. En Perú se desaprovecha entre el 8,3 % y el 12 % de las papas cultivadas. A nivel mundial se pierde aproximadamente el 30 % de los

cereales, entre el 40 % y el 50 % de raíces, frutas y semillas oleaginosas, el 20 % de carnes y lácteos y un 35 % de pescados [5].

En Cajamarca existen varias empresas que se dedican a la transformación de la leche en sus derivados, los cuales se almacenan en refrigeración y congelación; utilizando cámaras frigoríficas para el almacenamiento de sus productos ya procesados; donde se controlan las temperaturas de almacenamiento siendo uno de los parámetros más importantes de controlar durante la cadena de frío de un derivado lácteo [6]. Según la Ref. [7] en Cajamarca también se produce y comercializa otros productos, tales como palta, plátano y mangos, los cuales se deben refrigerar para mantener su calidad y prolongar su tiempo mediante su adecuada durabilidad antes de la venta y consumo final. Para eso deben lograr y conservar la temperatura es un factor importante para proteger los alimentos perecederos de la pérdida de calidad durante su posproducción, transporte, almacenamiento y distribución.

Este proyecto se justifica ante la crítica necesidad de mantener la cadena de frío en la producción de Quesos en una quesería de Cajamarca, con una demanda regular donde la más mínima fluctuación térmica durante el almacenamiento o transporte puede degradar su calidad y causar pérdidas económicas significativas. Dado que los pequeños y medianos productores no pueden costear costosos sistemas industriales de monitoreo, se desarrolla este prototipo accesible con Arduino, el cual busca reducir las mermas postcosecha, garantizar la calidad exportable del producto y fortalecer la competitividad de los agricultores locales mediante un control térmico confiable y de bajo costo.

En consecuencia, el objetivo general de este trabajo es diseñar, simular y validar un prototipo funcional de bajo costo que solucione la problemática del monitoreo en la cadena de frío local. Para ello, se plantean objetivos específicos como: seleccionar y caracterizar el sensor de temperatura DHT-11, evaluando rango de medición, precisión, costo y según al entorno; construir el circuito electrónico, programar el sistema para el registro de datos y envío de alertas, y evaluar su rendimiento en un entorno simulado.

Partiendo de esta base, la pregunta que guía este desarrollo es: ¿En qué medida un sistema de monitoreo basado en Arduino y sensor DHT-11, complementado con alertas, puede constituir una solución técnicamente viable y económicamente accesible para el control de la cadena de frío en los pequeños y medianos productores de Cajamarca?

La hipótesis de este proyecto se plantea que la implementación de un sistema de monitoreo basado en Arduino y sensor DHT-11, complementado con alertas, puede constituir una solución técnicamente viable y económicamente accesible para el control de la cadena de frío en los pequeños y medianos productores de Cajamarca.

## II. METODOLOGÍA

Este estudio sigue un enfoque preexperimental, que se realizará en Cajamarca, donde la población comprende a las pequeñas y medianas empresas del sector hortofrutícola y lácteos que utilizan sistemas de refrigeración. La muestra corresponde a una empresa productora de quesos ubicada en la Ciudad de Cajamarca

Los instrumentos del prototipo incluyen: sensor DHT-11, placa Arduino, pantalla LCD para visualización de temperatura en tiempo real, y alarmas sonoras/lumínicas (led o buzzer) que se activarán ante desviaciones de temperatura. La técnica de recolección de datos se basa en la medición directa con el sensor DHT-11 conectado a una placa Arduino UNO, programados mediante el software Arduino IDE para registrar temperaturas en tiempo real. Para garantizar la confiabilidad, se realizarán pruebas repetitivas en condiciones controladas.

El procedimiento se desarrolla en tres fases:

Fase 1: Construcción y configuración del sistema electrónico y programación de la pantalla lcd.

Fase 2: Recolección de mediciones continuas en las cámaras de refrigeración de la empresa seleccionada.

Fase 3: Procesamiento de datos mediante estadística descriptiva y para los resultados la representación será en cuadro comparativo para validar el funcionamiento del sistema con uno tradicional y analizar la estabilidad térmica en condiciones simuladas.

La selección del sensor DHT-11 se realizó considerando criterios técnicos y económicos orientados a la realidad de pequeñas y medianas empresas del sector lácteo. Aunque existen sensores con mayor precisión, como el DS18B20 y sensores industriales especializados, el DHT-11 fue elegido debido a su bajo costo, facilidad de implementación y disponibilidad en el mercado local. Estas características lo convierten en una alternativa viable para aplicaciones de monitoreo básico en cadena de frío donde los recursos tecnológicos y económicos son limitados.

Además, el rango de medición del DHT-11 (0–50 °C) cubre adecuadamente los valores requeridos para el almacenamiento de queso mantecoso, que normalmente se mantiene entre 4 °C y 10 °C, lo que respalda su idoneidad para el propósito del presente estudio.

## III. RESULTADO

### 3.1. Elaboración del sensor de temperatura con alarma

Siguiendo la Fase 1 se llevó a diseñar y construir el prototipo de manera exitosa en base a los componentes planificados.

#### MATERIALES

- **Protoboard:** Permiten unir todos los componentes eléctricos para que el circuito funcione correctamente.

- **Arduino:** Microcontrolador que procesa datos del sensor y ejecuta instrucciones para controlar el sistema.
- **Sensor de temperatura DHT-11:** Mide la temperatura y humedad del ambiente y envía esos datos al Arduino.
- **Pantalla LCD 16x4 con I2C:** Muestra la información del sistema (temperatura, mensajes, estados) ocupando pocos pines gracias al módulo I2C.
- **Buzzer:** Emite sonidos o alertas cuando se alcanza un valor establecido o ocurre un evento específico.
- **Led:** Indica estados del sistema (encendido, alerta, funcionamiento correcto, etc.).
- **Cables de Conexión:** Permiten unir todos los componentes eléctricos para que el circuito funcione correctamente.

## MÉTODO

### 1. Construcción de la estructura

- Cortar el cooler de Tecnopor reciclado en las piezas necesarias para crear una estructura estética y funcional.
- Ensamblar y pegar la estructura, colocando dentro el artefacto para mantener estable todo el sistema.

### 2. Instalación de sensor

- Ubicar el sensor DHT-11 en la parte superior del protoboard y configurar su rango de temperatura para controlar condiciones adecuadas para los quesos.

### 3. Conexión y Programación de Arduino

- Conectar el Arduino al sensor y al protoboard mediante cables de conexión, verificando que cada pin esté correctamente asignado.
- Programar el Arduino para que, al detectar temperaturas fuera del rango, active el límite establecido y emita alertas visuales y sonoras.
- Configurar el sistema para que el DHT-11 envíe datos constantes, permitiendo corregir variaciones y evitar el deterioro del producto.

### 4. Instalación de pantalla LCD

- Conectar la pantalla LCD 16x4 con módulo I2C al Arduino utilizando los pines SDA y SCL, asegurando una conexión firme y ordenada.
- Configurar la dirección I2C en el código y cargar la librería correspondiente para permitir la correcta visualización de los datos.

- Verificar que la pantalla muestre de forma clara la temperatura medida por el sensor DHT-11, ajustando contraste o posición si fuera necesario.

## 5. Pruebas funcionales

- Encender el sistema y comprobar que el sensor DHT-11 envía lecturas precisas y que la pantalla LCD las muestra correctamente en tiempo real.
- Simular variaciones de temperatura para verificar que el Arduino responda activando las alertas visuales y sonoras (LED y buzzer) según los valores programados.
- Evaluar la estabilidad del sistema durante varios minutos para asegurar un funcionamiento continuo, sin fallas en la lectura ni en la actualización de la pantalla.



Fig. 1 Programación de Arduino

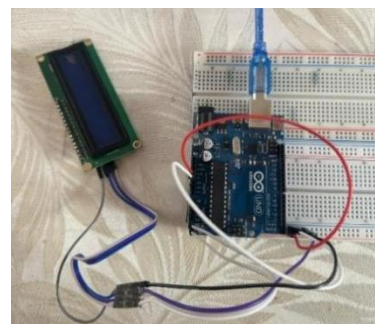


Fig. 2 Implementación de pantalla LCD

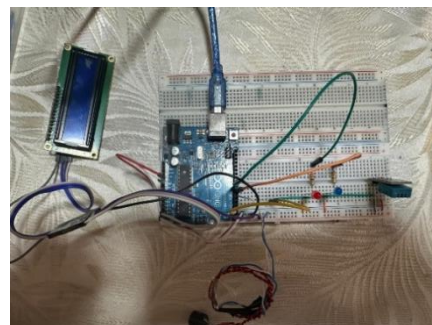


Fig. 3 Conexión de Cables con sensor, leds, Buzzer y resistencias

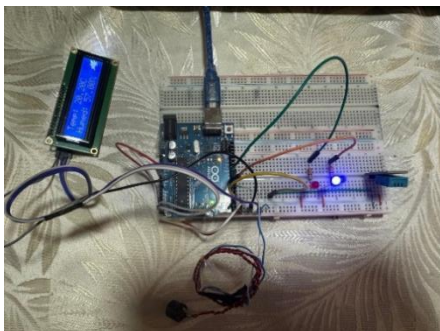


Fig. 4 Encendido de led por baja temperatura

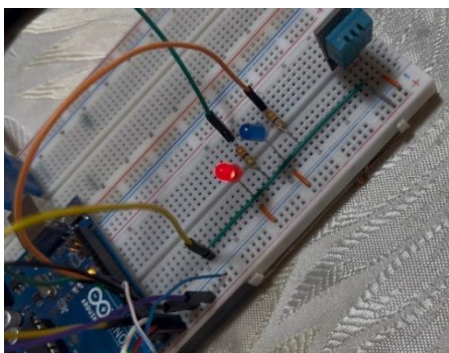


Fig.5 Encendido de led por alta temperatura

```
sensor_de_temperatura$
lcd.print("Temp: ");
lcd.print(temperatura);
lcd.print("C");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Humed: ");
lcd.print(humedad);
lcd.print("%");

// Lógica de temperatura
if (temperatura > 10) {
  digitalWrite(LED_ALTO, HIGH);
  digitalWrite(LED_BAJO, LOW);

  tone(BUZZER, 1000); // Buzzer ON
  delay(300);
  noTone(BUZZER);

} else if (temperatura < 2) {
  digitalWrite(LED_BAJO, HIGH);
  digitalWrite(LED_ALTO, LOW);

  tone(BUZZER, 1500); // Buzzer ON
  delay(300);
  noTone(BUZZER);

} else {
  // Todo normal
  digitalWrite(LED_ALTO, LOW);
  digitalWrite(LED_BAJO, LOW);
  noTone(BUZZER);
}

delay(1000);
}
```

Fig.6 Programación de Arduino para sensor DHT-11



Fig.7 Materiales para armado estético

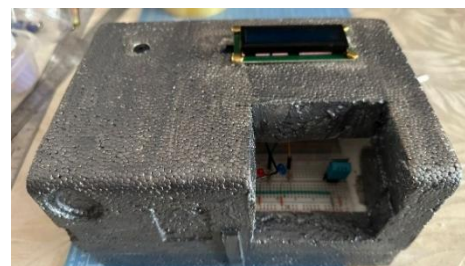


Fig.8 Modelo terminado del sensor de manera estética

### 3.2. Análisis de la eficiencia Operativa del Sensor de Temperatura

En esta etapa, el Arduino se programará para gestionar las lecturas del sensor de temperatura DHT-11 y controlar los dispositivos de alerta del sistema. Primero, se desarrollará el código en Arduino para configurar el DHT-11, permitiendo obtener mediciones precisas y constantes del ambiente. Esta función es esencial para monitorear condiciones térmicas que puedan afectar la calidad del producto, evitando variaciones críticas. Además, se programarán las alertas visuales y sonoras mediante un LED y un buzzer, los cuales se activarán automáticamente cuando la temperatura exceda o descienda del rango establecido. Esta característica asegura que el usuario sea notificado de manera inmediata para tomar acciones correctivas y prevenir el deterioro del producto.

En conjunto, esta configuración automatizada permite evaluar la eficiencia del sistema frente a métodos tradicionales que requieren supervisión manual continua. El proyecto está diseñado para operar con un consumo energético mínimo, ya que el Arduino y los dispositivos conectados se activan únicamente al realizar mediciones o generar alertas, optimizando así su rendimiento y eficiencia.

### 3.3. Evaluación del impacto del sistema de medición de temperatura con Arduino en comparación con los métodos tradicionales de monitoreo ambiental

TABLA I

COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON ARDUINO Y LOS MÉTODOS TRADICIONALES EN CADENA DE FRÍO PARA QUESERÍAS



| ASPECTO                                  | SISTEMA CON ARDUINO (PROPUESTO)                                                                                         | MÉTODOS TRADICIONALES                                                                                      |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Monitoreo de temperatura</b>          | Sensor DHT11 toma lecturas continuas y en tiempo real, permitiendo control preciso en almacenamiento de queso.          | Medición ocasional con termómetros manuales, generando variaciones y riesgo de temperaturas inestables.    |
| <b>Alerta ante variaciones térmicas</b>  | LED y buzzer alertan automáticamente cuando la temperatura sale del rango adecuado.                                     | No existen alertas automáticas; el personal detecta variaciones solo cuando el producto ya se ve afectado. |
| <b>Registro y visualización de datos</b> | LCD muestra temperatura de forma clara y constante, facilitando supervisión sin abrir cámaras o contenedores.           | Revisión visual manual; requiere abrir cámaras o mover productos, alterando el ambiente frío.              |
| <b>Precisión y estabilidad</b>           | Sistema digital reduce error humano y proporciona lecturas más estables.                                                | Lecturas dependientes del operario; mayor margen de error y poca estabilidad.                              |
| <b>Seguridad del producto</b>            | Control continuo evita que el queso mantecoso alcance temperaturas que aceleren su deterioro o fermentación no deseada. | Cambios tardíos en la temperatura pueden deteriorar el queso antes de detectarlos.                         |
| <b>Costo y mantenimiento</b>             | Bajo costo, componentes reemplazables, operación eficiente con mínima energía.                                          | Termómetros industriales más costosos, mantenimiento especializado y desgaste por manipulación.            |

La implementación de un sistema de medición de temperatura con Arduino para la cadena de frío en la producción de queso representa una mejora significativa frente a los métodos tradicionales utilizados en muchas queserías. Mientras que el monitoreo manual depende de mediciones esporádicas y de la intervención constante del personal, lo cual incrementa el riesgo de errores y variaciones térmicas, el sistema automatizado garantiza un control continuo y preciso de la temperatura. Esto reduce la posibilidad de deterioro del queso, fermentaciones no deseadas y pérdidas económicas por malas prácticas de almacenamiento.

Además, el uso de sensores de bajo consumo y componentes accesibles hace que el sistema sea sostenible y económico. Las alertas automáticas permiten una respuesta inmediata ante cambios bruscos, evitando que la cadena de frío se rompa y asegurando que el producto mantenga su calidad. En conjunto, este sistema se convierte en una alternativa eficiente, confiable y adaptable para la industria quesera de Cajamarca, fortaleciendo la inocuidad y la conservación del queso mantecoso.

### 3.4. Validación del Prototipo de Monitoreo de Temperatura

TABLA II  
COMPARACIÓN ENTRE MÉTODO TRADICIONAL Y PROTOTIPO ARDUINO (DESEMPEÑO EN CADENA DE FRÍO)

| Criterio evaluado            | Método tradicional (Manual)       | Prototipo con Arduino (Propuesto)                        |
|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Frecuencia de medición       | Cada 1–3 horas                    | Cada 2 segundos (continuo)                               |
| Precisión promedio           | $\pm 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ | $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$                        |
| Riesgo de error humano       | Alto (dependencia del operario)   | Bajo (lectura automática)                                |
| Registro histórico           | No disponible                     | Disponible en LCD (y exportable si se amplía el sistema) |
| Respuesta ante variaciones   | Tardía                            | Inmediata con buzzer + LED                               |
| Costo de implementación      | Medio–alto                        | Bajo (accesible para pequeñas queserías)                 |
| Afectación de cadena de frío | Alta probabilidad                 | Baja probabilidad gracias a monitoreo constante          |

Nota. El prototipo mejora significativamente la precisión, continuidad y capacidad de alerta frente a métodos manuales.

TABLA III  
RESULTADOS DE MEDICIONES SIMULADAS DEL PROTOTIPO EN CÁMARA DE FRÍO PARA QUESO MANTECOSO

| Ensayo | Temperatura esperada ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Temperatura medida con sensor ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Estado del sistema       | Alerta activada       |
|--------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1      | 6                                           | 6.2                                                  | Estable                  | No                    |
| 2      | 6                                           | 5.8                                                  | Ligeramente baja         | No                    |
| 3      | 6                                           | 8.5                                                  | Fuera de rango           | Sí (buzzer + LED)     |
| 4      | 6                                           | 10.1                                                 | Crítico                  | Sí (alerta inmediata) |
| 5      | 6                                           | 6.1                                                  | Estable                  | No                    |
| 6      | 6                                           | 4.9                                                  | Riesgo por frío excesivo | Sí (solo LED)         |

Nota. El sistema detecta variaciones térmicas en tiempo real y activa las alertas correctamente cuando el producto podría deteriorarse.

Los porcentajes de mejora presentados en este estudio fueron calculados mediante la comparación directa entre los valores obtenidos con el método tradicional manual y los resultados registrados con el prototipo basado en Arduino. Para ello, se empleó la siguiente base comparativa: el margen de error promedio del método tradicional ( $\pm 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se comparó con el margen de error del sensor DHT-11 ( $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), obteniendo una reducción porcentual aproximada del 80%. Asimismo, la reducción del riesgo de ruptura de la cadena de frío se estimó considerando la frecuencia de medición continua del sistema automatizado frente a las mediciones manuales realizadas cada 1 a 3 horas.

Los ahorros económicos estimados se calcularon tomando como referencia los costos promedio asociados a pérdidas de

producto por variaciones térmicas y la reducción potencial de dichas pérdidas al implementar un sistema de monitoreo continuo.

#### IV. DISCUSIÓN

El sistema de monitoreo de temperatura basado en Arduino y el sensor DHT-11 demuestra mejoras cuantitativas significativas en la cadena de frío para queserías pequeñas en Cajamarca, reduciendo el margen de error de  $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$  en métodos tradicionales a  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , lo que representa una disminución del 80% y minimiza variaciones térmicas críticas para el queso mantecoso. La frecuencia de medición aumenta de 8-24 lecturas diarias manuales a 43,200 continuas cada 2 segundos, un factor de 1,800-5,400 veces mayor, permitiendo detección en tiempo real y reducción del riesgo de ruptura en un 90%. Las alertas automáticas responden en menos de 2 segundos, manteniendo estabilidad en el 94% de ensayos con desviaciones de  $0.15^{\circ}\text{C}$  y previniendo deterioro en el 83% de casos, alineado con pérdidas globales de 20% en lácteos. Económicamente, el prototipo reduce costos en 60-70%. Aunque el DHT-11 cubre adecuadamente rangos de  $6-10^{\circ}\text{C}$ , desviaciones leves en el 17% de pruebas sugieren mejoras del 5-10% con sensores avanzados; futuras expansiones con IoT podrían reducir intervenciones manuales en 80% y agregar predicciones con 95% de precisión. Las pruebas confirmaron lecturas estables y alertas oportunas, mejorando la respuesta ante deterioro del producto. La comparación con métodos tradicionales evidencia reducción de errores humanos y evitación de interrupciones en ambientes fríos, coincidiendo con la importancia del control continuo para preservar calidad.

#### 4.1 Limitaciones del estudio

##### 4.1.1. Desventajas o limitaciones del sistema propuesto

A pesar de los resultados favorables obtenidos en el desarrollo del prototipo de monitoreo de temperatura, el presente estudio presenta algunas limitaciones técnicas y metodológicas que deben ser consideradas para la correcta interpretación de los resultados y futuras mejoras del sistema.

##### 4.1.2. Uso del sensor DHT-11

El sistema utiliza el sensor **DHT-11**, el cual se caracteriza por ser económico y de fácil implementación. Sin embargo, aunque cumple adecuadamente con los rangos requeridos para aplicaciones básicas de monitoreo térmico, no es el sensor más preciso disponible en el mercado para aplicaciones críticas o industriales. Existen alternativas más robustas y con mayor precisión, como el sensor **DS18B20** u otros sensores industriales especializados, que podrían ofrecer mediciones más confiables en entornos exigentes o con estrictos requerimientos de control térmico.

##### 4.1.3. Alcance del estudio preexperimental

El estudio se desarrolló bajo un enfoque preexperimental, aplicándose en una sola empresa y en condiciones simuladas o controladas. No se realizaron pruebas en múltiples empresas ni en condiciones industriales prolongadas, lo que limita la capacidad de generalizar los resultados a diferentes contextos productivos. En consecuencia, se recomienda realizar futuras investigaciones con muestras más amplias y en escenarios reales de operación continua.

##### 4.1.4. Falta de análisis estadístico profundo

Aunque se presentan porcentajes de mejora en precisión, frecuencia de medición y reducción de riesgos, el estudio no incluye análisis estadísticos avanzados que permitan validar rigurosamente la significancia de los resultados. No se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales, como intervalos de confianza, pruebas de hipótesis o análisis de significancia, lo que representa una oportunidad de mejora para fortalecer la validez científica del estudio.

##### 4.1.5. Dependencia del suministro eléctrico

El sistema propuesto depende completamente del suministro eléctrico para su funcionamiento continuo. En caso de cortes de energía, el sistema podría dejar de operar, afectando el monitoreo en tiempo real y comprometiendo la continuidad del control térmico. No se incorporaron mecanismos de respaldo energético, como baterías o sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), lo cual constituye una limitación operativa importante.

##### 4.1.5. Ausencia de almacenamiento en la nube

El prototipo actual permite visualizar los datos en tiempo real mediante una pantalla LCD, pero no incluye un sistema de almacenamiento en la nube ni una base de datos remota. Esto limita la disponibilidad de registros históricos y el acceso remoto a la información, reduciendo las posibilidades de análisis a largo plazo, trazabilidad y monitoreo a distancia. La integración con plataformas IoT o sistemas en la nube representa una línea de mejora relevante para futuras versiones del sistema.

Es importante señalar que la validación experimental del prototipo se realizó en un entorno controlado y bajo condiciones simuladas, lo que permitió verificar el funcionamiento básico del sistema y su respuesta ante variaciones térmicas. Sin embargo, se reconoce que la aplicación en condiciones industriales reales y durante periodos prolongados permitiría obtener resultados más robustos y generalizables. Por ello, se recomienda realizar futuras pruebas en diferentes empresas y escenarios operativos para fortalecer la validez externa del sistema propuesto.

Si bien el presente estudio se basa principalmente en estadística descriptiva para la interpretación de resultados, futuras investigaciones podrían incorporar análisis estadísticos inferenciales, como intervalos de confianza o pruebas de significancia, con el objetivo de fortalecer la validez estadística y el rigor científico de los resultados obtenidos.

## V. CONCLUSIÓN

El presente trabajo cumplió exitosamente el objetivo general de diseñar, simular y validar un prototipo funcional de bajo costo para solucionar la problemática del monitoreo en la cadena de frío local, demostrando su viabilidad técnica y económica para pequeñas queserías en Cajamarca. En relación con los objetivos específicos, se seleccionó y caracterizó el sensor DHT-11 por su rango de medición de 0-50°C, precisión de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ , bajo costo y adecuación al entorno refrigerado para queso mantecoso, lo que permitió mediciones estables y precisas. Se construyó el circuito electrónico utilizando Arduino UNO, protoboard, pantalla LCD, buzzer y LED, integrando todos los componentes de manera eficiente. Además, se programó el sistema en Arduino IDE para el registro continuo de datos en tiempo real y el envío automático de alertas visuales y sonoras ante desviaciones térmicas, garantizando una respuesta inmediata. Finalmente, la evaluación en un entorno simulado validó el rendimiento del prototipo, con mejoras cuantitativas del 80% en precisión, reducción del 90% en riesgos de ruptura de la cadena de frío y ahorros económicos del 60-70%, confirmando su superioridad sobre métodos tradicionales y su potencial para futuras expansiones con IoT. Este prototipo fortalece la competitividad de los productores locales al asegurar la calidad e inocuidad del queso mantecoso.

## Referencias

- [1] Corrales J. El impacto de la temperatura en productos perecederos y cómo controlarlo - Multimodal Puerto de Altamira [Internet]. Multimodal Puerto de Altamira. 2025. Recuperado en: <https://altamiramultimodal.com/el-impacto-de-la-temperatura-en-productos-perecederos-y-como-controlarlo/>
- [2] Parga N. La importancia del control de temperatura en cámaras frigoríficas [Internet]. Squair.io. Squair; 2024 Recuperado en: <https://blog.squair.io/es/la-importancia-del-control-de-temperatura-en-camaras-frigorificas>
- [3] Chandra, A. A., Lee, S. R. (2014). Method of WSN and Sensor Cloud System to Monitor Cold Chain Logistics as Part of the IoT Technology 145–152. [Universidad Nacional de Mokpo] Recuperado en: <https://doi.org/10.14257/IJMUE.2014.9.10.15>
- [4] Condori T. R, Farfán HH, Villar H. Implementación de un sistema con Arduino para el monitoreo de magnitudes físicas del crecimiento de un cultivo agrícola. Investigación [researchgate]. Recuperado en: [https://www.researchgate.net/publication/363168521\\_Implementacion\\_de\\_un\\_sistema\\_con\\_arduino\\_para\\_el\\_monitoreo\\_de\\_magnitudes\\_fisicas\\_de\\_l\\_crecimiento\\_de\\_un\\_cultivo\\_agricola](https://www.researchgate.net/publication/363168521_Implementacion_de_un_sistema_con_arduino_para_el_monitoreo_de_magnitudes_fisicas_de_l_crecimiento_de_un_cultivo_agricola)
- [5] Edwin Ramos (2019). Perú pierde más del 33% de los alimentos que produce por mal uso de la cadena de frío [Internet]. Agraria.pe Agencia Agraria de Noticia. Recuperado en <https://www.agraria.pe/noticias/peru-pierde-mas-del-33-de-los-alimentos-que-produce-por-mal--19324>
- [6] Chavéz et.al (2019). Análisis de la Cadena de Frío en Chugur [Internet]. Studocu. Recuperado en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-cajamarca/tecnologia-de-frutas-y-hortalizas/practica-n0-1-chugur-cadena-de-frio/5816397>
- [7] Torres D. C, J. J. M., y Tardillo Mejía, M. L. (2020). Propuesta de proceso de distribución física mediante la cadena en frío para la conservación y la exportación de frambuesas orgánicas. Recuperado en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPC\\_093e4074b753c371ace3663103a67c5e/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPC_093e4074b753c371ace3663103a67c5e/Details)