



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**TEMA:**

“SISTEMA IOT DE MONITOREO EN TIEMPO REAL PARA LA  
IDENTIFICACIÓN TEMPRANA DE NEUMONÍA EN GANADO BOVINO.”

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en  
Telecomunicaciones**

**Línea de investigación:** Producción industrial y tecnología sostenible.

**AUTOR:**

Johan Andrés Pozo Montalvo

**DIRECTOR:**

Msc. Jaime Roberto Michilena Calderón

**Ibarra, Ecuador 2026**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN  
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0401774799		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Pozo Montalvo Johan Andrés		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Huaca, Calle 8 de diciembre y Juan Montalvo		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:japozom@utn.edu.ec">japozom@utn.edu.ec</a> / <a href="mailto:andrespozomontalvo@gmail.com">andrespozomontalvo@gmail.com</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	06-2973-504	<b>TELF. MOVIL</b>	0979466713

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	SISTEMA IOT DE MONITOREO EN TIEMPO REAL PARA LA IDENTIFICACIÓN TEMPRANA DE NEUMONÍA EN GANADO BOVINO.
<b>AUTOR (ES):</b>	JOHAN ANDRÉS POZO MONTALVO
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	2026-01-30
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.
<b>DIRECTOR:</b>	MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN.
<b>ASESOR:</b>	MSC. FABIAN GEOVANNY CUZME RODRIGUEZ

## **2. CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días, del mes de enero de 2026

**EL AUTOR:**

Johan Andrés Pozo Montalvo

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR**

Ibarra, 30 de enero de 2026

MSc. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

*(f)* .....

*MSc. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERON*

*C.C.: 1002198438*

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo con todo mi corazón a mis padres, Irma y Bolívar, quienes han sido mi principal fuente de inspiración, fortaleza y amor incondicional. Gracias por su esfuerzo incansable, por cada sacrificio silencioso y por estar presentes en cada paso de este camino. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible.*

*A mi hermano Antony, por ser mi compañero de vida y por brindarme siempre palabras de aliento cuando más las necesitaba. Tu confianza en mí me dio fuerzas para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.*

*A mi abuelito Horacio, por su ejemplo de vida, su apoyo constante y su cariño inagotable. Tu presencia ha sido fundamental en este proceso, y siempre llevaré en mi corazón tus enseñanzas.*

*A mis tíos Arturo y Marcia, quienes siempre han estado a mi lado, apoyándome con generosidad, consejos y afecto. Su compañía y respaldo han sido un pilar importante para alcanzar este logro.*

*Pozo Montalvo Johan Andrés.*

## AGRADECIMIENTO

*Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, por su amor, paciencia y los valores que me han inculcado, los cuales han sido fundamentales en mi formación personal y profesional. A mi hermano, por su motivación constante y apoyo incondicional, siendo un impulso importante para no rendirme. De igual manera, a mi abuelito Horacio, por su cariño, su presencia permanente y sus palabras de aliento en cada etapa de mi vida, y a mis tíos Arturo y Marcia, por su respaldo, apoyo emocional y por creer siempre en mí.*

*Extiendo también un especial agradecimiento al MSc. Jaime Michilena, director de este trabajo, por su acompañamiento, orientación y compromiso durante cada fase del proyecto, así como al MSc. Fabián Cuzme, asesor de tesis, por su valioso aporte, tiempo y dedicación que hicieron posible el desarrollo exitoso de esta investigación.*

*Gracias a todos quienes, directa o indirectamente, han sido parte de este logro. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo y cada momento compartido quedará siempre en mi memoria y mi gratitud.*

*Pozo Montalvo Johan Andrés.*

## RESUMEN EJECUTIVO

La ganadería bovina desempeña un papel crucial para la economía del cantón San Pedro de Huaca, sin embargo, enfrenta una amenaza persistente: la neumonía bovina, una patología de alta incidencia y consecuencias sanitarias y productivas significativas. Frente a esta problemática, la presente investigación desarrolló un sistema de monitoreo electrónico basado en IoT para la detección temprana de neumonía en bovinos, contribuyendo a mejorar el control sanitario del hato. Se aplicó una metodología cuantitativa, descriptiva y de campo, que incluyó encuestas a ganaderos de la comunidad El Rosal, recolección de datos fisiológicos mediante un nodo móvil con sensores integrados, desarrollo de una plataforma web de visualización y pruebas en un caso real.

Los resultados revelaron que más del 90% de los encuestados reconocen la neumonía como una de las enfermedades más recurrentes, el 100% considera fundamental monitorear el estado de salud del ganado, y el 91% prioriza la autonomía energética del sistema. El dispositivo construido demostró eficacia en la medición de la temperatura, así mismo el ritmo cardíaco, tos y nivel de actividad, generando alertas automáticas según parámetros establecidos. Las pruebas de campo confirmaron la viabilidad técnica y aceptación del sistema, el cual representa una solución innovadora y de bajo costo para zonas rurales con limitada infraestructura tecnológica. En conclusión, la investigación permitió validar un sistema funcional que puede reducir riesgos sanitarios, mejorar la toma de decisiones ganaderas y aportar al bienestar animal desde una perspectiva tecnológica y contextualizada.

**Palabras clave:** Neumonía bovina, IoT, monitoreo en tiempo real, ganadería, Sistema, salud animal.

## ABSTRACT

Cattle farming plays a crucial role in the rural economy of the San Pedro de Huaca canton; however, it faces a persistent threat: bovine pneumonia, a highly prevalent disease with significant health and productivity consequences. To address this issue, the present research aimed to develop an IoT-based electronic monitoring system for the early detection of pneumonia in cattle, contributing to improved herd health management. A quantitative, descriptive, and field-based methodology was applied, including surveys conducted with farmers from the El Rosal community, physiological data collection through a mobile node with integrated sensors, the development of a web-based visualization platform, and testing in a real-life scenario.

The results showed that over 90% of respondents identified pneumonia as one of the most recurring diseases, 100% considered health monitoring essential, and 91% prioritized energy autonomy in the system. The developed device proved effective in measuring temperature, heart rate, coughing, and activity levels, generating automatic alerts based on predefined parameters. Field tests confirmed the system's technical feasibility and acceptance, representing an innovative and low-cost solution for rural areas with limited technological infrastructure. In conclusion, the research validated a functional system capable of reducing health risks, enhancing livestock decision-making, and contributing to animal welfare from a technological and context-sensitive perspective.

**Keywords:** Bovine pneumonia, IoT, real-time monitoring, livestock, system, animal health.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I: ANTECEDENTES .....	17
1.1 Introducción .....	17
1.2 Problema de investigación .....	18
1.3 Objetivos. ....	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos .....	21
1.4 Alcance.....	22
1.5 Justificación.....	25
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	29
2.1 Antecedentes investigativos .....	29
2.2 Fundamentación conceptual.....	39
2.2.1 La ganadería .....	39
2.2.2 Tipos de ganadería.....	40
2.2.3 Ganadería ovina .....	40
2.2.4 Ganadería porcina.....	41
2.2.5 Ganadería equina. ....	41
2.2.6 Ganadería vacuna o bovina.....	41
2.2.7 Ganadería bovina. ....	42
2.2.8 Ganadería bovina en Ecuador.....	42
2.2.9 Ganadería por región del Ecuador .....	46
2.2.10 Ganadería bovina de la provincia del Carchi.....	48
2.2.11 Complejo respiratorio bovino .....	50
2.2.12 Internet de las cosas (IoT) .....	59
CAPÍTULO III: ANÁLISIS SITUACIONAL Y DISEÑO DEL SISTEMA .....	69
3.1 Descripción General del Sistema .....	69
3.2 Análisis de la situación actual .....	70

3.2.1 Cantón San Pedro de Huaca .....	71
3.2.2 Levantamiento de información .....	74
3.2.3 Población de estudio .....	75
3.2.4 Encuesta.....	75
3.2.5 Análisis de resultados .....	78
3.3 Requisitos y requerimientos .....	79
3.3.1 Abreviaturas de los requerimientos .....	79
3.3.2 Requerimientos de Stakeholders .....	80
3.3.3 Requerimientos de Sistema .....	83
3.3.4 Requerimientos de arquitectura .....	87
3.3.5 Elección de Hardware y Software para el Sistema.....	91
3.4 Diseño del Sistema .....	113
3.4.1 Arquitectura del Sistema .....	113
3.5.2 Diagrama de bloques general .....	115
3.5.3 Bloque de toma de datos.....	116
3.5.4 Bloque Recepción de datos.....	122
3.5.5 Bloque de tratamiento de la información. ....	124
3.5.6 Bloque de visualización.....	125
3.5.7 Diseño del collar contenedor del Sistema de monitoreo .....	128
<b>CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACIÓN, RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>133</b>
4.1 Nodo Móvil .....	133
4.1.1 Programación del nodo móvil.....	133
4.1.2 Implementación del Nodo Móvil.....	139
4.1.3 Ubicación de Nodo Móvil .....	140
4.2 Nodo Central o Gateway .....	141
4.2.1 Programación del Nodo Central o Gateway .....	141
4.2.2 Implementación del Nodo Central o Gateway .....	145

4.2.3 Ubicación del Gateway.....	146
4.3 Aplicación Web.....	147
4.3.1 Programación del Dashboard.....	147
4.3.2 Dashboard.....	155
4.4 Verificación del Sistema .....	157
4.4.1 Cronograma de pruebas .....	157
4.4.2 Verificación del funcionamiento del nodo móvil.....	158
4.4.3 Verificación del funcionamiento del nodo central o Gateway .....	160
4.4.4 Tratamiento y envío de la información.....	161
4.4.5 Generación de alertas.....	166
4.4.6 Prueba en caso de neumonía.....	167
4.4.7 Confiabilidad del sistema .....	172
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	173
Conclusiones .....	173
Recomendaciones.....	175
BIBLIOGRAFÍA .....	177
ANEXOS .....	181
Anexo 1. Encuesta.....	181
Anexo 2. Tabulación de encuestas .....	185
Anexo 3. Ficha de requerimientos.....	204
Anexo 4. Código nodo móvil.....	215
Anexo 5. Código nodo central (GATEWAY).....	220

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Existencia de ganado a nivel nacional (en miles de dólares).....	44
Tabla 2. Existencia de ganado a nivel regional (en miles de dólares) .....	46
Tabla 3. Existencia de ganado de la provincia del Carchi (en miles de dólares).....	48
Tabla 4. Tipos de neumonías .....	54
Tabla 5. Sintomatología Clínica. ....	56
Tabla 6. Método y formato para el levantamiento de información de la situación actual.....	75
Tabla 7. Abreviatura de los requerimientos .....	80
Tabla 8. Lista de Stakeholders .....	80
Tabla 9. Requerimientos de Stakeholder .....	81
Tabla 10. Requerimientos del sistema .....	84
Tabla 11. Requerimientos de arquitectura .....	88
Tabla 12. Determinación del Sistema embebido adecuado para el nodo móvil y nodo central .....	92
Tabla 13. Características de Heltec WiFi LoRa 32 V3.....	94
Tabla 14. Selección del sensor de temperatura .....	95
Tabla 15. Características del sensor de temperatura .....	97
Tabla 16. Selección del sensor del acelerómetro .....	98
Tabla 17. Características del acelerómetro .....	99
Tabla 18. Selección del sensor de frecuencia cardíaca .....	100
Tabla 19. Características del sensor de frecuencia cardíaca .....	102
Tabla 20. Selección del sensor de sonido .....	103
Tabla 21. Características del sensor de sonido .....	104
Tabla 22. Elección de software de programación nodo móvil y nodo central.....	105
Tabla 23. Características del software de programación .....	107
Tabla 24. Elección de base de datos .....	108
Tabla 25. Características de la base de datos .....	109
Tabla 26. Elección de plataforma web.....	110
Tabla 27. Características de la aplicación para el desarrollo de aplicaciones web.....	112
Tabla 28. Consumo de voltaje y corriente del módulo móvil.....	121
Tabla 29. Ubicación de nodo móvil.....	140
Tabla 30. Cronograma de pruebas .....	158
Tabla 31. Validación de la comunicación Nodo Móvil – Gateway a diferentes distancias..	164

Tabla 32. Frecuencia y porcentaje Pregunta 1: ¿Considera que la neumonía es una enfermedad común en el ganado bovino?.....	185
Tabla 33. Frecuencia y porcentaje pregunta 2: ¿Ha tenido casos de neumonía en su ganado en el último año?.....	186
Tabla 34. Frecuencia y porcentaje pregunta 3: ¿Qué método utiliza actualmente para monitorear la salud de su ganado? .....	187
Tabla 35. Frecuencia y porcentaje pregunta 4: ¿En su experiencia, qué grupo de edad del ganado bovino considera que es más vulnerable a desarrollar neumonía?.....	189
Tabla 36. Frecuencia y porcentaje pregunta 5: ¿Cuáles son los síntomas más comunes que ha observado en animales afectados por neumonía bovina? (Puede marcar varias) .....	190
Tabla 37. Frecuencia y porcentaje pregunta 6: ¿Qué impacto ha tenido la neumonía en su ganado? (Puede marcar varias) .....	192
Tabla 38. Frecuencia y porcentaje pregunta 7: ¿Qué costos asociados a la neumonía bovina ha tenido que enfrentar como ganadero? (Puede marcar varias) .....	194
Tabla 39. Frecuencia y porcentaje pregunta 8: ¿Conoce Ud. la importancia de la detección temprana de neumonía en el ganado bovino? .....	196
Tabla 40. Frecuencia y porcentaje pregunta 9: ¿Dispone usted de algún dispositivo electrónico con acceso a Internet? (Puede marcar varias) .....	197
Tabla 41. Frecuencia y porcentaje pregunta 10: ¿Le gustaría contar con un Sistema de monitoreo en tiempo real que detecte de manera temprana síntomas de neumonía en su ganado? .....	199
Tabla 42. Frecuencia y porcentaje pregunta 11: ¿Con qué frecuencia le gustaría recibir alertas sobre el estado de salud de su ganado? .....	200
Tabla 43. Frecuencia y porcentaje pregunta 12: ¿Qué tamaño preferiría para los dispositivos a instalarse en el ganado?.....	202
Tabla 44. Descripción de los requerimientos.....	205
Tabla 45. Requerimiento de Stakeholders .....	205
Tabla 46. Requerimiento de Sistema .....	207
Tabla 47. Requerimiento de Sistema .....	210

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura del sistema propuesto .....	24
Figura 2. Existencia de ganado a nivel nacional (en porcentajes) .....	45
Figura 3. Existencia de ganado a nivel regional (en porcentajes).....	47
Figura 4. Existencia de ganado de la provincia del Carchi (en porcentajes) .....	49
Figura 5. Localización del Cantón San Pedro de Huaca en la provincia del Carchi .....	72
Figura 6. Delimitación urbana y rural del Cantón San Pedro de Huaca. ....	73
Figura 7. Arquitectura del Sistema .....	114
Figura 8. Arquitectura del Sistema basada en capas.....	114
Figura 9. Diagrama de bloques general. ....	115
Figura 10. Bloque de toma de datos.....	116
Figura 11. Diagrama circuital .....	117
Figura 12. Diagrama de conexión del nodo móvil.....	118
Figura 13. Diseño de PCB terminada .....	119
Figura 14. Bloque Recepción de datos .....	122
Figura 15. Bloque tratamiento de la información .....	124
Figura 16. Estructura de base de datos.....	125
Figura 17. Bloque de visualización.....	126
Figura 18. Visualización de información en plataforma web .....	126
Figura 19. Visualización de información en plataforma web .....	127
Figura 20. Tela lona impermeable. ....	129
Figura 21. Fabricación del collar. ....	130
Figura 22. Colocación de cremallera en el collar. ....	131
Figura 23. Elaboración final del collar. ....	131
Figura 24. Importación de librerías.....	134
Figura 25. Configuración del módulo LoRa .....	135
Figura 26. Lectura del sensor de Temperatura.....	136
Figura 27. Lectura del sensor de sonido .....	137
Figura 28. Lectura del sensor de movimiento.....	138
Figura 29. Envío de paquetes LoRa.....	139
Figura 30. Sistema integrado .....	139
Figura 31. Implementación final del collar .....	140
Figura 32. Importación de librerías.....	142

Figura 33. Configuración WiFi y conexión a Firebase.....	142
Figura 34. Recepción de paquetes LoRa.....	143
Figura 35. Envío de datos a Firebase .....	144
Figura 36. Implementación de Gateway .....	145
Figura 37. Ubicación del gateway. ....	146
Figura 38. Ubicación del Gateway.....	146
Figura 39. Estructura de archivos del dashboard .....	148
Figura 40. Librería del dashboard .....	149
Figura 41. Etiquetado de datos de sensores .....	150
Figura 42. Función de selección de animal.....	151
Figura 43. Validación de animal seleccionado .....	151
Figura 44. Conexión a Realtime Database.....	152
Figura 45. Lectura de sensores en tiempo real.....	153
Figura 46. Evaluación de riesgos .....	154
Figura 47. Impresión gráfica de datos.....	155
Figura 48. Visualización de dashboard .....	156
Figura 49. Visualización gráfica de valores de sensores .....	157
Figura 50. Comprobación de funcionamiento del nodo móvil por cable. ....	159
Figura 51. Comprobación de funcionamiento del nodo móvil por cable en el bovino.....	159
Figura 52. Conexión de batería de litio al nodo móvil. ....	160
Figura 53. Verificación de funcionamiento del Gateway. ....	161
Figura 54. Comprobación de recepción de datos al Gateway y envío de valores a Firebase.....	162
Figura 55. Valores actualizados en la base de datos .....	162
Figura 56. Datos registrados en el dashboard .....	163
Figura 57. Validación a diferentes distancias .....	164
Figura 58. Alerta recibida en el bot de Telegram .....	167
Figura 59. Apoyo del Técnico veterinario Adrián Vizcaino.....	168
Figura 60. Prueba del Sistema en caso real de neumonía. ....	168
Figura 61. Valores de sensores en tiempo real. ....	169
Figura 62. Prueba del Sistema en caso real de neumonía. ....	170
Figura 63. Mensaje de alerta en el bot de Telegram. ....	171
Figura 64. Pregunta 1.....	185
Figura 65. Pregunta 2.....	186
Figura 66. Pregunta 3.....	188

Figura 67. Pregunta 4.....	189
Figura 68. Pregunta 5.....	191
Figura 69. Pregunta 6.....	193
Figura 70. Pregunta 7.....	194
Figura 71. Pregunta 8.....	196
Figura 72. Pregunta 9.....	197
Figura 73. Pregunta 10.....	199
Figura 74. Pregunta 11.....	200
Figura 75. Pregunta 12.....	202

## **Capítulo I**

### **Antecedentes**

En el presente capítulo se realiza un análisis del problema de investigación en el que se detalla algunos datos importantes para tener una visión general del ambiente del trabajo que se va a realizar. Además, se presentan los objetivos planteados lo cual va desde lo más general hasta metas específicas a cumplir en el presente este proyecto.

#### **1.1. Introducción**

La investigación abordará una problemática crítica que afecta al sector ganadero del cantón San Pedro de Huaca, ubicado en la provincia del Carchi, donde la actividad pecuaria representa un pilar económico para muchas familias. Particularmente, se examinará la incidencia de enfermedades respiratorias en el ganado bovino, con énfasis en la neumonía, una patología de alta prevalencia que compromete tanto la salud animal como la rentabilidad de los sistemas productivos. Este trabajo partirá de la observación directa del entorno productivo local, donde se evidenciarán deficiencias en el diagnóstico oportuno de síntomas clínicos, lo que derivará en pérdidas económicas considerables, disminución en los índices de productividad y, en casos severos, mortalidad animal

En este contexto, se proyectará la implementación de un sistema tecnológico basado en el Internet de las Cosas (IoT), orientado a monitorear en tiempo real parámetros fisiológicos clave como la temperatura corporal, frecuencia cardíaca, actividad física y frecuencia de tos. A través de sensores biométricos integrados y conectividad digital, se generarán alertas tempranas que permitirán identificar indicios clínicos compatibles con neumonía en su fase inicial. El proyecto se aplicará de forma piloto en el sector El Rosal, donde se seleccionará una muestra de bovinos pertenecientes a pequeños hatos familiares, con el objetivo de probar la efectividad de la solución propuesta.

Este estudio se alinear  con el marco constitucional del Buen Vivir, promoviendo el uso de tecnologías emergentes para garantizar el bienestar animal, fortalecer la sostenibilidad agropecuaria y proteger los medios de vida de las comunidades rurales. Asimismo, aportará a la innovación tecnológica en el ámbito agropecuario, fomentando la integración entre la ingeniería y la producción animal. La investigación constituirá un aporte valioso para la mejora de la gestión sanitaria del ganado, facilitando decisiones informadas y acciones preventivas a través de un enfoque automatizado y accesible.

## **1.2. Problema de investigación**

La actividad ganadera representa una de las principales fuentes económicas en la provincia del Carchi. Según datos del Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador (SIPA, 2024), en Ecuador existen aproximadamente 4'044.549 cabezas de ganado bovino, de las cuales 109.752 se encuentran en esta provincia del Carchi con una población total de 172.728 habitantes, se estima que 24.949 personas lo que equivale al 34,05 % se dedican a actividades relacionadas con la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. En el caso específico del cantón San Pedro de Huaca, que cuenta con 7.937 habitantes, en donde 5.413 representan a las personas en edad de trabajo siendo el 68.20%, por lo tanto, 1.645 personas est n vinculadas a estas mismas actividades de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, representando el 30,39 % de la población en edad para trabajar, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022 ). De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón, la ganadería ha cobrado tal relevancia que la producción lechera ha superado a la de papa, debido a que ofrece mayor estabilidad y seguridad financiera para las familias productoras (GAD-San Pedro de Huaca, 2023).

El problema se centra en la necesidad de abordar los desafíos relacionados con la salud y el bienestar del ganado bovino. Este problema se enmarca en un contexto más amplio de la

industria ganadera, donde la eficiencia en la gestión del ganado es crucial para la producción de alimentos y la sostenibilidad de la industria. Para fortalecer e impulsar el crecimiento del sector ganadero en la provincia del Carchi, es fundamental llevar a cabo diversas acciones, como la inversión en tecnologías aplicadas directamente en las granjas y el impulso de campañas para optimizar la gestión zootécnica. No obstante, un aspecto clave señalado por el 70% de los encuestados del Centro Agrícola de la ciudad de Tulcán es la necesidad urgente de implementar talleres de capacitación dirigidos a quienes trabajan directamente con el ganado. Esta formación permitiría mejorar el manejo en campo y reducir las tasas de mortalidad bovina, lo que se traduce en una disminución de las pérdidas económicas para los productores.

El bienestar del ganado bovino es un pilar fundamental para garantizar una producción eficiente de carne y productos lácteos. Cuando los animales enferman, especialmente por afecciones respiratorias, se pone en riesgo no solo su salud, sino también la estabilidad económica de las actividades ganaderas. La neumonía, por ejemplo, es una de las enfermedades más comunes durante el proceso de crianza, particularmente en animales estabulados. Esta condición puede provocar la pérdida de ejemplares destinados al reemplazo, una reducción notable en la ganancia de peso diaria, un desarrollo físico deficiente al alcanzar la madurez, y un alto riesgo de contagio dentro del hato. Además, representa un gasto considerable en tratamientos veterinarios, lo que incrementa los costos operativos y reduce la rentabilidad del productor. Esta patología puede llegar a presentarse en la totalidad de los animales de un mismo lote y ocasionar una mortalidad de hasta el 25% (García et al., 2016).

La detección temprana de enfermedades en el ganado bovino es crucial para administrar tratamientos a tiempo. Sin embargo, el detectar sigue siendo complicado por la inespecificidad de los síntomas iniciales y la escasez de herramientas efectivas en áreas rurales. Además, se evidencia que mediante sensores biométricos y algoritmos de aprendizaje automático se pueden predecir enfermedades como la dermatitis en vacas lecheras con alta precisión incluso antes de

que aparezcan síntomas clínicos. (Magaña, 2023). De acuerdo con la Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal, la neumonía se considera la enfermedad infecciosa de mayor relevancia en el ganado bovino. Esta afección representa el 90,2% de los tratamientos con antibióticos en bovinos de producción lechera y de engorde, y puede provocar la muerte de hasta el 50% de los rumiantes afectados. Esta problemática sanitaria constituye un desafío importante para los ganaderos, ya que genera considerables pérdidas económicas (Snowder, 2017).

La falta de sistemas de monitoreo en tiempo real con tecnologías IoT restringe a los ganaderos para identificar tempranamente enfermedades respiratorias como la neumonía, una de las más frecuentes y mortales en el ganado bovino. Esta restricción impacta directamente en la salud animal, la productividad y los gastos operativos del sistema ganadero. Diversas investigaciones señalan que la Enfermedad Respiratoria Bovina (BRD) constituye una de las principales causas de enfermedad y muerte en terneros. Se estima que afecta aproximadamente al 22% de los animales y genera importantes pérdidas económicas, asociadas a la disminución del crecimiento y a los elevados gastos en tratamientos veterinarios (Casella et al., 2024).

Frente a esta situación, estudios recientes han demostrado que la combinación de sensores fisiológicos y algoritmos de aprendizaje automático puede prever signos clínicos de neumonía hasta cuatro días antes, logrando una precisión diagnóstica mayor al 85 % (Bushby et al., 2024). Estas tecnologías favorecen intervenciones más rápidas, reducen el uso excesivo de antibióticos, mejoran el bienestar animal y aumentan la sostenibilidad en la producción ganadera. Por ello, resulta fundamental desarrollar un sistema IoT de monitoreo en tiempo real que permita a los ganaderos de San Pedro de Huaca detectar de manera temprana la neumonía en bovinos.

En la ganadería, la implementación progresiva del Internet de las Cosas (IoT) se evidencia en el control del ganado mediante collares electrónicos, que monitorizan constantemente su movimiento y actividades diarias aplicado al ámbito ganadero, facilitando

la recolección constante de datos sobre la salud de los animales, como temperatura corporal, frecuencia cardíaca, niveles de actividad o ubicación geográfica entre otros. Los datos transmitidos en tiempo real a los productores facilitan la identificación temprana de anomalías, lo que permite actuar con mayor rapidez frente a posibles enfermedades. Esto favorece el bienestar animal y contribuye a disminuir las pérdidas económicas. Además, la tecnología mejora la gestión de recursos y fortalece la toma de decisiones, al proporcionar una visión precisa del estado del ganado y de su entorno (Viteri et al., 2024).

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar un sistema IoT de monitoreo en tiempo real para la identificación temprana de neumonía en ganado bovino en el sector El Rosal del cantón San Pedro de Huaca, provincia del Carchi, con el fin de beneficiar a los ganaderos del sector.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar una revisión bibliográfica acerca de los complejos respiratorios bovinos (CBR), sintomatología de la neumonía en bovinos, sensores útiles en el monitoreo de condiciones físicas en animales, atributos y ventajas de los sistemas IoT en el ámbito de la ganadería.
- Diagnosticar el contexto actual, entorno a la tasa de mortalidad del ganado bovino a causa de la neumonía y acerca del uso de tecnología en la gestión ganadera en el sector rural El Rosal del cantón San Pedro de Huaca.
- Diseñar un prototipo de sistema IoT con sensores que monitoreen continuamente parámetros relevantes para la detección temprana de la neumonía en el ganado bovino.
- Realizar pruebas de campo para evaluar la efectividad del sistema desarrollado, con el propósito de comprobar su capacidad en un entorno real.

#### 1.4. Alcance

El presente trabajo de titulación tiene como propósito diseñar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real basado en IoT (Internet de las Cosas), orientado a la detección temprana de signos de neumonía en bovinos del sector rural el Rosal, ubicado en el cantón San Pedro de Huaca. Como parte de la propuesta, se desarrollará también una plataforma web que brindará al ganadero acceso inmediato a la información del estado de salud de sus animales. La funcionalidad central del sistema es detectar oportunamente esta enfermedad respiratoria, permitiendo al productor actuar con rapidez y así reducir los altos costos que implica tratarla en fases avanzadas, además de evitar posibles pérdidas por mortalidad.

En el desarrollo del trabajo se aplicará la metodología en cascada, propuesta por Winston Royce en 1970, la cual organiza de manera secuencial y estructurada las etapas necesarias para la creación de un sistema. Este enfoque establece que cada fase debe completarse antes de iniciar la siguiente (Prieto, 2015). La metodología contempla las siguientes fases:

- Fase I: Definición y requerimientos.

En esta fase se llevará a cabo una revisión de fuentes bibliográficas con el propósito de recopilar información que contribuirá al desarrollo efectivo del sistema propuesto. En este proceso, se investigará acerca del complejo respiratorio bovino y la neumonía en el ganado bovino, incluyendo datos estadísticos sobre la tasa de infección en los hatos ganaderos y el porcentaje de mortalidad asociado a esta patología. Además, se llevará a cabo una investigación sobre la aplicación de las tecnologías IoT, explorando sus características y ventajas. También se realizará un análisis de los dispositivos óptimos para la implementación del proyecto, asegurándose de que cumplan con los requisitos necesarios (Royce, 1970). Además, se llevará a cabo una búsqueda de investigaciones

previamente realizadas en la Universidad Técnica del Norte y a nivel nacional para contar con estudios de referencia que respalden este trabajo.

- Fase II: Análisis y diseño

Luego de realizada la primera fase y tener la información necesaria acerca de la patología en la que se centra este trabajo, la cual es la neumonía bovina, y teniendo en claro la tecnología y dispositivos que se van a utilizar en el diseño del sistema planteado se procese con la fase II de desarrollo, en la que se realiza el modelo que solucionará el problema planteado. El prototipo se desarrollará en base a una arquitectura de 4 capas. En la primera capa, conocida como capa física, se agrupan los dispositivos encargados de obtener información directamente del animal. Aquí se incluyen sensores especializados que recogen datos sobre temperatura corporal, frecuencia cardíaca, temperatura ambiental y respiración. Estos sensores están conectados a una placa de procesamiento que interpreta y organiza los datos antes de enviarlos al siguiente nivel (Royce, 1970).

La segunda capa, llamada capa de red, es la encargada de establecer la comunicación entre los sensores y los sistemas que procesarán la información. Se utilizan nodos de transmisión y dispositivos Gateway para garantizar que los datos lleguen sin interrupciones a las plataformas de análisis (Royce, 1970)

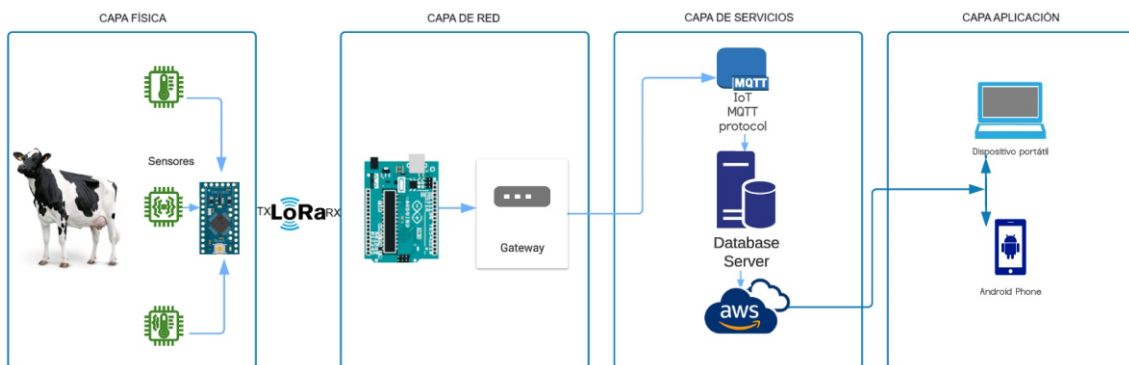
La tercera capa, o capa de servicios, comprende los recursos digitales necesarios para almacenar y procesar la información. Incluye una base de datos en la nube y un panel de visualización donde el productor puede acceder fácilmente a los registros desde cualquier dispositivo con conexión a internet (Royce, 1970).

Finalmente, la cuarta capa, denominada capa de aplicación, es el espacio donde se presentan los resultados al usuario final. A través de una interfaz web, el ganadero puede observar en tiempo real el estado de salud de su ganado. Además, se ha

incorporado un sistema de alertas por SMS que notifica automáticamente si se detecta un posible caso de neumonía, permitiendo una acción rápida y preventiva. Esta arquitectura tecnológica busca brindar al sector ganadero herramientas efectivas y accesibles para cuidar la salud animal y reducir pérdidas económicas (Royce, 1970).

**Figura 1.**

*Arquitectura del sistema propuesto*



*Nota:* Prototipo se lo divide en 4 capas anteriormente descritas

*Elaborado por:* El autor

Como se indica en la Figura 1, el desarrollo del prototipo se lo divide en 4 capas anteriormente descritas en las que se detalla los dispositivos que se van a utilizar a lo largo de la ejecución del proyecto hasta llegar al cumplimiento del objetivo general que es diseñar un sistema de monitoreo para la identificación temprana de neumonía en bovinos.

- Fase III: Implementación y prueba

En esta fase, se llevarán a cabo las pruebas del prototipo que se ha desarrollado. Estas pruebas se realizarán en campo, específicamente en ganado bovino ubicado en el sector rural de El Rosal, en el cantón San Pedro de Huaca. Una vez completado el sistema de monitoreo, se implementará inicialmente en un bovino mediante el uso de un collar o un arnés que cubra las áreas del cuello, espaldilla, pecho y falda del animal. Esta fase de prueba reviste una importancia fundamental, ya que a través de ensayos y

correcciones se determinará la colocación precisa del prototipo para garantizar la seguridad del sistema y prevenir cualquier tipo de daño. El tiempo de prueba del dispositivo debe ser considerable para que se pueda comprobar la eficiencia del prototipo (Royce, 1970).

- Fase IV: Análisis de rendimiento.

Una vez concluido el periodo de prueba del dispositivo, se avanzará a una nueva etapa clave del proyecto: la evaluación de su desempeño en condiciones reales, dentro del entorno ganadero. En esta fase, se analizará cómo responde el prototipo en campo, comparando los resultados arrojados por el sistema con los diagnósticos realizados por un técnico veterinario. Este proceso permitirá comprobar la precisión del dispositivo, identificar coincidencias entre ambos métodos y detectar posibles errores o limitaciones, con el fin de mejorar su funcionamiento antes de una implementación definitiva (Royce, 1970).

- Fase V: Operación y mantenimiento.

La quinta etapa de este proyecto se enfoca en asegurar que el sistema funcione de manera óptima a lo largo del tiempo. Para ello, se contemplan tareas clave como el mantenimiento regular, la reparación o reemplazo de componentes que presenten fallas, y la mejora del sistema mediante la incorporación de baterías más duraderas. También se resolverán los inconvenientes técnicos que puedan surgir en el prototipo y se recopilarán los datos generados durante su uso, lo cual permitirá evaluar su rendimiento y plantear posibles ajustes que prolonguen su vida útil y eficacia en el entorno ganadero (Royce, 1970).

## **1.5. Justificación**

La elección de este tema de trabajo de titulación surge a partir de la experiencia directa del autor, al observar los desafíos que enfrentan los ganaderos al lidiar con enfermedades de

complejo respiratorio. Al provenir de una región donde la mayoría de la población se dedica a la actividad agroganadera, se constata los graves problemas derivados de la detección tardía de la neumonía en bovinos, llevando esta problemática a pérdidas económicas significativas, especialmente en hatos ganaderos de menor tamaño, donde la mayoría de los animales se ve afectada y una parte de ellos lamentablemente perece.

Actualmente, la actividad ganadera en Ecuador se centra principalmente en la producción de ganado bovino, con un inventario cercano a los 4 millones de cabezas en todo el país, lo que la convierte en la actividad más representativa del sector pecuario. En segundo lugar, se encuentra la producción porcina, con más de 1,7 millones de animales registrados. En cuanto a las razas bovinas más comunes en el país, la Holstein representa casi la mitad del hato nacional con un 49,27%, seguida por los ejemplares mestizos (26,58%) y criollos (7,44%). Otras razas importantes incluyen Brown Swiss (4,76%), Jersey (2,91%) y Brahman (1,78%), con el restante 7,25% distribuido entre otras razas menores. Desde el punto de vista productivo, la ganadería lechera ocupa igualmente un lugar destacado. En 2024 se registró una producción diaria cercana a los 4 millones de litros de leche, evidenciando la relevancia de esta actividad para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico rural del país (SIPA, 2024).

En San Pedro de Huaca, la ganadería forma parte esencial de la vida cotidiana y la economía local. De sus 7.937 habitantes, alrededor de 5.413 se encuentran en edad laboral, y de ellos, 1.645 personas, es decir, casi un tercio se dedican a actividades relacionadas con la agricultura, la ganadería, la silvicultura y la pesca. Estos datos reflejan no solo la importancia productiva del sector agropecuario, sino también su papel en el sustento diario de muchas familias huaqueñas (INEC, 2022 ).

La tecnología ha cambiado diversos sectores, y el agropecuario no ha quedado fuera. Hoy en día, el uso de tecnologías digitales como aplicaciones móviles, sensores inteligentes, drones y sistemas robóticos está transformando la gestión agrícola y ganadera, facilitando

decisiones más precisas y efectivas. En el ámbito ganadero, estas innovaciones actúan como aliados clave ante retos como el control sanitario, el bienestar animal y la optimización de recursos. (Hasan et al., 2022) argumentan que la incorporación de tecnologías como inteligencia artificial, IoT y robótica en la agricultura promueve el avance de sistemas automatizados que monitorean variables fisiológicas, ambientales y productivas, favoreciendo prácticas agrícolas sostenibles, inteligentes y resilientes.

Dentro del marco del “Régimen del Buen Vivir”, contemplado en el Título VII de la Constitución de la República del Ecuador (2008), y particularmente en la Sección Octava referida a “Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales”

Se establece la importancia del desarrollo científico y tecnológico. En este sentido, el artículo 385, numeral 3, señala la obligación de impulsar tecnologías e innovaciones que fortalezcan la producción nacional, incrementen la eficiencia y la productividad, mejoren la calidad de vida de la población y aporten al cumplimiento del Buen Vivir (Constituyente, 2008).

El diseño del sistema de monitoreo en tiempo real para la detección de neumonía en ganado bovino se sustenta en lo establecido en el Capítulo V, Artículo 25, sobre bienestar animal

Donde se regulan aspectos relacionados con la infraestructura, la alimentación y el manejo de los animales, con el propósito de garantizar su comportamiento natural y su calidad de vida (Agrocalidad, 2012).

Desde esta perspectiva, el bienestar animal se convierte en un eje fundamental para el cuidado del ganado y respalda la implementación de un sistema de vigilancia en tiempo real orientado a la detección y prevención de enfermedades respiratorias.

La identificación oportuna de la neumonía contribuye a reducir el estrés en los animales y a acortar los periodos de recuperación, lo que se traduce en mejoras significativas tanto en su bienestar como en el rendimiento productivo. Además, favorece una gestión más eficiente del ganado y se asocia con beneficios económicos concretos para los productores. En esta línea, Puig et al. (2022) señalan que el uso de tecnologías automatizadas para el monitoreo continuo incrementa la sensibilidad y especificidad en el diagnóstico de afecciones respiratorias en bovinos, reduce la necesidad de antibióticos y promueve la sostenibilidad de las explotaciones ganaderas.

## **Capítulo II**

### **Marco teórico**

A continuación, se desarrollan los conceptos fundamentales, datos relevantes y referencias que permiten comprender a profundidad los temas centrales del estudio. Se inicia con una visión general de la ganadería, abordando su definición y los tipos más representativos, para luego centrarse específicamente en la ganadería bovina dentro del contexto ecuatoriano, resaltando su papel estratégico en la economía del país. Seguido de las principales enfermedades respiratorias que afectan a este tipo de ganado, haciendo énfasis en la neumonía bovina. Se describen sus diferentes variantes, los síntomas característicos y el impacto económico que genera en los productores. Continuando con el concepto de Internet de las Cosas (IoT), detallando sus aplicaciones generales y su implementación en el ámbito ganadero, especialmente en el monitoreo de la salud animal mediante sensores inteligentes. Finalmente, se realiza un recorrido por antecedentes investigativos desarrollados a nivel nacional, lo cual permite establecer una base teórica y práctica que sustenta esta propuesta tecnológica.

#### **2.1. Antecedentes investigativos**

- Antecedente No. 1 - Universidad Técnica del Norte (UTN)

Tema: Desarrollo de aplicación móvil para calificación de condición corporal bovina

Autor: Danny Sebastián Montenegro Arciniega

Año: 2022

Montenegro Arciniega (2022) presentó una solución tecnológica novedosa para clasificar la condición corporal del ganado bovino de tipo *Bos taurus*, a través de una aplicación móvil Android que combina técnicas de visión por computadora. El trabajo implicó crear un sistema que usa tres redes neuronales: YOLOv3 para segmentar imágenes, MobileNet para clasificar y VGG16 para realizar regresión en puntos anatómicos.

La técnica utilizada fue experimental, fundamentada en aprendizaje supervisado con datos etiquetados y evaluaciones en condiciones reales. Se desarrolló una aplicación que califica el estado físico de forma semiautomática y precisa, validada por el estándar System Usability Scale (SUS), logrando una puntuación de 7,13 sobre 10.

Este antecedente está directamente vinculado a la investigación actual, pues evidencia la posibilidad de unir visión artificial y redes neuronales en el seguimiento automatizado de la salud bovina. La experiencia adquirida en la detección visual de parámetros corporales es fundamental para crear sistemas dirigidos al diagnóstico precoz de enfermedades como la neumonía en bovinos.

- Antecedente No. 2 - Universidad Técnica del Norte (UTN)

Tema: Sistema IoT para monitoreo ambiental en apiarios

Autora: Daniela Vanessa Muñoz Hernández

Año: 2024

Muñoz Hernández (2024) desarrolló un sistema de IoT para el monitoreo ambiental en colmenas, como una solución tecnológica que facilite el control interno y genere alertas al apicultor. El sistema incluía sensores de temperatura y humedad vinculados a un microcontrolador ESP32, que transmitió los datos recogidos en tiempo real a una app móvil por Wi-Fi.

Se implementó una metodología experimental con pruebas de campo para evaluar la funcionalidad del sistema, considerando la estabilidad de la conexión, la precisión de los sensores y la latencia en la transmisión. Los hallazgos mostraron un pequeño margen de error en las variables medidas y una latencia razonable en diversas condiciones de red.

Este análisis es muy pertinente para la investigación actual, ya que confirma la efectividad del IoT como instrumento para controlar variables ambientales que afectan directamente la salud de seres vivos. La experiencia en apicultura establece un precedente técnico valioso para aplicar este modelo en ganadería, especialmente en el monitoreo ambiental de enfermedades respiratorias como la neumonía bovina.

- Antecedente No. 3 - Universidad Técnica del Norte (UTN)

Tema: Monitoreo de cultivos con IoT en tiempo real

Autores: Kevin Martínez Andrade & Cristhian Santacruz Paucar

Año: 2022

En el marco de la digitalización del sector agrícola, Martínez y Paucar (2022) crearon un sistema de seguimiento ambiental en tiempo real con tecnologías IoT. El proyecto incluyó sensores de temperatura, humedad del suelo y luz, conectados a una placa Arduino que envía datos a una plataforma web mediante GSM.

La metodología de desarrollo fue experimental, empleando programación embebida, prototipado físico y validación en campo. Se comprobó la funcionalidad del sistema a través de análisis de conectividad, eficiencia energética y precisión de datos. Los resultados demostraron ser favorables, mostrando una adecuada habilidad para detectar cambios en el entorno y comunicarlos a tiempo.

Este precedente es clave para la investigación actual, pues muestra la eficacia del IoT en el manejo de variables externas. Su método agrícola se puede aplicar en ganadería, para identificar factores predisponentes a enfermedades respiratorias, como variaciones repentinas de temperatura o humedad, que afectan la salud bovina.

- Antecedente No. 4 - Universidad Técnica del Norte (UTN)

Tema: Sistema de monitoreo ambiental para galpones avícolas

Autor: Jonathan Efraín Reinoso

Año: 2023

Con el objetivo de mejorar el entorno de crianza avícola, Reinoso (2023) creó un sistema de monitoreo IoT que mide temperatura y humedad en galpones, optimizando la ventilación y evitando el estrés térmico en las aves. El sistema empleó sensores DHT22 conectados a un ESP8266 y presentó los datos en tiempo real a través de una interfaz web.

La metodología se fundamentó en prototipado ágil y validación mediante pruebas de reacción a variaciones térmicas simuladas y reales. Se comprobó que el sistema reacciona eficientemente a cambios ambientales, generando alertas que permiten decisiones correctivas.

Este estudio es relevante para la investigación actual, ya que demuestra que el control ambiental automatizado en sistemas biológicos disminuye riesgos sanitarios. Los principios de avicultura pueden aplicarse en la ganadería, donde el control de temperatura y humedad son claves para prevenir enfermedades respiratorias como la neumonía en bovinos.

- Antecedente No. 5 - Universidad Técnica del Norte (UTN)

Tema: Aplicación móvil para registro de variables ganaderas

Autora: Karen Estefanía Salazar García

Año: 2021

Salazar García (2021) mostró una app móvil diseñada para registrar y administrar datos productivos del ganado bovino, abarcando peso, condición corporal, producción de leche y

ciclos reproductivos. El sistema de apoyo tecnológico fue creado para pequeños y medianos ganaderos del cantón Bolívar.

La metodología utilizada fue exploratoria-descriptiva, integrando el desarrollo de software y la recolección de datos a través de encuestas a productores locales. Los hallazgos mostraron una notable mejoría en el registro y análisis de variables productivas, simplificando la toma de decisiones informadas.

Este precedente enriquece la investigación actual al mostrar la importancia de las aplicaciones móviles en la digitalización del manejo ganadero. Su conexión con sensores IoT y sistemas de visión artificial podría ayudar a crear alertas tempranas de enfermedades como la neumonía, a través de la recopilación ordenada de datos clínicos y ambientales.

- Antecedente No. 6 - Multidisciplinary Digital Publishing Institute

Tema: Herramientas tecnológicas para la detección temprana de enfermedades respiratorias en bovinos

Autores: A. Puig, M. Ruiz, M. Bassols, L. Fraile & R. Armengol

Año: 2022

<https://doi.org/10.3390/ani12192623>

Pig et al. (2022) realizaron una revisión sistemática destinada a identificar y clasificar las tecnologías emergentes usadas en la detección precoz de la enfermedad respiratoria bovina (BRD), una de las condiciones más comunes en la producción ganadera intensiva. Este estudio busca examinar el estado actual sobre la utilización de sensores, plataformas inteligentes y sistemas automatizados que preverán la aparición de BRD en entornos productivos, para

disminuir pérdidas económicas, aumentar el bienestar animal y optimizar el uso de antibióticos.

La metodología empleada incluyó la recolección y análisis exhaustivo de 104 artículos científicos de bases de datos académicas globales. Se definieron criterios de inclusión concretos: investigaciones empíricas, tecnologías de seguimiento continuo, y aplicaciones comprobadas en el área. Las tecnologías discutidas abarcan sensores de temperatura, detectores de tos, seguimiento de patrones alimenticios, acelerómetros, cámaras térmicas y algoritmos de IA para interpretar datos físicos y de comportamiento.

Se demostró que las tecnologías que combinan sensores físicos con modelos de IA son más efectivas para detectar BRD en fases subclínicas que las observaciones veterinarias tradicionales. Asimismo, se notó que los sistemas de alerta temprana fundamentados en datos conductuales tienen gran potencial para una implementación eficiente en ganaderías medianas y grandes.

Este precedente es muy significativo para la investigación actual, ya que apoya la viabilidad técnica y clínica del uso de tecnologías IoT junto con visión artificial para diagnosticar enfermedades respiratorias en bovinos. El estudio llevado a cabo por Puig y colaboradores, ofrece bases científicas robustas que respaldan la creación de sistemas autónomos e inteligentes, como el sugerido en esta tesis, enfocado en la detección temprana de la neumonía bovina a través de señales ambientales y visuales analizadas en tiempo real.

- Antecedente No. 7 - ScienceDirect

Tema: Factores que determinan la adopción de sensores IoT en ganadería lechera

Autores: Greta Langer, Holger Schulze y Sarah Kühn

Año: 2024

<https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100404>

En un entorno de creciente digitalización en el ámbito agropecuario, Langer et al. (2024) se examinaron los elementos que afectan la adopción de sensores IoT por ganaderos lecheros, enfocándose en variables psicológicas, actitudinales y emocionales. Este análisis intentó entender por qué ciertos productores adoptan velozmente estas tecnologías, mientras que otros las descartan, a pesar de los beneficios comprobados en productividad y bienestar animal.

La metodología empleada fue cuantitativa y se fundamentó en una encuesta estructurada realizada a una muestra representativa de 212 ganaderos alemanes. Los datos recolectados fueron examinados mediante modelos de ecuaciones estructurales (SEM), lo que permitió analizar relaciones causales entre variables como actitud tecnológica, emociones anticipadas, percepción de utilidad, facilidad de uso, presión social y barreras económicas.

Los hallazgos mostraron que los factores emocionales, especialmente las emociones positivas anticipadas (como entusiasmo o confianza), influyen significativamente en la intención de uso de sensores IoT. Del mismo modo, la disposición positiva hacia la innovación fue un factor determinante. Sin embargo, el costo percibido para adquirir y mantener sistemas tecnológicos se reconoció como la barrera más importante, sobre todo en explotaciones pequeñas.

Este antecedente es crucial para la actual tesis, ya que evidencia que el éxito en la implementación de soluciones tecnológicas como las sugeridas (basadas en IoT y visión artificial) depende no solo de su efectividad técnica, sino también de la disposición de los productores a integrarlas en sus sistemas de manejo. Por ende, los hallazgos de Langer et al. indican la importancia de incluir estrategias de adopción tecnológica desde la etapa de diseño del sistema presentado.

- Antecedente No. 8 - IEEE Xplore

Tema: Infrared thermography para detección no invasiva de BRD en bovinos

Autores: Enrico Casella, Melissa C. Cantor, Megan M. Woodrum Setser, Simone Silvestri, y Joao H. C. Costa.

Año: 2023

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3291348>

Casella et al. (2023) crearon un sistema inteligente que une termografía infrarroja y algoritmos de aprendizaje automático para detectar precozmente la enfermedad respiratoria bovina (BRD) en terneros de producción intensiva. Este estudio responde a la necesidad de métodos diagnósticos no invasivos, confiables y rápidos que mejoren la detección de BRD sin exámenes físicos frecuentes, que son estresantes para los animales.

Se utilizó una metodología de campo con 159 terneros, a los que se les realizaron lecturas diarias con sensores térmicos y dispositivos portátiles. Los datos obtenidos abarcaron temperatura superficial, patrones de movimiento, frecuencia respiratoria y información clínica de referencia. Se ingresaron estos datos en un modelo de machine learning que usó algoritmos como Support Vector Machines (SVM), Random Forest y XGBoost, que fueron entrenados para identificar patrones asociados con la presencia de BRD. Los resultados mostraron que el sistema sugerido identificó casos de BRD tres días antes de síntomas clínicos, con más del 90 % de precisión. El análisis multifactorial y la validación cruzada corroboraron la efectividad del enfoque multimodal, integrando variables térmicas, conductuales y clínicas.

Este precedente es muy importante para la investigación actual, porque apoya el uso de sensores y métodos de inteligencia artificial en el diagnóstico pronto de enfermedades respiratorias. Similar a nuestra propuesta, se integran variables físicas y conductuales para

avisar tempranamente sobre riesgos de salud en bovinos, lo que refuerza la importancia de incluir sensores ambientales y visión artificial en sistemas de monitoreo inteligentes.

- Antecedente No. 9 - Veterinary Science & Technology

Tema: Monitorización combinada de temperatura y movimiento para predicción de enfermedades bovinas

Autores: Karthik Darvesh, Nikhil Khande, Sanmay Avhad y Maahi Khemchandani

Año: 2023

<https://www.hilarispublisher.com/open-access/iot-and-ai-based-smart-cattle-health-monitoring-102433.html>

Darvesh et al. (2023) crearon un sistema completo utilizando Internet de las Cosas (IoT) e Inteligencia Artificial (IA) para el seguimiento de la salud en ganado bovino, cuyo fin principal fue prevenir enfermedades mediante el monitoreo continuo de variables fisiológicas esenciales. Concretamente, la investigación creó un modelo que combina sensores de temperatura de piel, frecuencia cardíaca y acelerometría para monitorear el comportamiento de locomoción, procesando la información en una plataforma en la nube con análisis en tiempo real.

La metodología se basó en una fase experimental de recolección de datos en fincas ganaderas comerciales, instalando dispositivos portátiles en animales seleccionados. Se almacenaron los datos recolectados en una base central y se analizaron con algoritmos de aprendizaje automático como Random Forest, SVM y XGBoost. También se creó una aplicación móvil vinculada al sistema que informaba automáticamente sobre cualquier alteración en los patrones normales de los animales, avisando sobre la posible existencia de patologías.

Los resultados fueron muy positivos: el sistema logró una precisión superior al 95 % en la detección temprana de enfermedades como fiebre, mastitis y neumonía. Asimismo, el lapso de respuesta entre la detección de la anomalía y la alerta no excedió tres segundos, evidenciando su eficacia como herramienta preventiva. Este análisis establece un fundamento tecnológico significativo para nuestra indagación, al evidenciar la posibilidad de emplear sensores biométricos no invasivos junto a sistemas de inteligencia artificial para la detección temprana de patologías. Su eficaz combinación de IoT, nube y aplicaciones móviles, apoya el enfoque de esta tesis, que propone crear un sistema automatizado de monitoreo para prevenir neumonía bovina a través de variables ambientales y señales visuales.

- Antecedente No. 10 – Journal of Dairy Science – Official Publication of the American Dairy Science Association

Tema: Visión por computadora para detección de salud y condición corporal en bovinos

Autores: Weber, J., Becker, J., Syring, C., Ruiters, M. W., Locher, I., Bayer, M., & Schüpbach-Regula, G.

Año: 2023

<https://doi.org/10.3168/jds.2022-22243>

Weber et al. (2023) crearon un sistema de visión artificial destinado a ayudar en la decisión dentro de la producción ganadera, centrándose en la identificación automatizada del estado corporal y síntomas clínicos visibles relacionados con la salud. El objetivo del estudio fue validar un método no invasivo, exacto y de alta frecuencia para evaluar parámetros físicos en tiempo real, buscando optimizar el manejo del hato lechero y prevenir enfermedades ligadas al estado fisiológico del animal, como la neumonía bovina.

La técnica abarcó la obtención de imágenes de alta calidad mediante cámaras situadas en lugares clave dentro de los establos. Después, se procesaron estas imágenes con algoritmos de aprendizaje profundo, particularmente variantes de la arquitectura YOLO (You Only Look Once), como Tiny-YOLO, diseñadas para dispositivos de edge computing. El modelo fue entrenado con datos etiquetados por veterinarios cualificados, abarcando distintas condiciones físicas y síntomas clínicos como letargo, jadeo, pérdida de peso, posturas anormales y comportamiento inactivo.

Los resultados mostraron que el sistema alcanzó una tasa de detección de 40 fotogramas por segundo en tiempo real, con un mAP de 0,895, indicando un alto nivel de precisión y eficiencia. Así mismo, el sistema pudo producir alertas visuales en la interfaz para facilitar rápidas intervenciones clínicas. La relevancia de este estudio para nuestra investigación es evidente, pues muestra cómo la visión por computadora sirve como un método confiable para detectar signos visibles de enfermedad, integrándose con sistemas automatizados de monitoreo basados en IoT.

## **2.2. Fundamentación conceptual**

### **2.2.1. La ganadería**

La ganadería ha sido una de las actividades más fundamentales en la historia humana, creando un vínculo profundo entre las familias y los animales. Su valor va más allá de la producción de carne o leche; representa una práctica que define identidades culturales, sostiene economías locales y moldea el entorno rural. A lo largo de milenios, la domesticación de especies como bovinos, ovinos y caprinos ha permitido a las comunidades acceder a alimento, trabajo y recursos esenciales, adaptándose a diferentes climas y ecosistemas (FAO, 2021).

No obstante, este sistema también enfrenta retos estructurales. La ganadería contribuye significativamente a las emisiones globales de gases de efecto invernadero en torno al 18 % de

acuerdo con la FAO y ejerce presión sobre suelos, agua y biodiversidad. Estas dinámicas exigen una evolución del sector: producir más con menos, garantizar un trato respetuoso a los animales y minimizar su impacto ambiental. (FAO, 2021)

Por ello, en la actualidad se está apostando por prácticas ganaderas sostenibles, que incluyan tecnologías como el IoT. Estas herramientas posibilitan un control más preciso de la salud animal, permiten responder rápidamente a enfermedades y optimizar el uso de recursos, ofreciendo un modelo ganadero más resiliente y responsable (FAO, 2021).

### **2.2.2. Tipos de ganadería**

Existen diversas modalidades de crianza de animales, de las cuales se derivan una variedad de recursos valiosos, tales como huevos, carne, leche, miel, lana, entre otros. A nivel global, los tipos de ganadería más prominentes y de mayor relevancia incluyen la ganadería bovina, ovina, porcina, caprina y equina. Aunque también existen otros métodos de crianza, como la cunicultura, avicultura y apicultura, que, si bien no alcanzan el mismo impacto que las mencionadas anteriormente, desempeñan un papel significativo en la producción de alimentos y otros productos derivados de animales (Cabral, 2016).

### **2.2.3. Ganadería ovina**

La ganadería ovina, que comprende a ovejas, carneros y corderos, se ha mantenido como una actividad relevante en sistemas extensivos y mixtos, particularmente en regiones rurales donde se aprovecha su adaptabilidad a diversos entornos. Estos animales se crían principalmente por su carne y lana, siendo esta última valiosa en la industria textil. Según (Schmidová et al., 2014), la oveja es una especie fundamental en el desarrollo rural, especialmente en comunidades que combinan agricultura y ganadería como medio de subsistencia.

#### **2.2.4. Ganadería porcina**

La actividad ganadera porcina se focaliza en la cría y producción de cerdos con el propósito de obtener carne destinada al consumo humano. A nivel global, se genera anualmente una cantidad superior a los 110 millones de toneladas de carne de cerdo, siendo América responsable del 17% de esta producción. El sistema porcino está orientado principalmente a la producción de carne, siendo una de las fuentes proteicas más consumidas a nivel mundial. Se caracteriza por su alta eficiencia reproductiva y su cría en sistemas intensivos. En el cantón San Pedro de Huaca, la crianza de cerdos representa una alternativa rentable de producción para pequeños productores. Según (Schmidová et al., 2014), la modernización de este sector ha permitido mejorar significativamente la genética y sanidad de los animales, incrementando su rendimiento económico.

#### **2.2.5. Ganadería equina.**

Es una de las formas más antiguas de ganadería, se centra en la reproducción de animales domésticos, principalmente caballos y yeguas. La crianza de caballos y yeguas, más allá de su uso en transporte o trabajo, ha evolucionado hacia fines recreativos, deportivos y productivos. Además, en algunas regiones, el consumo de carne equina también ha ganado importancia, aunque con menor frecuencia. La ganadería equina exige un manejo cuidadoso del bienestar animal, considerando tanto su rendimiento físico como su salud general (Schmidová et al., 2014).

#### **2.2.6. Ganadería vacuna o bovina.**

La ganadería bovina destaca como una de las especies domesticadas más ampliamente cultivadas a nivel mundial, gracias a los diversos productos derivados que se obtienen, como la carne, la leche y el cuero utilizado en la fabricación de prendas y artículos de vestir. La cría

y producción de animales, tales como vacas, toros y terneros en sus distintas etapas y edades, conforman lo que se conoce como ganadería bovina (Serrano, 2011).

A lo largo de los años, la ganadería ha debido superar diversos desafíos, entre ellos la escasa cobertura en vacunación y la aparición de enfermedades que afectan al hato. Sin embargo, gracias a la implementación de programas de mejora genética y avances en el manejo productivo, este sector ha logrado fortalecerse. Su papel en la economía es fundamental, ya que impulsa el desarrollo del país y genera ingresos para miles de familias. La introducción del control lechero y el cruce entre razas han transformado la producción de leche, posicionando a la ganadería como un pilar económico clave, no solo a nivel local, sino también por su aporte al Producto Interno Bruto en muchos países del mundo.

#### **2.2.7. Ganadería bovina.**

La ganadería bovina, orientada a la producción de carne, leche y sus derivados, constituye una actividad esencial dentro del sector agropecuario, ya que no solo garantiza una fuente clave de alimentos para la población, sino que también impulsa la economía rural. Gracias a la implementación de tecnologías avanzadas y a los procesos de mejoramiento genético, este sistema ha incrementado notablemente su eficiencia y capacidad productiva. Además, más allá de su aporte económico, la cría de bovinos cumple una función importante en el equilibrio ecológico y en el aprovechamiento sostenible de los recursos del suelo. No obstante, este tipo de ganadería también enfrenta retos importantes, como el cuidado de la salud animal y la necesidad de prácticas más sostenibles frente al impacto ambiental (Schmidová et al., 2014).

#### **2.2.8. Ganadería bovina en Ecuador**

La ganadería en el Ecuador tiene sus raíces desde 1640 con la llegada de ganado europeo, especialmente de España, para establecerse en la serranía ecuatoriana. A lo largo de

los siglos, la adaptación del ganado a las praderas de la cordillera interandina fue desafiante, con altas tasas de mortalidad durante el transporte y aclimatación. Desde 1840 hasta 1940, la ganadería se desarrolló sin vacunación, superando desafíos como panadizo, metritis y mal de altura. Con el apoyo del presidente Galo Plaza Lasso, se implementaron programas de mejora genética que revolucionaron la ganadería, destacando la importancia del control lechero y el mestizaje en la producción de leche en Ecuador (Emmanouilidis, 2023).

En el contexto ecuatoriano, la ganadería ha sido históricamente una actividad económica clave que sostiene a numerosas familias y dinamiza las zonas rurales. Su aporte al desarrollo del país ha sido notable: entre 1985 y 2005, este sector representó aproximadamente el 13% del crecimiento económico nacional. Más adelante, en el año 2008, el agro en su conjunto, donde la ganadería tiene un peso importante, ocupó el segundo lugar en el Producto Interno Bruto (PIB), con una participación del 10,7%, solo superado por la industria petrolera. Estos datos reflejan la importancia estratégica de la ganadería en la estructura productiva del Ecuador (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2014).

Según datos del Banco Central del Ecuador (BCE), el conjunto de los sectores de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca representa el 9,63 % del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, aportando 9.626.014 millones de dólares. Asimismo, de acuerdo con la información recopilada a través del sistema Saiku del Servicio de Rentas Internas (SRI), se identifican 156.060 números de Registro Único de Contribuyentes (RUC) asociados a la actividad ganadera, de los cuales 62.478 se encuentran actualmente en estado activo (Sanchez, Vayas, Mayorga, & Freire, 2021).

En el ámbito ecuatoriano, la ganadería muestra la variedad de especies criadas en el país. Esta variedad se adapta a las condiciones agroecológicas de cada región y a las preferencias productivas de los sistemas agropecuarios. A pesar de esto, la ganadería bovina se destaca como la actividad pecuaria más importante por su volumen, continuidad y

contribuciones al desarrollo rural. Se muestra a continuación la evolución anual del inventario ganadero en el país, para el período 2020–2024, según los registros oficiales del Sistema Informativo Público Agropecuario (SIPA):

**Tabla 1.**

*Existencia de ganado a nivel nacional (en miles de dólares)*

	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>
<b>Vacuno</b>	4335	4066	3860	3722	4044
<b>Porcino</b>	1059	1053	943	983	1717
<b>Ovino</b>	496	528	551	561	482
<b>Caballar</b>	172	192	155	143	153
<b>Asnal</b>	35	49	33	33	40
<b>Mular</b>	63	66	61	54	54
<b>Caprino</b>	14	57	23	28	27

*Fuente:* Sistema Informativo Público Agropecuario del Ecuador (SIPA, 2024)

*Elaborado por:* El Autor.

A nivel nacional una notable dominancia del ganado vacuno, con un promedio que excede los 4 millones de cabezas en los cinco años considerados. Si bien hubo una pequeña disminución en 2022 y 2023, el año 2024 presenta una recuperación, alcanzando 4.044 mil cabezas. Esta estabilidad confirma la importancia del vacuno en la economía ganadera nacional. "A pesar de ser el segundo en volumen, el ganado porcino presenta una tendencia más activa, con un aumento significativo en 2024 que rompe la estabilidad previa, debido posiblemente a avances tecnológicos o al crecimiento del mercado".

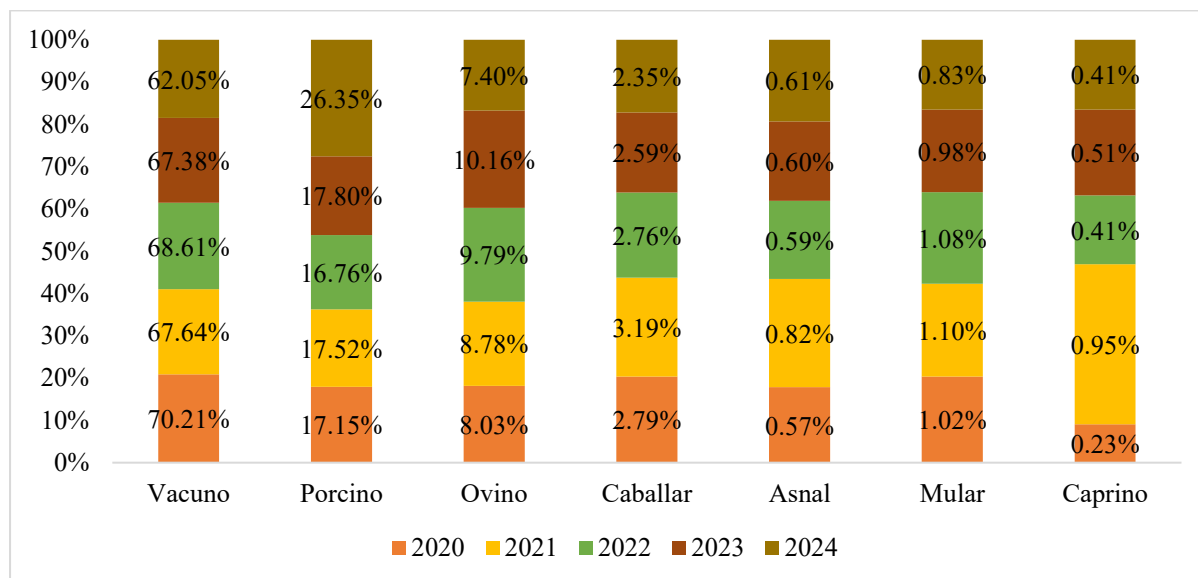
La Figura 2 presenta la distribución porcentual de las principales especies ganaderas en Ecuador entre los años 2020 y 2024. Este gráfico de barras apiladas permite observar la composición relativa anual del hato nacional por tipo de ganado, destacando el peso que cada especie representa en el total nacional para cada año.

La siguiente figura muestra la distribución porcentual de las principales especies de ganadería en Ecuador desde 2020 hasta 2024. Este gráfico de barras apiladas muestra la

composición anual del hato nacional por tipo de ganado, resaltando la proporción que cada especie tiene en el total del país cada año.

**Figura 2.**

*Existencia de ganado a nivel nacional (en porcentajes)*



*Fuente:* Sistema Informativo Público Agropecuario del Ecuador (SIPA, 2024)

*Elaborado por:* El Autor.

El estudio visual indica que el ganado vacuno tiene la mayor cuota relativa, variando entre el 62,05% y el 70,21% durante cinco años. Este sector representa la fuerte situación de la ganadería bovina en la producción del país, tanto por su tamaño como por su continuidad. En segundo lugar, está el ganado porcino, con una participación de entre el 17,52% y el 26,35%, mostrando una recuperación en 2024.

Otras especies, como ovinos, caballos, burros, mulas y cabras, se sitúan por debajo del 10%, confirmando su rol como producción secundaria o dual (trabajo y carne) en algunas áreas rurales. Es importante notar que el caprino, aunque su volumen es bajo, presenta un ligero aumento en los últimos años, lo que sugiere un potencial de crecimiento en áreas áridas o en agricultura familiar.

## 2.2.9. Ganadería por región del Ecuador

La ganadería en Ecuador muestra una notable concentración en la Sierra, seguida de la Costa y, en menor medida, en la región Amazónica. Este comportamiento se debe a factores geográficos, climáticos y a las tradiciones productivas locales. Se muestra a continuación en la Tabla 2 la evolución anual de las existencias ganaderas por región para 2020–2024, clasificadas por especie y región natural.

**Tabla 2.**

*Existencia de ganado a nivel regional (en miles de dólares)*

Región	Existencias	2020	2021	2022	2023	2024	Existencias 2020 - 2025	Tasa de participación
Costa	Vacuno	1788	1591	1488	1364	1274	7506	38,34%
	Porcino	441	381	308	281	251	1662	33,12%
	Ovino	22	31	34	19	19	125	4,60%
	Caballar	69	76	65	57	54	321	40,07%
	Total	2321	2080	1894	1720	1598	9614	34,20%
Sierra	Vacuno	2129	2111	2045	2040	2018	10343	52,83%
	Porcino	569	636	602	668	695	3171	63,17%
	Ovino	473	496	517	540	558	2584	95,02%
	Caballar	86	96	77	73	70	401	50,16%
	Total	3258	3338	3241	3321	3341	16499	58,68%
Oriente	Vacuno	418	365	327	319	298	1727	8,82%
	Porcino	49	36	34	35	32	186	3,71%
	Ovino	2	2	1	3	3	11	0,39%
	Caballar	17	20	14	14	13	78	9,77%
	Total	486	423	376	371	347	2002	7,12%

*Fuente:* Sistema Informativo Público Agropecuario del Ecuador (SIPA, 2024)

*Elaborado por:* El Autor.

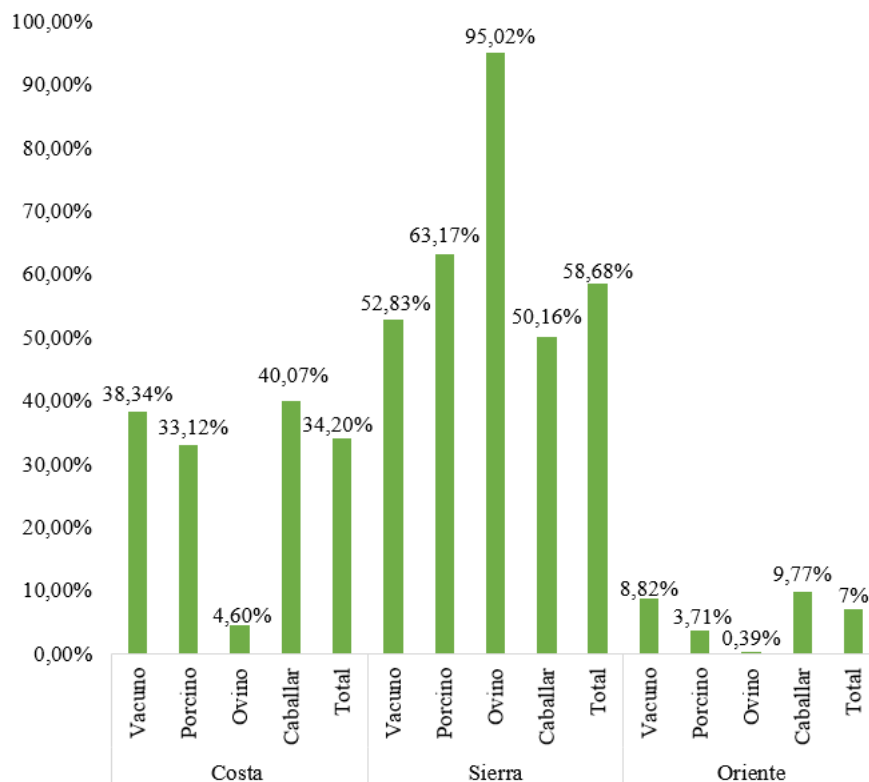
El estudio de la tabla revela que la zona Sierra aglutina la mayor cantidad de ganado, sumando más del 58 % del total nacional en el periodo evaluado. Esta área destaca notablemente en especies como ovino (95,02 %) y porcino (63,17 %), evidenciando su importancia estratégica en la producción variada.

La región Costa constituye el 34,20 % del total nacional, destacando en la cría de ganado vacuno (38,34 %) y equino (40,07 %). Su contribución a la producción de cerdos también es significativa. En comparación, la región Amazónica muestra las cifras más bajas, con una contribución del 7,12 %, destacándose un poco en ganado caballar (9,77 %). Esta reducción en presencia se debe a las condiciones geográficas y de acceso, que restringen la expansión ganadera en esta área.

La repartición del ganado en Ecuador muestra las variaciones productivas de cada región. Para identificar los patrones de concentración ganadera, se muestra la Figura 3, que compara la participación porcentual de las especies principales (vacuno, porcino, ovino y caballar) en las tres regiones naturales del país.

**Figura 3.**

*Existencia de ganado a nivel regional (en porcentajes)*



*Fuente:* Sistema Informativo Público Agropecuario del Ecuador (SIPA, 2024)

*Elaborado por:* El Autor.

El estudio de la Figura 3 demuestra que la zona Sierra alberga la mayor parte del ganado del país. Particularmente, sobresale en todas las especies presentes: vacuno (52,83 %), porcino (63,17 %), ovino (95,02 %) y caballo (50,16 %), dominancia productiva se debe a elementos como la tradición ganadera. En segundo lugar, la región Costa muestra una notable participación en ganado vacuno (38,34 %) y caballo (40,07 %), aunque con menor presencia en ovino (4,60 %). En contraste, la región Amazónica presenta una presencia reducida, con porcentajes menores al 10 % en todas las especies, destacando levemente en el componente caballo (9,77 %).

### 2.2.10. Ganadería bovina de la provincia del Carchi

La provincia de Carchi, ubicada en el norte de Ecuador y conocida por su altitud y clima templado, tiene condiciones agroecológicas propicias para la ganadería, especialmente la bovina. Esta labor es una clave significativa de ingresos para las familias del campo y activa la economía agrícola local. A continuación en la Tabla 3, se muestra cómo ha cambiado la cantidad de ganado en el Carchi entre 2020 y 2024, permitiendo reconocer las transformaciones en la estructura ganadera provincial y evaluar la importancia de cada especie en el progreso agropecuario.

**Tabla 3.**

*Existencia de ganado de la provincia del Carchi (en miles de dólares)*

	2020	2021	2022	2023	2024
<b>Vacuno</b>	93,500	76,839	85,209	91,010	109,000
<b>Porcino</b>	41,736	29,269	44,499	37,044	93,550
<b>Ovino</b>	5,956	2,214	0,677	0,577	1,142
<b>Caballar</b>	3,988	2,923	3,007	4,996	3,479
<b>Asnal</b>	0,510	0,170	0,121	0,133	0,158
<b>Mular</b>	0,940	0,460	0,119	0,980	0,134
<b>Caprino</b>	0,187	0,123	0,165	0,222	0,823
	146,817	111,998	133,798	134,962	208,286

*Fuente:* Sistema Informativo Público Agropecuario del Ecuador (SIPA, 2024)

*Elaborado por: El Autor.*

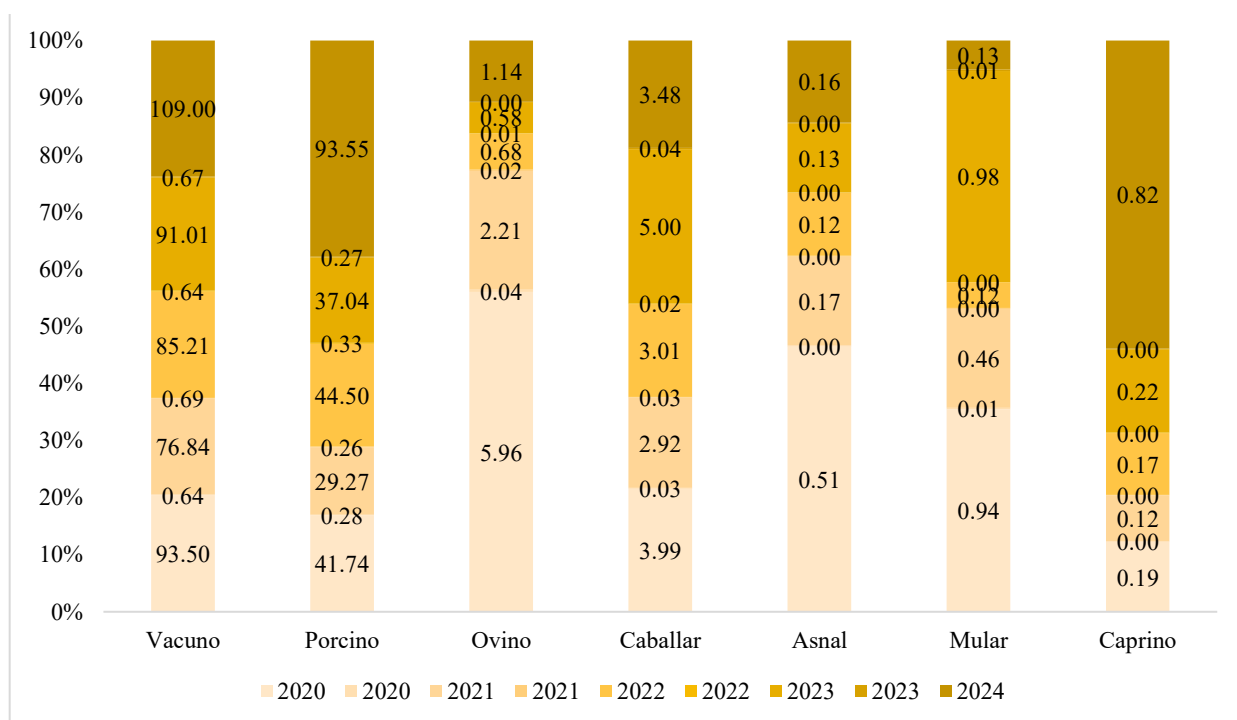
El ganado vacuno es la especie ganadera predominante en Carchi, siendo el rubro con mayor valor económico en los cinco años revisados. Su crecimiento continuo, sobre todo de 2022 a 2024, muestra la recuperación del sector tras una caída en 2021 y puede relacionarse con políticas de apoyo, avances en genética animal o acceso a mercados.

El ganado porcino presenta una evolución variable, con un aumento notable en 2024, posiblemente debido a una mayor demanda interna o al progreso en la tecnología de pequeños productores. En cambio, las especies menores como ovejas, cabras, mulas y burros tienen un rol marginal en la ganadería provincial, reflejando una presencia mínima y una economía de subsistencia. El valor total del hato ganadero provincial casi se duplicó en el período, aumentando de 146,8 mil dólares en 2020 a más de 208 mil dólares en 2024.

Esta transformación muestra los cambios en las dinámicas productivas del área y la reacción de los ganaderos ante las exigencias del mercado y las condiciones agroecológicas locales. La Figura 4 presenta, en porcentajes, la distribución de especies ganaderas en este quinquenio, revelando las tendencias clave en el sector.

**Figura 4.**

*Existencia de ganado de la provincia del Carchi (en porcentajes)*



*Fuente:* Sistema Informativo Público Agropecuario del Ecuador (SIPA, 2024)

*Elaborado por:* El Autor.

La ganadería bovina es el eje central de la producción pecuaria en Carchi. En 2020, el ganado vacuno constituía alrededor del 63,7% del total ganadero en la provincia, y aunque esta cifra disminuyó ligeramente a 58,6% en 2021, aumentó nuevamente hasta el 52,3% en 2023 y se mantuvo en 52,3% en 2024, mostrando una estabilización con una tendencia creciente en los últimos años, afirmando su rol principal.

En la ganadería porcina, se presenta un comportamiento fluctuante, con un 28,4 % en 2020, bajando al 26,1 % en 2021 y luego aumentando notablemente al 44,9 % en 2024. La población de ovejas ha mostrado una caída constante. En 2020 era el 4,1 % del total ganadero, cayendo a 2,0 % en 2021, 0,5 % en 2022 y solo 0,6 % en 2023, con leve aumento al 0,5 % en 2024. Respecto al ganado caballar, su participación fue del 2,7 % en 2020, 2,6 % en 2021, alcanzando el máximo del 3,7 % en 2023, pero descendió al 1,6 % en 2024.

Las especies menos comunes, como el ganado asnal y mular, han permanecido por debajo del 1 % en todos los años estudiados. Por ejemplo, el ganado asnal bajó de 0,3 % en 2020 a 0,07 % en 2022, y finalizó en 0,08 % en 2024. El mular experimentó un pequeño aumento del 0,7 % en 2023, pero bajó al 0,06 % en 2024. Finalmente, el caprino fue solo el 0,1 % en 2020, aumentando discretamente hasta el 0,4 % en 2024.

### **2.2.11. Complejo respiratorio bovino**

El Complejo Respiratorio Bovino (CRB), también Denominado Enfermedad Respiratoria Bovina (ERB), es una condición de origen multifactorial que afecta gravemente a los sistemas de cría y engorde de ganado. Esta enfermedad genera pérdidas notables en el sector ganadero, no solo por la mortalidad asociada a la neumonía, sino también por la disminución

en la eficiencia productiva, lo cual se traduce en un menor aprovechamiento del alimento, pérdida de peso en los animales y una calidad reducida de la carne al momento del sacrificio. A esto se suman los gastos en medicamentos, personal y asistencia veterinaria, lo que en conjunto representa un impacto económico considerable para los productores. (Odeón, 2018)

#### **2.2.11.1. Enfermedades CBR**

El Complejo Respiratorio Bovino (CRB) es una de las patologías comunes y perjudiciales en la ganadería moderna, especialmente en sistemas intensivos y de ciclo cerrado. Se trata de una patología multifactorial que involucra agentes virales y bacterianos, condiciones ambientales, estrés por manejo y debilidad inmunológica del animal. La enfermedad se manifiesta inicialmente con signos como fiebre, tos, descarga nasal, depresión y dificultad respiratoria, y puede evolucionar rápidamente hacia una neumonía severa si no se detecta a tiempo (Allesteros et al., 2022).

Según el estudio de Ballesteros González y Briñez Castiblanco (2022), realizado en fincas del municipio de Villavicencio (Colombia), el CRB mostró una alta seroprevalencia entre los bovinos evaluados: 94,3 % para el virus respiratorio sincitial bovino (BRSV), 85,3 % para el virus de la parainfluenza tipo 3 (PI-3), 44,9 % para la rinotraqueítis infecciosa bovina (IBR) y 27,9 % para la diarrea viral bovina (BVD). Estos resultados confirman la circulación activa de varios agentes respiratorios en el hato bovino, lo que incrementa la probabilidad de coinfecciones.

Un dato importante es que los animales jóvenes, menores de tres meses, presentaron mayor susceptibilidad al CRB, sobre todo en ausencia de protocolos de vacunación y en presencia de condiciones ambientales desfavorables como humedad excesiva, ventilación deficiente o hacinamiento. Además, se identificó que las prácticas de manejo como la compra-

venta frecuente de animales, el transporte prolongado sin descanso y el estrés por destete son factores de riesgo significativos (Allesteros et al., 2022).

En términos productivos, el CRB representa altas pérdidas económicas debido al incremento en los costos de tratamientos veterinarios, disminución del crecimiento, baja conversión alimenticia y mortalidad, especialmente en hatos pequeños donde la pérdida de uno o dos animales puede afectar seriamente la rentabilidad.

A pesar de la existencia de protocolos de vacunación, aún persisten vacíos en el diagnóstico temprano y la respuesta rápida durante los primeros signos de enfermedad. Por ello, la incorporación de los sistemas IoT para el monitoreo constante de variables fisiológicas (temperatura, frecuencia respiratoria, actividad) se plantea como una solución innovadora y pertinente para la prevención y el control del CRB, particularmente en zonas rurales como el cantón San Pedro de Huaca, donde la actividad ganadera constituye un eje económico y social fundamental (Allesteros et al., 2022).

#### ***2.2.11.2. Neumonía en bovinos***

La neumonía bovina, también conocida como Complejo Respiratorio Bovino (CRB), es una enfermedad común en los rebaños, caracterizada por su origen multifactorial. No se trata de una única causa, sino de la interacción de diversos elementos como virus, bacterias, el sistema inmunológico del animal y las condiciones ambientales. Por lo general, el proceso comienza con infecciones virales que se alojan en la tráquea y los bronquios, debilitando las defensas naturales del sistema respiratorio. Esta vulnerabilidad permite que las bacterias aprovechen el terreno, liberando toxinas que dañan seriamente los pulmones. Si no se identifica a tiempo, esta combinación puede desencadenar un cuadro clínico severo. Por ello, es esencial que tanto ganaderos como veterinarios comprendan esta dinámica, ya que una intervención

oportuna puede marcar la diferencia en la prevención, tratamiento y protección del bienestar del ganado (Margineda, 2014).

En la actualidad, una parte importante de la producción de carne bovina se obtiene mediante sistemas de engorde intensivo; sin embargo, las neumonías representan un problema económico relevante, debido a las pérdidas derivadas de la morbilidad, la mortalidad y los costos asociados a los tratamientos. Si bien el uso de antibióticos es una práctica común, resulta indispensable valorar la pertinencia de la antibioticoterapia para evitar gastos innecesarios y la aparición de resistencia bacteriana. Por ello, la aplicación adecuada de los tratamientos es fundamental para proteger la salud animal y asegurar la viabilidad económica del sector ganadero, considerando además las consecuencias a largo plazo de las decisiones terapéuticas (Margineda, 2014).

### ***2.2.11.3. Tipos de Neumonía***

En el ámbito ganadero, una de las enfermedades más comunes y preocupantes es la neumonía bovina, conocida también como complejo respiratorio bovino (CRB). Esta afección no tiene una única causa, sino que es el resultado de varios factores que se combinan: virus, bacterias, parásitos, condiciones del ambiente y, por supuesto, el estado de salud de los animales. La presencia de esta enfermedad en los hatos puede ocasionar complicaciones importantes, tanto por los efectos negativos en la salud como por las pérdidas económicas que genera, especialmente cuando no se detecta de manera oportuna (Odeón, 2018).

Por esta razón, es fundamental conocer los distintos tipos de neumonía que pueden presentarse en el ganado bovino, ya que cada una tiene características distintas, provoca síntomas específicos y requiere tratamientos adecuados (Odeón, 2018).

En la tabla 4, se resume de forma clara los tipos más comunes de neumonía en bovinos, explicando las causas principales, características, síntomas y relevancia productiva y sanitaria.

**Tabla 4.***Tipos de neumonías*

<b>Tipo de Neumonía</b>	<b>Causa principal</b>	<b>Características clínicas y patológicas</b>	<b>Síntomas frecuentes</b>	<b>Relevancia productiva y sanitaria</b>
Neumonía viral	Virus: IBR, PI3, BRSV, DVB	Infección inicial del epitelio respiratorio que disminuye defensas naturales y facilita la acción de bacterias oportunistas.	Fiebre, tos seca, secreción nasal serosa, apatía, estornudos, leve disnea.	Etapa inicial del CRB, alta contagiosidad, usual en terneros recién destetados. Requiere vigilancia y vacunación
Neumonía bacteriana.	<i>Mannheimia haemolytica</i> , <i>Pasteurella multocida</i> , <i>Histophilus somni</i>	Infección grave del pulmón posterior a daño viral. Provoca necrosis pulmonar, supuración y toxinas.	Fiebre alta (>40 °C), disnea, tos húmeda, decaimiento severo, pérdida de apetito, secreciones mucopurulentas, sonidos pulmonares anormales.	Alta tasa de mortalidad si no se trata. Causas de pérdidas por tratamiento, muerte o baja en producción.
Neumonía parasitaria.	<i>Dictyocaulus viviparus</i> (gusano pulmonar)	Obstrucción de bronquios por larvas. Inflamación y daño del parénquima pulmonar. Común en zonas húmedas y con manejo extensivo.	Tos crónica, disnea progresiva, estertores pulmonares, intolerancia al ejercicio, adelgazamiento.	Prevalente en zonas de pastoreo tropical. Afecta la ganancia de peso y productividad. Prevención mediante desparasitación estratégica.
Neumonía intersticial	BRSV, gases irritantes (amoníaco), toxinas de forrajes mohosos o reacciones alérgicas	Inflamación del intersticio pulmonar, sin afectación bronquial directa. Produce edema, enfisema y disminución del intercambio gaseoso.	Disnea intensa, respiración abdominal, cianosis, tos leve o ausente, estertores finos, decúbito.	Difícil diagnóstico. No responde bien a antibióticos. Requiere manejo y soporte respiratorio. Estrés calórico o mal manejo ventilatorio.
Neumonía por aspiración	Ingestión de leche u otros líquidos hacia pulmones	Inflamación lobar/segmentaria por material séptico; más común en neonatos.	Tos tras alimentación, fiebre moderada, dificultad para succionar, decaimiento.	Común en terneros alimentados artificialmente o con distocia
Neumonía por <i>Mycoplasma bovis</i>	<i>Mycoplasma bovis</i> resistentes a antibióticos beta-lactámicos	Inflamación crónica; puede asociarse a artritis o mastitis.	Fiebre, tos, descarga nasal, artritis, letargo, diarrea; algunos animales actúan como portadores asintomáticos	Impacto económico importante por pérdida de peso, tratamiento costoso y mortalidad; difícil de erradicar.

*Nota:* tipos de neumonía en bovinos, causas principales, características, síntomas y relevancia productiva y sanitaria.

*Fuente:* (Odeón, 2018)

*Elaborado por:* El Autor.

El estudio de los diferentes tipos de neumonía en bovinos facilita definir parámetros clínicos clave que un sistema inteligente de monitoreo debe detectar rápidamente. De acuerdo con Pozo Montalvo (2023), la neumonía viral a menudo inicia el Complejo Respiratorio Bovino (CRB), provocado por virus como IBR, PI3, BRSV o DVB. Este tipo de infección afecta el epitelio respiratorio, reduce las defensas naturales del animal y favorece infecciones bacterianas secundarias. Se presenta clínicamente con fiebre, tos seca, secreción nasal clara y leve disnea, síntomas que a menudo son ignorados sin monitoreo fisiológico constante.

Más adelante, la neumonía bacteriana generalmente surge como complicación, provocada por *Mannheimia haemolytica*, *Pasteurella multocida* o *Histophilus somni*, patógenos que causan necrosis pulmonar, supuraciones y secreciones mucopurulentas. Este tipo de neumonía se caracteriza por su agresividad, visible en fiebre alta (más de 40 °C), dificultad para respirar y falta de apetito. Si no se actúa a tiempo, puede resultar en elevadas tasas de mortalidad, siendo una de las formas más dañinas sanitaria y económicamente. En cambio, la neumonía parasitaria, causada por *Dictyocaulus viviparus*, se manifiesta con tos persistente, dificultad respiratoria progresiva y estertores en los pulmones. Esta situación es común en áreas húmedas con manejo extensivo, perjudicando la producción animal debido a su efecto en la ganancia de peso.

- La neumonía intersticial es un caso más complejo, ya que, a diferencia de las anteriores, afecta el tejido intersticial del pulmón sin involucrar bronquios directamente. Las causas pueden ser virales, tóxicas o alérgicas, y se presenta con disnea severa, respiración abdominal y cianosis, acompañada de tos leve o ausente.

- En la neumonía por aspiración, frecuente en terneros recién nacidos por entrada de leche a los pulmones al alimentarse, se presentan síntomas como tos rápida, fiebre leve y problemas para succionar. Esta condición, aunque específica, puede causar problemas serios si no se identifica a tiempo.
- Finalmente, la neumonía causada por *Mycoplasma bovis* supone un desafío clínico complicado por su naturaleza crónica y resistencia a antibióticos beta-lactámicos. Puede presentarse junto a otras condiciones como artritis y diarrea, y ciertos animales son portadores asintomáticos.

#### ***2.2.11.4. Sintomatología General de la neumonía***

En la fase inicial de la enfermedad, los animales a los 3 días de infectados muestran síntomas leves de depresión, pudiendo permanecer de pie o recostarse, a menudo aislados de otros compañeros. Además, presentan signos como caída de orejas o cabeza, reacción a estímulos reducida, movilidad disminuida y muestran indicios de deshidratación leve, como ojos con apariencia hundida. Se observa también descarga nasal y ocular de aspecto seroso, tos seca, un aumento en la frecuencia respiratoria y una salivación sutil (Yaniz et al., 2018).

Hasta ahora, la capacidad de diagnosticar la Enfermedad Respiratoria Bovina (ERB) en animales vivos se limita a la identificación temprana de los síntomas mencionados previamente y a la medición de la temperatura. Este aspecto es crucial, ya que la temperatura es una herramienta de fácil utilización que, si se emplea correctamente, proporciona datos precisos, permitiendo deducir si el animal está experimentando un proceso infeccioso. En este sentido, realizar inspecciones diarias en los corrales, aislar a los afectados de manera temprana y aplicar un tratamiento adecuado por parte del veterinario son prácticas fundamentales (Yaniz et al., 2018).

#### **Tabla 5.**

*Sintomatología Clínica.*

<b>Síntoma</b>	<b>Descripción</b>
Dificultad respiratoria intensa	El animal respira con mucho esfuerzo, utilizando el abdomen para ayudar al ingreso de aire. Se observa agitación y frecuencia respiratoria elevada.
Postura anormal (ortopneica)	Para respirar mejor, el bovino adopta una posición particular: extiende el cuello hacia adelante y separa los codos del cuerpo.
Espuma en la boca	Se puede notar una espuma blanca o secreción espesa que sale de la boca, especialmente en casos graves.
Ruidos al exhalar	Algunos animales emiten un gruñido al sacar el aire, como si respiraran con dolor.
Fiebre alta	La temperatura corporal sube notablemente, llegando incluso a los 41 °C, lo que indica una infección activa.
Latidos cardíacos acelerados	El corazón late más rápido de lo normal. En etapas críticas, puede superar los 120 latidos por minuto.
Tos persistente	La tos puede comenzar siendo seca, pero con el tiempo se vuelve húmeda, lo que indica acumulación de moco en las vías respiratorias.
Decaimiento y poca movilidad	El bovino afectado se muestra apático, con poco ánimo y evita caminar, reflejando su malestar general.
Sin actividad ruminal y abdomen hinchado	El estómago deja de moverse como normalmente lo hace, y el abdomen puede verse inflado por gases acumulados.
Diarrea pasajera	En ciertos casos aparece diarrea leve, producto del malestar sistémico.
Ojos hundidos y piel seca	La deshidratación es evidente por el aspecto de los ojos y la falta de elasticidad en la piel.
Secreciones nasales y oculares	Al inicio son acuosas, pero luego se tornan espesas y con pus, reflejando la progresión de la infección.
Exceso de saliva	El animal babea más de lo habitual, como consecuencia del dolor o la inflamación de las vías respiratorias.
Cabeza baja y mirada apagada	La enfermedad avanza y el bovino mantiene la cabeza caída, con escasa respuesta al entorno.

*Nota:* Descripción de la sintomatología clínica de la neumonía.

*Fuente:* (Yaniz, Fiorentino, & Sánchez, 2018)

*Elaborado por:* El Autor.

En la Tabla 5, se puede observar la sintomatología clínica de la neumonía, la cual se presenta con síntomas como dificultad para respirar, postura ortopneica, liberación de espuma blanca, gruñidos espiratorios, aumento de la temperatura corporal, ritmo respiratorio elevado y posiblemente tos. También se observan signos como atonía ruminal, diarrea leve, apatía y resistencia para caminar. En casos graves, puede haber colapso y muerte súbita. Aun en casos

leves, los animales pueden seguir comiendo a pesar de los síntomas. Las complicaciones a largo plazo incluyen enfisema crónico y anoxia progresiva, llevando a la muerte en algunos casos.

#### ***2.2.11.5. Incidencia económica de la neumonía***

Las pérdidas económicas por el Síndrome Respiratorio Bovino (CRB) se realiza considerando varios factores, entre ellos los kilogramos de peso perdido, la disminución en la ganancia de peso, la mortalidad de los animales y los costos asociados con los tratamientos. Más específicamente, el 58% de las pérdidas atribuibles al CRB se originan en la disminución del peso corporal, la mortalidad de los animales y los gastos adicionales generados por actividades como la separación de animales infectados y los tratamientos (Garcia et al., 2016).

El síndrome respiratorio bovino (SRB) presenta un impacto económico significativo en la industria ganadera, siendo la principal enfermedad infecciosa en el ganado joven. Cerca del 16% de las novillas lactantes se ven afectadas, generando el 90.2% de los tratamientos antibióticos en esta categoría. En el ganado de cebo, el SRB contribuye al 70-80% de los casos de tratamientos antibióticos y representa el 40-50% de la mortalidad total. Estudios indican pérdidas económicas por ternero enfermo que fluctúan entre 23 y 150 dólares, y la presencia de lesiones pulmonares se asocia con una reducción significativa en la ganancia de peso, llegando hasta 202 g menos en la ganancia diaria de peso (GMD) en casos con mayor número de tratamientos. Sorprendentemente, el 72% de los animales muestra lesiones, mientras que solo el 35% ha sido diagnosticado y tratado, subrayando la relevancia del SRB en las pérdidas económicas de la industria ganadera (Snowder et al., 2017).

La neumonía bovina genera un fuerte impacto económico en la producción ganadera, principalmente por las dificultades que existen al momento de identificar con precisión esta enfermedad. El diagnóstico clínico y etiológico en animales de producción, sobre todo cuando

se manejan grandes grupos, sigue siendo un reto. Esto se debe a que los agentes que la causan son variados y su detección a nivel individual no siempre es fácil, ya que los métodos tradicionales no ofrecen resultados totalmente confiables. Esta situación complica la aplicación de tratamientos eficaces, limita las acciones preventivas y, en consecuencia, incrementa los costos derivados de la enfermedad (Snowder et al., 2017).

Ante esta problemática, el uso de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) representa una solución innovadora y necesaria. Estas herramientas permiten monitorear constantemente a los animales, identificando tempranamente cualquier alteración en sus signos vitales o comportamiento. Con ello, se pueden tomar decisiones rápidas y oportunas, mejorar la atención veterinaria y reducir el uso innecesario de antibióticos. Además, esta tecnología fortalece la capacidad del productor para prevenir pérdidas económicas, protegiendo así la salud del hato y garantizando una producción más sostenible y eficiente.

#### **2.2.12. Internet de las cosas (IoT)**

La Internet de las Cosas (IoT) representa un avance transformador en el campo de la tecnología, al permitir que distintos dispositivos inteligentes se comuniquen entre sí a través de una red conectada. Esta tecnología posibilita la supervisión y gestión de múltiples aspectos de la vida diaria, con aplicaciones que abarcan desde la salud y la educación, hasta el manejo del tráfico, la agricultura, la construcción, la conservación ambiental y la meteorología. Su implementación promueve el desarrollo de ciudades inteligentes (Smart Cities), al mejorar de forma más eficiente los servicios tanto públicos como privados. En particular, el Urban IoT se enfoca en mejorar la interacción de los ciudadanos con su entorno urbano, facilitando un uso más inteligente y sostenible de los recursos disponibles (Alvear et al., 2017).

### ***2.2.12.1. Aplicaciones IoT***

El Internet de las Cosas (IoT) ha pasado de ser una tecnología emergente a consolidarse como una herramienta fundamental en diversos sectores, entre ellos la salud, la industria, la agricultura y el ámbito doméstico. Su esencia radica en la conexión de objetos cotidianos a internet, permitiendo que recopilen, procesen y compartan información sin intervención humana directa (Flores & Cossio, 2021).

Uno de los aspectos más valiosos de su aplicación es la capacidad de tomar decisiones inteligentes basadas en datos en tiempo real. Por ejemplo, en el ámbito agropecuario, los sensores conectados pueden monitorear temperatura corporal, humedad, actividad física o condiciones del entorno de los animales, lo que facilita la detección temprana de enfermedades como la neumonía en bovinos. Esta capacidad de anticipación no solo mejora el bienestar animal, sino que reduce costos asociados a tratamientos tardíos o pérdida de productividad (Flores & Cossio, 2021).

Según Flores & Cossio (2021), destacan que el IoT no es una tecnología aislada, indicando que ésta se integra con redes de comunicación, sistemas en la nube, inteligencia artificial y Big Data, generando una red interconectada que transforma datos simples en información útil para la toma de decisiones estratégicas. Esto permite un enfoque más proactivo y personalizado en el control y la gestión de sistemas complejos.

Además, el IoT contribuye a la sostenibilidad, ya que optimiza recursos como agua, energía y alimentos, reduciendo desperdicios y aumentando la eficiencia operativa. En entornos rurales o de difícil acceso, su implementación mejora significativamente las capacidades de vigilancia y control, superando barreras geográficas o de infraestructura (Flores & Cossio, 2021).

### ***2.2.12.2. El Internet de las Cosas (IoT) en la salud***

Para Santamarín (2016) Internet de las Cosas (IoT) ha emergido como una de las tecnologías más revolucionarias en el ámbito de la salud, transformando la forma en que se gestionan los cuidados médicos, tanto en entornos clínicos como domiciliarios. Gracias a la conectividad entre dispositivos inteligentes y sistemas digitales, es posible monitorear en tiempo real diversos parámetros fisiológicos de los pacientes, lo que permite una respuesta médica más rápida y personalizada.

Entre sus aplicaciones más destacadas se encuentran los dispositivos portátiles que miden signos vitales como la presión arterial, el ritmo cardíaco, la temperatura corporal y los niveles de oxígeno. Estos sensores, al estar conectados a plataformas en la nube, generan alertas automáticas cuando se detectan valores anómalos, facilitando así la intervención oportuna del personal de salud o del paciente mismo (Santamarín et al., 2016).

Además, el IoT mejora la eficiencia de los servicios, ya que optimiza los recursos, reduce el tiempo de hospitalización y evita complicaciones mediante el seguimiento continuo. También aporta en la prevención de enfermedades crónicas al mantener un control constante sobre las condiciones del paciente. el IoT no solo representa un avance tecnológico, sino una herramienta esencial para fortalecer un modelo de atención más preventivo, eficiente y centrado en el bienestar (Santamarín et al., 2016).

### ***2.2.12.3. El Internet de las Cosas (IoT) en la educación.***

La llegada del Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) ha marcado un antes y un después en el ámbito educativo. Esta tecnología permite que diversos objetos y dispositivos se comuniquen entre sí, recolectando y compartiendo datos de manera automática y en tiempo real. En el contexto de las instituciones educativas, esto ha dado lugar a entornos

más interactivos, seguros y eficientes, donde el aprendizaje se vuelve más personalizado y atractivo para estudiantes y docentes (Lucent, 2021).

Entre sus principales aplicaciones, se destacan las aulas inteligentes que emplean sensores, pantallas digitales, libros electrónicos y recursos multimedia, adaptando los contenidos al ritmo y estilo de cada estudiante. También se utilizan sensores para regular el consumo de energía, garantizar ambientes confortables y mejorar la seguridad, mediante sistemas que controlan accesos, cámaras y hasta el recorrido de los buses escolares (Lucent, 2021).

Sin embargo, este avance también implica retos importantes. Cuantos más dispositivos estén conectados, mayores son los riesgos en términos de seguridad digital. Por ello, Lucent (2021) destaca la necesidad de aplicar medidas de protección sólidas, como redes segmentadas y mecanismos de aislamiento virtual, que eviten intrusiones sin complicar la infraestructura tecnológica existente.

#### ***2.2.12.4. El Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura.***

La creciente demanda de producir un 70% más de alimentos para 2050 ha impulsado la adopción del Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura y ganadería. La reducción de la mano de obra en el sector agrícola ha impulsado la adopción de tecnologías conectadas, como drones y sensores, para supervisar los cultivos y obtener información sobre las condiciones del suelo y del clima. Estas tecnologías buscan optimizar recursos, aumentar la eficiencia y reducir costos. El mercado global de IoT en agricultura está en crecimiento, reflejando el interés mundial en mejorar la producción agrícola. Además, propuestas como robots agrícolas y marcos semánticos destacan en la investigación, impulsando sistemas que monitorean y registran aspectos clave para la productividad en este sector (De la Peña, 2021).

### ***2.2.12.5. El Internet de las Cosas (IoT) en la ganadería.***

La ganadería desempeña un papel vital en muchas economías, enfrentando desafíos ambientales, problemas de seguridad y una baja productividad a nivel global. A pesar de estos obstáculos, sigue siendo una fuente importante de empleo, contribuyendo significativamente al sector agropecuario y al empleo nacional. La aplicación de Internet de las Cosas (IoT) en la ganadería se centra en mejorar el control y la gestión de los animales a lo largo de diversas etapas, como cría, levante, ceba, lechería y doble propósito (Guzmán, 2021).

El uso del IoT en la ganadería se destaca por el monitoreo constante de variables fisiológicas y ambientales para optimizar la salud animal. Esta tecnología ha demostrado ser efectiva en la detección temprana de enfermedades, generando ahorros significativos en costos de tratamiento veterinario y minimizando el impacto negativo en la producción. En el caso del ganado lechero, ayuda a mitigar las reducciones en la producción de leche, mientras que, en la ganadería de ceba, contribuye a reducir los días de atraso asociados a problemas fisiológicos o enfermedades, acelerando así el tiempo necesario para alcanzar el peso deseado para el sacrificio. La implementación de IoT en la ganadería representa un enfoque innovador que impulsa la eficiencia y la sostenibilidad, aprovechando la tecnología para mejorar la gestión y el rendimiento de los animales a nivel global (Guzmán, 2021).

Además, el IoT facilita un manejo más responsable del entorno: permite controlar el clima de los establos, la calidad del aire y otros factores que influyen directamente en el bienestar del hato. Todo esto se traduce no solo en animales más sanos, sino también en mejores rendimientos productivos, mayor eficiencia en el uso de recursos y una gestión más sostenible (De la Peña, 2021).

Para regiones rurales como el cantón San Pedro de Huaca, donde la ganadería es un pilar económico, estas tecnologías representan una gran oportunidad para modernizar el sector

sin perder la esencia del trabajo tradicional. El IoT, no solo transforma los procesos, sino que acompaña al ganadero en su día a día, brindándole herramientas prácticas para enfrentar los retos actuales con soluciones innovadoras.

#### ***2.2.12.6. Sensores IoT y Dispositivos de Monitoreo***

Los sensores y actuadores desempeñan un papel fundamental en el ecosistema de la Internet de las Cosas (IoT), ya que hacen posible la comunicación entre los objetos cotidianos y las personas mediante conexiones a internet o redes específicas. En la actualidad, existe una tendencia hacia la fabricación de dispositivos más pequeños que puedan incorporarse fácilmente en una amplia variedad de objetos, sin que esto afecte su eficiencia. Este enfoque se basa en dividir las tareas en componentes de hardware con funciones específicas, que trabajan de manera coordinada para cumplir un objetivo común. En esencia, la IoT opera gracias a sensores que captan variables físicas o químicas y las convierten en señales eléctricas, y a actuadores que transforman esas señales en acciones concretas. Ambos conforman la base física indispensable para poner en marcha sistemas inteligentes y automatizados (González, 2017).

Actualmente, el mercado ofrece una amplia gama de sensores diseñados para monitorear el estado físico de los animales. Entre ellos se encuentran los sensores de temperatura, frecuencia cardíaca, podómetros y acelerómetros. Estos dispositivos juegan un papel clave en la creación de sistemas inteligentes, ya que permiten supervisar en tiempo real la salud y el comportamiento de los animales, brindando a los productores herramientas valiosas para una gestión más eficiente y oportuna del ganado. Sensor de temperatura y humedad ambiental (Briones & Gustavo, 2021).

Un sensor como el DHT11 mide la temperatura y humedad del ambiente, ofreciendo datos sobre las condiciones ambientales. Su mayor ventaja es ser digital, ofreciendo fiabilidad

y estabilidad ante interferencias, a diferencia de sensores analógicos como el LM35. Con pines como GND (tierra), DATA (datos) y VCC (energía), este sensor monitorea variables ambientales esenciales, como temperatura y humedad, brindando información precisa del entorno. (Briones & Gustavo, 2021).

- Acelerómetro.

Un acelerómetro, como el MPU6050 empleado para supervisar la actividad física en bovinos, es un sensor diseñado para medir la aceleración en tres direcciones: x, y y z. Reconocido por su eficiente consumo de energía y su capacidad de funcionar en voltajes entre 2V y 3.6V, este dispositivo no solo detecta la aceleración, sino que también puede determinar su orientación mediante la influencia de la gravedad. La conexión con el microcontrolador se establece mediante la comunicación I2C, y cuenta con un bloque de memoria FIFO para almacenar conjuntos de datos. Sus pines de VCC y GND suministran la energía necesaria, y los pines SDA y SCL facilitan la comunicación con el microcontrolador. Cabe mencionar que este tipo de acelerómetro se utiliza comúnmente en bovinos para monitorear su actividad física y comportamiento (Briones & Gustavo, 2021).

- Sensor de temperatura corporal.

Un sensor de temperatura corporal es un dispositivo diseñado para medir y registrar la temperatura del cuerpo, esencial en diversas aplicaciones, desde el monitoreo médico hasta el control ambiental. Tomando como ejemplo el HDC1080 de Texas Instruments, este sensor digital ofrece una eficiente adquisición de datos sobre la temperatura corporal, garantizando lecturas precisas con un consumo de energía óptimo. Este tipo de sensores desempeña un papel crucial en la monitorización y gestión de la temperatura corporal, proporcionando información valiosa para aplicaciones en salud, bienestar y control ambiental (Loja & Naula, 2022).

- Podómetro.

El podómetro para bovinos es un dispositivo diseñado para registrar la actividad física de las vacas al contar el número de pasos que dan a lo largo del día. Colocado en una de las extremidades del animal, este dispositivo ofrece datos valiosos sobre el comportamiento locomotor de las vacas, permitiendo a los ganaderos monitorear su actividad diaria. La información recopilada por el podómetro puede ser utilizada para evaluar la salud y el bienestar del ganado, así como para realizar ajustes en la gestión del rebaño con el objetivo de mejorar la eficiencia y el rendimiento general en la explotación ganadera (Agronet, 2021).

- Frecuencia cardíaca

El sensor de frecuencia cardíaca para bovinos, por ejemplo, el modelo SEN11574, se evalúa comparando los latidos cardíacos registrados por el sensor con los obtenidos mediante un estetoscopio convencional en un periodo de un minuto. Los resultados indican que el sensor presenta una incertidumbre inferior a 1 latido por minuto en relación con el estetoscopio de referencia, respaldando la confiabilidad de los datos recolectados por este tipo de sensor (Roa & Rojas, 2019).

- Sensores de rumia.

Estos dispositivos, comúnmente instalados en collares o aretes electrónicos, permiten observar con detalle el tiempo y la frecuencia con la que los animales rumian. Dado que la rumia es un comportamiento esencial para el proceso digestivo de los bovinos, cualquier alteración puede ser una señal de alerta sobre trastornos metabólicos o digestivos. El monitoreo constante permite una intervención temprana que mejora el rendimiento productivo y evita complicaciones mayores (Tangorra et al., 2024)

- Collares con GPS.

Ideales para sistemas de pastoreo libre, estos collares permiten ubicar a los animales en tiempo real. Más allá de su función de rastreo, ayudan a detectar comportamientos anormales, como aislamiento o disminución de actividad, que pueden indicar enfermedades, partos o extravíos. Su uso reduce la necesidad de inspecciones físicas frecuentes y mejora la gestión del rebaño (Tangorra et al., 2024).

- Sensores respiratorios.

Estos aparatos registran de forma continua la frecuencia respiratoria del animal, permitiendo identificar signos tempranos de enfermedades pulmonares como el Complejo Respiratorio Bovino (CRB). Detectar a tiempo estas anomalías respiratorias permite iniciar tratamientos adecuados y evitar contagios dentro del hato (Tangorra et al., 2024).

- Cámaras térmicas.

Sin necesidad de contacto directo, estas cámaras captan la temperatura corporal superficial del bovino. Son útiles para detectar estados febriles, inflamaciones o infecciones de manera temprana. Su uso se ha vuelto común en zonas de paso o corrales de observación, reduciendo el estrés animal y mejorando la vigilancia sanitaria (Tangorra et al., 2024).

- Etiquetas RFID.

Las etiquetas de identificación por radiofrecuencia permiten identificar individualmente a cada bovino y registrar eventos clave de su vida productiva: vacunaciones, partos, controles sanitarios, entre otros. Este sistema mejora la trazabilidad y la seguridad alimentaria, facilitando una gestión más ordenada del hato (Tangorra et al., 2024).

- Bolos intraruminales.

Son cápsulas electrónicas que se alojan en el estómago del bovino y permiten medir variables internas como la temperatura y el pH. Estos datos ayudan a identificar enfermedades digestivas o cambios fisiológicos importantes. Tienen una vida útil prolongada y ofrecen información continua sin necesidad de manipulación externa (Tangorra et al., 2024).

- **Sensores ambientales**

Aunque no se colocan directamente en los animales, estos sensores registran condiciones del entorno como temperatura, humedad, calidad del aire y niveles de amoníaco. Estos factores inciden directamente en el confort y salud del ganado, por lo que monitorearlos permite prevenir situaciones de riesgo y mejorar el manejo de las instalaciones (Tangorra et al., 2024).

- **Sensores para detección del parto**

Estos sensores, que se colocan en la cola o en la región perineal de la vaca, identifican señales como contracciones o cambios de temperatura corporal. Envían alertas inmediatas al ganadero para que pueda asistir el parto a tiempo, lo que reduce complicaciones tanto para la madre como para el ternero (Tangorra et al., 2024).

Los sensores mencionados son de gran utilidad para medir variables específicas en el caso de bovinos. Se han llevado a cabo numerosos estudios y trabajos que hacen uso de diversos tipos de sensores y dispositivos interconectados para establecer un sistema de IoT completo. Este sistema busca monitorizar muchas condiciones en los animales, proporcionando información valiosa para su cuidado y bienestar (Roa & Rojas, 2019).

## **Capítulo III**

### **Análisis Situacional y Diseño del Sistema**

En este capítulo se aplica el modelo de desarrollo en cascada para llevar a cabo la ejecución del sistema planteado. Inicialmente, se presenta una descripción general del trabajo realizado y de las metas que se pretenden cumplir. Posteriormente, se analiza la situación actual relacionada con la incidencia de la neumonía bovina en los productores ganaderos de la comunidad rural El Rosal, perteneciente al cantón San Pedro de Huaca, a partir de encuestas dirigidas a los hatos del sector. Finalmente, se exponen los resultados obtenidos luego del procesamiento y análisis de la información recopilada.

A continuación, el capítulo aborda las distintas etapas del proceso, iniciando con el estudio de los requisitos y las especificaciones del sistema. En esta parte se describen los requerimientos funcionales, los lineamientos de la arquitectura, las principales características del sistema y la elección de los componentes de hardware y software más apropiados para su implementación. La fase final del capítulo se centra en el diseño del sistema, donde se detalla la arquitectura del dispositivo y se presentan los diagramas de bloques que describen su estructura y funcionamiento.

#### **3.1. Descripción General del Sistema**

El Sistema sugerido es una arquitectura IoT para detección temprana de neumonía en bovinos, diseñada para funcionar continuamente y de manera autónoma en el campo. Su diseño consiste en una red amplia inalámbrica (LoRa), compuesta por dos nodos: un móvil unido al animal y un nodo central o gateway que recolecta y reenvía datos.

El nodo móvil, situado estratégicamente en un collar inteligente, incluye sensores biométricos que miden temperatura corporal, frecuencia cardíaca, ritmo respiratorio y otros parámetros fisiológicos importantes. Este dispositivo supervisa continuamente la salud del

animal, anotando cualquier alteración que indique un posible proceso patológico respiratorio, como la neumonía en bovinos. Al superar los valores recogidos ciertos umbrales definidos por algoritmos establecidos, se inicia un protocolo de envío de datos usando tecnología LoRa hacia el nodo central, asegurando así una transmisión eficiente en áreas rurales con baja conectividad (Darvesh et al., 2023).

El nodo principal, funcionando como un gateway, recibe datos de varios nodos móviles y los envía por WiFi a una base en la nube. Esta base de datos se conecta a un módulo que utiliza algoritmos de análisis, correlación y predicción para identificar patrones clínicos asociados a neumonía. Los resultados se muestran en un panel interactivo, disponible en móviles o computadoras, que permite a los propietarios supervisar la salud del hato en tiempo real. Al detectar síntomas de neumonía, el Sistema genera alertas automáticas, facilitando intervenciones veterinarias rápidas (Casella et al., 2023; Puig et al., 2022).

El Sistema se diseña considerando no solo aspectos técnicos, sino también el contexto socio productivo de los ganaderos de El Rosal. Se propone analizar las condiciones del entorno (infraestructura, conectividad, capacidad de respuesta y cultura digital del productor) para adaptar el Sistema a las necesidades del usuario final (Langer et al., 2024). Este diagnóstico contextual es crucial para asegurar la usabilidad, escalabilidad y sostenibilidad del Sistema en entornos de producción reales, como sugieren experiencias anteriores en la implementación de IoT agrícola (Weber et al., 2023).

### **3.2. Análisis de la situación actual**

Este estudio se ubica en la comunidad rural de El Rosal, dentro del cantón San Pedro de Huaca, una región donde predomina una economía agropecuaria; la ganadería de doble propósito, enfocada en la producción lechera, es una vital actividad de sustento e ingresos para las familias rurales (GAD-San Pedro de Huaca, 2023). La zona se sitúa en un ecosistema andino

de clima fresco-húmedo, a más de 2.800 m s. norte. m., y factores ambientales que hacen a los bovinos susceptibles a enfermedades respiratorias, sobre todo en épocas de lluvia y frío.

Para caracterizar la problemática sanitaria local de la neumonía bovina, se utilizará un instrumento estructurado con los dueños de los hatos de El Rosal. Esta recolección de información facilitó obtener datos esenciales sobre la prevalencia de enfermedades respiratorias, los métodos de control sanitario actuales, la infraestructura disponible, y la visión de los productores hacia el uso de tecnologías digitales. Se observó una alta frecuencia de síntomas respiratorios no diagnosticados, relacionados con cambios climáticos, estrés térmico y exposición prolongada al frío.

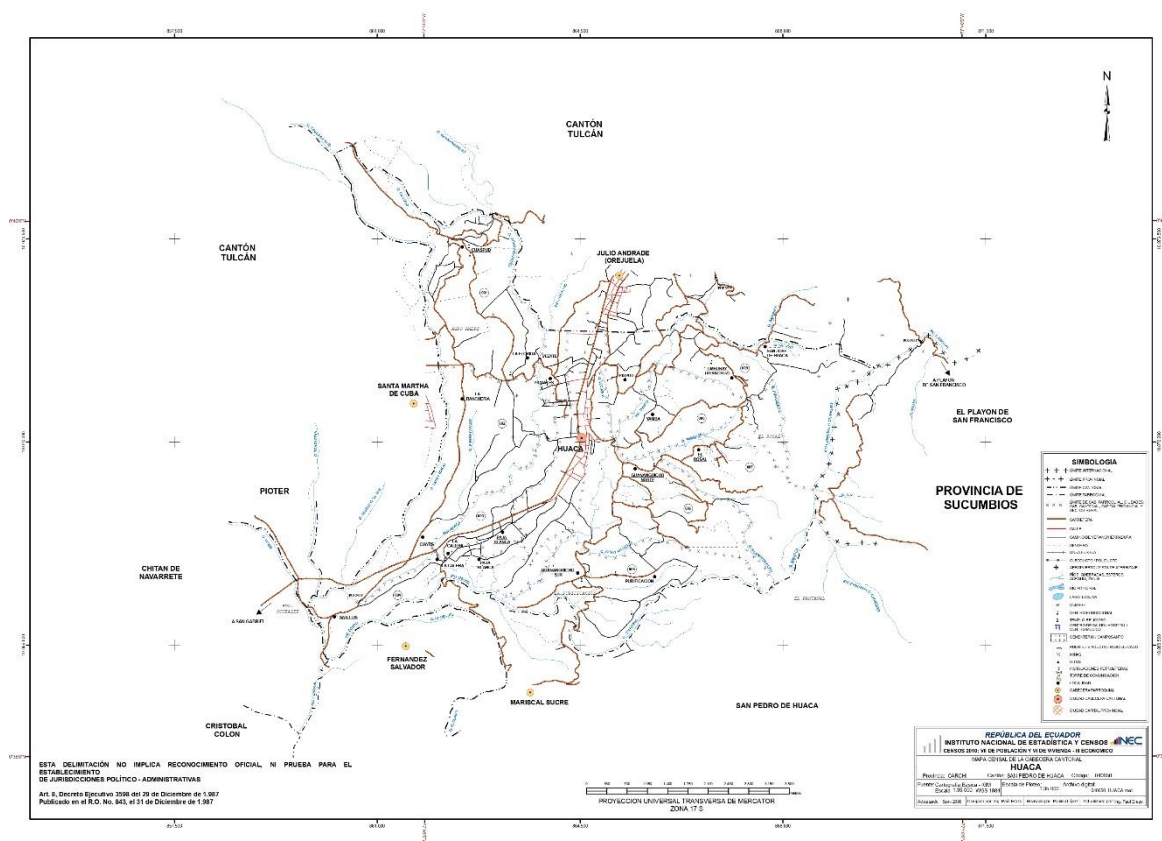
Asimismo, el diagnóstico mostrará la implementación de tecnologías para el seguimiento de la salud animal. Muchos productores utilizan métodos empíricos basados en la observación visual y tratamientos tradicionales o reactivos, lo que demora la intervención veterinaria y eleva el riesgo de complicaciones clínicas. Esta circunstancia se complica por la carencia de acceso a registros digitales, conectividad reducida en áreas altas y escasa formación técnica (GAD-San Pedro de Huaca, 2023).

### **3.2.1. Cantón San Pedro de Huaca**

El cantón San Pedro de Huaca se encuentra ubicado en la región norte del Ecuador, dentro de la provincia del Carchi, formando parte de la Zona 1 según la organización nacional del territorio. Esta zona se distingue por su localización en las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes, lo que le otorga una posición estratégica y un relieve diverso. El cantón posee una extensión aproximada de 70,9 km<sup>2</sup> y se sitúa a una altitud media de 2.923 metros sobre el nivel del mar (GAD-San Pedro de Huaca, 2023).

**Figura 5.**

*Localización del Cantón San Pedro de Huaca en la provincia del Carchi*



*Fuente:* Banco de Información Cartográfica INEC

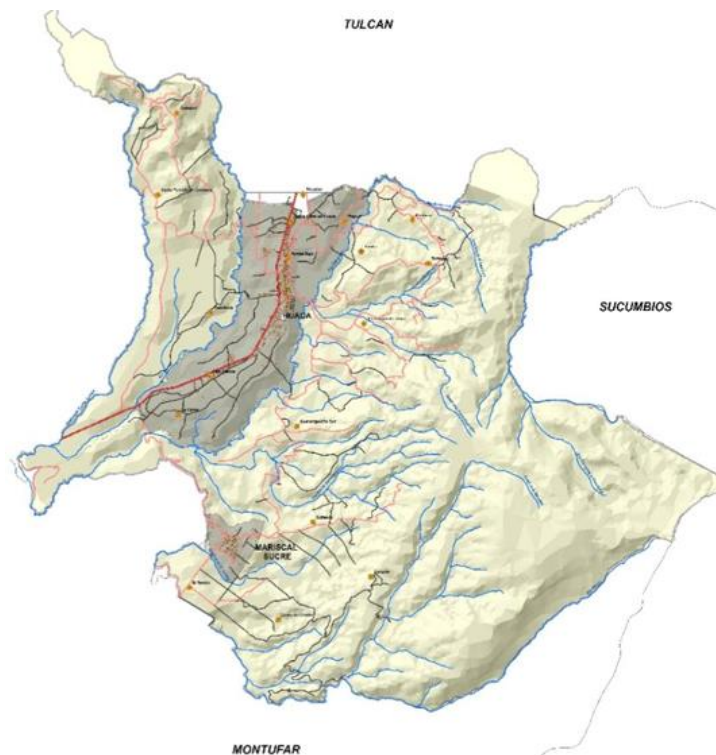
Como se visualiza en la Figura 5, el cantón San Pedro de Huaca limita al norte con el cantón Tulcán, al sur con Montúfar, al este con la provincia de Sucumbios y al oeste nuevamente con los cantones Tulcán y Montúfar. Su territorio abarca diversos ecosistemas y amplias zonas destinadas a la producción agrícola, los cuales cumplen un papel relevante en el desarrollo económico local y en la protección del entorno natural (GAD-San Pedro de Huaca, 2023).

### 3.2.1.1. Comunidad el Rosal.

El sector rural en San Pedro de Huaca es una región caracterizada por su riqueza natural y productiva, ubicada en las estribaciones de la cordillera nororiental de los Andes ecuatorianos. Este territorio cuenta con suelos fértiles, ideales para la agricultura y ganadería, siendo actividades predominantes que sustentan la economía local. La agricultura y la ganadería aportan el 43% a la economía del cantón, posicionándose como su principal motor económico y fuente de sustento para gran parte de la población (GAD-San Pedro de Huaca, 2023).

#### **Figura 6.**

*Delimitación urbana y rural del Cantón San Pedro de Huaca.*



*Fuente:* (GAD-San Pedro de Huaca, 2023)

La comunidad de El Rosal, en el cantón San Pedro de Huaca, se destaca por su actividad agrícola y ganadera. Sin embargo, a pesar de su riqueza productiva, enfrenta carencias en

infraestructura básica, como servicios públicos y vías de acceso, evidenciando la necesidad de mayor inversión para su desarrollo integral (GAD-San Pedro de Huaca, 2023).

### **3.2.2. Levantamiento de información**

Cerca de la comunidad El Rosal, en el cantón San Pedro de Huaca, se encuentra la Asociación Artesanal Elaboradores de Productos Lácteos "Progresista Mirador". Esta organización, fundada en el año 2000, beneficia a ganaderos y productores locales a través de la acopio y comercialización de leche cruda, impactando positivamente en la economía de la región (Pérez, 2019).

Durante la visita a la asociación ganadera, se sostuvo un diálogo con su presidente, Germán Ayala, quien destacó los principales desafíos que enfrentan los ganaderos del sector. Entre ellos, mencionó la falta de controles técnicos en la salud animal y los riesgos asociados, especialmente la neumonía bovina, una de las enfermedades más comunes debido a las bajas temperaturas y fuertes lluvias de la región. Además, se identificaron problemas de seguridad que afectan la producción ganadera.

Se llevó a cabo una investigación sobre la ganadería en El Rosal y las principales enfermedades que afectan al ganado bovino. Sin embargo, no se encontró información específica sobre la incidencia de estas enfermedades en la zona. Ante esta limitación, se propuso la aplicación de encuestas dirigidas a los ganaderos para recopilar datos directos. Esto permitirá definir una muestra representativa y analizar con precisión la producción y las necesidades del sector, estableciendo así una base sólida para el desarrollo de estrategias tecnológicas, como el Sistema IoT planteado en este estudio.

### 3.2.3. Población de estudio

Esta investigación se realizó en el sector rural de El Rosal, cantón San Pedro de Huaca, específicamente en la Asociación Artesanal Elaboradores de Productos Lácteos "Progresista Mirador". El levantamiento de información se llevó a cabo mediante encuestas aplicadas a al total de la población (30 personas) que poseen hatos ganaderos en la comunidad El Rosal.

### 3.2.4. Encuesta

Con el propósito de analizar la incidencia de la neumonía bovina en la comunidad rural de El Rosal y evaluar sus efectos en la producción ganadera, se elaboró una encuesta dirigida a los propietarios de hatos bovinos. La información recopilada permitió conocer las condiciones sanitarias del ganado, las prácticas actuales de monitoreo y la posibilidad de incorporar tecnologías basadas en IoT para la detección temprana de enfermedades. En la Tabla 6 se describe el procedimiento y el instrumento empleado para la recolección de estos datos.

**Tabla 6.**

*Método y formato para el levantamiento de información de la situación actual*

<b>SITUACIÓN ACTUAL</b>	
<b>Método</b>	Con el fin de obtener información sobre la situación actual de la neumonía bovina en la comunidad rural de El Rosal, se aplicó una encuesta dirigida a los productores ganaderos del sector. Este instrumento permitió analizar el impacto de la enfermedad tanto en la salud del ganado como en los aspectos económicos de la actividad pecuaria. Además, se recopiló información sobre el acceso de los productores a dispositivos electrónicos con conexión a internet y su capacidad para identificar signos clínicos de neumonía. La metodología empleada, de enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, facilitó la obtención de un diagnóstico detallado de la problemática sanitaria en el contexto específico del cantón San Pedro de Huaca.
<b>Formato</b>	La encuesta fue diseñada con un enfoque descriptivo y estructurada mediante preguntas cerradas, lo que facilitó la obtención de datos cuantitativos precisos y comparables. El instrumento incluyó ítems orientados a identificar la frecuencia de aparición de neumonía, los síntomas observados, las prácticas actuales de monitoreo sanitario, el nivel de afectación productiva, así como la disposición de

los ganaderos a implementar sistemas tecnológicos de monitoreo. La información obtenida constituye la base para el análisis estadístico y la toma de decisiones orientadas al diseño e implementación de un sistema IoT adaptado a las condiciones del entorno rural.

---

*Elaborado por: El Autor.*

La encuesta tuvo como finalidad recopilar información directa de los ganaderos acerca de la frecuencia y severidad de la neumonía bovina en la zona, así como de las prácticas que utilizan para vigilar la salud de sus animales y su nivel de acceso a dispositivos tecnológicos. Los datos obtenidos se emplearán como base para la toma de decisiones durante el diseño del sistema IoT propuesto, garantizando que responda a las necesidades reales del sector pecuario local.

La primera sección de la encuesta que se observa en el Anexo 1, está enfocada en la percepción de los ganaderos sobre la neumonía bovina y su presencia en los hatos de la comunidad de El Rosal. Se indaga si consideran que la enfermedad es común, si han tenido casos recientes y qué métodos utilizan actualmente para monitorear la salud del ganado. Además, se consulta qué grupo etario del ganado es más vulnerable a desarrollar la enfermedad, lo que permitirá analizar patrones de incidencia en la región.

Se analizan los signos clínicos más frecuentes observados en bovinos con neumonía y su repercusión en la producción ganadera. Los encuestados pueden identificar diversos síntomas, entre ellos fiebre, letargo y dificultades respiratorias. Asimismo, se consideran los efectos económicos y productivos asociados a la enfermedad, como la disminución en la producción de leche y la pérdida de peso del ganado, aspectos clave para valorar la magnitud del problema.

Por otra parte, la encuesta también aborda el nivel de acceso a la tecnología y la disposición de los productores para incorporar herramientas digitales. Se consulta sobre la

disponibilidad de dispositivos con conexión a internet y el interés en utilizar un sistema de monitoreo en tiempo real. Además, se indaga la periodicidad con la que preferirían recibir alertas relacionadas con la salud del ganado y el tamaño de los dispositivos que resultarían más prácticos para los animales, información esencial para determinar la factibilidad y aceptación del sistema IoT propuesto.

Listado de preguntas de la encuesta:

- **Pregunta N°1:** ¿Considera que la neumonía es una enfermedad común en el ganado bovino?
- **Pregunta N°2:** ¿Ha tenido casos de neumonía en su ganado en el último año?
- **Pregunta N°3:** ¿Qué método utiliza actualmente para monitorear la salud de su ganado?
- **Pregunta N°4:** ¿En su experiencia, qué grupo de edad del ganado bovino considera que es más vulnerable a desarrollar neumonía?
- **Pregunta N°5:** ¿Cuáles son los síntomas más comunes que ha observado en animales afectados por neumonía bovina? (Puede marcar varias)
- **Pregunta N°6:** ¿Qué impacto ha tenido la neumonía en su ganado? (Puede marcar varias)
- **Pregunta N°7:** ¿Qué costos asociados a la neumonía bovina ha tenido que enfrentar como ganadero? (Puede marcar varias)
- detección temprana de neumonía en el ganado bovino?
- **Pregunta N°9:** ¿Dispone usted de algún dispositivo electrónico con acceso a Internet? (Puede marcar varias)
- **Pregunta N°10:** ¿Le gustaría contar con un sistema de monitoreo en tiempo real que detecte de manera temprana síntomas de neumonía en su ganado?

- **Pregunta N°11:** ¿Con qué frecuencia le gustaría recibir alertas sobre el estado de salud de su ganado?
- **Pregunta N°12:** ¿Qué tamaño preferiría para los dispositivos a instalarse en el ganado?

### 3.2.5. Análisis de resultados

El objetivo de este apartado es presentar de manera organizada el conjunto de análisis que se realizará en los próximos capítulos, el cual se basa en los datos recopilados a través de dos fuentes principales: las encuestas a los ganaderos de la comunidad El Rosal y el monitoreo en tiempo real del caso experimental 'vaca Esmeralda', donde se aplicó el sistema IoT propuesto. Desde esta doble perspectiva (perceptiva y técnica) se busca interpretar los resultados logrados no solo de forma descriptiva, sino también funcional, evaluando la aplicabilidad práctica del sistema en entornos rurales.

Primero, se examinarán los resultados de las encuestas para evidenciar percepciones, necesidades y aceptación de los ganaderos sobre el uso de tecnologías de monitoreo animal. Estos datos fueron estructurados, clasificados e analizados utilizando frecuencias absolutas y relativas, respaldadas por gráficos circulares y de barras. La información recogida facilita conocer, por ejemplo, qué porcentaje de ganaderos ha señalado la neumonía bovina como un problema frecuente, cuántos emplean sistemas de monitoreo actualmente, y qué características técnicas consideran esenciales en un dispositivo así.

De manera paralela, se incorpora un segundo enfoque de análisis basado en los datos biométricos recopilados durante la etapa de pruebas del sistema IoT. En esta fase, se registraron en el animal piloto variables como la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca, la cantidad de pasos diarios y los episodios de tos. Estos indicadores fueron seleccionados por su relevancia clínica en la detección de neumonía bovina, ya que permiten un seguimiento detallado del estado de salud del animal. Posteriormente, la información recolectada fue procesada mediante

un análisis estadístico básico, que incluyó el cálculo de medidas de tendencia central (media y moda), medidas de dispersión (desviación estándar y varianza) y el análisis del rango, con el fin de identificar patrones y variaciones en los datos obtenidos.

Es importante destacar que este análisis pretende no solo mostrar datos numéricos, sino también reconocer patrones clínicos significativos que avalen el adecuado funcionamiento del sistema. Se notarán correlaciones entre la temperatura corporal elevada, la tos frecuente y la actividad física reducida, indicadores que pueden señalar la existencia de un problema respiratorio agudo. Finalmente, los resultados serán la base para la discusión técnica y científica del proyecto, donde se compararán estos hallazgos con investigaciones anteriores, se evaluará el cumplimiento de los objetivos establecidos y se resaltarán los aportes del sistema desde una óptica innovadora y socialmente relevante.

### **3.3. Requisitos y requerimientos**

Posteriormente, se realiza el análisis de los requisitos y requerimientos del Sistema, para lo cual se lo realiza mediante el soporte del estándar IEEE 29148:2011. Este estándar establece un marco estructurado para la identificación, documentación y validación de los requisitos necesarios en el desarrollo de Sistemas, asegurando la trazabilidad y alineación con los objetivos del proyecto (IEEE 29148, 2011).

En esta sección, se detallan los requerimientos del sistema IoT diseñado para la detección temprana de neumonía en ganado bovino, definiendo con claridad las especificaciones técnicas y operativas necesarias para su implementación exitosa.

#### **3.3.1. Abreviaturas de los requerimientos**

Con el fin de asegurar un desarrollo del proyecto de forma ordenada y eficiente, se ha optado por estructurar e identificar los requerimientos a través del uso de abreviaturas. Esta metodología facilita tanto su comprensión como su localización rápida a lo largo del proceso.

En la Tabla 7, se detalla cada una de estas abreviaturas y se explica cómo se relacionan con los diferentes requerimientos definidos para el sistema.

**Tabla 7.**

*Abreviatura de los requerimientos*

<b>Requerimiento</b>	<b>Abreviatura</b>
Requerimientos de stakeholders	StSR
Requerimientos del sistema	SySR
Requerimientos de arquitectura	SRSR

*Elaborado por: El Autor.*

### **3.3.2. Requerimientos de Stakeholders**

Los stakeholders son las personas u organizaciones que tienen un interés en el sistema, como usuarios, desarrolladores o reguladores. Cada uno tiene necesidades y expectativas específicas que deben considerarse para diseñar un sistema útil y adaptado a su entorno (IEEE 29148, 2011). En la Tabla 8, se puede observar la lista de Stakeholders que integran este proyecto.

**Tabla 8.**

*Lista de Stakeholders*

<b>LISTA DE STAKEHOLDERS</b>
1. Ganaderos de la comunidad rural El Rosal del cantón San Pedro de Huaca
2. MsC. Jaime Michilena (Director del Trabajo de Titulación)
3. MsC. Fabián Cuzme (Asesor del trabajo de Titulación)
4. Andrés Pozo (Desarrollador del proyecto)

*Elaborado por: El Autor.*

Los requisitos de los interesados reflejan las necesidades, expectativas y condiciones de los actores clave en el desarrollo y uso del sistema. En este proyecto, los interesados son principalmente los ganaderos de la comunidad El Rosal, quienes usarán el sistema de monitoreo, junto al equipo de desarrollo y asesores académicos del trabajo de titulación. Estos

requisitos se identificaron mediante encuestas realizadas en el campo, entrevistas informales y análisis del contexto productivo local. Los datos recolectados facilitaron definir criterios esenciales que el sistema debe cumplir, como usabilidad, bajo consumo energético, portabilidad de dispositivos, alertas en tiempo real y visualización remota de datos en plataformas web o móviles. Estos aspectos aseguran que el sistema sea funcional, socialmente aceptado y viable para la adopción de los usuarios locales. La clasificación de cada requerimiento se ha realizado en niveles alto, medio o bajo, según su efecto en el logro del objetivo general y la satisfacción del usuario final.

A partir de los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas, fue posible reconocer las principales necesidades de los usuarios, con el objetivo de dar respuesta a sus expectativas de manera efectiva. En la Tabla 9, se detallan y valoran tanto los requerimientos operacionales como las necesidades específicas identificadas, asegurando así que el sistema diseñado esté alineado con los objetivos planteados y responda adecuadamente a lo que los usuarios realmente demandan.

**Tabla 9.**  
*Requerimientos de Stakeholder*

<b>StSR</b>				
#	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
<b>Requerimientos de Stakeholder</b>				
<b>StSR1</b>	Monitorear parámetros fisiológicos, como temperatura corporal, frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria.	X		
<b>StSR2</b>	Nodo móvil eficiente con bajo consumo de energía.		X	
<b>StSR3</b>	Asegurar que el nodo móvil sea compacto, ligero y cómodo para el ganado.		X	
<b>StSR4</b>	Proveer una plataforma web o una aplicación móvil que permitan a los ganaderos consultar los datos en tiempo real.	X		
<b>StSR5</b>	Implementar un sistema de alertas que notifique a los ganaderos sobre anomalías mediante SMS o notificaciones en la plataforma web o móvil.	X		
<b>StSR6</b>	Almacenamiento en la base de datos	X		

<b>StSR7</b>	Realizar pruebas con ganado en la comunidad de El Rosal para validar el funcionamiento y efectividad del sistema.	X
<b>REQUERIMIENTOS DE USUARIO</b>		
<b>StSR8</b>	Mostrar los datos de los sensores de manera comprensible	X
<b>StSR9</b>	El nodo móvil debe contar con baterías intercambiables	X
<b>StSR10</b>	Las alertas deben ser instantáneas al detectar anomalías.	X
<b>StSR11</b>	El usuario debe poseer conocimientos en ganadería.	X

*Elaborado por: El Autor.*

La recopilación de requerimientos de los Stakeholders es fundamental en el diseño de sistemas IoT para la salud animal, ya que ayuda a identificar las necesidades operativas y funcionales desde la óptica de los usuarios y actores relevantes. Entre los requisitos más urgentes, resalta la necesidad de vigilar parámetros fisiológicos esenciales como temperatura corporal, ritmo cardíaco y frecuencia respiratoria (StSR1), los cuales coinciden con los signos clínicos típicos de neumonía en bovinos. La habilidad de monitorear estos indicadores de manera continua es esencial para crear alertas tempranas según umbrales críticos. También se requiere una plataforma web o aplicación móvil para visualizar remotamente los datos recolectados (StSR4), lo que responde a la necesidad de gestión y accesibilidad en tiempo real del estado de salud del ganado.

Así mismo se enfatiza como alta prioridad la creación de un sistema de alertas que informe a los ganaderos sobre anomalías por SMS o notificaciones en la plataforma (StSR5). Esta función asegura respuestas rápidas ante posibles cuadros clínicos, lo que puede disminuir notablemente la mortalidad animal. Adicionalmente, se requiere el almacenamiento de datos en una base de datos (StSR6), lo que permite el análisis histórico de la salud animal, facilitando decisiones informadas. Finalmente, se añade la necesidad de hacer pruebas de campo con ganado local (StSR7), siguiendo el principio de validación contextual, clave en el diseño de tecnologías para entornos rurales específicos.

Sobre los requerimientos de prioridad media, se destacan aspectos enfocados en la ergonomía y usabilidad del dispositivo. Por un lado, se requiere que el nodo móvil consuma energía de manera eficiente (StSR2), una condición esencial para sistemas que funcionan al aire libre y sin conexión continua a fuentes de energía. Asimismo, se indica que el gadget debe ser compacto, liviano y cómodo para el animal (StSR3), priorizando el bienestar del bovino y minimizando interferencias en su comportamiento natural. Asimismo, se considera que el usuario tiene conocimientos básicos en ganadería (StSR11), garantizando así su capacidad de interpretar las alertas y actuar adecuadamente.

Respecto a los requisitos del usuario, se reconocen funciones de interfaz y mantenimiento operativo. Es necesario que la información de los sensores se muestre de forma clara (StSR8), lo que requiere un diseño intuitivo de la interfaz, ajustado al perfil técnico del ganadero común. Asimismo, el sistema debe facilitar el cambio de baterías en el nodo móvil (StSR9), asegurando la continuidad operativa en el campo. Por último, se enfatiza que las alertas deben crearse al instante al identificar anomalías fisiológicas (StSR10), lo que fortalece el enfoque de prevención temprana que impulsa el diseño del sistema.

### **3.3.3. Requerimientos de Sistema**

Los requerimientos del sistema (SySR) corresponden a las especificaciones técnicas necesarias para que el sistema IoT funcione correctamente y cumpla con los objetivos definidos por los stakeholders. Estos requerimientos se derivan directamente de las necesidades funcionales y no funcionales previamente identificadas, y establecen parámetros clave relacionados con la operatividad, desempeño, interfaces, condiciones físicas y comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios. Se han organizado en categorías como: requerimientos de interfaz, de uso, de rendimiento, de modos/estado y físicos.

Los requerimientos del sistema especifican aspectos como la transmisión de datos en tiempo real desde el nodo móvil hacia el nodo central (gateway), la generación automática de alertas ante la detección de anomalías fisiológicas, la interoperabilidad con plataformas web y móviles, la facilidad de instalación, el bajo consumo energético y la disponibilidad continua del sistema. Adicionalmente, se definen criterios de desempeño como la distancia mínima de comunicación inalámbrica, la rapidez de respuesta ante eventos críticos y la estabilidad operativa bajo condiciones rurales. Cada requerimiento ha sido priorizado según su relevancia para garantizar la funcionalidad, eficiencia y sostenibilidad del sistema, permitiendo orientar adecuadamente el proceso de diseño, implementación y validación del prototipo IoT propuesto. En la Tabla 10, se puede apreciar los diferentes requerimientos y necesidades del sistema.

**Tabla 10.**

*Requerimientos del sistema*

SySR						
#	Requerimientos del Sistema	Prioridad			Req. Relacionados	
		Alta	Media	Baja		
<b>Requerimientos de interfaz</b>						
<b>SySR1</b>	El Sistema deberá enviar los datos de los sensores utilizados en tiempo real.	X			StSR1	
<b>SySR2</b>	Deberá emitir alertas en tiempo real en caso de anomalías detectadas.	X			StSR5 StSR10	
<b>SySR3</b>	El Sistema deberá tener interacción con la plataforma web para la visualización de datos.	X			StSR4	
<b>SySR4</b>	Deberá generar reportes periódicos con la información recolectada.		X			
<b>SySR5</b>	Conexiones estándar para la integración de sensores y módulos de comunicación.		X			
<b>SySR6</b>	Indicadores LED para notificaciones de estado del dispositivo (encendido, comunicación activa, batería baja).			X		
<b>REQUERIMIENTOS USO</b>						
<b>SySR7</b>	El Sistema Electrónico se energiza mediante baterías.		X			

<b>SySR8</b>	Los datos del Sistema de monitoreo deben ser obtenidos rápidamente.	X		StSR8
<b>SySR9</b>	Para la conexión entre el nodo móvil y el Gateway se debe usar comunicación tecnología de largo alcance.	X		
<b>SySR10</b>	Facilidad de instalación y operación del dispositivo		X	StSR3
<b>REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE</b>				
<b>SySR11</b>	La plataforma web debe estar siempre disponible para el usuario.	X		
<b>SySR12</b>	Bajo tiempo de respuesta para la transmisión de datos entre el nodo móvil y el Gateway.		X	
<b>SySR13</b>	Sistema debe permanecer funcional con bajo tiempo de inactividad.		X	
<b>SySR14</b>	Dispositivo capaz de comunicarse a distancias mayores a 100 metros.	X		
<b>REQUERIMIENTOS DE MODOS/ESTADO</b>				
<b>SySR15</b>	El sistema debe permanecer operativo durante su uso.	X		
<b>REQUERIMIENTOS FISICOS</b>				
<b>SySR16</b>	El dispositivo debe instalarse directamente sobre el bovino mediante un collar, permitiendo el monitoreo continuo de los sensores.	X		StSR7
<b>SySR17</b>	Batería recargable con duración mínima de 3 días en operación normal.		X	StSR2 StSR9
<b>SySR18</b>	Tamaño reducido		X	StSR3

*Elaborado por: El Autor.*

La instauración de un sistema IoT para la detección temprana de neumonía en ganado bovino requiere una definición precisa y estructurada de los requisitos funcionales y operativos. En este marco, los requisitos del sistema se han reordenado por áreas funcionales: interfaz, uso, rendimiento, modos de operación y propiedades físicas, facilitando una estructuración más lógica de las funcionalidades esperadas.

Respecto a los requisitos de interfaz, se indica que el sistema tiene que transmitir datos de sensores en tiempo real (SySR1) y generar alertas inmediatas ante irregularidades (SySR2),

lo que es crucial para que el ganadero reaccione rápidamente ante los primeros signos de neumonía. La conexión a una plataforma web para visualizar datos (SySR3) asegura acceso remoto desde cualquier dispositivo con Internet, optimizando la toma de decisiones informadas. Asimismo, se prevé la elaboración de informes regulares (SySR4), la conformidad con conexiones estándares para unir sensores y módulos (SySR5), y la adición de luces LED indicadoras de estado (SySR6), que son útiles para el monitoreo técnico del sistema en el campo. Los requerimientos de interfaz se clasificaron en alta, media y baja prioridad según su impacto en la operatividad y el mantenimiento del sistema, subrayando la relevancia del tiempo real en decisiones sanitarias.

Sobre los requisitos de uso, se señala que el sistema será impulsado por baterías (SySR7), lo que es esencial para su operación independiente en áreas rurales. Se enfatiza la rapidez en obtener datos fisiológicos del animal (SySR8), lo que mejora la utilidad diagnóstica. También se indica que la conexión entre el nodo móvil y el Gateway debe ser a través de tecnología de largo alcance (SySR9), como LoRa, asegurando cobertura en grandes potreros. Por último, se enfatiza la importancia de un sistema simple de instalar y usar (SySR10), esencial para impulsar su adopción en entornos con escasa alfabetización tecnológica.

Respecto a los requisitos de desempeño, se establece que la plataforma web debe estar continuamente accesible para el usuario (SySR11), asegurando la continuidad en la supervisión. También se necesita un tiempo de respuesta para la transferencia de datos (SySR12), lo que mejora la rapidez ante situaciones críticas. Se anticipa que el sistema opere con poco tiempo de inactividad (SySR13), lo que requiere un diseño sólido y fiable. Asimismo, se determina que el aparato debe poder comunicarse a más de 100 metros (SySR14), un requisito vital para su efectividad en áreas rurales.

Bajo los requerimientos de estados/modos, se establece que el sistema debe permanecer activo permanentemente (SySR15), garantizando un monitoreo constante del estado del animal. Esta situación requiere un diseño energético eficaz y resistente a fallos, que funcione sin interrupciones a lo largo de todo el ciclo productivo.

Por último, respecto a los requisitos físicos, se sugiere que el sistema se instale en cada bovino a través de un collar o arnés (SySR16), lo que influye en su diseño ergonómico y la selección de materiales duraderos y confortables. Se indica que la batería ha de ser recargable y durar al menos tres días (SySR17), lo que demanda eficiencia energética y diseño de bajo consumo. Asimismo, el aparato debe tener un tamaño compacto (SySR18), lo que reduce la interferencia con el comportamiento natural del animal y promueve su bienestar.

#### **3.3.4. Requerimientos de arquitectura**

Los requisitos arquitectónicos (SRSH) establecen las directrices estructurales que orientan el diseño e integración del sistema IoT propuesto, garantizando la consistencia entre los elementos físicos y lógicos, y su correcta adaptación al entorno operativo. Estos requerimientos permiten definir la asignación de funciones entre hardware y software, y la interoperabilidad entre sensores, placas, módulos de comunicación, bases de datos y aplicaciones móviles o web. La estructura general del sistema se ha diseñado con un enfoque en capas, lo que permite una organización jerárquica y modular de sus componentes.

En el proyecto vigente, se han incluido cinco tipos de requerimientos arquitectónicos: software, hardware, lógicos, eléctricos y de diseño físico. Respecto al software, se requiere compatibilidad entre lenguajes de programación, bibliotecas de código abierto y plataformas de desarrollo empleadas (como Arduino IDE y Firebase). A continuación, en la Tabla 11, se interpretan los requerimientos de arquitectura, se puede verificar en el Anexo 3.

**Tabla 11.***Requerimientos de arquitectura*

<b>SRSH</b>					
#	Requerimientos de arquitectura	Prioridad			Req. Relacionados
		Alta	Media	Baja	
<b>Requerimientos de software</b>					
<b>SRSH1</b>	El Sistema debe ser compatible con una placa embebida.	X			
<b>SRSH2</b>	El entorno de programación debe ser compatible con los sensores utilizados y con la placa de desarrollo seleccionada.	X			
<b>SRSH3</b>	Disponibilidad de librerías de código abierto para facilitar la integración.	X			
<b>SRSH4</b>	La solución debe ser capaz de integrarse con servicios en la nube para el almacenamiento y procesamiento de la información recopilada.	X			StSR6
<b>SRSH5</b>	La plataforma web debe ser intuitiva para el usuario		X		StSR4 StSR8
<b>SRSH6</b>	La programación de módulos se la realizara bajo software Open Source.		X		
<b>Requerimientos de hardware</b>					
<b>SRSH7</b>	Debe incluir sensores IoT como podómetros, acelerómetros y sensores de temperatura corporal.	X			StSR1
<b>SRSH8</b>	Alta capacidad de procesamiento.		X		
<b>SRSH9</b>	Cobertura inalámbrica de largo alcance	X			SySR9
<b>SRSH10</b>	Conectividad WiFi	X			
<b>SRSH11</b>	El hardware debe ser resistente a las condiciones ambientales del entorno rural, como humedad y golpes		X		

<b>SRSH12</b>	El nodo móvil debe presentar un diseño compacto y liviano que facilite su adaptación e integración con los animales	X	StSR3 SySR18
<b>Requerimientos lógicos</b>			
<b>SRSH13</b>	El nodo móvil del Sistema debe mantener siempre comunicación con el gateway	X	SySR12
<b>SRSH14</b>	La placa utilizada en el nodo móvil debe disponer de puertos de entrada y salida analógica para la captura de datos	X	
<b>SRSH15</b>	El sistema debe ser capaz de emitir notificaciones en tiempo real cuando se detecten irregularidades en los datos registrados.	X	StSR5 SySR2
<b>SRSH16</b>	Capacidad de integración de múltiples nodos de monitoreo sin pérdida de eficiencia.	X	
<b>Requerimientos eléctricos</b>			
<b>SRSH17</b>	El nodo móvil debe funcionar con una batería que garantice su operación continua.	X	StSR9 SySR17
<b>SRSH18</b>	El dispositivo debe diseñarse para mantener un consumo energético reducido.	X	StSR2
<b>Requerimientos de diseño</b>			
<b>SRSH19</b>	El nodo móvil debe contar con una carcasa que lo proteja frente a la humedad y otros agentes externos.	X	
<b>SRSH20</b>	El nodo central debe instalarse en una ubicación estratégica que asegure una comunicación estable con el nodo móvil.	X	
<b>SRSH21</b>	La placa de procesamiento debe tener integrados los módulos de comunicación LoRa y WiFi en un solo circuito .	X	

*Elaborado por: El Autor.*

Un sistema IoT para detectar neumonía en ganado bovino requiere una integración efectiva de elementos físicos, lógicos y software. Con respecto a los requisitos de software, se indica que el sistema debe ser completamente compatible con una placa embebida (SRSH1), asegurando así la capacidad de procesamiento y la flexibilidad del dispositivo en el campo. Asimismo, es necesario que el software sea compatible con los sensores y la placa de desarrollo (SRSH2) para garantizar una comunicación eficaz entre los componentes del sistema. Se aprecia que haya librerías de código abierto (SRSH3) y que se programe con software libre (SRSH6), lo que reduce costos y simplifica actualizaciones. Igualmente, se resalta que el sistema debe permitir almacenamiento y procesamiento en la nube (SRSH4), lo que posibilita consultas remotas, creación de historiales y análisis a largo plazo de datos. Por último, se pide que la interfaz web o app sea fácil de usar para el usuario (SRSH5), beneficiando a personas sin conocimientos técnicos.

En cuanto a los requerimientos de hardware, es esencial que el sistema incluya sensores IoT específicos, como podómetros, acelerómetros y sensores de temperatura corporal y ambiental (SRSH7). Estos elementos son esenciales para identificar síntomas clínicos de neumonía, como fiebre, fatiga o disminución de la actividad física. Se requiere cobertura inalámbrica extensa (SRSH9) y conectividad Wi-Fi (SRSH10) para asegurar la efectiva transmisión de datos en áreas rurales amplias. Se valora que el hardware tenga gran capacidad de procesamiento (SRSH8), resistencia a condiciones adversas (SRSH11), y diseño compacto y ligero (SRSH12) para el bienestar animal.

Los requisitos lógicos definen condiciones para la funcionalidad operativa. Se requiere que el nodo móvil sostenga comunicación continua con el gateway (SRSH13), lo que posibilita una actualización constante del estado de los animales vigilados. Asimismo, la placa necesita

tener entradas y salidas analógicas (SRSH14) para recoger datos exactos de múltiples sensores. Es esencial que el sistema emita alertas en tiempo real por cualquier anomalía (SRSH15), facilitando rápidas acciones preventivas. Se indica que el sistema debe integrar varios nodos de monitoreo sin perder eficiencia (SRSH16), permitiendo así su escalabilidad en hatos más grandes.

Los requerimientos eléctricos indican que el nodo móvil debe ser alimentado por una batería portátil (SRSH17), condición necesaria para operar en áreas sin acceso a electricidad. Asimismo, se necesita que el sistema consuma poca energía (SRSH18), con el fin de extender la duración del dispositivo y disminuir la necesidad de mantenimiento.

Al final, en los requisitos de diseño, se establece que el nodo móvil debe tener una caja protectora contra la humedad y otros elementos ambientales (SRSH19), esencial para la longevidad del equipo. Asimismo, se subraya que el nodo central necesita estar ubicado estratégicamente para garantizar una comunicación efectiva con los nodos móviles (SRSH20). Asimismo, se pide la fusión del módulo de comunicación con la placa de procesamiento en un único circuito (SRSH21), lo cual mejora la eficiencia energética y facilita el ensamblaje del sistema.

### **3.3.5 Elección de Hardware y Software para el Sistema**

El sistema está estructurado en dos componentes principales: el nodo móvil y el nodo central o gateway. El nodo móvil se coloca sobre el bovino y se encarga de captar la información relevante mediante los sensores incorporados. Por su parte, el nodo central recibe, procesa y administra los datos enviados por el nodo móvil. Esta distribución funcional permite un seguimiento eficiente y el acceso oportuno a la información, favoreciendo la toma de decisiones en tiempo real.

Para seleccionar el hardware y el software más apropiados, se emplea un método de evaluación basado en una matriz comparativa. Esta herramienta considera los requerimientos de los usuarios involucrados (STRS), los requisitos del sistema (SyRS) y los lineamientos de la arquitectura (SRHS). Cada alternativa se examina de manera individual, asignando una valoración de “1” cuando cumple con el criterio y “0” en caso contrario. Finalmente, se elige la opción que obtiene la mayor puntuación total, al considerarse la más adecuada para el desarrollo del sistema.

### 3.3.5.1 Elección de Hardware

Esta sección está dedicada a la identificación de los componentes de hardware, centrándose únicamente en el nodo móvil y el nodo central, que conforman las dos partes principales del Sistema.

- **Nodo Móvil y nodo central.**

El nodo móvil corresponde al dispositivo destinado a colocarse en el bovino. Este dispositivo debe ser un Sistema embebido equipado con un módulo de comunicación LoRa de largo alcance. Su selección se lleva a cabo considerando los requisitos establecidos en la Tabla 12.

**Tabla 12.**

*Determinación del Sistema embebido adecuado para el nodo móvil y nodo central*

Hardware	Requerimientos						V. Total
	SRSH8	SRSH9	SRSH11	SRSH12	SRSH16	SRSH18	
Arduino Nano	0	0	0	1	0	1	2
Wifi LoRa 32 V3	1	1	1	1	1	1	6
TTGO T-Beam	1	1	1	0	1	0	4

**1: Cumple**  
**0: No cumple**

Elección: De acuerdo con el análisis realizado a través de la tabla comparativa, se concluye que el sistema embebido más apropiado para la implementación óptima del nodo móvil y

---

nodo central cumpliendo con todos los requerimientos establecidos, es el Heltec WiFi LoRa 32 V3.

---

*Elaborado por: El Autor.*

Elegir el sistema embebido correcto es crucial para el funcionamiento estable y eficiente del sistema IoT de monitoreo en tiempo real sugerido. En este marco, Pozo Montalvo (2023) llevó a cabo un estudio comparativo de tres opciones tecnológicas: Arduino Nano, TTGO T-Beam y Heltec WiFi LoRa 32 V3, analizando su grado de cumplimiento ante seis requisitos específicos predefinidos (SRSH8, SRSH9, SRSH11, SRSH12, SRSH16 y SRSH18).

Los criterios analizados incluyen variables esenciales para el funcionamiento en terreno: capacidad de procesamiento (SRSH8), conectividad inalámbrica a larga distancia (SRSH9), durabilidad ante condiciones ambientales rurales (SRSH11), diseño compacto y liviano (SRSH12), habilidad para integrar múltiples nodos (SRSH16) y bajo consumo de energía (SRSH18). Estos elementos se adecuan a las demandas del contexto de uso, donde la durabilidad del hardware y la eficiencia energética son cruciales para asegurar la operatividad del sistema.

Según los resultados de la matriz, el Arduino Nano solo cumple 2 de los 6 requisitos evaluados, siendo superado por los otros dos candidatos. A pesar de su simplicidad y facilidad de uso, la ausencia de conectividad nativa de largo alcance, su capacidad de procesamiento menor y su baja resistencia ambiental restringen su uso en contextos rurales difíciles como el de la comunidad de El Rosal. El TTGO T-Beam cumple 4 de los 6 criterios, resaltando en cobertura inalámbrica, resistencia ambiental y nodos integrados. Sin embargo, su diseño más voluminoso y mayor consumo energético le quitan ventajas frente a la opción ideal.

Es decir, el Heltec WiFi LoRa 32 V3 satisface perfectamente los 6 requisitos establecidos, siendo la opción más idónea. Este microcontrolador embebido combina

conectividad LoRa, forma compacta, alta eficiencia energética y compatibilidad con varios sensores, ideal para nodo móvil y central del sistema. Su habilidad para funcionar a más de 100 metros y su sólida estructura ante condiciones rurales refuerzan su relevancia técnica. Por lo tanto, elegir el Heltec WiFi LoRa 32 V3 no solo cumple plenamente con los requisitos técnicos establecidos, sino que también asegura la operatividad del sistema en el campo, optimizando la autonomía y la fiabilidad en la detección de anomalías fisiológicas relacionadas con la neumonía bovina.

A continuación, la Tabla 13 presenta las principales características del Sistema embebido seleccionado.

**Tabla 13.**

*Características de Heltec WiFi LoRa 32 V3*

<b>Heltec WiFi LoRa 32 V3</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microcontrolador ESP32-S3FN8</li> <li>• Chip LoRa SX1262</li> <li>• Frecuencia 863 – 928 MHz</li> <li>• Wi-Fi compatible con 802.11 b/g/n, hasta 150 Mbps</li> <li>• Bluetooth</li> <li>• Alimentación y carga de batería de litio de 3.7 V</li> <li>• Dimensiones 50.2 mm x 25.5 mm x 10.2 mm</li> <li>• 25 entradas/salidas digitales y 9 entradas análogas</li> </ul>

*Elaborado por: El Autor.*

La selección del sistema embebido Heltec WiFi LoRa 32 V3 se basa en el cumplimiento de los requisitos funcionales del diseño IoT y en sus especificaciones técnicas, que lo hacen una plataforma robusta y adaptable para entornos rurales. Destaca entre sus características la inclusión del microcontrolador ESP32-S3FN8, famoso por su potencia de procesamiento, conectividad múltiple y eficiencia energética.

El sistema también incluye el chip LoRa SX1262, que funciona en frecuencias de 863 a 928 MHz, permitiendo comunicaciones de largo alcance con bajo consumo de energía. Otro aspecto notable es su habilidad de conexión Wi-Fi bajo el estándar 802.11 b/g/n, que brinda velocidades de hasta 150 Mbps, facilitando la sincronización con plataformas web o móviles para ver datos en tiempo real. También cuenta con conectividad Bluetooth, que aumenta las opciones de conexión con otros dispositivos o interfaces locales sin red Wi-Fi.

Desde la perspectiva energética, el Heltec WiFi LoRa 32 V3 tiene alimentación y carga para baterías de litio de 3.7 V, lo que permite su funcionamiento autónomo durante períodos extendidos, requisito esencial en el campo. Asimismo, su tamaño compacto (50.2 mm × 25.5 mm × 10.2 mm) lo hace ideal para que el animal lo lleve sin incomodidades ni cambios en su conducta natural. Respecto a la conexión con sensores, cuenta con 25 pines digitales y 9 entradas analógicas, ofreciendo gran capacidad de expansión y flexibilidad para enlazar diversos sensores como podómetros, acelerómetros y sensores de temperatura corporal y ambiental, esenciales para identificar neumonía.

### **Sensor de temperatura**

El sensor de temperatura seleccionado debe tener la disponibilidad de librerías de código abierto para facilitar la integración del Sistema. Además, el dispositivo debe ser resistente a las condiciones ambientales del entorno rural como la humedad y los golpes. A continuación, en la Tabla 14 se realiza la selección del sensor de temperatura más adecuado para el Sistema.

#### **Tabla 14.**

*Selección del sensor de temperatura*

Hardware	SRSH3	SRSH7	SRSH11	SRSH18	V. Total
AHT25 interfaz I2C	1	1	0	1	3
Sonda DS18B20	1	1	1	1	4
DHT22	1	1	0	0	2

*Elaborado por: El Autor.*

La medición exacta de la temperatura corporal y ambiental es esencial en el seguimiento fisiológico del ganado bovino, particularmente frente a enfermedades respiratorias como la neumonía. En este contexto, Pozo Montalvo (2023) lleva a cabo una comparación entre tres sensores propuestos: AHT25 con I2C, Sonda DS18B20, y DHT22, basándose en cuatro criterios esenciales: resistencia ambiental (SRSH3), compatibilidad IoT (SRSH7), durabilidad en condiciones rurales adversas (SRSH11) y bajo consumo energético (SRSH18).

Los hallazgos indican que el AHT25 y la Sonda DS18B20 cumplen completamente los cuatro criterios evaluados, considerándolos soluciones técnicamente equivalentes y adecuadas para el sistema embebido propuesto. Los dos sensores sobresalen por su gran precisión, estabilidad térmica y compatibilidad con microcontroladores como el Heltec WiFi LoRa 32 V3.

Por otro lado, el sensor DHT22, si bien es común en pruebas, tiene limitaciones al no satisfacer las exigencias de resistencia ambiental ni eficiencia energética. Entre las dos opciones preferidas, el AHT25 ofrece la ventaja de medir temperatura y humedad simultáneamente, ampliando su funcionalidad sin necesidad de hardware extra. La Sonda DS18B20 destaca por su alta fiabilidad y sellado impermeable, siendo muy robusta para mediciones de temperatura corporal que implican contacto físico con el animal.

Seguidamente, en la Tabla 15 se describen las características más relevantes del sistema embebido elegido.

**Tabla 15.***Características del sensor de temperatura*

<b>Módulo sensor de temperatura AHT25</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rango de medición de temperatura de <math>-40 \sim + 85 \text{ }^{\circ}\text{C}</math></li><li>• Alimentación de 2.2 - 3.7 V</li><li>• Dimensiones 17.7 mm x 6 mm x 1.2 mm</li><li>• Precisión de la temperatura: <math>\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}</math></li><li>• Señal de salida I2C</li><li>• Resistente a golpes y salpicaduras</li></ul>

*Elaborado por: El Autor.*

Integrar sensores eficaces y confiables es esencial en sistemas de monitoreo fisiológico para el bienestar animal. Entre sus características técnicas más destacadas, el AHT25 proporciona un amplio rango de medición, de  $-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo que le permite funcionar en condiciones ambientales extremas y en la medición directa de la temperatura corporal del ganado. Esta capacidad es muy valiosa en áreas rurales con gran variabilidad de temperatura, facilitando la detección temprana y confiable de fiebre.

Desde la perspectiva energética, el sensor funciona con una alimentación de 2.2 a 3.7 V, lo que lo hace totalmente compatible con sistemas portátiles de baterías de litio. El sensor, con un diseño compacto de  $17.7 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} \times 1.2 \text{ mm}$ , permite una instalación discreta en collares, arneses u otras estructuras sin incomodar al animal. Respecto a la calidad de lectura, el AHT25 proporciona una precisión de  $\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , adecuada para identificar variaciones fisiológicas significativas en el ámbito de la vigilancia sanitaria. Además, cuenta con salida digital por protocolo I2C, facilitando integración con microcontroladores actuales y optimizando transmisión de datos sin procesamiento extra.

El sensor, diseñado con una carcasa robusta ante golpes y salpicaduras, aumenta su durabilidad en entornos difíciles como establos, pastizales o lluvias ligeras, donde la humedad y el

movimiento animal son comunes. En conjunto, las propiedades del sensor AHT25 lo destacan como una solución sólida y confiable para medir temperatura en sistemas IoT ganaderos. Su mezcla de precisión, eficiencia energética, diseño compacto y resistencia estructural justifica su elección como parte esencial del nodo móvil de monitoreo en el actual estudio.

### **Acelerómetro**

El sensor de movimiento o acelerómetro elegido debe contar con soporte de bibliotecas de código abierto que simplifiquen su implementación en el Sistema. Asimismo, es fundamental que el dispositivo sea capaz de soportar las condiciones adversas del medio rural, como la humedad y los impactos. A continuación, en la Tabla 16 se realiza la selección del sensor de movimiento más adecuado para el Sistema.

**Tabla 16.**

*Selección del sensor del acelerómetro*

<b>Hardware</b>	<b>SRSH3</b>	<b>SRSH7</b>	<b>SRSH11</b>	<b>SRSH18</b>	<b>V. Total</b>
ADXL345	0	1	1	0	2
Acelerómetro GY -521 MPU-6050	1	1	0	1	3
MMA8452Q	1	1	0	0	2

*Elaborado por: El Autor.*

La vigilancia de la actividad física del ganado bovino es un indicador fundamental para la identificación precoz de enfermedades respiratorias, como la neumonía, ya que periodos de inactividad o letargo pueden relacionarse con el empeoramiento de la salud animal. En este marco, Pozo Montalvo (2023) analizó tres acelerómetros: ADXL345, GY-521 (MPU-6050) y MMA8452Q, evaluando cuatro criterios clave: resistencia estructural (SRSH3), idoneidad para IoT (SRSH7), resistencia en entornos rurales (SRSH11) y eficiencia energética (SRSH18).

El análisis indica que el acelerómetro GY-521 con MPU-6050 alcanza la mejor calificación (3/4), cumpliendo con la mayoría de los requisitos establecidos. Este dispositivo combina un acelerómetro y un giroscopio de 3 ejes en un solo módulo, lo que posibilita un análisis más exhaustivo del comportamiento del animal. Resalta por su eficiente consumo energético y su compatibilidad con microcontroladores como el ESP32, siendo una elección muy funcional para sistemas móviles.

El sensor ADXL345, aunque destaca por su exactitud y amplio rango, solo cumple con dos de los cuatro requisitos. Su reducido nivel de protección física y mayor consumo energético lo vuelven menos competitivo en aplicaciones de campo, especialmente bajo condiciones de exposición prolongada a humedad y golpes. El MMA8452Q, asimismo, logra una calificación de 2/4, siendo adecuado en compatibilidad con sistemas IoT y robustez, pero ineficaz en eficiencia energética y resistencia ambiental. Su diseño enfocado en móviles o laboratorios afecta su rendimiento en áreas rurales sin protección adecuada.

A continuación, la Tabla 17 presenta las principales características del acelerómetro seleccionado.

**Tabla 17.**

*Características del acelerómetro*

<b>Acelerómetro GY -521 MPU-6050</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de medición de <math>-180^{\circ}</math>~ <math>180^{\circ}</math></li> <li>• Alimentación de 3 - 5 V</li> <li>• Dimensiones 8 mm x 1.2 mm</li> <li>• Temperatura de funcionamiento <math>20^{\circ}</math>~ <math>85^{\circ}</math></li> <li>• Resistente a golpes y salpicaduras</li> <li>• Precisión de medición: <math>1^{\circ}</math> (inclinación).</li> </ul>

*Elaborado por: El Autor.*

El GY-521 con MPU-6050 se eligió el mejor componente para el monitoreo fisiológico bovino, considerando su compatibilidad con sistemas embebidos y sus funciones. Una de sus características técnicas clave es su rango de medición angular de  $-180^\circ$  a  $180^\circ$ , permitiendo registrar movimientos lineales y rotacionales del cuerpo bovino. En cuanto a su alimentación, el dispositivo funciona con voltajes de 3 a 5 V, siendo totalmente compatible con microcontroladores como el Heltec WiFi LoRa 32 V3.

Su diseño reducido, con medidas de solo  $8\text{ mm} \times 1.2\text{ mm}$ , permite su integración discreta en un arnés o collar sin cambiar el comportamiento natural del animal. Asimismo, su durabilidad ante golpes y humedades lo hace ideal para el entorno ganadero, donde la humedad, el movimiento y la manipulación son comunes. Una precisión de medición de  $1^\circ$  es adecuada para detectar cambios sutiles en la postura del animal, brindando información importante para evaluar su estado de salud. Además, su habilidad para funcionar en un rango de  $20^\circ\text{C}$  a  $85^\circ\text{C}$  asegura su estabilidad en climas templados y cálidos, comunes en áreas rurales tropicales o subtropicales.

### **Sensor de frecuencia cardiaca**

El sensor de frecuencia cardíaca seleccionado debe disponer de bibliotecas de código abierto que faciliten su integración en el sistema. De igual manera, es importante que el dispositivo pueda operar adecuadamente en las condiciones propias del entorno rural, tales como la presencia de polvo y humedad. En la Tabla 18 se presenta el proceso de selección del sensor de frecuencia cardíaca más apropiado para el sistema.

**Tabla 18.**

*Selección del sensor de frecuencia cardiaca*

<b>Hardware</b>	<b>SRSH3</b>	<b>SRSH7</b>	<b>SRSH11</b>	<b>SRSH18</b>	<b>V. Total</b>
-----------------	--------------	--------------	---------------	---------------	-----------------

KY-039	0	1	0	0	1
HRM-2511E	0	1	1	1	3
Max30102	1	1	1	1	4

*Elaborado por: El Autor.*

Integrar sensores de frecuencia cardíaca en sistemas IoT de ganadería facilita la detección temprana de neumonía, como la taquicardia persistente, que comúnmente acompaña a fiebre y problemas respiratorios. Según los resultados de la tabla, el Pulse Sensor alcanza el puntaje máximo (4/4), cumpliendo todos los requisitos establecidos para su inclusión en el sistema embebido. Este sensor se usa mucho en aplicaciones biomédicas por su gran sensibilidad, salida analógica directa y amplio soporte de bibliotecas en plataformas como Arduino y ESP32, facilitando su integración. Además, tiene protección básica contra salpicaduras y golpes, permitiendo su correcto funcionamiento en entornos medianamente exigentes. Su tamaño reducido y mínimo consumo energético lo hacen una opción viable para operaciones continuas en campo.

En cambio, el HRM-2511E satisface tres de los cuatro criterios evaluados, resaltando su precisión y eficiencia energética. Sin embargo, al no contar con una protección física adecuada y ser diseñado sobre todo para humanos, muestra limitaciones ante los requerimientos del entorno rural ganadero, donde el sensor debe ajustarse a movimientos bruscos, humedad constante y polvo. Sin embargo, podría verse como opción adicional o soporte en etapas experimentales. En contraste, el KY-039 tiene un bajo rendimiento (1/4), pues aunque es compatible con IoT (SRS7), no ofrece protección estructural, es susceptible a la humedad y consume más energía. Su diseño fundamental lo hace más apto para experimentos en laboratorio que para usos prolongados en situaciones reales.

A continuación, la Tabla 19 presenta las principales características del sensor de frecuencia cardíaca seleccionado.

**Tabla 19.**

*Características del sensor de frecuencia cardíaca*

<b>MAX30102</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Señal de salida de 3.3 a 5 V</li><li>• Alimentación de 3.3 - 5 V</li><li>• Longitud de onda 515nm</li><li>• Tipo de salida analógica.</li><li>• Alta resistencia a golpes y salpicaduras, con buen diseño para aplicaciones en movimiento</li></ul>

*Elaborado por: El Autor.*

Se eligió el sensor de frecuencia cardíaca Max30102 como el componente ideal para el sistema de monitoreo en ganado bovino, por sus características técnicas y su adaptación al medio rural. De acuerdo con Pozo Montalvo (2023), este sensor satisface todos los requisitos necesarios para su incorporación en el nodo móvil del sistema embebido, lo que lo hace fundamental para detectar signos vitales alterados, como la taquicardia relacionada con neumonía.

El Pulse Sensor funciona con un rango eléctrico de 3.3 a 5 V, garantizando así su uso en placas de desarrollo actuales como el Heltec WiFi LoRa 32 V3. Esta adaptabilidad posibilita su inclusión en sistemas de bajo consumo energético, extendiendo la duración del dispositivo portátil en el animal.

El sensor produce una salida analógica que se relaciona con la señal de pulso detectada, lo que permite su lectura por microcontroladores sin procesamiento complicado. Esta propiedad, junto a su longitud de onda de 515 nm, permite detectar eficazmente variaciones en la intensidad de luz reflejada por el flujo sanguíneo capilar, fundamento del principio de fotopleletismografía (PPG).

Una de las características más sobresalientes del Pulse Sensor es su gran resistencia a impactos y agua, lo que lo hace ideal para su uso en animales en movimiento. Su diseño se optimiza para preservar la precisión en situaciones dinámicas, garantizando la calidad del dato a pesar de artefactos por movimiento, que son un reto común en aplicaciones ganaderas en exteriores.

Debido a su tamaño compacto, peso ligero y simple instalación, este sensor se puede colocar de manera segura en áreas anatómicas clave sin impactar el comportamiento del animal. Asimismo, su accesibilidad comercial y amplio respaldo de bibliotecas de código abierto lo hacen una solución eficiente para prototipos funcionales económicos.

En resumen, las cualidades del Pulse Sensor lo hacen una elección sólida y fiable para el seguimiento constante de la frecuencia cardíaca en el sistema IoT planteado. Su incorporación proporciona una señal esencial para evaluar la salud del bovino, apoyando el objetivo principal del sistema: detectar tempranamente la neumonía a través de variables fisiológicas.

### **Sensor de sonido**

Es necesario seleccionar un sensor de sonido que disponga de librerías open source que faciliten su integración al Sistema. Además, el dispositivo debe estar diseñado para operar en ambientes rurales, resistiendo factores como golpes y humedad. A continuación, en la Tabla 20 se realiza la selección del sensor de sonido más adecuado para el Sistema

**Tabla 20.**

*Selección del sensor de sonido*

<b>Hardware</b>	<b>SRSH3</b>	<b>SRSH7</b>	<b>SRSH11</b>	<b>SRSH18</b>	<b>V. Total</b>
Módulo Sensor de Sonido y Voz FC-04	1	1	1	1	4
KY-038	0	1	0	1	2
KY-037	0	1	0	1	2

*Elaborado por: El Autor.*

La identificación y análisis de sonidos respiratorios anormales, como la tos, es crucial en el monitoreo precoz de enfermedades respiratorias como la neumonía en ganado bovino. Esta variable ayuda a detectar alteraciones clínicas antes de que aparezcan síntomas más claros. Según la matriz de evaluación, el Módulo Sensor de Sonido y Voz FC-04 recibió la máxima puntuación (4/4), cumpliendo todos los requisitos del sistema. Este sensor está creado para funcionar en ambientes ruidosos o cambiantes, pudiendo medir niveles de sonido en un amplio espectro. Su sólido diseño proporciona resistencia a impactos y líquidos, permitiendo su instalación en áreas del arnés o estructuras cercanas al animal, sin afectar su rendimiento.

En cambio, los sensores KY-038 y KY-037, aunque comúnmente empleados en proyectos simples, tienen importantes limitaciones estructurales. Su limitada protección física contra la humedad y los impactos disminuye notablemente su durabilidad en áreas rurales, lo que puede afectar la continuidad de las mediciones. Si bien ambos ofrecen compatibilidad y bajo consumo, su escasa resistencia ambiental (0/1 en SRS3 y SRS11) los deja en inferioridad frente al FC-04 en viabilidad técnica.

A continuación, la Tabla 21 presenta las principales características del sensor de sonido seleccionado.

**Tabla 21.**

*Características del sensor de sonido*

<b>Módulo Sensor de Sonido y Voz FC-04</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Señal de salida digital.</li><li>• Alimentación de 3.3 - 5 V</li><li>• Alta resistencia a golpes y salpicaduras.</li><li>• Micrófono electret.</li></ul>

- 
- Dimensiones 32mm x 17mm
- 

*Elaborado por: El Autor.*

Se ha elegido el sensor de sonido y voz FC-04 como el mejor componente para detectar eventos acústicos anormales, como la tos en bovinos, en el sistema de monitoreo fisiológico en tiempo real. Una de sus características más notables es su salida digital, que permite al microcontrolador manejar eventos acústicos de inmediato a través de niveles binarios (detección/presencia de sonido), sin convertir señales analógicas ni calibraciones complicadas.

Respecto a su alimentación eléctrica, el sensor funciona entre 3.3 y 5 V, siendo apto para la mayoría de las placas de desarrollo actuales, incluyendo microcontroladores de bajo consumo como el ESP32. Desde el aspecto físico, el FC-04 tiene medidas compactas (32 mm × 17 mm), lo que facilita una instalación discreta y versátil en estructuras móviles como collares, arneses o compartimientos de protección. Incluye un micrófono electret, famoso por su sensibilidad, bajo precio y habilidad para recoger sonidos suaves, ideal para identificar fenómenos acústicos como estornudos, tos o variaciones en la vocalización del animal.

### ***3.3.5.2 Selección del software***

El proceso de selección del software se desarrolla considerando cada etapa del Sistema y verificando que se ajuste a los requisitos definidos en la tabla 11. Este procedimiento sigue un enfoque similar al empleado para la elección del hardware.

- **Nodo Móvil y Nodo Central o Gateway.**

La Tabla 22 presenta la evaluación de cada requisito considerado en la selección del software de programación.

#### **Tabla 22.**

*Elección de software de programación nodo móvil y nodo central*

Software	Requerimientos			V. Total
	SRSH1	SRSH2	SRSH3	
Python	1	1	0	2
Arduino IDE	1	1	1	3
<b>1: Cumple</b>				
<b>0: No cumple</b>				
Elección: El software más adecuado para programar el hardware seleccionado previamente para los nodos es Arduino IDE.				

*Elaborado por: El Autor.*

Elegir el entorno de desarrollo correcto es vital para asegurar la compatibilidad, escalabilidad y simple integración del sistema embebido sugerido. En este contexto se realizó un análisis comparativo de dos entornos de programación populares en sistemas IoT: Python y Arduino IDE, midiendo su conformidad con tres requerimientos esenciales del sistema: compatibilidad con la placa embebida (SRSH1), compatibilidad con sensores y la placa de desarrollo (SRSH2), y acceso a librerías de código abierto para facilitar la integración (SRSH3).

Según los resultados, Arduino IDE es el entorno con mayor cumplimiento (3/3), siendo el único que cumple todos los requisitos establecidos. Este programa fue creado para microcontroladores como el ESP32, presente en el módulo Heltec WiFi LoRa 32 V3, facilitando una codificación directa, eficaz y optimizada para sistemas embebidos de bajo consumo.

A pesar de que Python brinda versatilidad y cierta compatibilidad (2/3), su uso directo en placas como la elegida es más restringido, ya que necesita entornos más sólidos (como Raspberry Pi) o microcontroladores compatibles con MicroPython, que no se incluyó en la arquitectura establecida para este sistema. A continuación, la Tabla 23 presenta las principales características del software de programación nodo móvil y nodo central.

**Tabla 23.**

*Características del software de programación*

<b>Arduino IDE</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Entorno de Programación Intuitivo</li><li>• Compatibilidad con Diversas Placas</li><li>• Multiplataforma</li><li>• Permite instalar complementos para soporte de nuevas placas o microcontroladores como ESP8266, ESP32, STM32, etc</li><li>• Software libre.</li></ul>

*Elaborado por: El Autor.*

Se eligió el entorno de desarrollo Arduino IDE como la opción más idónea para programar el sistema embebido, tanto en el nodo central como en el móvil. Esta elección se basa en la facilidad de uso, compatibilidad técnica y flexibilidad para expandirse que proporciona este entorno, elementos clave para el desarrollo de soluciones IoT en áreas rurales.

Una de sus grandes ventajas es su interfaz fácil de usar, que simplifica la programación para quienes tienen conocimientos intermedios en sistemas embebidos. Además, el software es compatible con varias placas de desarrollo, incluyendo el ESP32, que se encuentra en el módulo Heltec WiFi LoRa 32 V3 elegido antes. La compatibilidad se extiende por la opción de instalar complementos o 'boards packages', que facilitan la programación de microcontroladores como ESP8266, STM32, ATmega y más, brindando al sistema gran escalabilidad tecnológica. Arduino IDE, al ser un software libre y multiplataforma (compatible con Windows, Linux y macOS), asegura accesibilidad y sostenibilidad a largo plazo, sin necesidad de licencias de pago ni dependencia de entornos propietarios.

### **Base de datos**

Se llevó a cabo una evaluación de distintas bases de datos NoSQL que cumplieran con los requerimientos definidos, dando prioridad a aspectos como la flexibilidad y la escalabilidad.

En la Tabla 24 se expone un análisis comparativo detallado, en el que cada alternativa es valorada de acuerdo con criterios específicos establecidos para el software, con el fin de seleccionar la opción que mejor se ajuste a las necesidades del sistema.

**Tabla 24.**

*Elección de base de datos*

Software	Requerimientos			V. Total
	SRSH1	SRSH3	SRSH4	
Firestore	1	1	1	3
MongoDB	1	0	1	2
Cassandra	0	1	1	2

**1: Cumple**

**0: No cumple**

**Elección:** El análisis realizado revela que Firestore es la opción más adecuada como base de datos, ya que satisface los requerimientos del proyecto de manera efectiva. Esto se debe a su capacidad para ofrecer almacenamiento en la nube con actualizaciones en tiempo real, lo que la hace ideal para las necesidades del Sistema.

*Elaborado por: El Autor.*

La elección de la base de datos es clave en la arquitectura lógica del sistema IoT, porque asegura el almacenamiento, la disponibilidad y la actualización constante de los datos fisiológicos recogidos por los sensores. En este marco se llevó a cabo un análisis comparativo de Firestore, MongoDB y Cassandra, considerando tres aspectos fundamentales: compatibilidad con el sistema embebido (SRSH1), disponibilidad de bibliotecas open source (SRSH3) y capacidad de almacenamiento en la nube con procesamiento efectivo (SRSH4).

De acuerdo con la tabla, Firestore satisface todos los requisitos establecidos (3/3), siendo la opción más idónea para el sistema. Esta plataforma de Google proporciona una base de datos NoSQL basada en documentos, capaz de sincronizar datos en tiempo real en varios dispositivos. Firestore también se destaca por ofrecer compatibilidad nativa con

microcontroladores programados en Arduino IDE, como el ESP32, lo que simplifica su integración sin intermediarios complejos ni configuraciones de servidor avanzadas.

Si bien MongoDB y Cassandra brindan altos niveles de rendimiento en entornos distribuidos, su uso en sistemas embebidos es más complicado, ya que necesitan servidores intermedios o gateways con potente procesamiento. MongoDB, por caso, no tiene una sincronización en tiempo real tan eficiente como la de Firebase, mientras que Cassandra, aunque sólida en entornos empresariales, no ofrece compatibilidad directa con sistemas IoT de bajo consumo.

Así, Firebase no solo satisface los requisitos analizados, sino que también proporciona beneficios operativos y estratégicos que lo hacen adecuado para la arquitectura sugerida, especialmente por su habilidad de sincronización en tiempo real, su interfaz intuitiva y su integración nativa con dispositivos embebidos. A continuación, la Tabla 25 presenta las principales características de la base de datos seleccionada.

**Tabla 25.**

*Características de la base de datos*

	<b>Firestore</b>
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Base de Datos en Tiempo Real</li><li>• Pensada para Móviles y Web</li><li>• Almacenamiento en la Nube</li><li>• Baja Latencia</li><li>• Planes de Precios Flexibles</li></ul>

*Elaborado por: El Autor.*

El sistema de monitoreo propuesto requiere una base de datos que garantice el almacenamiento seguro y el acceso confiable a la información fisiológica de los animales, además de permitir la sincronización en tiempo real entre los nodos sensores y las interfaces de usuario. Entre las principales ventajas de Firestore se destaca su funcionamiento como base

de datos en tiempo real, lo que permite que cualquier variación registrada por los sensores se actualice de manera inmediata en la plataforma web o en la aplicación móvil vinculada.

Firebase se orienta a integrarse con aplicaciones móviles y web, permitiendo a los usuarios acceder a datos desde varios dispositivos con una interfaz amigable. Una ventaja notable es el almacenamiento en la nube, evitando así infraestructuras físicas complicadas o servidores locales, lo que reduce costos de implementación y aumenta la disponibilidad del sistema. Asimismo, Firebase funciona con baja latencia, brindando respuesta casi inmediata a eventos cruciales, un requisito clave en sistemas de alerta temprana IoT.

### **Aplicación web**

Se realizó una evaluación integral de distintas tecnologías disponibles para el desarrollo de la aplicación web, priorizando factores clave como el rendimiento, la escalabilidad, la facilidad de mantenimiento y la compatibilidad con la arquitectura general del sistema. La Tabla 26 presenta una comparación detallada de las alternativas analizadas, considerando criterios específicos como la compatibilidad con múltiples dispositivos, los niveles de seguridad, la capacidad de integración con servicios externos y la facilidad para el trabajo colaborativo en el desarrollo. Gracias a este análisis, fue posible seleccionar la tecnología más adecuada, asegurando una experiencia de usuario fluida, coherente y segura, en concordancia con los requerimientos funcionales y no funcionales definidos para el proyecto.

**Tabla 26.**

*Elección de plataforma web*

Software	Requerimientos			
	SRSH3	SRSH4	SRSH5	V. Total
Firestore	1	1	1	3
Kodular	0	1	0	1
App inventor	1	1	0	2

**1: Cumple**

**0: No cumple**

---

**Elección:** A partir del análisis realizado, se determinó que **Firestore Studio** representa la alternativa más conveniente para el desarrollo de la plataforma web. Esta herramienta destaca por su capacidad para integrar de forma eficiente servicios de almacenamiento en la nube y funcionalidades backend, lo que facilita la gestión de datos en tiempo real. Asimismo, ofrece robustas soluciones de seguridad y autenticación, fundamentales para garantizar la integridad del sistema. Su integración nativa con tecnologías web modernas y su compatibilidad multiplataforma permiten construir aplicaciones escalables, seguras y de fácil mantenimiento, en coherencia con los requerimientos técnicos y funcionales establecidos para el sistema.

---

*Elaborado por: El Autor.*

La plataforma web es fundamental en el sistema de monitoreo IoT, ya que permite a los usuarios acceder y visualizar en tiempo real los datos fisiológicos del ganado. Se analizó tres opciones de desarrollo: Firestore Studio, Kodular y App Inventor, basándose en tres criterios clave: acceso a librerías open source (SRSH3), soporte para almacenamiento en la nube y procesamiento (SRSH4), e interfaz amigable para el usuario (SRSH5).

Según los resultados, Firestore Studio fue la única herramienta que satisfizo los tres requisitos establecidos (3/3), destacándose como la opción más eficiente y completa para el desarrollo de la plataforma web del sistema. Así mismo uno de los factores que respalda su elección es su habilidad para manejar datos en tiempo real, aspecto esencial en este sistema, puesto que variables como temperatura, frecuencia cardíaca o episodios de tos necesitan ser visualizadas inmediatamente para permitir una respuesta rápida ante síntomas clínicos de neumonía.

A diferencia de otras opciones, plataformas como Kodular y App Inventor son útiles para prototipos rápidos y educación, pero tienen limitaciones significativas en personalización de interfaz, integración avanzada con servicios en la nube y escalabilidad. Kodular, por ejemplo, no ofrece librerías integradas para soporte de múltiples usuarios con autenticación

sólida, mientras que App Inventor no tiene herramientas nativas de backend para procesamiento en tiempo real, lo que disminuye su idoneidad en escenarios productivos reales.

Así, la implementación de Firebase Studio como plataforma web supone establecer una solución tecnológica escalable, segura y bien integrada, que asegura la continuidad del servicio, la calidad de la experiencia del usuario y la eficacia en la supervisión de variables esenciales para la salud del ganado bovino. A continuación, la Tabla 27 presenta las principales características de la base de datos seleccionada.

**Tabla 27.**

*Características de la aplicación para el desarrollo de aplicaciones web*

<b>Firestore Studio</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Interfaz visual drag &amp; drop</li><li>• Compatible con Android y iOS</li><li>• Conexión con servicios en la nube</li><li>• Actualización en tiempo real (Live Test)</li><li>• Basado en la web</li><li>• Soporte para autenticación de usuarios</li><li>• Exportación de apps</li></ul>

*Elaborado por: El Autor.*

La interfaz de usuario es fundamental en los sistemas IoT para ganadería, pues permite la interacción entre los datos recogidos en campo y los usuarios encargados de monitorear y decidir. En este marco, se eligió Firebase Studio como la mejor herramienta para desarrollar la plataforma web del sistema, resaltando por características técnicas que la hacen muy compatible con los requisitos del proyecto.

Una de sus principales ventajas es su interfaz visual de “arrastrar y soltar”, que facilita la creación de interfaces gráficas de forma rápida y sencilla, sin requerir codificación avanzada. Asimismo, Firebase Studio es multiplataforma, lo que permite desarrollar

aplicaciones que funcionan en Android y iOS, asegurando un amplio acceso a usuarios independientemente del sistema operativo de sus dispositivos.

Un aspecto crucial es su conexión directa con servicios en la nube y su habilidad para llevar a cabo actualizaciones al instante (Live Test), lo que posibilita ver de inmediato cualquier alteración en el comportamiento del ganado, como síntomas de fiebre, dificultad respiratoria o tos. De igual manera, la herramienta funciona totalmente en línea, eliminando la necesidad de instalaciones locales y promoviendo una gestión centralizada y remota del sistema

### **3.4. Diseño del Sistema**

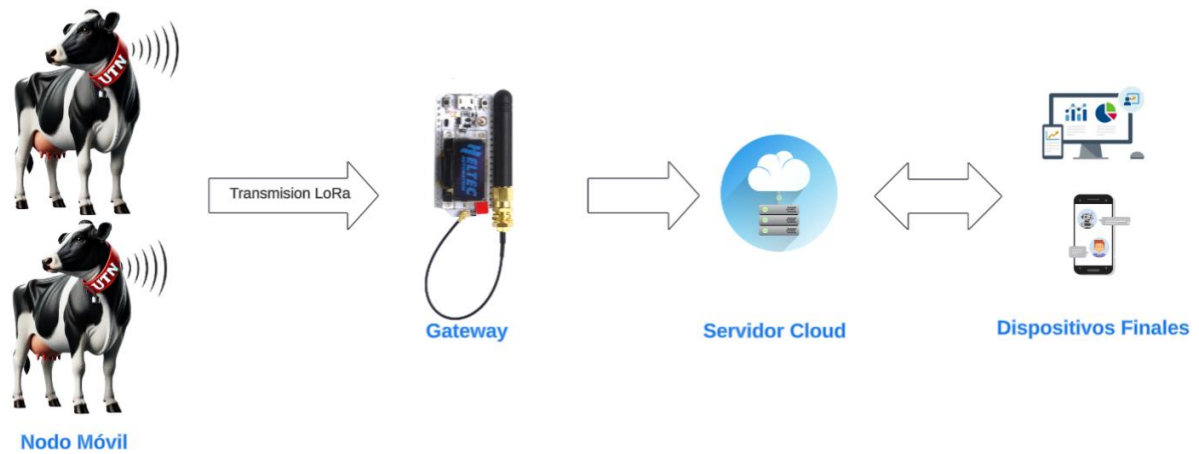
Una vez establecidos los requerimientos esenciales para el funcionamiento del Sistema y recopilada información clave a través de encuestas sobre la problemática planteada en la comunidad rural de El Rosal, cantón San Pedro de Huaca, se procede a la fase de diseño. En esta etapa, es fundamental definir una arquitectura sólida y bien organizada, así como elaborar los diagramas de bloques que representen cada una de las etapas del Sistema.

#### **3.4.1. Arquitectura del Sistema**

El sistema IoT planteado para la detección temprana de neumonía en bovinos está conformado por nodos móviles colocados en cada animal, de acuerdo con la arquitectura mostrada en la Figura 7. Estos dispositivos recolectan la información mediante sensores integrados y la envían utilizando tecnología de comunicación de largo alcance hacia un nodo central o gateway. Una vez recibidos los datos, el gateway los transmite a una base de datos en la nube, donde se realiza su almacenamiento y procesamiento. Posteriormente, la información procesada puede ser consultada por el usuario a través de la plataforma web diseñada para este fin.

**Figura 7.**

*Arquitectura del Sistema*

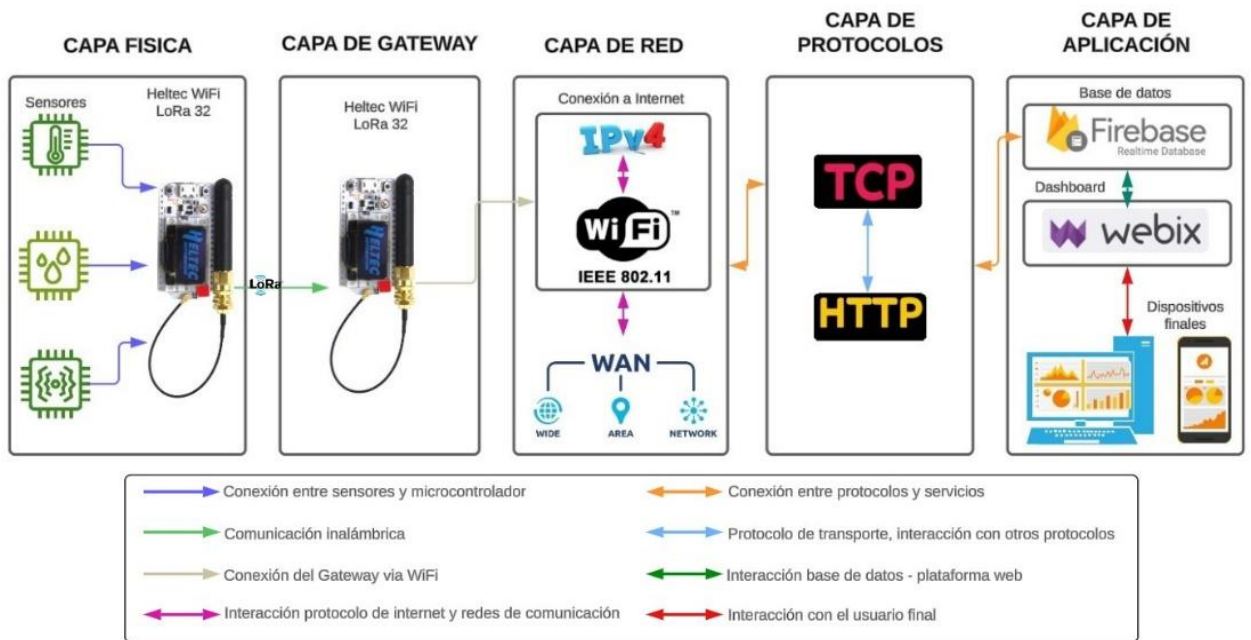


*Elaborado por: El Autor.*

La arquitectura del Sistema IoT basada en capas propuesta en la Figura 8, está diseñada para asegurar una comunicación eficiente y visualización en tiempo real. En la Capa Física, los sensores conectados a los módulos Heltec WiFi LoRa 32 recopilan datos como temperatura y frecuencia cardíaca, transmitiéndolos mediante LoRa a la Capa de Gateway, donde otro módulo Heltec actúa como receptor y envía la información vía WiFi. La Capa de Red utiliza el protocolo IEEE 802.11 para conectar el Sistema a internet y transmitir datos hacia la nube. En la Capa de Protocolos, TCP y HTTP garantizan la integridad de la transmisión entre el servidor y las aplicaciones. Finalmente, la Capa de Aplicación almacena los datos en Firebase y los presenta al usuario mediante un dashboard interactivo en tiempo real, desarrollado con Webix, permitiendo un monitoreo confiable y accesible.

**Figura 8.**

*Arquitectura del Sistema basada en capas.*



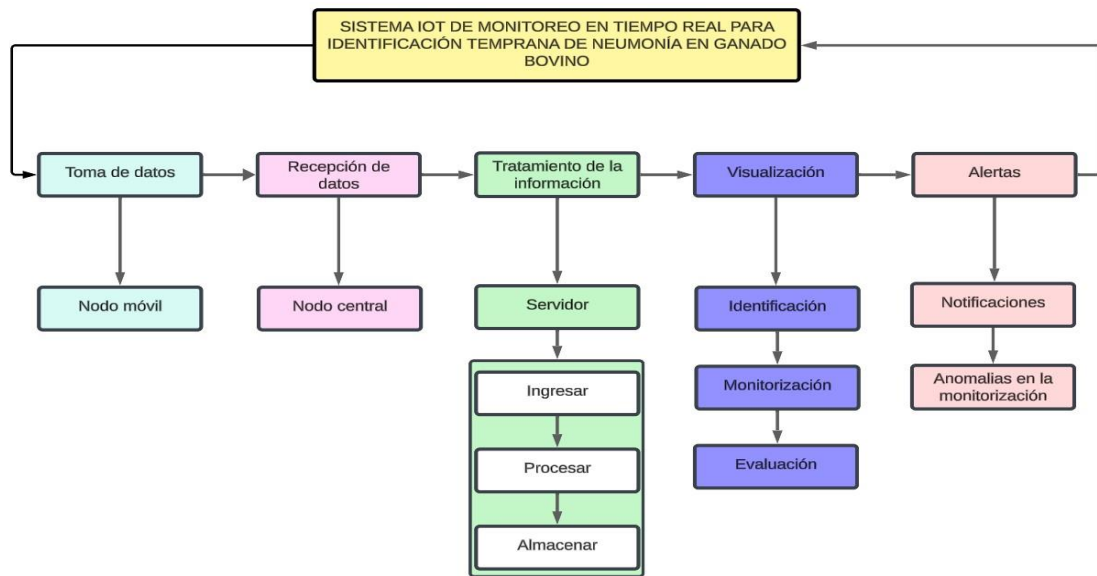
Elaborado por: El Autor.

### 3.5.2. Diagrama de bloques general

La Figura 9 ilustra el esquema general del Sistema, destacando la composición de cada bloque y la forma en que se enlazan entre sí. Este diagrama facilita una visión integral de las operaciones específicas de los cinco bloques, cuyas funciones se explicarán con mayor profundidad en secciones posteriores.

#### Figura 9.

Diagrama de bloques general.



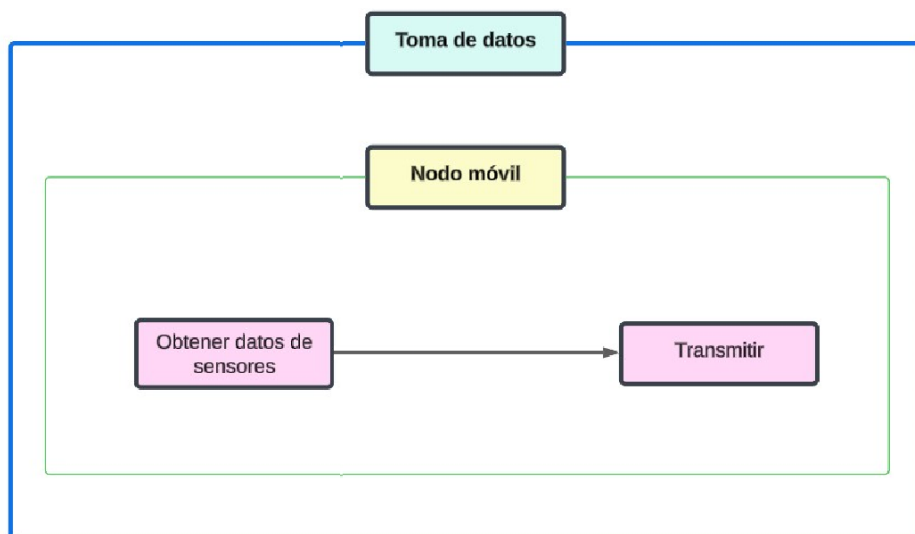
*Elaborado por: El Autor.*

### 3.5.3. Bloque de toma de datos

La Figura 10 muestra el diagrama correspondiente al primer bloque del Sistema, que representa el nodo móvil. Este bloque incluye sensores encargados de monitorear el estado fisiológico del bovino, un módulo de procesamiento de datos para gestionar la información recolectada y un módulo LoRa para la transmisión de los datos hacia el siguiente nivel.

**Figura 10.**

*Bloque de toma de datos.*



*Elaborado por: El Autor.*

**Etapa 1: Obtención de datos de sensores.** En esta etapa, los sensores integrados al Sistema, instalados en el bovino, capturan parámetros fisiológicos clave, como temperatura y frecuencia cardíaca.

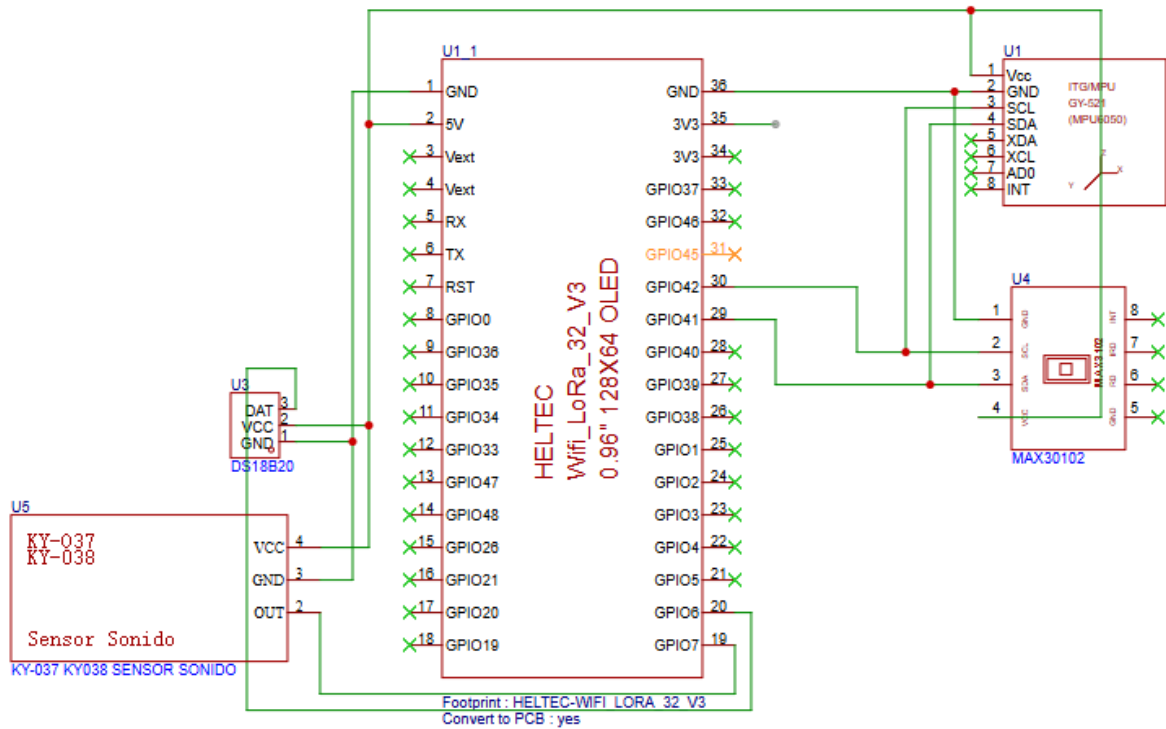
**Etapa 2: Transmitir.** Por medio del módulo LoRa, se establece la comunicación entre el nodo móvil y el Gateway, asegurando la transmisión eficiente de los datos recolectados.

### ***3.5.3.1. Diagrama circuital del nodo móvil***

El diagrama circuital ilustrado en la Figura 11 representa un sistema IoT diseñado con la placa HELTEC WiFi LoRa 32 V3, equipada con el microcontrolador ESP32. A esta unidad central se conectan diversos sensores especializados, entre los que se destacan: el DS18B20, para la medición digital de temperatura; los módulos KY-037/KY-038, utilizados para la detección de sonido ambiental; el MAX30102, que permite el monitoreo del ritmo cardíaco y la oxigenación en sangre; y el MPU6050, un sensor de seis ejes que integra acelerómetro y giroscopio para registrar movimientos y aceleraciones. La comunicación entre el microcontrolador y los sensores se establece mediante protocolos digitales como I2C y 1-Wire, asegurando una transmisión de datos rápida y confiable. Por su parte, el envío de la información recopilada se realiza mediante la tecnología LoRa, especialmente adecuada para zonas rurales donde no existe cobertura de red convencional. Este circuito ofrece una solución compacta, portátil y eficiente para la recopilación en tiempo real de parámetros fisiológicos, conductuales y ambientales del ganado, aportando significativamente al desarrollo de la ganadería de precisión.

### **Figura 11.**

*Diagrama circuital*



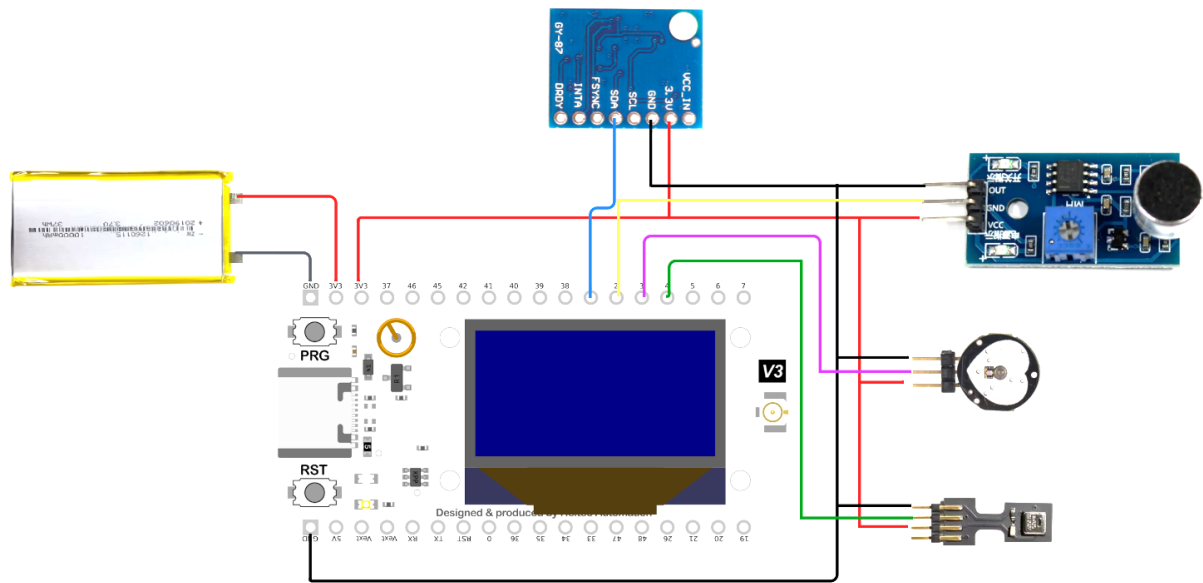
Elaborado por: El Autor.

### 3.5.3.2. Diagrama de conexión del nodo móvil

Este apartado describe la arquitectura del nodo móvil, cuya función principal es supervisar en tiempo real las condiciones individuales de cada bovino mediante sensores integrados. En la Figura 12 se presenta el esquema de conexión del sistema, el cual está conformado por una placa de desarrollo Heltec WiFi LoRa 32, una batería de litio recargable de 10 mAh como fuente de alimentación, y una serie de sensores que permiten monitorear parámetros clave: un sensor de temperatura digital, un acelerómetro para registrar el movimiento y la actividad del animal, un sensor de frecuencia cardíaca para el control de signos vitales, y un sensor acústico que detecta sonidos ambientales. Este conjunto de componentes permite consolidar un nodo portátil, de bajo consumo energético y apto para su implementación en el entorno rural.

**Figura 12.**

*Diagrama de conexión del nodo móvil*



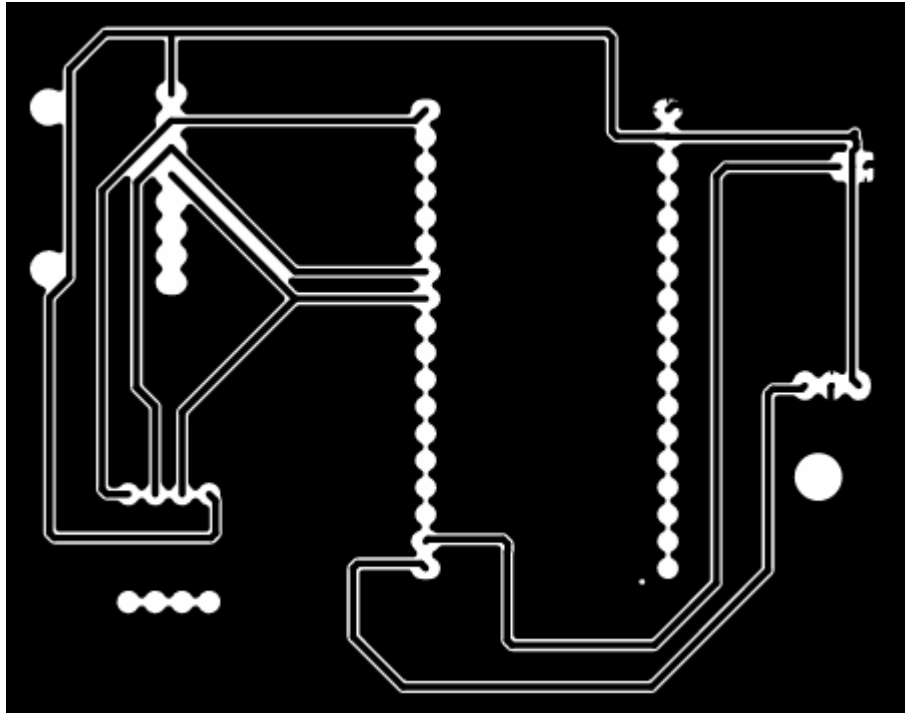
*Elaborado por: El Autor.*

### **3.5.3.3. Diseño de PCB**

En la figura 13 se puede observar la placa de circuito impreso (PCB) ya ensamblada, que será utilizada como base para construir el sistema de monitoreo IoT. Esta versión está diseñada específicamente para trabajar con la placa HELTEC WiFi LoRa 32 V3. En su estructura se pueden ver claramente las pistas de cobre que conectan todos los componentes entre sí, así como los espacios destinados para soldar los sensores y módulos electrónicos. Cada trazo ha sido cuidadosamente pensado para asegurar que las señales y la energía circulen sin problemas, evitando interferencias y haciendo que el montaje sea más sencillo. Gracias a este diseño compacto y ordenado, es posible integrar varios sensores como los de temperatura, sonido, ritmo cardíaco y movimiento en un solo módulo portátil. Esto no solo ahorra espacio, sino que también garantiza una buena conexión eléctrica, lo cual es clave para su funcionamiento confiable en el entorno ganadero.

**Figura 13.**

*Diseño de PCB terminada*



*Elaborado por: El Autor.*

#### ***3.5.3.4. Librerías para programación del nodo móvil***

Para que el sistema funcione correctamente, se utilizan varias librerías clave que permiten conectar y controlar todos los componentes de manera eficiente. Una de las más importantes es `LoRaWan_APP.h`, que habilita el uso del módulo LoRa integrado en la placa, facilitando una comunicación inalámbrica de largo alcance, muy útil en zonas rurales sin acceso a internet tradicional.

También se incluye la librería `Arduino.h`, que contiene las funciones básicas necesarias para que la placa de desarrollo pueda ejecutar las instrucciones del programa. Para obtener datos de los sensores, se emplea `OneWire.h`, que permite comunicarse con sensores de temperatura que usan el protocolo 1-Wire, como el DS18B20.

En el caso del sensor de frecuencia cardíaca y oxigenación, se utiliza la librería `MAX30105.h`, que permite leer y procesar estos datos de forma precisa. Por otro lado, la

librería Wire.h se encarga de establecer la comunicación con otros dispositivos a través del protocolo I2C, algo fundamental cuando se trabaja con múltiples sensores. Finalmente, Adafruit\_MPU6050.h facilita la conexión con el sensor MPU6050, encargado de medir el movimiento y la aceleración del animal.

### 3.5.3.5. Cálculos de Alimentación Eléctrica del Nodo móvil.

Debido a que el nodo móvil será colocado sobre el bovino, su alimentación eléctrica debe provenir de una batería. Por esta razón, en la Tabla 28 se presenta un listado de los dispositivos utilizados, junto con los valores de voltaje y corriente requeridos para su funcionamiento.

**Tabla 28.**

*Consumo de voltaje y corriente del módulo móvil*

<b>Dispositivo</b>	<b>Corriente</b>	<b>Voltaje de operación</b>
Heltec Wifi LoRa 32	75 mA	3.3 V
Trasmisión LoRa (8Tx x día)	0.276 mA	3.3 V
Módulo sensor de temperatura AHT25	0.5 mA (activo)	3.3 – 5 V
Módulo Sensor de Sonido y Voz FC-04	4 – 6 mA	4 – 5 V
Pulse sensor	4 mA	3.3 – 5 V
Acelerómetro GY -521 MPU-6050	3.9 mA	3.3 – 5 V
<b>Total, Corriente = 89.7 mA</b>		
<b>Total, Voltaje = 3.3 V</b>		

*Elaborado por: El Autor.*

De acuerdo con la información proporcionada, el consumo total de corriente del módulo es de 89.4 mA, tomando en cuenta la operación simultánea de estos dispositivos: la placa Heltec WiFi LoRa 32, el sensor de temperatura AHT25, el sensor de sonido FC-04, el sensor de pulso y el acelerómetro GY-521 MPU-6050. Todos los módulos presentan un rango de voltaje operativo similar, unificándose en un valor de 3.3 V, facilitando la estandarización de la fuente de alimentación y mejorando la eficiencia energética.

Este grado de consumo, aunque limitado, necesita una batería que asegure una operación prolongada para prevenir interrupciones en la recolección de datos de salud del ganado. Por lo tanto, se determina que una batería de 3.7 V y 1000 mA es óptima para satisfacer las necesidades energéticas del sistema, ofreciendo un margen de seguridad en corriente y voltaje.

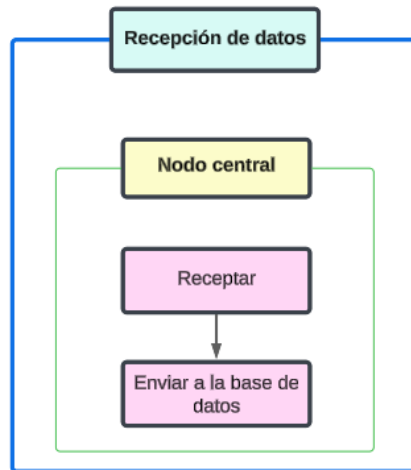
Asimismo, el reducido consumo de los sensores elegidos permite implementar modos de suspensión o ahorro de energía, que pueden ser controlados desde la programación del microcontrolador para maximizar la duración de la batería, sobre todo en momentos sin eventos anormales. Este método asegura que el sistema funcione de manera independiente, continua y sin necesidad de infraestructura eléctrica fija, requisito clave para aplicarlo en sistemas ganaderos extensivos, con acceso limitado o nulo a la red eléctrica.

#### **3.5.4. Bloque Recepción de datos**

Este bloque corresponde al nodo central, también denominado gateway, el cual está conformado por un sistema embebido y un módulo LoRa. En la Figura 14 se muestra este segundo bloque, cuya función principal es recibir la información transmitida por el nodo móvil previamente descrito.

#### **Figura 14.**

*Bloque Recepción de datos*



*Elaborado por: El Autor.*

**Etapa 1: Recepción de datos.** Para garantizar precisión, es fundamental que el conjunto de datos recibido contenga un número adecuado de muestras representativas que reflejen variaciones significativas.

**Etapa 2: Enviar a la base de datos.** En esta etapa, se envía la información a la base de datos por medio de comunicación wifi.

#### ***3.4.4.1 Librerías para la programación del nodo central o Gateway***

En el desarrollo del nodo móvil se incorporaron librerías fundamentales que permiten gestionar de forma eficiente la comunicación, conectividad y manejo de datos del sistema. La librería `LoRaWan_APP.h` se encarga de habilitar y controlar la comunicación mediante tecnología LoRa, esencial para el envío de datos a larga distancia sin depender de una infraestructura de red convencional. Por su parte, `Arduino.h` proporciona las funciones básicas necesarias para programar y operar el microcontrolador ESP32.

Para establecer la conexión con redes inalámbricas, se emplea la librería `WiFi.h`, que permite integrar al sistema con una red WiFi cuando se requiere. Además, se incorpora `FirestoreESP32.h`, que facilita la interacción directa con la plataforma Firebase, permitiendo al

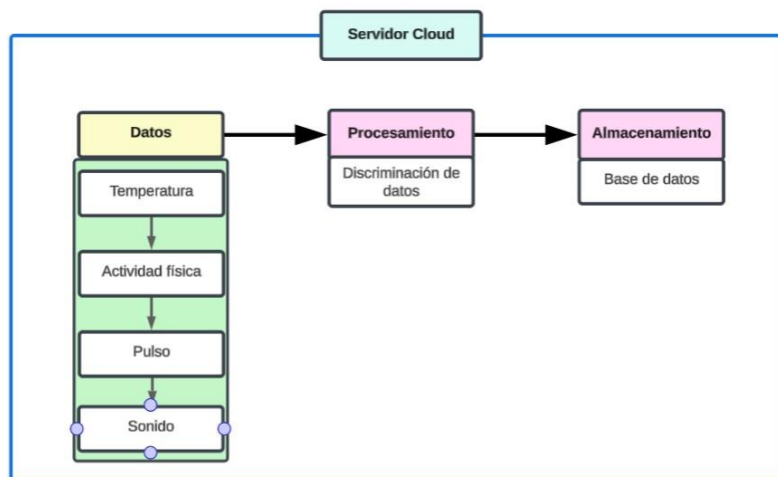
dispositivo almacenar, consultar y sincronizar datos con la base de datos en la nube de forma rápida y segura.

### 3.5.5. Bloque de tratamiento de la información.

En la Figura 15, se muestra el diagrama de bloques de la etapa de tratamiento de información y los bloques que lo conforman.

**Figura 15.**

*Bloque tratamiento de la información*



*Elaborado por: El Autor.*

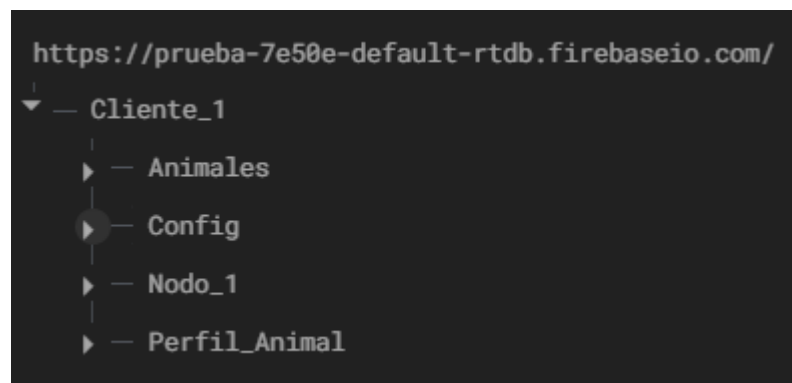
- **Etapa 1: Datos.** En esta fase se recolecta y registra la información generada por los sensores instalados en el nodo móvil.
- **Etapa 2: Procesamiento.** Una vez obtenidos los datos, estos deben ser filtrados y organizados antes de su almacenamiento permanente.
- **Etapa 3: Almacenamiento.** Esta etapa corresponde a la base de datos del sistema, encargada de guardar en la nube la información generada.

#### 3.4.5.1 Estructura de base de datos

La Figura 16 muestra cómo está organizada la base de datos que utiliza el sistema, la cual fue implementada en Firebase Realtime Database. Su estructura sigue un modelo jerárquico, comenzando con un nodo principal llamado “Cliente 1”, que identifica a un usuario o dispositivo específico del sistema. Dentro de este nodo se encuentran secciones clave como “Animales” y “Perfil Animal”, donde se almacenan los datos y características de cada ejemplar monitoreado. Además, el nodo “Nodo 1” recopila la información que generan en tiempo real los sensores conectados, como temperatura corporal, frecuencia cardíaca, sonidos anormales o eventos como la tos. Por otro lado, existe una sección denominada “Config” que guarda los parámetros de configuración del dispositivo. Esta estructura jerárquica no solo organiza eficientemente la información, sino que también permite acceder fácilmente a los datos de cada animal, facilitando un monitoreo constante y un seguimiento personalizado para cada caso.

**Figura 16.**

*Estructura de base de datos.*



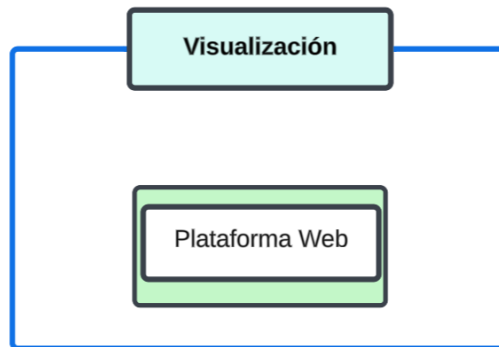
*Elaborado por: El Autor.*

**3.5.6. Bloque de visualización.**

En la Figura 17, se observa el diagrama de bloques de visualización, en esta etapa del Sistema se muestra la información a través de las diferentes plataformas de los datos obtenidos e ingresados.

## Figura 17.

*Bloque de visualización*



*Elaborado por: El Autor.*

**Etapa 1: Plataforma Web.** En esta etapa podemos ver la plataforma web en donde se muestra toda la información.

### ***3.4.6.1 Diseño de la aplicación web***

La Figura 18 muestra el prototipo de aplicación web la cual tiene componentes básicos como el dashboard la cual será la página principal de la plataforma. Además, se incluyen opciones como reportes en la que se planea visualizar el historial de valores de los sensores. La interfaz está diseñada para ser intuitiva y clara, priorizando la experiencia del usuario y la accesibilidad. También se agregan opciones como Neumonía Bovina en la que se explica acerca de esta patología.

## Figura 18.

*Visualización de información en plataforma web*

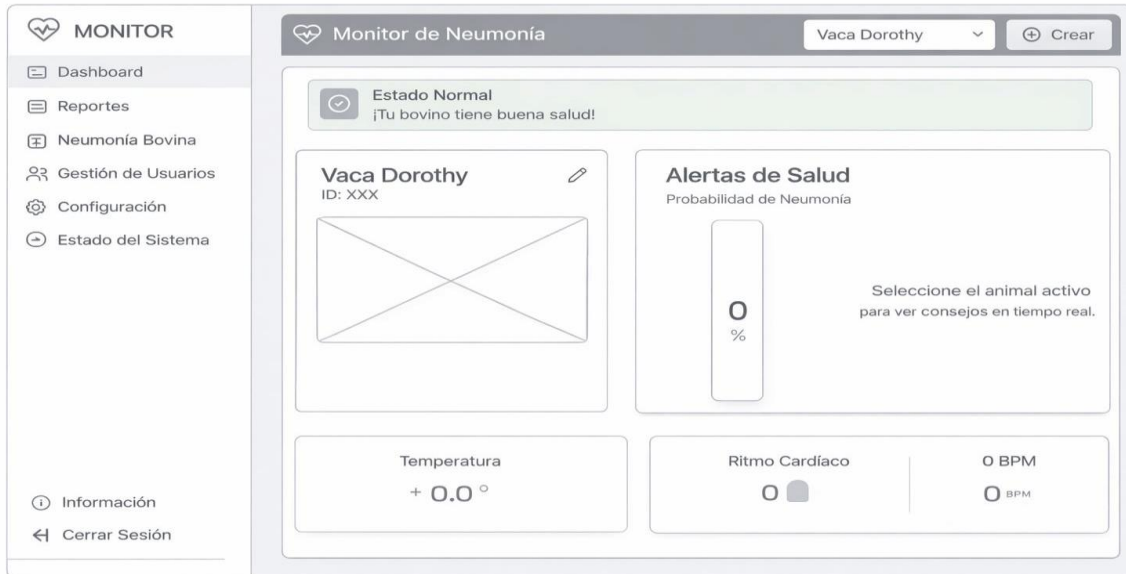


*Elaborado por: El Autor.*

La Figura 19 presenta la visualización de la información en la plataforma web del Sistema de monitoreo de neumonía. En esta pantalla se muestra como se agrega un panel con datos relevantes del animal monitoreado, incluyendo su estado general de salud, temperatura corporal, ritmo cardíaco, cantidad de pasos diarios y número de eventos de tos detectados en un periodo de tiempo, los cuales serán obtenidos de los sensores del nodo. Además, se agregará una sección que muestre el porcentaje de probabilidad que tiene el animal de sufrir neumonía. Esta interfaz facilita al usuario el seguimiento en tiempo real del estado del animal, permitiendo tomar decisiones rápidas y oportunas para su cuidado, a esta interfaz se le agregaran más funcionalidades que ayuden a comprender mejor el uso del dispositivo.

**Figura 19.**

*Visualización de información en plataforma web*



*Elaborado por: El Autor.*

### **3.5.7. Diseño del collar contenedor del Sistema de monitoreo**

Con el objetivo de asegurar una implementación efectiva del sistema IoT de monitoreo en tiempo real, se diseñó un collar especializado que integra todos los componentes electrónicos necesarios para la detección temprana de neumonía en bovinos. Este diseño fue pensado no solo para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, sino también para priorizar el bienestar del animal, ofreciendo una estructura cómoda y no invasiva. Además, se contemplaron medidas de protección que resguardan el hardware frente a condiciones ambientales adversas, asegurando así una operatividad continua y eficiente en entornos rurales o de difícil acceso.

#### ***3.5.7.1. Materiales y características funcionales***

Como se puede apreciar en la Figura 20, el material seleccionado para la elaboración del collar es la tela de lona impermeable para exteriores, fabricada en poliéster de alta densidad con recubrimiento posterior de PVC. Este material fue seleccionado por su alta resistencia

mecánica, durabilidad frente a la intemperie y su capacidad de bloqueo UV de hasta un 90%, propiedades ideales para el entorno ganadero donde prevalecen condiciones como sol, humedad, barro y fricción constante.

**Figura 20.**

*Tela lona impermeable.*



*Elaborado por: El Autor.*

La estructura del collar ha sido diseñada para ofrecer una alta resistencia a la tracción sin comprometer la flexibilidad, lo que contribuye al confort del animal durante su uso diario. Las costuras fueron reforzadas cuidadosamente para soportar tanto el movimiento constante del bovino como el peso de los módulos electrónicos integrados. En cuanto al sistema de cierre, se optó por velcro industrial, el cual proporciona una sujeción firme y segura, además de permitir un ajuste rápido y sencillo, facilitando su colocación y retiro sin generar estrés al animal.

**3.5.7.2. Dimensiones y adaptabilidad**

Tomando en cuenta las dimensiones de la placa Heltec WiFi LoRa 32 (5 x 2.5 cm), se definió un ancho de 6 cm para el collar, lo que permite integrar adecuadamente los sensores y módulos electrónicos sin afectar la comodidad del animal. Por su parte, la longitud del collar es ajustable entre 80 y 120 cm, gracias al uso de velcro industrial, como se muestra en la Figura 21. Esta característica facilita su adaptación a distintas morfologías de bovinos, tanto jóvenes como adultos, asegurando un ajuste firme y estable que no compromete la funcionalidad ni el rendimiento del sistema

**Figura 21.**

*Fabricación del collar.*



*Elaborado por: El Autor.*

**3.5.7.3. Instalación, mantenimiento y accesibilidad**

Como se muestra en la Figura 22, se incorporó una cremallera al diseño del collar con el fin de facilitar la instalación inicial de los dispositivos electrónicos, así como posibles tareas futuras de mantenimiento, ajustes o reemplazo de componentes. Esta solución práctica permite acceder rápidamente al interior del sistema sin comprometer su integridad ni generar

incomodidad para el animal, lo que contribuye a mantener la eficiencia operativa y el bienestar del ganado durante su uso continuo.

**Figura 22.**  
*Colocación de cremallera en el collar.*



*Elaborado por: El Autor.*

En la Figura 22, se puede apreciar el prototipo obtenido, el cual es ergonómico, resistente y funcional, capaz de proteger adecuadamente el hardware, facilitar su mantenimiento y, al mismo tiempo, asegurar el bienestar del animal. Su diseño responde eficazmente a las exigencias del entorno ganadero y a los requerimientos técnicos del Sistema de monitoreo IoT desarrollado

#### **3.5.7.4. Prototipo de collar**

En la Figura 23, se puede apreciar el producto obtenido, el cual es ergonómico, resistente y funcional, capaz de proteger adecuadamente el hardware, facilitar su mantenimiento y, al mismo tiempo, asegurar el bienestar del animal. Su diseño responde eficazmente a las exigencias del entorno ganadero y a los requerimientos técnicos del Sistema de monitoreo IoT desarrollado.

**Figura 23.**  
*Elaboración final del collar.*



*Elaborado por: El Autor.*

## **Capítulo IV**

### **Implementación, resultados y análisis**

En este capítulo se detalla el proceso de implementación del sistema, describiendo cada una de las etapas que hicieron posible su puesta en funcionamiento. Se explican las modificaciones técnicas y los ajustes realizados para adaptar el diseño inicial a los requerimientos del proyecto, lo que permitió avanzar hacia la fase de verificación. Asimismo, se llevaron a cabo pruebas de operación rigurosas, orientadas a evaluar la eficiencia, estabilidad y confiabilidad del sistema tanto en entornos controlados como en condiciones reales de campo.

#### **4.1. Nodo Móvil**

En esta sección se expone el desarrollo práctico del sistema, indicando cómo se integró cada componente de hardware necesario para su operación. En cada fase se efectuaron pruebas y ajustes con el propósito de asegurar que los módulos trabajaran de manera coordinada y eficiente. Este proceso de integración permitió comprobar que el sistema cumple con su objetivo de monitorear la salud del ganado en tiempo real y con un alto nivel de fiabilidad. A continuación, se describe la implementación del nodo móvil y posteriormente la del nodo central.

##### **4.1.1. Programación del nodo móvil**

La Figura 24 muestra las librerías empleadas en el código del sistema embebido, necesarias para la comunicación y control de los sensores conectados. Se incluyen librerías para protocolos como I2C (`Wire.h`) y OneWire (`OneWireNg_CurrentPlatform.h`), así como controladores específicos para sensores de movimiento (MPU6050), ritmo cardíaco (MAX30105) y temperatura (DS18B20). Además, `LoRaWan_APP.h` habilita la transmisión de datos mediante LoRaWAN, y `heartRate.h` permite calcular la frecuencia cardíaca. Estas

dependencias aseguran la correcta lectura y envío de datos desde el dispositivo hacia la plataforma remota.

**Figura 24.**  
*Importación de librerías*

```
1  #include <Wire.h>
2  #include "LoRaWan_APP.h"
3  #include "Arduino.h"
4  #include <Adafruit_MPU6050.h>
5  #include <Adafruit_Sensor.h>
6  #include <OneWireNg_CurrentPlatform.h>
7  #include "MAX30105.h"
8  #include "heartRate.h"
```

*Elaborado por: El Autor.*

Para configurar correctamente el módulo LoRa, se establecieron una serie de parámetros clave que permiten optimizar la comunicación inalámbrica, como se ilustra en la Figura 25. Entre ellos, se define la frecuencia de operación en 915 MHz, a través de la constante RF FREQUENCY, la cual es compatible con la banda ISM utilizada en esta región geográfica. Asimismo, la potencia de transmisión se ajusta a 5 dBm mediante la constante TX OUTPUT POWER, buscando un equilibrio entre el alcance de la señal y el consumo energético del sistema, lo que resulta fundamental para garantizar la eficiencia y autonomía del dispositivo en campo.

**Figura 25.**  
*Configuración del módulo LoRa*

```
47 // LoRa config
48 #define RF_FREQUENCY 915000000
49 #define TX_OUTPUT_POWER 5
50 #define LORA_BANDWIDTH 0
51 #define LORA_SPREADING_FACTOR 7
52 #define LORA_CODINGRATE 1
53 #define LORA_PREAMBLE_LENGTH 8
54 #define LORA_SYMBOL_TIMEOUT 0
55 #define LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON false
56 #define LORA_IQ_INVERSION_ON false
57
58 #define RX_TIMEOUT_VALUE 1000
59 #define BUFFER_SIZE 100
60
```

*Elaborado por: El Autor.*

El ancho de banda (`LORA_BANDWIDTH`) se configura con el valor 0, lo que corresponde a 125 kHz, una opción común en aplicaciones LoRa por su buen equilibrio entre consumo energético y robustez de la señal. Asimismo, el factor de dispersión (`LORA_SPREADING_FACTOR`) se establece en 7, ofreciendo un punto medio entre alcance de transmisión y velocidad de envío de datos, ideal para entornos rurales con cobertura moderada. En cuanto a la tasa de codificación (`LORA_CODINGRATE`), se define en 1, lo cual proporciona una protección básica contra errores de transmisión, suficiente para mantener la integridad de los datos en condiciones estables.

Por otro lado, la Figura 26 muestra la configuración y lectura del sensor de temperatura DS18B20. En este proceso, el código solicita al sensor la medición y recupera el valor en grados Celsius. Además, se incluye una rutina de verificación que detecta si el sensor está desconectado. En caso de fallo, el sistema genera un mensaje de error, lo que permite garantizar la confiabilidad y consistencia de los datos recogidos.

**Figura 26.**  
*Lectura del sensor de Temperatura*

```
177     if (tempConversionStarted && (now - tempStart > 750)) {
178         oneWire.reset();
179         seleccionarSensor(sensorAddr);
180         oneWire.writeByte(0xBE);    // lee scratchpad
181
182         uint8_t data[9];
183         for (int i = 0; i < 9; i++) data[i] = oneWire.readByte();
184         int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
185         tempC = (float)raw / 16.0;    // convierte a grados Celsius
186
187         oneWire.reset();
188         seleccionarSensor(sensorAddr);
189         oneWire.writeByte(0x44);    // inicia nueva conversión
190         tempStart = now;
191         tempConversionStarted = true;
192     }
```

*Elaborado por: El Autor.*

El código presentado en la Figura 27 ilustra el procedimiento para detectar eventos de tos utilizando un sensor de sonido. El proceso comienza con una lectura analógica del sensor, que permite medir la intensidad de la señal acústica. Si el valor obtenido supera un umbral predefinido y no se encuentra ya un evento de tos en curso, se incrementa un contador de episodios de tos y se activa un estado temporal que impide registrar múltiples veces el mismo evento.

Para evitar lecturas erróneas o duplicadas, se implementa un retardo de 500 milisegundos, lo que permite estabilizar la detección antes de registrar nuevos datos. Una vez que la señal acústica desciende por debajo del umbral establecido, el sistema restablece el estado de detección, quedando listo para identificar futuros episodios de tos de forma precisa y eficiente.

### **Figura 27.**

#### *Lectura del sensor de sonido*

```
209 // Lee sensor de sonido para detectar tos
210 int soundValue = analogRead(SOUND_SENSOR_PIN);
211 if (soundValue > thresholdTos && !coughing) {
212     coughCount++;
213     coughing = true;
214     delay(500); // retardo para evitar múltiples detecciones
215 }
216 if (soundValue < thresholdTos) {
217     coughing = false;
218 }
```

*Elaborado por: El Autor.*

Paralelamente, se obtiene la frecuencia cardíaca, expresada en pulsaciones por minuto (BPM), mediante el uso del método `getBeatsPerMinute` del objeto `pulseSensor`, el cual se encarga de procesar las señales captadas por el sensor de pulso y calcular automáticamente los valores promedio de ritmo cardíaco.

En la Figura 28 se muestra el fragmento de código que emplea el acelerómetro MPU6050 para la detección de pasos. El proceso comienza con la obtención de datos de aceleración en los tres ejes (x, y, z), tras lo cual se calcula la magnitud total de la aceleración. Este valor se ajusta restando  $9.81 \text{ m/s}^2$ , correspondiente a la aceleración gravitacional, con el fin de enfocarse únicamente en las variaciones asociadas al movimiento del animal.

Si el valor de aceleración ajustado supera un umbral predefinido y no se ha detectado un pico recientemente, el sistema incrementa el contador de pasos y marca el evento como pico detectado, evitando múltiples registros por un mismo movimiento. Una vez que la aceleración disminuye por debajo del umbral, la marca de pico se restablece, lo que permite detectar nuevos pasos en ciclos posteriores de forma confiable y precisa.

**Figura 28.**

*Lectura del sensor de movimiento.*

```
194 // Lee acelerómetro del MPU6050 para detectar pasos
195 sensors_event_t a, g, temp;
196 mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
197 float acc = sqrt(
198     a.acceleration.x * a.acceleration.x +
199     a.acceleration.y * a.acceleration.y +
200     a.acceleration.z * a.acceleration.z);
201 float acc_filtrada = abs(acc - 9.81);
202 if (acc_filtrada > umbralPaso && !pico) {
203     pasos++;
204     pico = true;
205 } else if (acc_filtrada < umbralPaso) {
206     pico = false;
207 }
```

*Elaborado por: El Autor.*

El código mostrado en la Figura 29 detalla el proceso de envío periódico de datos a través de comunicación LoRa, configurado para ejecutarse cada 5 segundos. Si ha transcurrido ese intervalo desde el último envío, el sistema construye un paquete de datos que incluye información clave como el usuario, contraseña, frecuencia cardíaca promedio, temperatura, número de pasos registrados y eventos de tos detectados.

Antes del envío, el contenido del paquete se imprime por el puerto serie con fines de depuración y monitoreo en tiempo real. Si el módulo LoRa se encuentra disponible, el mensaje se transmite al servidor y el sistema marca el estado como ocupado para evitar envíos simultáneos. Una vez completado el proceso, se actualiza el registro de tiempo del último envío para mantener el control del intervalo.

Adicionalmente, en cada ciclo del programa se gestionan las interrupciones asociadas al módulo LoRa, y se introduce un pequeño retardo que ayuda a evitar la saturación del bucle principal, contribuyendo así a una operación más estable y eficiente del sistema.

**Figura 29.**  
*Envío de paquetes LoRa*

```
// Enviar datos cada 5 seg
if (now - lastSend > 5000) { ← Cada 5 segundos
  sprintf(txpacket, "USER:%s|PASS:%s|BPM:%d|Temp:%.2f|Pasos:%d|Tos:%d",
    "Nodo1", "Andres123", beatAvg, tempC, pasos, coughCount);

  Serial.printf("Enviando: %s\n", txpacket);

  if (lora_idle) {
    Radio.Send((uint8_t *)txpacket, strlen(txpacket));
    lora_idle = false;
  }

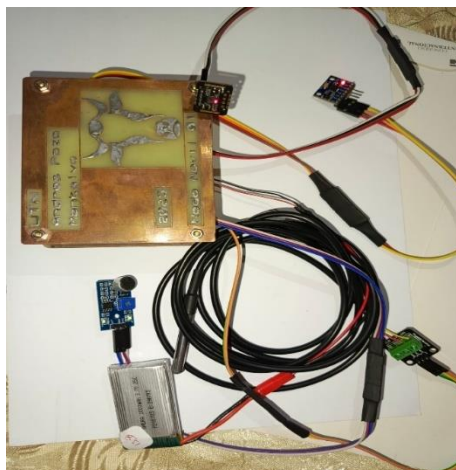
  lastSend = now;
}
```

*Elaborado por: El Autor.*

#### 4.1.2. Implementación del Nodo Móvil

Una vez que la placa cuenta con todos los componentes necesarios para el funcionamiento del nodo, se procede al diseño de un case protector que garantice su integridad en condiciones reales de uso. En la Figura 30 se presenta dicho diseño, el cual está pensado para resguardar el circuito electrónico y el sistema de alimentación eléctrica frente a factores externos como polvo, humedad, impactos o cambios de temperatura. Este encapsulado no solo protege los elementos internos, sino que también contribuye a prolongar la vida útil del dispositivo y asegurar un funcionamiento confiable en entornos rurales o de difícil acceso.

**Figura 30.**  
*Sistema integrado*



*Elaborado por: El Autor.*

Además, en la figura 31 se puede observar el dispositivo terminado ya instalado en el collar, con la colocación de sensores en su interior.

**Figura 31.**  
*Implementación final del collar*



*Elaborado por: El Autor.*

#### **4.1.3. Ubicación de Nodo Móvil**

El nodo móvil adherido al collar está diseñado para ser colocado directamente en el bovino, tal como se muestra en la Figura 32. Este dispositivo permite iniciar la adquisición de datos de temperatura, ritmo cardíaco, actividad física y eventos de tos en tiempo real, permitiendo así monitorear distintos factores.

**Figura 32**  
*Ubicación de nodo móvil*



## **4.2. Nodo Central o Gateway**

En esta fase se describe la implementación del Nodo Central o Gateway, detallando la integración y configuración de los componentes de hardware y software necesarios para su correcto funcionamiento dentro del sistema. Este apartado explica cómo el Gateway complementa al nodo móvil, permitiendo la recepción de los datos transmitidos mediante tecnología LoRa y su posterior envío a la base de datos en la nube.

### **4.2.1 Programación del Nodo Central o Gateway**

En la Figura 33 se presentan las principales librerías importadas para el desarrollo del nodo móvil, las cuales son fundamentales para habilitar las funciones clave del sistema. La librería `LoRaWan_APP.h` permite gestionar la comunicación mediante LoRa, facilitando la transmisión de datos a larga distancia. Por su parte, `Arduino.h` proporciona las funciones esenciales del entorno Arduino, necesarias para la programación y operación del microcontrolador.

Para habilitar la conexión a redes WiFi, se incorpora la librería `WiFi.h`, que permite establecer comunicación inalámbrica cuando se encuentra disponible. Además, se utiliza `FirebaseESP32.h`, una librería que simplifica la interacción directa con la base de datos en la

nube de Firebase, facilitando así el envío y sincronización de datos desde el dispositivo ESP32 con la plataforma remota de monitoreo.

**Figura 33.**  
*Importación de librerías*

```
1  #include "LoRaWan_APP.h"
2  #include "Arduino.h"
3  #include <WiFi.h>
4  #include <FirebaseESP32.h>
```

*Elaborado por: El Autor.*

En la Figura 34 se muestran las definiciones de configuración necesarias para establecer la conexión WiFi y el acceso a Firebase. Para conectarse a la red inalámbrica, se especifican dos parámetros fundamentales: el nombre de la red (WIFI\_SSID) y la contraseña de acceso (WIFI\_PASSWORD). Estos datos permiten que el dispositivo se vincule correctamente a una red WiFi disponible, paso previo indispensable para la sincronización de datos con la plataforma en la nube Firebase.

**Figura 34.**  
*Configuración WiFi y conexión a Firebase*

```
6  // Configuración WiFi
7  #define WIFI_SSID "POZO_MONTALVO"
8  #define WIFI_PASSWORD "andres123"
9
10 // Configuración Firebase
11 #define API_KEY "AIzaSyDeQ31MCvi42tSYqPdaBNZwthrcL0pJJ6Q"
12 #define DATABASE_URL "https://prueba-7e50e-default-rtdb.firebaseio.com/"
13
```

*Elaborado por: El Autor.*

En cuanto a la configuración de Firebase, se incorporan las credenciales necesarias para la autenticación y la conexión segura con la base de datos en tiempo real. Entre los parámetros definidos se encuentran: la clave de API (API KEY), la URL de la base de datos (DATABASE

URL), así como las credenciales del usuario (USER EMAIL y USER PASSWORD). Estos elementos permiten que el nodo móvil establezca una conexión directa, segura y confiable con el servicio en la nube, facilitando la gestión y el almacenamiento continuo de los datos recolectados por el sistema.

Por otra parte, en la Figura 35 se muestra la función encargada de gestionar la recepción de paquetes a través de LoRa. Una vez que se detecta un paquete entrante, su contenido es copiado en un buffer, verificando que sea una cadena válida para su posterior procesamiento. Además, se imprime en el monitor serial información relevante como el mensaje recibido, la intensidad de la señal (RSSI) y el tamaño del paquete, lo cual permite realizar un seguimiento en tiempo real del estado de la comunicación LoRa y depurar posibles fallos.

**Figura 35.**  
*Recepción de paquetes LoRa.*

```
87 void OnRxDone(uint8_t *payload, uint16_t size, int16_t rssi, int8_t snr) {
88     payload[size] = '\0';
89     String mensaje = (char *)payload;
90     Serial.printf("Mensaje recibido: %s\n", mensaje.c_str());
91
92     // Validar credenciales
93     if (mensaje.indexOf("USER:Nodo1") != -1 && mensaje.indexOf("PASS:Andres123") != -1) {
94         Serial.println("Autenticación correcta ✅");
95
96         // Extraer campos
97         int bpmIndex = mensaje.indexOf("BPM:");
98         int tempIndex = mensaje.indexOf("Temp:");
99         int pasosIndex = mensaje.indexOf("Pasos:");
100        int tosIndex = mensaje.indexOf("Tos:");
101
102        int bpm = mensaje.substring(bpmIndex + 4, mensaje.indexOf("|", bpmIndex)).toInt();
103        float temperatura = mensaje.substring(tempIndex + 5, mensaje.indexOf("|", tempIndex)).toFloat();
104        int pasos = mensaje.substring(pasosIndex + 6, mensaje.indexOf("|", pasosIndex)).toInt();
105        int tos = mensaje.substring(tosIndex + 4).toInt();
106
107        Serial.printf("BPM: %d\n", bpm);
108        Serial.printf("Temp: %.2f\n", temperatura);
109        Serial.printf("Pasos: %d\n", pasos);
110        Serial.printf("Tos: %d\n", tos);

```

*Elaborado por: El Autor.*

Una vez recibido el paquete, este es procesado como una cadena de texto para extraer los distintos datos transmitidos, tales como la temperatura, el nivel de sonido, la frecuencia cardíaca, el conteo de pasos y los valores de aceleración en los tres ejes (X, Y, Z). Para lograrlo,

el sistema identifica las posiciones de cada etiqueta dentro del mensaje, lo que permite aislar y extraer los valores numéricos correspondientes. Este procedimiento facilita una interpretación precisa de los datos y su posterior utilización en los procesos de análisis y monitoreo.

En la Figura 36 se muestra el proceso de almacenamiento de los datos recibidos en la base de datos en tiempo real de Firebase. Para cada variable; temperatura, nivel de sonido, frecuencia cardíaca (pulso) y conteo de pasos, se utiliza la función adecuada, ya sea `setFloat` para valores decimales o `setInt` para enteros, con el fin de enviar la información al nodo correspondiente dentro de la estructura de la base de datos, asegurando así una organización clara y un acceso eficiente a los registros desde la plataforma en la nube.

**Figura 36.**

*Envío de datos a Firebase*

```
112 // Enviar a Firebase (sin espacios en las rutas)
113 if (Firebase.setInt(fbdo, "/Cliente_1/Nodo_1/BPM", bpm))
114     Serial.println("BPM enviado");
115 else
116     Serial.println(fbdo.errorReason());
117
118 if (Firebase.setFloat(fbdo, "/Cliente_1/Nodo_1/Temperatura", temperatura))
119     Serial.println("Temperatura enviada");
120 else
121     Serial.println(fbdo.errorReason());
122
123 if (Firebase.setInt(fbdo, "/Cliente_1/Nodo_1/Pasos", pasos))
124     Serial.println("Pasos enviados");
125 else
126     Serial.println(fbdo.errorReason());
127
128 if (Firebase.setInt(fbdo, "/Cliente_1/Nodo_1/Tos", tos))
129     Serial.println("Tos enviados");
130 else
131     Serial.println(fbdo.errorReason());
132
```

*Elaborado por: El Autor.*

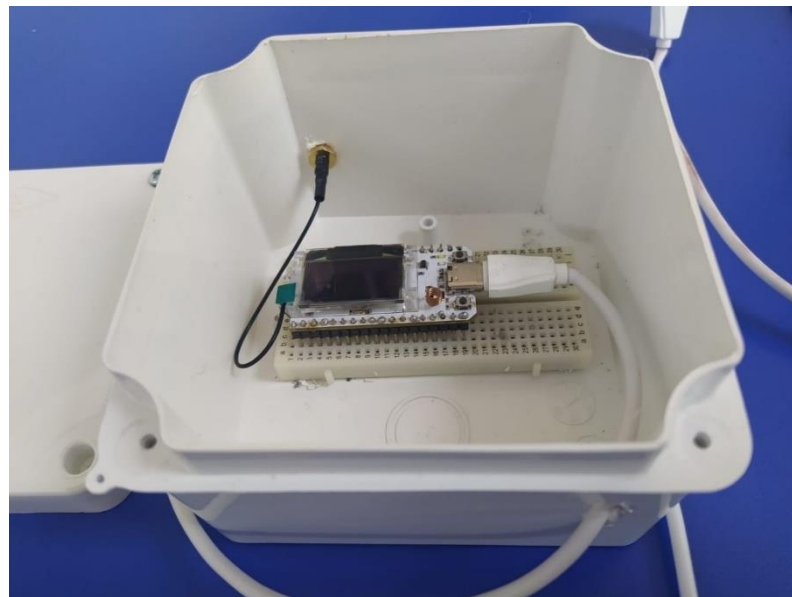
El sistema verifica la respuesta de Firebase tras cada intento de envío de datos, con el fin de confirmar si la operación fue exitosa. En caso afirmativo, se imprime un mensaje de confirmación en el monitor serial, lo que permite al usuario llevar un seguimiento del funcionamiento del sistema. Si ocurre algún error durante la transmisión, se muestra un

mensaje detallado con la causa específica del fallo, lo que facilita la detección oportuna y la resolución de posibles problemas en la comunicación con la base de datos en la nube.

#### 4.2.2. Implementación del Nodo Central o Gateway

Para la implementación de este nodo se emplea una placa Heltec WiFi LoRa 32, encargada de recibir los datos transmitidos vía LoRa desde los nodos móviles y enviarlos a la base de datos en la nube. Para asegurar un funcionamiento estable y continuo, es necesario ubicar la placa en un lugar que cuente con acceso a red eléctrica y conexión WiFi, lo que garantiza la transmisión constante de la información recolectada. En la Figura 37 se muestra la disposición del nodo en el entorno de prueba, evidenciando su integración dentro del sistema de monitoreo.

**Figura 37.**  
*Implementación de Gateway*



*Elaborado por: El Autor.*

### 4.2.3. Ubicación del Gateway

El gateway fue instalado en la zona alta, próxima a la vivienda, a una altura aproximada de 3,5 metros, con el propósito de garantizar una línea de vista despejada hacia los diferentes puntos del área de pruebas y facilitar una comunicación estable entre los nodos móviles y el nodo central, tal como se muestra en la Figura 38.

#### **Figura 38.**

*Ubicación del gateway.*



Además, como se observa en la Figura 39, se presenta una vista más cercana del Nodo Central, el cual está instalado a una altura considerable para garantizar una mejor conexión con el Nodo Móvil. También se puede apreciar que el Gateway está firmemente asegurado al poste de madera.

#### **Figura 39.**

*Ubicación del Gateway.*



### **4.3 Aplicación Web**

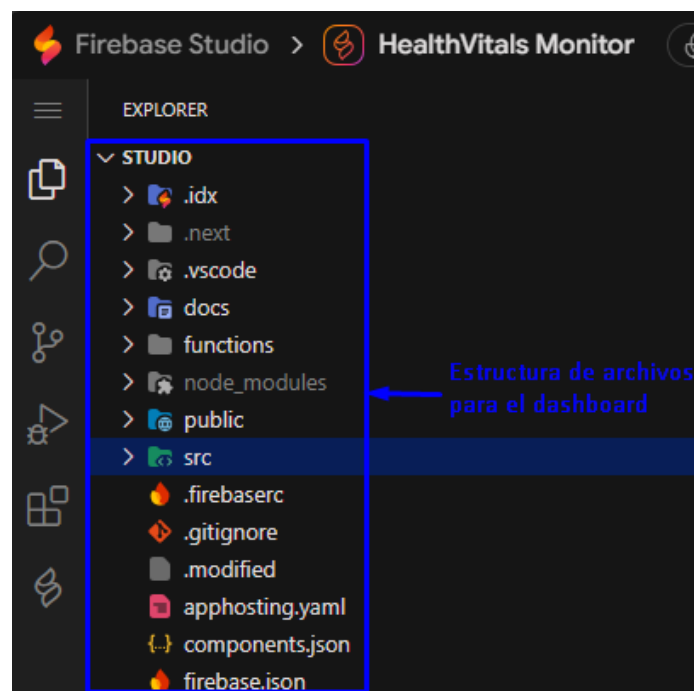
En esta fase se describe la implementación de la aplicación web del sistema, detallando la integración de los componentes necesarios para la visualización y gestión de la información recolectada por los dispositivos de monitoreo. La aplicación web permite al usuario acceder a los datos almacenados en la base de datos en la nube, facilitando el seguimiento de las variables monitoreadas y la generación de alertas.

#### **4.3.1. Programación del Dashboard**

La figura 40 muestra cómo está organizada la estructura de archivos del proyecto web desarrollado con Firebase Studio, el cual permite visualizar los datos del sistema de monitoreo. Esta estructura sigue un modelo modular, pensado para mantener el orden y facilitar futuras modificaciones. Dentro de la carpeta src se encuentra el código principal del proyecto, mientras que en public se almacenan los recursos estáticos que se muestran en el panel web, como imágenes, hojas de estilo o archivos HTML. Además, la carpeta functions contiene el código

del backend, es decir, las funciones que se ejecutan en el servidor para procesar la información. También se incluyen archivos importantes de configuración como `firebase.json` y `apphosting.yaml`, necesarios para desplegar correctamente la aplicación en la nube. Este tipo de organización permite que el proyecto sea más fácil de mantener, escalar y adaptar a nuevas funcionalidades, asegurando un desarrollo más eficiente y profesional del sistema.

**Figura 40.**  
*Estructura de archivos del dashboard*



*Elaborado por: El Autor.*

La figura 41 presenta una parte del archivo `health-dashboard.tsx`, uno de los componentes principales del panel web desarrollado con React, encargado de mostrar el estado de salud de los animales monitoreados. En este archivo se integran varias librerías y herramientas esenciales. Por un lado, se utiliza react para manejar el estado del componente y su ciclo de vida; por otro, se incorpora `firebase/database` para conectarse en tiempo real con la base de datos y obtener los datos de los sensores. Además, se incluyen elementos visuales como tarjetas informativas, barras de progreso, gráficos y botones, que hacen que la interfaz sea más

interactiva y visualmente clara. También se destacan componentes específicos como edit-profile-dialog o create-animal-dialog, que permiten a los usuarios editar perfiles o añadir nuevos animales de forma sencilla. Esta estructura basada en módulos reutilizables permite construir interfaces dinámicas, modernas y adaptables, ideales para facilitar el monitoreo constante en contextos ganaderos.

**Figura 41.**  
*Librería del dashboard*

```
src > components > health-dashboard.tsx > ...
4 import { useState, useEffect, useMemo, memo } from "react";
5 import { ref, onValue, set, off } from "firebase/database";
6 import { db } from "@lib/firebase";
7 import Image from "next/image";
8 import { useToast } from "@hooks/use-toast";
9 import { Card, CardContent, CardDescription, CardHeader, CardTitle, CardFooter } from "@components/ui/card";
10 import { Skeleton } from "@components/ui/skeleton";
11 import { AlertBanner, type RiskStatus } from "@components/alert-banner";
12 import { GaugeCard } from "@components/gauge-card";
13 import { BarCard } from "@components/bar-card";
14 import { Activity, HeartPulse, Pencil, PlusCircle } from "lucide-react";
15 import { Progress } from "@components/ui/progress";
16 import { Button } from "@components/ui/button";
17 import { EditProfileDialog } from "@components/edit-profile-dialog";
18 import { CreateAnimalDialog } from "@components/create-animal-dialog";
19 import { Select, SelectContent, SelectItem, SelectTrigger, SelectValue } from "@components/ui/select";
20 import { Badge } from "@components/ui/badge";
21 import { getPersonalizedAdvice } from "@ai/flows/personalized-health-advice";
22 import { SidebarTrigger } from "@components/ui/sidebar";
23 import { Label } from "@components/ui/label";
24
```

Importación de librería para estado de componentes

Importación de librerías para la conexión con la base de datos

Librerías para el uso de componentes

*Elaborado por: El Autor.*

La figura 42 muestra la sección del código donde se importan todas las herramientas necesarias para construir el panel de control del sistema. Entre ellas se incluyen los hooks de React, como useState y useEffect, que permiten manejar el estado y las actualizaciones del componente de forma dinámica. También se integran funciones de Firebase, tanto para leer como para escribir datos en tiempo real desde la base de datos. Además, se incorporan componentes visuales personalizados que conforman la interfaz del usuario. En esta sección también se definen tipos específicos en TypeScript, como SensorData, que representa los datos recibidos de los sensores, y AnimalProfile, que almacena la información de cada animal

monitoreado. Esta estructura tipada no solo organiza mejor la información, sino que también aporta seguridad y claridad al código, facilitando su mantenimiento y escalabilidad en el futuro.

**Figura 42.**  
*Etiquetado de datos de sensores*

```
25 type SensorData = {
26   BPM: number;
27   Pasos: number;
28   Temperatura: number;
29   Tos: number;
30 };
31
32 export type AnimalProfile = {
33   dbKey: string;
34   name: string;
35   id: string;
36   image: string;
37 };
38
39 type Animals = Record<string, Omit<AnimalProfile, 'dbKey'>>;
40
```

*Elaborado por: El Autor.*

La figura 43 muestra el encabezado del panel principal del dashboard, una sección clave para la navegación dentro de la plataforma. Desde este encabezado, el usuario puede seleccionar un animal registrado mediante un menú desplegable (Select), lo que permite visualizar sus datos específicos en tiempo real. También se incluye un botón claramente identificado como “Crear”, que facilita el registro de un nuevo animal dentro del sistema. Además, cuando un animal está activo, se presenta un indicador visual tipo "en vivo", que resalta que se están mostrando datos en tiempo real. Esta sección cumple un rol esencial, ya que permite al usuario identificar rápidamente qué animal está siendo monitoreado y gestionar fácilmente la base de datos de ejemplares bajo observación.

**Figura 43.**  
*Función de selección de animal*

```
c > components > health-dashboard.tsx > ...
42 function DashboardHeader({
69   <SelectValue placeholder="Seleccionar animal" /> ← Función de selección de animal
70 </SelectTrigger>
71 <SelectContent>
72   {Object.entries(animals).map(([key, animal]) => (
73     <SelectItem key={key} value={key}>
74       <div className="flex items-center justify-between w-full">
75         <span>{animal.name}</span>
76         {key === activeAnimalKey && (
77           <span className="flex h-2 w-2 rounded-full bg-green-500 animate-pulse ml-2" title="En vivo" />
78         )}
79       </div>
80     </SelectItem>
81   )}
82 </SelectContent>
83 </Select>
84 ) : (
85   <div className="w-[180px] text-sm">{isAnimalListEmpty ? "" : "Seleccionar..."}</div>
86 )}
87 <Button variant="secondary" onClick={onAddAnimal}>
88   <PlusCircle className="w-5 h-5 mr-2" />
89   Crear
90 </Button>
91 </div>
92 </header>
93 }
94 );
```

Creación de opción seleccionar

Configuración de botón crear animal

Activar Windows  
Ver Configuración para activar

*Elaborado por: El Autor.*

En la siguiente sección de código se muestra las funciones derivadas mediante useMemo permiten optimizar el rendimiento al calcular información clave solo cuando cambian las dependencias. selectedAnimalProfile construye el perfil completo del animal actualmente seleccionado, incluyendo su dbKey, necesario para futuras operaciones como edición o actualización. Por otro lado, en la Figura 44, isViewingActiveAnimal determina si el animal seleccionado por el usuario es el mismo al que están conectados los sensores en tiempo real, lo cual es crucial para saber si deben mostrarse datos en vivo o dejar la interfaz en estado pasivo.

**Figura 44.**  
*Validación de animal seleccionado*

```
121 const selectedAnimalProfile: AnimalProfile | null = useMemo(() => {
122   if (selectedAnimalKey && animals[selectedAnimalKey]) {
123     return { dbKey: selectedAnimalKey, ...animals[selectedAnimalKey] };
124   }
125   return null;
126 }, [selectedAnimalKey, animals]);
127
128 const isViewingActiveAnimal = useMemo(() => selectedAnimalKey !== null && selectedAnimalKey === activeAnimalKey, [selectedAnimal
129
```

Validación de animal seleccionado

*Elaborado por: El Autor.*

La figura 45 muestra cómo se implementa el hook `useEffect` para establecer la conexión con Firebase y suscribirse a dos rutas clave dentro de la base de datos. La primera ruta (`Cliente_1/Animales`) contiene la lista de todos los animales registrados, mientras que la segunda (`Cliente_1/Config/animalActivo`) almacena el identificador del animal que está siendo monitoreado en ese momento. Cada vez que hay cambios en alguna de estas rutas, el sistema actualiza automáticamente el estado del componente en React, reflejando los nuevos datos en la interfaz de forma inmediata. En caso de que ocurra algún error al intentar acceder a Firebase, se muestra una notificación de advertencia mediante el sistema de alertas toast, permitiendo al usuario identificar rápidamente el problema. Además, se incluye una función de limpieza que se ejecuta cuando el componente se desmonta, garantizando que las suscripciones activas se cierren correctamente. Esta práctica es fundamental para evitar fugas de memoria, mejorar el rendimiento y asegurar la estabilidad general del sistema.

**Figura 45.**  
*Conexión a Realtime Database*

```
130 useEffect(() => {
131   const animalsRef = ref(db, 'Cliente_1/Animales');
132   const unsubscribeAnimals = onValue(animalsRef, (snapshot) => {
133     setAnimals(snapshot.exists() ? snapshot.val() : {});
134   }, (error) => {
135     toast({ variant: 'destructive', title: 'Error de Datos', description: 'No se pudo leer la lista de animales.' });
136   });
137
138   const configRef = ref(db, 'Cliente_1/Config/animalActivo');
139   const unsubscribeConfig = onValue(configRef, (snapshot) => {
140     setActiveAnimalKey(snapshot.exists() ? snapshot.val() : null);
141   }, (error) => {
142     toast({ variant: 'destructive', title: 'Error de Configuración', description: 'No se pudo leer la configuración del animal' });
143   });
144
145   return () => {
146     unsubscribeAnimals();
147     unsubscribeConfig();
148   };
149 }, [toast]);
```



*Elaborado por: El Autor.*

En la Figura 46 se muestra la sección encargada de la lectura de sensores en tiempo real dentro de la interfaz del sistema. Este proceso se activa únicamente cuando el usuario está visualizando al animal que tiene asignado un sensor activo. Si el animal mostrado no coincide con el nodo seleccionado, el sistema limpia automáticamente los datos del sensor para evitar la visualización de información incorrecta o desactualizada.

Cuando hay coincidencia, el sistema se conecta a Firebase en la ruta correspondiente (por ejemplo, Cliente 1/Nodo 1), que representa el nodo específico del sensor, y comienza a escuchar los valores transmitidos en tiempo real. A medida que llegan los datos, estos se almacenan en el estado local `sensorData` y también se actualiza el contador de pasos diarios.

En caso de producirse un error durante la conexión, el sistema muestra una notificación de error para alertar al usuario. Además, cuando el efecto se desmonta o el usuario cambia de animal, se limpia automáticamente la suscripción al sensor, lo cual es fundamental para evitar fugas de memoria y lecturas innecesarias, manteniendo así el rendimiento y la estabilidad del sistema.

### **Figura 46.**

#### *Lectura de sensores en tiempo real*



```
src > components > health-dashboard.tsx > ...
 96   export function HealthDashboard() {
151     useEffect(() => {
152     }, [animals, activeAnimalKey, selectedAnimalKey]);
163     setIsLoading(false);
164   }, [animals, activeAnimalKey, selectedAnimalKey]);
165
166   useEffect(() => {
167     if (!isViewingActiveAnimal) {
168       setSensorData(null);
169       return;
170     }
171     const sensorRef = ref(db, "Cliente_1/Nodo_1");
172     const unsubscribe = onValue(sensorRef, (snapshot) => {
173       const data = snapshot.val();
174       if (data) {
175         setSensorData({ BPM: data.BPM || 0, Pasos: data.Pasos || 0, Temperatura: data.Temperatura || 0, Tos: data.Tos || 0 });
176         setDailySteps(data.Pasos || 0);
177       }
178     }, (error) => {
179       toast({ variant: "destructive", title: "Error de conexión", description: "No se pudieron obtener los datos del sensor." });
180     });
181     return () => off(sensorRef, 'value', unsubscribe);
182   }, [isViewingActiveAnimal, toast]);
183 }
```

*Elaborado por: El Autor.*

La figura 47 ilustra cómo el sistema calcula un puntaje de riesgo cada vez que se actualizan los datos del sensor, el número de pasos diarios o cambia el animal que se está monitoreando. Este cálculo se basa en ciertas condiciones específicas: si el animal presenta fiebre (temperatura elevada), taquicardia (latidos por minuto demasiado altos), tos frecuente o niveles bajos de actividad física, se le asignan puntos que se van acumulando. Según el total alcanzado, el sistema clasifica el estado del animal en tres niveles de riesgo: “normal”, “moderado” o “alto”. Esta evaluación es clave, ya que determina el nivel de alerta médica que se mostrará en el panel de control y también alimenta a la inteligencia artificial encargada de generar recomendaciones específicas para el cuidado del animal. En resumen, esta lógica permite detectar de forma temprana posibles problemas de salud y apoyar una toma de decisiones rápida y bien informada.

**Figura 47.**  
*Evaluación de riesgos*

```
184  useEffect(() => {
185      if (!isViewingActiveAnimal || !sensorData) {
186          setRiskScore(0);
187          setRiskStatus("normal");
188          return;
189      }
190      let score = 0;
191      if (sensorData.Temperatura > 39.5) score += 3;
192      if (sensorData.BPM > 100) score += 2;
193      if (sensorData.Tos >= 5) score += 2;
194      if (dailySteps < 1000) score += 1; // Simplified inactivity check
195
196      setRiskScore(score);
197
198      if (score >= 5) setRiskStatus("high");
199      else if (score >= 3) setRiskStatus("moderate");
200      else setRiskStatus("normal");
201  }
```

Evaluación de riesgos y definición de umbrales

*Elaborado por: El Autor.*

En la Figura 48, se muestra cómo se representan los datos individuales de los sensores: temperatura en una barra vertical, ritmo cardíaco en un medidor circular, pasos diarios y tos en

sus respectivos gráficos. Estos componentes ayudan a visualizar rápidamente el estado físico del animal, haciendo más intuitiva la interpretación de los datos.

**Figura 48.**

*Impresión gráfica de datos*

A screenshot of code for data visualization components. The code is in a dark-themed editor. It shows two main sections of code. The first section is enclosed in a pink box and contains the following code: 

```
<div className="grid grid-cols-1 md:grid-cols-2 gap-6">  
  <BarCard title="Temperatura" value={sensorData?.Temperatura ?? 0} unit="°C" max={42} orientation="vertical" colorClass="l  
  <GaugeCard title="Ritmo Cardíaco" value={sensorData?.BPM ?? 0} unit="BPM" max={160} colorClass="fill-destructive" />  
</div>  
</div>  
<div>  
  <div>  
    <div>  
      <div>  
        <div>  
          <div>  
            <div>  
              <div>  
                <div>  
                  <div>  
                    <div>  
                      <div>  
                        <div>  
                          <div>  
                        </div>  
                      </div>  
                    </div>  
                  </div>  
                </div>  
              </div>  
            </div>  
          </div>  
        </div>  
      </div>  
    </div>  
  </div>  
</div>
```

 The second section of code is below it and contains: 

```
div className="grid grid-cols-1 md:grid-cols-2 lg:grid-cols-3 gap-6">  
  <GaugeCard title="Pasos Diarios" value={dailySteps} unit="" max={10000} colorClass="fill-[hsl(var(--chart-4))]" />  
  <BarCard title="Eventos de Tos / 5min" value={sensorData?.Tos ?? 0} unit="" max={20} orientation="horizontal" />
```

*Elaborado por: El Autor.*

### 4.3.2. Dashboard

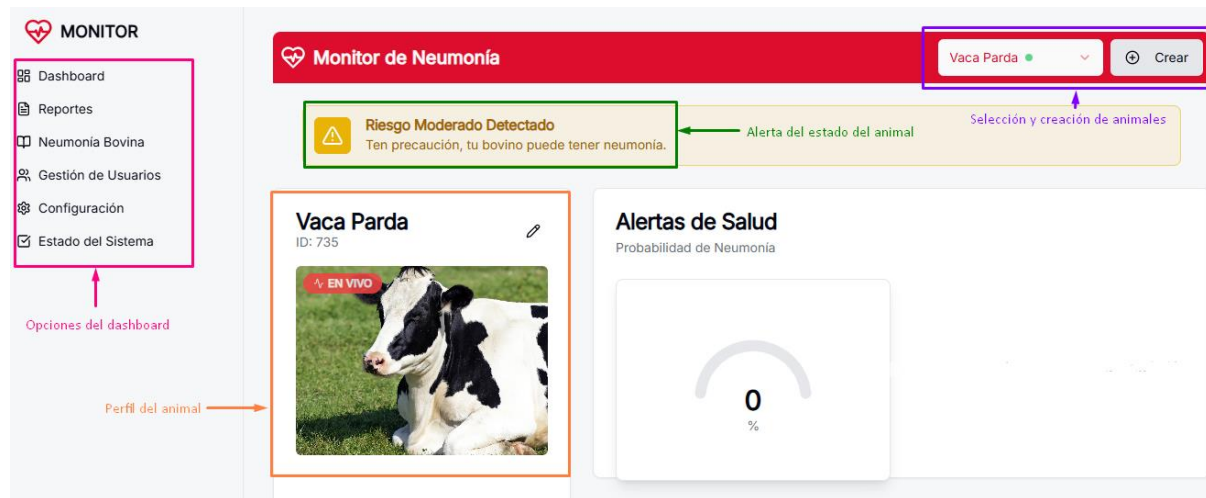
En la Figura 49 se presenta el dashboard finalizado, diseñado con una interfaz clara, funcional y centrada en el monitoreo en tiempo real de la salud bovina. En el panel lateral izquierdo, se encuentran accesos rápidos a las secciones principales del sistema, tales como reportes, configuración y estado general del sistema, facilitando la navegación del usuario.

En la parte superior, se ubica la sección destinada a la selección y creación de perfiles de animales, lo que permite cambiar rápidamente entre diferentes bovinos. Una vez seleccionado, se muestra el perfil del animal, que incluye su imagen, nombre e ID, acompañado por una etiqueta “EN VIVO” si está conectado activamente a los sensores.

Justo sobre este perfil, se despliega una alerta dinámica que indica el estado actual de salud del animal, como por ejemplo un riesgo moderado de neumonía, junto con una recomendación preventiva personalizada. En el panel central, se muestra la probabilidad de neumonía calculada por el módulo de inteligencia artificial, brindando al usuario una visión inmediata, visual y comprensible del estado de salud del bovino.

**Figura 49.**

*Visualización de dashboard*

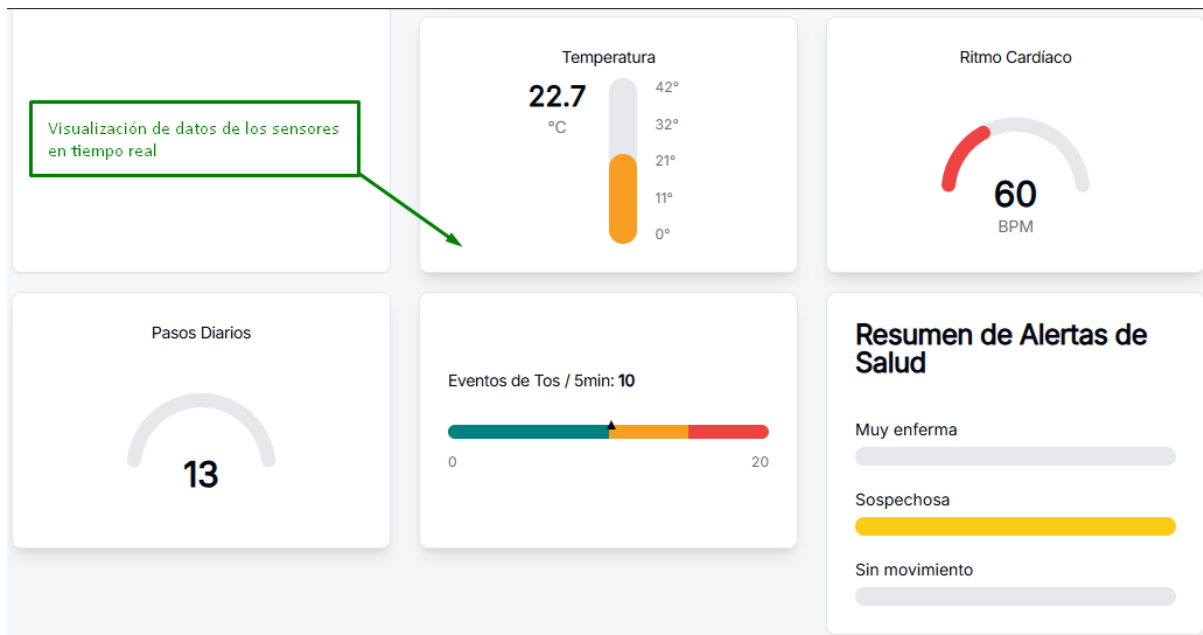


*Elaborado por: El Autor.*

En la Figura 50, se visualizan en tiempo real los datos recolectados por los sensores conectados al animal actualmente activo. La información se presenta mediante tarjetas individuales, cada una correspondiente a un parámetro clave de salud: temperatura corporal, ritmo cardíaco, número de pasos diarios y eventos de tos detectados. Estos valores están acompañados por indicadores gráficos intuitivos, que facilitan una interpretación inmediata por parte del usuario.

Además, se incluye un resumen de alertas de salud, que clasifica el estado general del animal en categorías como “Muy enferma”, “Sospechosa” o “Sin movimiento”, según los datos registrados y los umbrales establecidos por el sistema. Esta visualización dinámica permite al usuario tomar decisiones rápidas y fundamentadas, identificando patrones inusuales o signos tempranos de enfermedad, lo cual es crucial para una intervención oportuna en la gestión del ganado.

**Figura 50.**  
*Visualización gráfica de valores de sensores*



*Elaborado por: El Autor.*

#### **4.4. Verificación del Sistema**

En esta fase se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación, correspondientes a las pruebas de funcionamiento. En ellas se verifica el correcto desempeño de los componentes electrónicos, así como la comunicación y la gestión de la información dentro del Sistema

##### **4.4.1. Cronograma de pruebas**

Una vez finalizadas las etapas de diseño e implementación del sistema, se realizaron pruebas de funcionamiento en campo con el objetivo de evaluar su desempeño en condiciones reales. Estas evaluaciones permitieron comprobar la eficacia del sistema en la recolección de datos de ubicación, así como en la transmisión y procesamiento de la información en tiempo real. Además, brindaron la posibilidad de detectar posibles fallas y aplicar ajustes correctivos que mejoraran su rendimiento.

El procedimiento de prueba se centra en validar el correcto funcionamiento de los dos nodos principales del sistema: el nodo móvil, que se encarga de recolectar y transmitir los datos desde los bovinos, y el nodo central, cuya función es recibir, interpretar y almacenar dicha información. En la Tabla 29 se detalla el cronograma de las pruebas realizadas, incluyendo fechas, actividades y observaciones clave sobre el comportamiento del sistema durante su operación en campo.

**Tabla 29.**  
*Cronograma de pruebas*

<b>Tipo de prueba</b>	<b>Lugar de Prueba</b>	<b>Resultado</b>	<b>Duración</b>
Verificación del funcionamiento del nodo móvil	Propiedad ubicada en el sector rural “El Rosal”	Recolección de datos por el nodo móvil	20 días
Verificación del funcionamiento del nodo central o Gateway	Vivienda de la Propiedad ubicada en el sector rural “El Rosal”	Recepción de los datos mediante comunicación LoRa	20 días
Tratamiento y envío de la información previo a la presentación de los datos	Vivienda de la Propiedad ubicada en el sector rural “El Rosal”	Se espera que los datos sean publicados en tiempo real sobre las plataformas	40 días
Generación de alertas por los cambios en el estado de salud de los bovinos	Alrededores de la propiedad ubicada en el sector rural “El Rosal”	Alerta de posible neumonía	10 días

*Elaborado por: El Autor.*

#### **4.4.2. Verificación del funcionamiento del nodo móvil**

La primera prueba de campo es la verificación del funcionamiento del nodo móvil, para lo que se realizará las pruebas de funcionamiento conectándolo por cable USB al computador

como se observa en la Figura. Además, en la Figura 51, se observa que se está recibiendo los valores de los sensores del móvil correctamente en el monitor serial de Arduino por lo que se comprueba que el nodo móvil esta funcionando correctamente antes de ser colocado en el bovino.

**Figura 51.**

*Comprobación de funcionamiento del nodo móvil por cable.*



Luego de realizar la verificación de funcionamiento del nodo móvil por cable antes de colocarlo al bovino, se procede a colocar el dispositivo al animal para realizar el proceso de comprobación de funcionamiento del equipo mediante cable y revisando los valores de los sensores en el monitor serial de Arduino. En la Figura 52 se puede observar que el nodo móvil esta funcionando correctamente ya que nos está mostrando los valores obtenidos de los sensores.

**Figura 52.**

*Comprobación de funcionamiento del nodo móvil por cable en el bovino.*



Luego de comprobar el funcionamiento del nodo móvil colocado en el bovino de manera cableada, se procede a realizar la conexión de la batería de litio para su funcionamiento autónomo e inalámbrico como se observa en la Figura 53.

**Figura 53.**  
*Conexión de batería de litio al nodo móvil.*



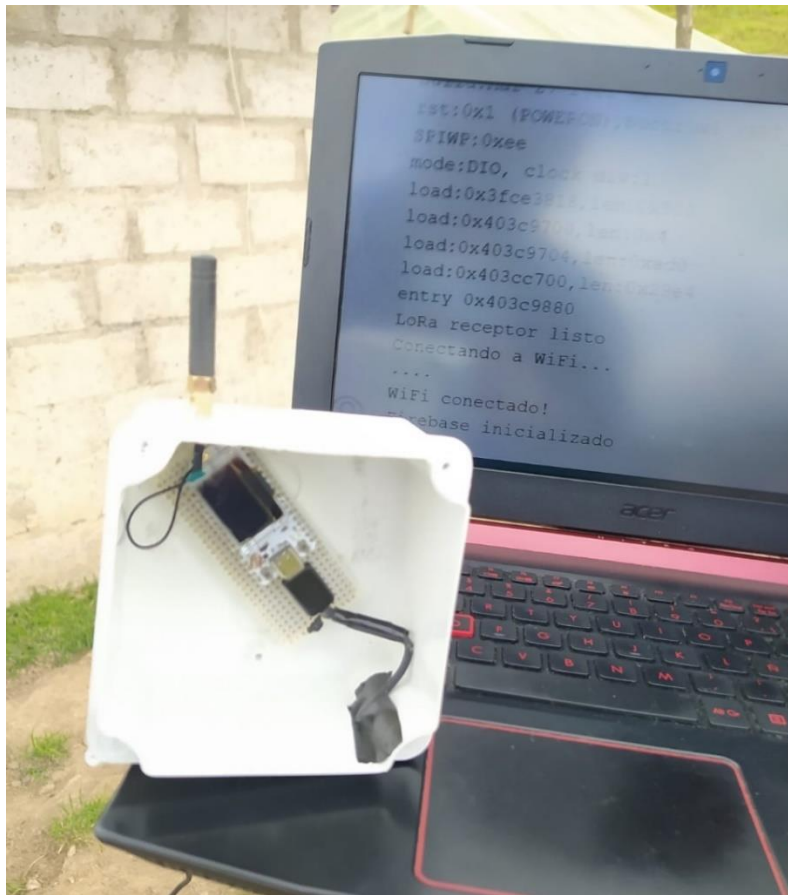
#### **4.4.3. Verificación del funcionamiento del nodo central o Gateway**

Una vez concluidas las pruebas de funcionamiento del nodo móvil, se procede con la siguiente prueba de campo, correspondiente a la verificación del funcionamiento del nodo central o Gateway. En la Figura 54 se observa el Gateway conectado a una laptop mediante un cable USB, operando de manera correcta. Esto se confirma a través del monitor serial del

entorno de desarrollo Arduino, donde se evidencia la recepción adecuada de los valores transmitidos por los sensores del nodo móvil.

**Figura 54.**

*Verificación de funcionamiento del Gateway.*



#### 4.4.4. Tratamiento y envío de la información

La siguiente prueba de campo contemplada en el cronograma se orientó a validar el proceso de tratamiento y transmisión de la información. Para ello, se efectuaron ensayos de recepción de datos generados por el nodo móvil y su posterior envío a la base de datos Firebase. Tal como se aprecia en la Figura 55, los registros fueron recibidos correctamente por el sistema y almacenados de manera adecuada en la base de datos, lo que confirma el correcto funcionamiento del proceso de transmisión y almacenamiento de la información.

**Figura 55.**  
*Comprobación de recepción de datos al Gateway y envío de valores a Firebase*

```
Mensaje recibido: USER:Nodo1|PASS:Andres123|BPM:82|Temp:15.06|Pasos:17|Tos:7
Autenticación correcta ✓
BPM: 82
Temp: 15.06
Pasos: 17
Tos: 7
BPM enviado
Temperatura enviada
Pasos enviados
Tos enviados
Mensaje recibido: USER:Nodo1|PASS:Andres123|BPM:80|Temp:15.06|Pasos:17|Tos:7
Autenticación correcta ✓
BPM: 80
Temp: 15.06
Pasos: 17
Tos: 7
BPM enviado
Temperatura enviada
Pasos enviados
Tos enviados
```

*Elaborado por: El Autor.*

En la Figura 56 se puede observar la recepción y actualización en tiempo real de los valores en la base de datos, lo cual permite verificar la conexión efectiva entre el Gateway y la plataforma Firebase. Esta visualización confirma que el sistema está transmitiendo correctamente los datos desde los sensores hacia la nube.

**Figura 56.**  
*Valores actualizados en la base de datos*



*Elaborado por: El Autor.*

Además, en la siguiente figura 57, se puede apreciar el registro de los valores censados por el nodo móvil, además se tiene un indicador de color verde que nos indica que los valores se están recibiendo en tiempo real.

**Figura 57.**  
*Datos registrados en el dashboard*

05/07/2025	0.0	0	0	0
06/07/2025	0.0	0	0	0
07/07/2025 <span>En vivo</span>	15.1	7	17	47

Registro de datos en el dashboard

*Elaborado por: El Autor.*

Como parte del sistema de monitoreo inteligente, se integró un bot de Telegram denominado Monitor Neumonía bot, diseñado para enviar notificaciones automáticas en tiempo real al personal responsable del cuidado animal. Este bot funciona como un canal de alerta directa, permitiendo informar de manera oportuna sobre cambios críticos en el estado de salud de los bovinos monitoreados.

Cada mensaje emitido por el bot presenta un resumen estructurado del estado del animal, que incluye el nivel de riesgo detectado, el nombre e identificación del bovino, la probabilidad estimada de neumonía calculada por el modelo de inteligencia artificial, así como los valores actuales de los sensores (temperatura, ritmo cardíaco, eventos de tos y nivel de actividad física). Además, el mensaje incorpora una recomendación veterinaria y un enlace directo al dashboard, lo que facilita el acceso a información ampliada y detallada.

Este tipo de alerta proactiva fortalece significativamente la capacidad de respuesta del equipo técnico, permitiendo intervenciones rápidas y eficaces ante posibles emergencias sanitarias. En consecuencia, se promueve una gestión más eficiente y preventiva de la salud

animal, alineada con los principios de la ganadería de precisión como se muestra en la Tabla 30.

**Tabla 30.**

*Validación de la comunicación Nodo Móvil – Gateway a diferentes distancias*

Distancia (m)	Tecnología de comunicación	Recepción de datos en Gateway	Visualización en monitor serial	RSSI (dBm)	Estado de la comunicación
10	LoRa	Correcta	Sí	-48	Estable
20	LoRa	Correcta	Sí	-55	Estable
50	LoRa	Correcta	Sí	-60	Estable
100	LoRa	Correcta	Sí	-69	Estable
150	LoRa	Correcta	Sí	-74	Estable y funcional
300	LoRa	Correcta	Si	-83	Estable y funcional
1350	LoRa	Correcta	Si	-103	Parcialmente estable
1500	LoRa	Incorrecta	No	-135	Sin Comunicación

**Figura 58.**

*Validación a diferentes distancias*



Como parte de la validación del sistema a diferentes distancias, se realizó la prueba de comunicación entre el nodo móvil y el Gateway a una distancia de 10 y 20 metros como se muestra en la Figura 58. Donde se evidencia que la comunicación mediante tecnología LoRa se mantiene estable, ya que el Gateway recibe correctamente los valores transmitidos por el nodo móvil, los cuales se visualizan en el monitor serial del entorno de desarrollo Arduino.

Para evaluar el comportamiento del sistema a una mayor separación entre los dispositivos, se ejecutó la prueba de comunicación LoRa con el nodo móvil ubicado a una distancia de 50 metros respecto al Gateway. El sistema continúa recibiendo la información generada por los sensores del nodo móvil, reflejándose los valores en el monitor serial del Gateway. A pesar del incremento en la distancia, no se evidenciaron pérdidas de datos durante la prueba, lo que demuestra que el sistema mantiene un desempeño adecuado y una transmisión confiable en este rango de operación.

Con el propósito de determinar el alcance máximo de la comunicación en condiciones reales de campo, se realizó la prueba de transmisión de datos con una separación de 100, 150 y 300 metros entre el nodo móvil y el Gateway. Tal como se evidencia el Gateway continúa recibiendo información proveniente del nodo móvil, visualizándose los valores en el monitor serial. A pesar de la distancia y del entorno rural abierto donde se ejecutó la prueba, la comunicación mediante tecnología LoRa se mantuvo operativa, lo que confirma la capacidad del sistema para transmitir datos a largas distancias dentro del escenario de aplicación propuesto.

Finalmente, se llevó a cabo la prueba de comunicación a una distancia de 1350 metros entre el nodo móvil y el Gateway, con el objetivo de evaluar el comportamiento del sistema en el límite superior de alcance dentro del entorno de prueba. Como se aprecia en la Figura 61, el Gateway continúa recibiendo los datos transmitidos por el nodo móvil, visualizándose

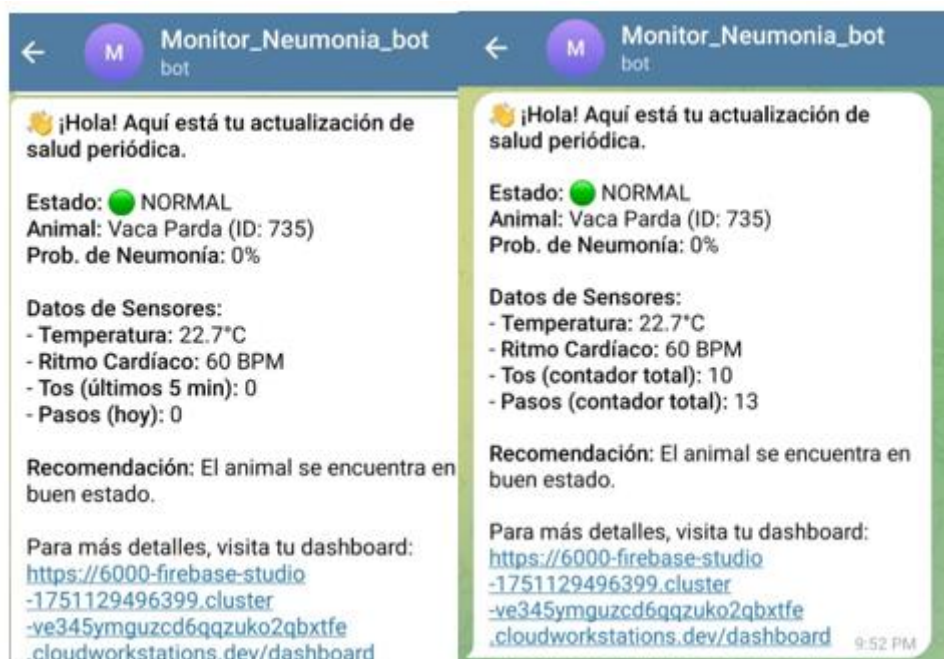
correctamente los valores en el monitor serial, además de confirmarse la conexión con la base de datos. Estos resultados demuestran que el sistema mantiene una comunicación funcional y estable a esta distancia, validando la viabilidad del uso de la tecnología LoRa para el monitoreo bovino en escenarios rurales de mayor extensión.

#### **4.4.5. Generación de alertas**

Como parte del Sistema de monitoreo inteligente, se integró un bot de Telegram llamado Monitor\_Neumonía\_bot como se observa en la Figura 59, el cual permite enviar notificaciones automáticas al personal encargado del cuidado animal. Este bot actúa como un canal de alerta directa y en tiempo real, informando al usuario sobre cambios críticos en el estado de salud de los animales monitoreados. El mensaje contiene un resumen estructurado del estado: nivel de riesgo, nombre e identificación del animal, probabilidad estimada de neumonía generada por el modelo de inteligencia artificial, y los valores actuales de los sensores (temperatura, ritmo cardíaco, tos y actividad física). Además, incluye una recomendación veterinaria y un enlace directo al dashboard para acceder a información más detallada. Este tipo de alerta proactiva mejora significativamente la capacidad de respuesta ante posibles emergencias sanitarias, promoviendo una intervención temprana y oportuna en la gestión de la salud animal.

**Figura 59.**

*Alerta recibida en el bot de Telegram*



*Elaborado por: El Autor.*

#### **4.4.6. Prueba en caso de neumonía**

Una vez verificado que el Sistema se encuentra completamente funcional, se procedió a su validación en un escenario controlado con un caso real de sospecha de neumonía bovina. Para ello, se eligió un ejemplar identificado como *Vaca Esmeralda* (ID: 734), a quien se le conectó el dispositivo de monitoreo y se comenzaron a registrar los parámetros.

En esta sección se contó con el apoyo del ingeniero agrónomo y técnico veterinario Adrián Vizcaíno como se observa en la Figura 60, quien colaboró en la verificación de los datos proporcionados por los sensores del nodo móvil, especialmente los relacionados con la temperatura y el ritmo cardíaco. Tras comparar los valores obtenidos por el sistema con sus mediciones manuales, concluyó que el sistema presenta un nivel de fiabilidad del 90 al 95 %, ya que los datos son muy similares. Además, el diagnóstico del profesional confirmó que el

bovino presenta un cuadro de neumonía, lo cual respalda la precisión de los datos registrados por el sistema.

**Figura 60.**

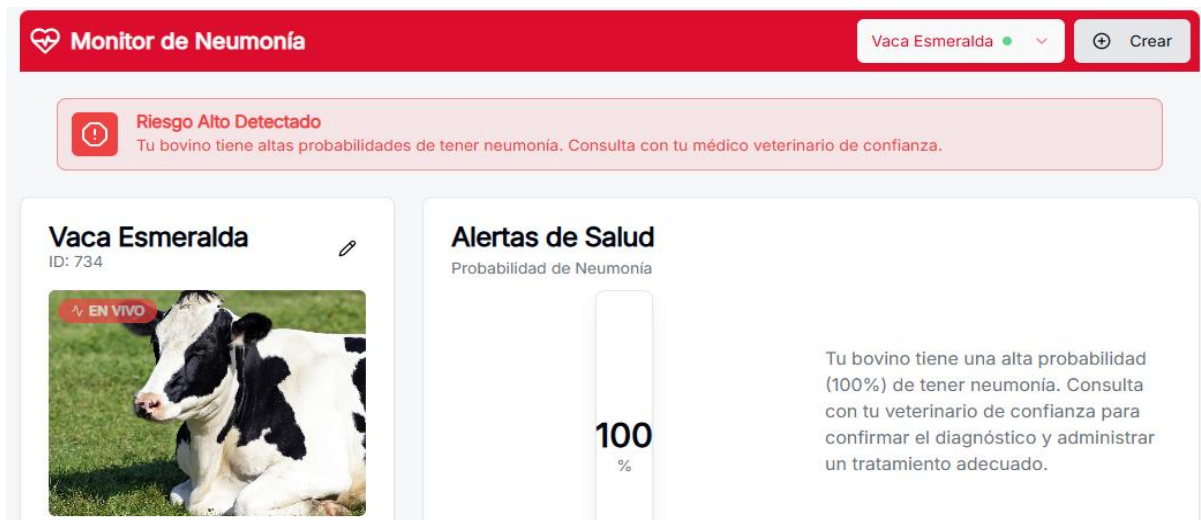
*Apoyo del Técnico veterinario Adrián Vizcaino.*



En la Figura 61, al ingresar al dashboard, se puede observar que el sistema emite una alerta indicando que el bovino monitoreado presenta un alto riesgo de padecer neumonía. En la sección correspondiente a la probabilidad, se muestra un valor del 100%, lo cual concuerda con el diagnóstico proporcionado por el técnico veterinario, reforzando así la confiabilidad del sistema y la precisión de los datos obtenidos por los sensores.

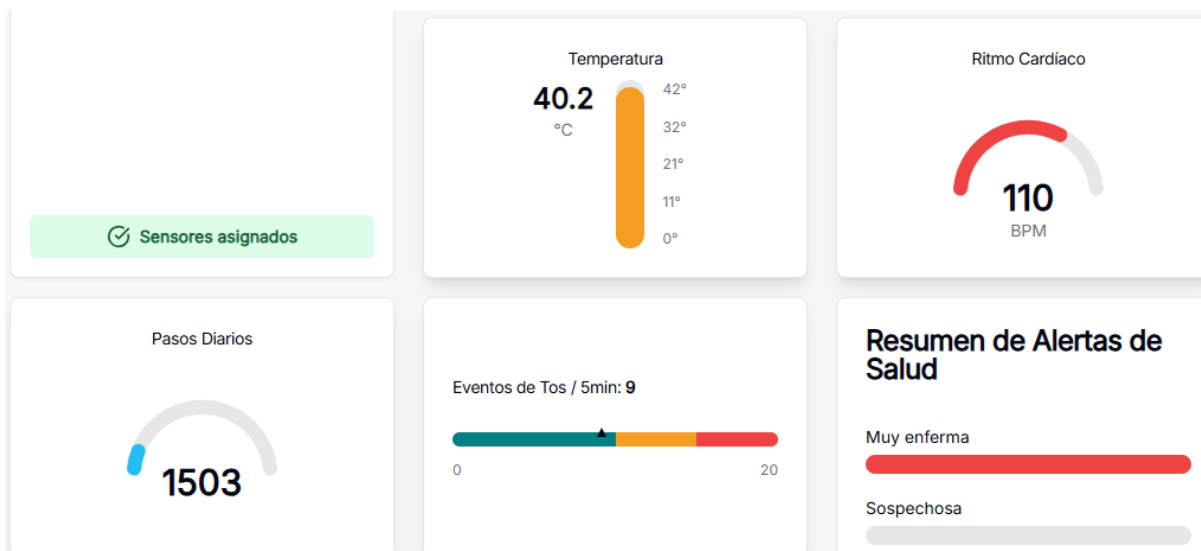
**Figura 61.**

*Prueba del Sistema en caso real de neumonía.*



En la zona de los sensores se puede observar que la temperatura esta elevada con 40.2 grados centígrados, Un ritmo cardiaco acelerado de 110 pulsos por minuto, además, los eventos de tos están al límite de lo normal y la actividad física del bovino medido en pasos es muy baja como se lo puede apreciar en la Figura 62.

**Figura 62.**  
*Valores de sensores en tiempo real.*



Tal como se muestra en la Figura 63, la pestaña de reportes del dashboard presenta los datos diarios del monitoreo de la vaca Esmeralda, en los que se evidencian signos compatibles con una afección respiratoria severa, especialmente durante los días 9 y 10 de junio de 2025, donde se registraron temperaturas corporales elevadas, alta frecuencia de tos y ritmo cardíaco

elevado. Estos valores, junto con la baja actividad física observada en esos días, coinciden con el diagnóstico clínico de neumonía emitido por el técnico veterinario, validando así la precisión del sistema para detectar este tipo de enfermedades en etapas tempranas.

**Figura 63.**  
*Prueba del Sistema en caso real de neumonía.*

Fecha	Temp. Promedio (°C)	Tos Promedio (/5min)	Pasos Diarios	Ritmo Cardíaco Prom. (BPM)
09/06/2025	40.2	8	1.500	110
10/06/2025	40.5	10	1.200	115
11/06/2025	39.6	4	3.000	95
12/06/2025	39.1	2	5.000	85
13/06/2025	38.8	1	7.500	78
14/06/2025	39.2	3	6.800	88

El primer día de monitoreo se observó una temperatura corporal de 40.2 °C, que se encuentra por encima del umbral febril considerado de riesgo. Además, se registraron 8 episodios de tos cada cinco minutos, una actividad física muy reducida (solo 1500 pasos diarios) y un ritmo cardíaco promedio de 110 BPM, lo cual indica taquicardia. Estos cuatro parámetros críticos fueron correctamente interpretados por el Sistema, que generó una alerta de “riesgo alto” de neumonía, tal como se esperaba. Este comportamiento confirma que el algoritmo de evaluación de riesgo, basado en puntuación por síntoma, funciona adecuadamente al detectar combinaciones de signos que comprometen la salud del animal.

En los días siguientes, el animal fue sometido a tratamiento veterinario con seguimiento constante a través del Sistema. Como se puede ver en la tabla de reportes, los signos vitales comenzaron a estabilizarse: la temperatura descendió progresivamente hasta alcanzar niveles normales (38.7 °C el día 15 de junio), los eventos de tos se redujeron hasta desaparecer, el ritmo cardíaco se normalizó a 75 BPM y el nivel de actividad física aumentó de forma

significativa, alcanzando más de 8000 pasos diarios. Esta evolución demuestra que el Sistema no solo es capaz de detectar situaciones críticas, sino también de ofrecer monitoreo continuo y confiable del estado de salud durante el proceso de recuperación, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para la atención temprana y el seguimiento clínico de enfermedades respiratorias en ganado bovino.

Además, en la Figura 64 se muestra una alerta enviada por el bot de Telegram, donde se presenta un resumen completo del estado del animal monitoreado. El mensaje incluye la identificación del animal, indica que se encuentra en un nivel de riesgo alto de padecer neumonía y detalla los valores registrados por los sensores (temperatura, ritmo cardíaco, frecuencia de tos y nivel de actividad). Asimismo, se proporciona una recomendación inmediata que sugiere acudir a una revisión veterinaria urgente. Finalmente, el mensaje incluye un enlace directo al dashboard del Sistema, lo que permite al usuario acceder a información más detallada y dar seguimiento en tiempo real al estado del animal.

**Figura 64.**

*Mensaje de alerta en el bot de Telegram.*



#### **4.4.7. Confiabilidad del sistema**

A partir del análisis de los reportes diarios generados por el nodo móvil instalado en el bovino, se identificó que existen jornadas en las que algunos sensores registraron valores atípicos o no fisiológicamente válidos. Se observaron días con temperatura corporal igual a 0 °C, registros de temperatura anormalmente bajos (15.9 °C), conteos de pasos extremadamente reducidos y variaciones bruscas en la frecuencia cardíaca que no corresponden al comportamiento biológico normal del animal.

Estas anomalías coinciden con períodos en los que el collar fue manipulado para realizar tareas de mantenimiento, tales como cambio de baterías, actualización del sistema o verificación del funcionamiento de los sensores. Durante estas intervenciones, el dispositivo puede permanecer inmóvil, sin contacto adecuado con el animal o con sensores temporalmente desconectados, lo que genera lecturas erróneas.

Asimismo, dichas situaciones provocaron el envío de alertas automáticas mediante la plataforma Telegram que no correspondían a eventos reales, produciendo falsas alarmas (falsos positivos) en el sistema de monitoreo. Es importante destacar que estos eventos no representan fallas estructurales del sistema, sino condiciones operativas asociadas a la manipulación del dispositivo.

Durante el período de estudio se registraron 92 días de datos, de los cuales 8 jornadas presentaron valores claramente anómalos atribuibles a mantenimiento o intervención técnica. Por lo tanto, el sistema generó datos fisiológicamente coherentes durante 84 días, lo que corresponde a una efectividad aproximada del 90 % en condiciones normales de operación.

## **Conclusiones y recomendaciones**

### **Conclusiones**

La presente investigación permitió cumplir satisfactoriamente el objetivo general de desarrollar, implementar y validar un sistema IoT de monitoreo en tiempo real para la detección temprana de neumonía en ganado bovino, adaptado a las condiciones rurales del sector El Rosal, en el cantón San Pedro de Huaca. El diagnóstico inicial evidenció que más del 90% de los ganaderos identifica a la neumonía como una de las enfermedades más recurrentes en el hato bovino, mientras que el 100% reconoce la necesidad de un monitoreo continuo del estado de salud animal, lo que confirma la pertinencia técnica y social de la solución propuesta.

Además, se puede concluir que, la revisión bibliográfica permitió identificar que la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca, la tos y el nivel de actividad física constituyen parámetros fisiológicos clave para la detección precoz de enfermedades respiratorias en bovinos. A partir de este análisis, se diseñó un nodo móvil basado en el microcontrolador Heltec WiFi LoRa 32 V3, integrando sensores seleccionados por criterios de compatibilidad, bajo consumo energético y resistencia mecánica, lo que permitió desarrollar un sistema embebido robusto y funcional para su uso en ambientes rurales.

Respecto al diseño e implementación del sistema, las pruebas de comunicación demostraron que la tecnología LoRa garantiza una transmisión estable de datos fisiológicos en tiempo real a distancias de hasta 300 metros entre el nodo móvil y el Gateway, sin pérdidas significativas de información ni degradación en la calidad de los datos. Resultado que valida la arquitectura de comunicación seleccionada y confirma su aplicabilidad en escenarios ganaderos donde no existe conectividad tradicional ni infraestructura de red estable.

En conclusión, las pruebas de campo permitieron evaluar el desempeño del sistema en un entorno real, registrando de forma continua variables fisiológicas críticas. En el caso clínico

de la vaca Esmeralda, el sistema detectó un estado compatible con neumonía aguda, caracterizado por una temperatura corporal superior a 40 °C, una frecuencia cardíaca elevada de 110 BPM, un nivel reducido de actividad física con aproximadamente 1500 pasos diarios, y episodios de tos recurrentes de hasta 10 eventos cada cinco minutos. Se evidencian que el sistema es capaz de identificar patrones sintomáticos relevantes y generar alertas tempranas sin intervención humana directa, superando las limitaciones de la observación empírica tradicional.

Se concluye que el sistema IoT de monitoreo presentó un funcionamiento confiable en condiciones normales, generando datos fisiológicamente coherentes durante cerca del 90 % del periodo evaluado. Las lecturas atípicas y falsas alertas registradas se asociaron principalmente a actividades de mantenimiento y manipulación del collar, y no a fallas estructurales del sistema. Estos resultados demuestran la viabilidad técnica del prototipo para el monitoreo continuo de la salud bovina y su potencial como herramienta de apoyo para la detección temprana de anomalías fisiológicas en entornos ganaderos reales.

## **Recomendaciones**

En función de los resultados obtenidos, se recomienda como acción prioritaria la implementación progresiva del sistema de monitoreo IoT en unidades ganaderas que presenten antecedentes de alta incidencia de enfermedades respiratorias, particularmente durante la temporada de lluvias, periodo en el cual se incrementa la prevalencia de neumonía bovina. Esta implementación debería contemplar pruebas piloto en diferentes pisos altitudinales y condiciones climáticas, con el fin de evaluar el desempeño del sistema, ajustar los umbrales fisiológicos y fortalecer su adaptabilidad operativa en diversos entornos productivos.

Se recomienda el diseño e implementación de un programa de capacitación técnica dirigido a los ganaderos usuarios del sistema, considerando que la correcta interpretación de los datos fisiológicos, la gestión de alertas y el mantenimiento básico del dispositivo influyen directamente en la efectividad del monitoreo. Estos procesos formativos deberían incluir talleres prácticos enfocados en competencias digitales básicas, análisis de información en la plataforma web, prevención de enfermedades respiratorias y toma de decisiones sanitarias basadas en datos en tiempo real.

Desde el punto de vista tecnológico, se sugiere incorporar mecanismos de respaldo local de datos (data logging) que permitan el almacenamiento temporal de la información en situaciones de pérdida de conectividad, garantizando la integridad de los registros fisiológicos y su posterior sincronización con la nube. Asimismo, se recomienda integrar algoritmos de aprendizaje automático que analicen datos históricos de temperatura, frecuencia cardíaca, actividad y tos, con el objetivo de generar alertas predictivas que permitan anticipar episodios de riesgo antes de la manifestación clínica de la enfermedad.

Se considera relevante establecer alianzas estratégicas con instituciones públicas y privadas, como el Ministerio de Agricultura y Ganadería, gobiernos autónomos

descentralizados y asociaciones ganaderas locales, con el propósito de facilitar el acceso a esta tecnología mediante programas de subvención, convenios interinstitucionales o modelos cooperativos. Estas alianzas permitirían ampliar la cobertura del sistema, fortalecer su validación a mayor escala y generar evidencia técnica que respalde su adopción a nivel regional y nacional.

Finalmente, se recomienda implementar un sistema continuo de retroalimentación con los usuarios finales, mediante encuestas de experiencia, reportes de incidencias y sugerencias de mejora. Esta interacción permanente permitirá optimizar el funcionamiento del sistema, corregir fallas de manera temprana y asegurar que la solución tecnológica se mantenga alineada con las necesidades reales del entorno rural, garantizando su sostenibilidad técnica, operativa y social a largo plazo.

## Bibliografía

- Agrocalidad. (23 de Octubre de 2012). *Guía de buenas prácticas pecuarias* . Obtenido de [https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/pecu3.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/pecu3.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- Agronet. (2021). *¿Cuánto pueden costar los diferentes métodos de detección de celo?* Obtenido de <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Cu%C3%A1nto-pueden-costar-los-diferentes-m%C3%A9todos-de-detecci%C3%B3n-de-celo.aspx#:~:text=Se%20trata%20del%20pod%C3%B3metro%2C%20un,sospechosa%20de%20estar%20en%20celo.>
- Briones, P., & Gustavo, V. (08 de Noviembre de 2021). *Diseño de un dispositivo IoT para la detección de celo en ganado bovino*. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/ec231443-d413-451c-bbb9-410e4d234e11>
- Cabral, A. (2016). *RELATORIO DE IMPACTO AMBIENTAL*. (Novex, Ed.) Paraguay: Secretaría del Ambiente. Obtenido de [https://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2018/07/R2238.2016\\_CRIA-Y-ENGORDE-DE-ANIMALES-BOVINOS-Y-PORCINOS\\_6641.16\\_NOVEX-S.A..pdf](https://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2018/07/R2238.2016_CRIA-Y-ENGORDE-DE-ANIMALES-BOVINOS-Y-PORCINOS_6641.16_NOVEX-S.A..pdf)
- Constituyente, A. (20 de Octubre de 2008). *Constitucion de la República del Ecuador* . Obtenido de [https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion\\_de\\_bolsillo.pdf](https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf)
- De la Peña, J. (2021). *IoT Aplicado a la Agricultura y Ganadería (IOTA2F)*. Obtenido de [https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/150066/Jaime%20de%20la%20Pe%F1a%20Ramos\\_memoria%20tfg\\_GII.pdf;jsessionid=2A0D8EC1AE96FFD77F62DE2DE70B15D2?sequence=1](https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/150066/Jaime%20de%20la%20Pe%F1a%20Ramos_memoria%20tfg_GII.pdf;jsessionid=2A0D8EC1AE96FFD77F62DE2DE70B15D2?sequence=1)
- Emmanouilidis, H. (2023). *LA GANADERÍA DE LECHE Y SU IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO ECONÓMICO DEL PAÍS*. Quito, Pichincha, Ecuador: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK . Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2033/3/EMMANOUILIDIS%20SALAS%20HELENE%20PAOLA.pdf>

- FAO. (2021). *Food and Agriculture Organization of the United Nations* . Obtenido de La ganadería y el medio ambiente: <https://www.fao.org/livestock-environment/en/>
- Flores, F., & Cossio, E. (2021). *Aplicaciones, Enfoques y Tendencias del Internet de las Cosas (IoT): Revisión Sistemática de la Literatura*. Obtenido de <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/543/1/Aplicaciones%20enfoces%20y%20tendencias%20del%20IoT.pdf>
- GAD-San Pedro de Huaca. (2023). ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Huaca, Carchi, Ecuador. Obtenido de [https://www.huaca.gob.ec/gadhuaca/index.php?option=com\\_content&view=featured&Itemid=101](https://www.huaca.gob.ec/gadhuaca/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=101)
- González, A. (2017 de Junio de 2017). *IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones*. Obtenido de <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/64286/3/agonzalezgarcia0TFM0617memoria.pdf>
- Guzmán, G. (2021). *SISTEMA BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS PARA EL MONITOREO DE GANADO VACUNO USANDO UNA RED LORAWAN*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/61871/413-attachment-1649277921.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IEEE 29148. (2011). *Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering* (Primera ed.). Piscataway, Nueva Jersey, USA: IEEE.
- INEC. (2022 ). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de <https://cubos.inec.gob.ec/AppCensoEcuador/>
- Lauwers, T., Glière, A., & Basrour, S. (2020). *An all-Optical Photoacoustic Sensor for the Detection of Trace Gas* (Vol. 20). Grenoble, Francia: MDPI Journals. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/14/3967>
- Leldó, E. (2012). *Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino*. (UPV, Ed.) Valencia, España: Universidad Politecnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/entities/publication/0a2ca570-782d-4a61-b06c-f1b4128e7ab3>

- Loja, A., & Naula, E. (2022). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE POSICIONAMIENTO Y DE LA TEMPERATURA DEL ENTORNO PARA GANADO BOVINO UTILIZANDO UNA RED DE ÁREA LOCAL*. Obtenido de [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28807/1/Tesis\\_%20t1484ec.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28807/1/Tesis_%20t1484ec.pdf)
- Lucent. (2021). *Internet de las Cosas en educación*. Obtenido de <https://www.al-enterprise.com/-/media/assets/internet/documents/iot-for-education-solutionbrief-es.pdf>
- Magaña, G. ,. (18 de Septiembre de 2023). *Cornell University*. Obtenido de <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.10010>
- Margineda, C. (Junio de 2014). *Neumonías en bovinos de engorde a corral. Actualización sobre etiología, tratamientos y metafilaxia*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/322551820\\_Neumonias\\_en\\_bovinos\\_de\\_engorde\\_a\\_corral\\_Actualizacion\\_sobre\\_etiologia\\_tratamientos\\_y\\_metafilaxia](https://www.researchgate.net/publication/322551820_Neumonias_en_bovinos_de_engorde_a_corral_Actualizacion_sobre_etiologia_tratamientos_y_metafilaxia)
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2014). *MAE ejecuta proyecto sobre manejo de ganadería sostenible*. Ecuador: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/mae-ejecuta-proyecto-sobre-manejo-de-ganaderia-sostenible/>
- Odeón, A. (2018). *Enfermedad respiratoria bovina ¿Que es posible hacer para su control?* Obtenido de [https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad\\_intoxicaciones\\_metabolicos/infecciosas/bovinos\\_en\\_general/185-Enfermedad\\_respiratoria\\_bovina.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/infecciosas/bovinos_en_general/185-Enfermedad_respiratoria_bovina.pdf)
- Pantham, P., & Pattaramalai, S. (2020). *Simulation of LTE-Network for Throughput Improving Using FDD and TDD Carrier Aggregation*. Chiang, Mai, Thailand: IEEE. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9077412>
- Paritosh, N., Sonali, K., & Mahiwal, S. (2025). *Application of IoT in agriculture: Sensors, smart devices and connectivity* (Vol. 16). ResearchGate.
- Pérez, A. (2019). *MANUAL ADMINISTRATIVO Y CONTABLE PARA LA ASOCIACIÓN ARTESANAL REVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN CONTABILIDAD Y UBICADA EN EL CANTÓN SAN PEDRO DE HUACA, PROVINCIA DEL CARCHI*. Ibarra, Imbabura, Ecuador: Universidad Técnica del

- Norte. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9681/2/02%20ICA%201579%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Roa, S., & Rojas, C. (2019). *SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO DE BOVINOS HEMBRA EN SU CICLO ESTRAL*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/ac693976-fa9a-4cf4-9a07-d3d30138ca1c/content>
- Royce, W. (1970). *ANAGING THE DEVELOPMENT OF LARGE SOFTWARE SYSTEMS* . Obtenido de <https://www.praxisframework.org/files/royce1970.pdf>
- Sanchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2021). *Sector Ganadero: Análisis 2014 - 2019*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de [https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico\\_N20.pdf](https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico_N20.pdf)
- Santamarín, P., Ávila, K., Vilora, C., & Jabba, D. (Agosto de 2016). *Internet of Things and Home-Centered Health*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/817/81748361017.pdf>
- Serrano, M. (2011). *Sustentabilidad: Ganadería vacuna*. Bajadoz, España: [https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/12997/1/2253-7287\\_1\\_103.pdf](https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/12997/1/2253-7287_1_103.pdf). Obtenido de [https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/12997/1/2253-7287\\_1\\_103.pdf](https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/12997/1/2253-7287_1_103.pdf)
- SIPA. (2024). *Sistema Informativo Público Agropecuario del Ecuador* . Obtenido de <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Snowder, V. ., (21 de Mayo de 2017). *Diagnóstico de la neumonía en los bovinos mediante necropsia.(Diagnosis of pneumonia in cattle by necropsy)*. Obtenido de <https://doi.org/10.2527/jas.2006-046>
- Yaniz, G., Fiorentino, A., & Sánchez, S. (2018). *Neumonías en engordes: una problemática recurrente*. Obtenido de [https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad\\_intoxicaciones\\_metabolicos/enfermedades\\_en\\_feedlot/38-4.salud\\_animal.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/enfermedades_en_feedlot/38-4.salud_animal.pdf)

## **Anexos**

### **Anexo 1. Encuesta**

#### **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

#### **IBARRA - ECUADOR**

#### **ENCUESTA**

Como parte del desarrollo de la tesis titulada "*Sistema IoT de monitoreo en tiempo real para identificación temprana de neumonía en ganado bovino*", se ha diseñado esta encuesta con el propósito de recopilar información relevante que permita validar la necesidad y utilidad de este sistema en el sector pecuario. La neumonía en bovinos representa una de las principales causas de pérdida económica en la ganadería, debido a los altos costos de tratamiento y a la reducción en la productividad de los animales afectados. Por ello, el desarrollo de herramientas tecnológicas que permitan una detección temprana de esta enfermedad resulta fundamental para mejorar el manejo sanitario del ganado. Los datos obtenidos a través de esta encuesta ayudarán a identificar las necesidades específicas de los productores y a orientar el diseño del sistema hacia soluciones prácticas y eficientes.

#### **Instrucciones:**

- Lea atentamente cada una de las preguntas, revise todas las opciones y elija la alternativa que mejor lo identifique.
- Marque con una (X) la alternativa seleccionada.

**Pregunta N°1:** ¿Considera que la neumonía es una enfermedad común en el ganado bovino?

- Sí [ ]
- No [ ]

- No estoy seguro [ ]

**Pregunta N°2:** ¿Ha tenido casos de neumonía en su ganado en el último año?

- Sí [ ]
- No [ ]

**Pregunta N°3:** ¿Qué método utiliza actualmente para monitorear la salud de su ganado?

- Observación diaria [ ]
- Consulta veterinaria periódica [ ]
- Uso de tecnología (dispositivos o sensores) [ ]
- Ninguno [ ]

**Pregunta N°4:** ¿En su experiencia, qué grupo de edad del ganado bovino considera que es más vulnerable a desarrollar neumonía?

- Terneros [ ]
- Vaquillas y Novillos [ ]
- Vacas y Toros [ ]

**Pregunta N°5:** ¿Cuáles son los síntomas más comunes que ha observado en animales afectados por neumonía bovina? (Puede marcar varias)

- Fiebre [ ]
- Tos [ ]
- Letargo [ ]
- Pérdida de apetito [ ]
- Dificultad para respirar [ ]

- Aceleración en la frecuencia cardíaca [ ]
- Otros (especificar): \_\_\_\_\_

**Pregunta N°6:** ¿Qué impacto ha tenido la neumonía en su ganado? (Puede marcar varias)

- Muerte del animal [ ]
- Pérdida de peso y condición corporal [ ]
- Incremento de enfermedades secundarias [ ]
- Reducción en la producción de leche [ ]
- Dificultad para el crecimiento y desarrollo adecuado [ ]
- Otros (especificar): \_\_\_\_\_

**Pregunta N°7:** ¿Qué costos asociados a la neumonía bovina ha tenido que enfrentar como ganadero? (Puede marcar varias)

- Gasto en medicamentos y suministros médicos [ ]
- Costos por servicios veterinarios [ ]
- Pérdidas económicas por animales fallecidos [ ]
- Disminución en los ingresos por baja en la producción de leche [ ]
- Incremento en los costos de manejo del ganado enfermo [ ]
- Otros (especificar): \_\_\_\_\_

**Pregunta N°8:** ¿Conoce Ud. la importancia de la detección temprana de neumonía en el ganado bovino?

- Sí [ ]
- No [ ]

**Pregunta N°9:** ¿Dispone usted de algún dispositivo electrónico con acceso a Internet? (Puede marcar varias)

- Teléfono móvil (Smartphone) [ ]
- Tableta [ ]
- Computador [ ]
- Ninguno [ ]

**Pregunta N°10:** ¿Le gustaría contar con un sistema de monitoreo en tiempo real que detecte de manera temprana síntomas de neumonía en su ganado?

- Sí [ ]
- No [ ]

**Pregunta N°11:** ¿Con qué frecuencia le gustaría recibir alertas sobre el estado de salud de su ganado?

- Solamente cuando exista un riesgo de enfermedad [ ]
- Periódicamente, para monitoreo preventivo [ ]
- Solamente cuando usted lo solicite [ ]
- Todas las anteriores [ ]

**Pregunta N°12:** ¿Qué tamaño preferiría para los dispositivos a instalarse en el ganado?

- Lo más pequeño posible [ ]
- Mediano [ ]
- El tamaño me parece indiferente [ ]

**GRACIAS POR SU COLABORACIÓN**

## Anexo 2. Tabulación de encuestas

Resultado de las encuestas realizadas a los ganaderos del sector el Rosal del cantón San Pedro de Huaca. Se realizó un total de 30 encuestas a los dueños de hatos pertenecientes al sector.

**Tabla 31.**

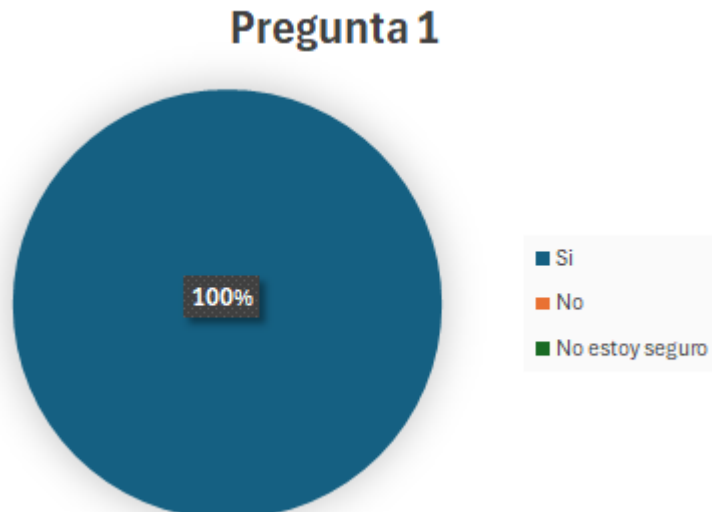
*Frecuencia y porcentaje Pregunta 1: ¿Considera que la neumonía es una enfermedad común en el ganado bovino?*

Pregunta 1	Frecuencia	Porcentaje
Si	30	100%
No	0	0%
No estoy seguro	0	0%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 65.**

*Pregunta 1.*



*Elaborado por: El Autor.*

Los datos de la Tabla 31 y Figura 65, se muestran claramente que el 100 % de los encuestados cree que la neumonía es una enfermedad frecuente en el ganado bovino de El Rosal, cantón San Pedro de Huaca. Este hallazgo no solo muestra un consenso unánime

entre los involucrados en el sector ganadero, sino que también revela una verdad ampliamente aceptada por quienes están en contacto directo con la producción animal.

Desde un enfoque analítico, esta coincidencia puede verse como una señal clara de que la neumonía es una amenaza persistente y evidente en la cría de ganado bovino. La falta absoluta de respuestas negativas o de duda evidencia que los ganaderos poseen una experiencia directa y continua con esta patología, lo que concuerda con lo indicado en el marco teórico, que establece que la neumonía bovina puede impactar hasta el 100 % de los animales de un mismo grupo, con tasas de mortalidad que llegan al 25 %.

**Tabla 32.**

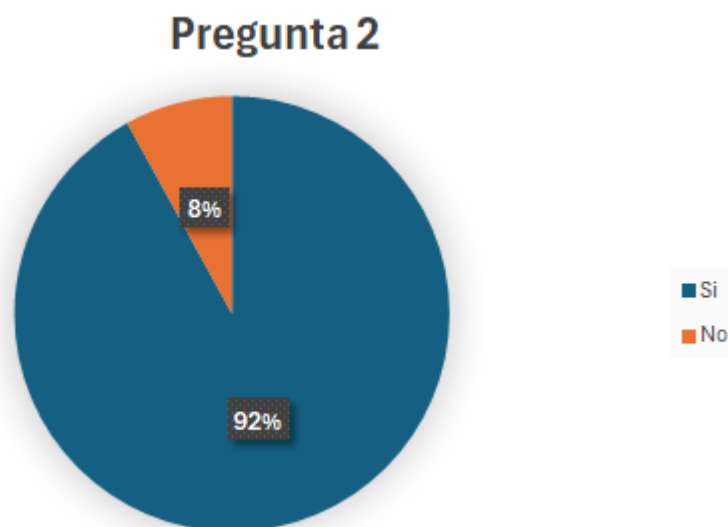
*Frecuencia y porcentaje pregunta 2: ¿Ha tenido casos de neumonía en su ganado en el último año?*

<b>Pregunta 2</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Si	28	92%
No	2	8%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 66.**

*Pregunta 2.*



*Elaborado por: El Autor.*

Los datos de la Tabla 32 y Figura 66, indican que el 92 % de los encuestados reportaron casos de neumonía en su ganado bovino en el último año, mientras que solo un 8 % señaló no haber tenido esta problemática. Este descubrimiento demuestra claramente que la neumonía no solo se considera una enfermedad común, sino que también se presenta de manera concreta y frecuente en la mayoría de los hatos ganaderos del sector El Rosal.

Desde una visión epidemiológica, este alto porcentaje de incidencia ratifica que la neumonía bovina sigue siendo una amenaza presente en la región, impactando directamente la productividad, el bienestar animal y la rentabilidad de las granjas. Este hallazgo es aún más significativo al considerar que más del 90 % de los ganaderos ha tenido brotes recientes de la enfermedad, lo que indica factores predisponentes persistentes, como condiciones climáticas desfavorables, fallas en la bioseguridad o escasa habilidad de diagnóstico oportuno.

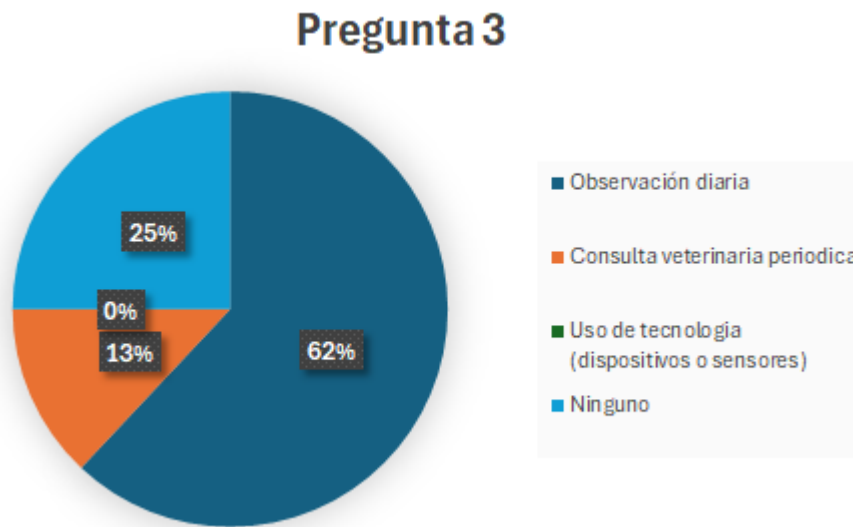
**Tabla 33.**

*Frecuencia y porcentaje pregunta 3: ¿Qué método utiliza actualmente para monitorear la salud de su ganado?*

<b>Pregunta 3</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Observación diaria	19	62%
Consulta veterinaria periódica	4	13%
Uso de tecnología (dispositivos o sensores)	0	0%
Ninguno	8	25%
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 67.**  
**Pregunta 3.**



*Elaborad*

La Tabla 33 y figura 67, muestra que el 62 % de los ganaderos de El Rosal monitorea la salud de su ganado con observaciones diarias directas. En segundo lugar, un 13 % utiliza consultas veterinarias regulares como medida de control sanitario, mientras que un notable 25 % admite no hacer ningún tipo de seguimiento.

Este escenario muestra una fuerte dependencia de técnicas tradicionales, sobre todo de la observación visual, que, aunque es una práctica valiosa de los ganaderos experimentados, es limitada ante enfermedades con síntomas inespecíficos o tardíos, como la neumonía bovina. Es alarmante la escasa adopción de tecnologías sanitarias en un contexto donde el 92 % de los encuestados informó haber padecido neumonía en el último año. Este contraste indica una brecha tecnológica relevante que restringe la eficiencia ganadera y podría estar influyendo en la alta incidencia de enfermedades respiratorias. Esta circunstancia concuerda con los descubrimientos de Langer et al. (2024), quienes indican que la escasa adopción de sensores IoT en la ganadería lechera está relacionada con factores emocionales, económicos y la percepción de utilidad tecnológica.

Asimismo, la existencia de un 25 % de productores sin monitoreo se explica, según el documento, por las complicaciones logísticas de supervisar grandes volúmenes de ganado continuamente. Este descubrimiento enfatiza la urgencia de soluciones automáticas que ofrezcan cobertura total sin necesidad de supervisión física constante, como lo facilitaría un sistema IoT.

**Tabla 34.**

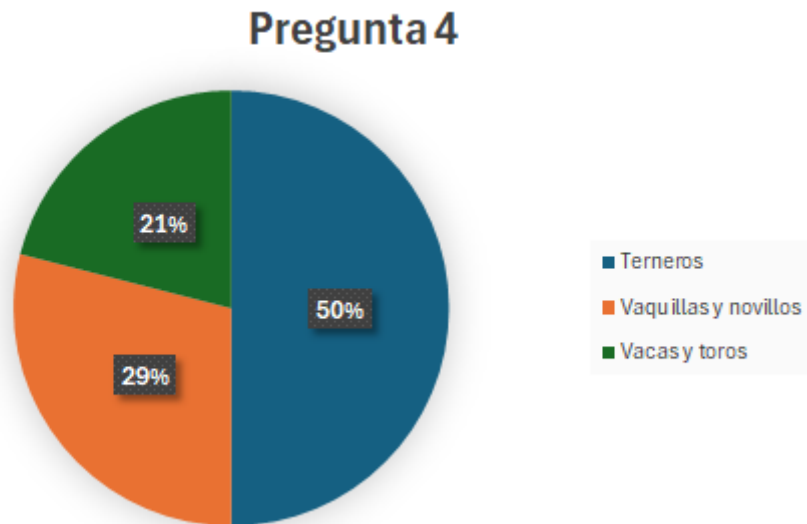
*Frecuencia y porcentaje pregunta 4: ¿En su experiencia, qué grupo de edad del ganado bovino considera que es más vulnerable a desarrollar neumonía?*

Pregunta 4	Frecuencia	Porcentaje
Terneros	15	50%
Vaquillas y novillos	9	29%
Vacas y toros	6	21%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 68.**

*Pregunta 4.*



*Elaborado por: El Autor.*

La Tabla 34 y Figura 68, indican que, según los encuestados, los terneros son el grupo más vulnerable a la neumonía bovina, con un 50 % de respuestas. En segundo lugar,

el 29 % de los ganaderos opina que las vaquillas y los novillos son más susceptibles, mientras que un 21 % indica que las vacas y toros adultos son los más impactados por esta enfermedad.

Este hallazgo revela una tendencia conocida en la literatura veterinaria: los jóvenes animales, sobre todo en fases iniciales de crecimiento, tienen mayor riesgo de enfermedades respiratorias, por la inmadurez de su sistema inmunitario y mayor sensibilidad a factores ambientales estresantes. Según lo expuesto en el marco teórico, el Complejo Respiratorio Bovino (CRB) aparece con mayor frecuencia en terneros en establo o recién destetados, donde la ventilación, temperatura y manejo pueden ser factores desencadenantes (García et al., 2016).

Asimismo, es fundamental señalar que este descubrimiento refuerza la necesidad de crear sistemas de monitoreo temprano centrados en el seguimiento de terneros. La adopción del sistema IoT sugerido, que engloba sensores de temperatura, pulso y actividad, es particularmente eficaz para identificar variaciones sutiles en la condición fisiológica de jóvenes animales, antes de que aparezcan síntomas clínicos claros.

Además, aunque en menor medida, el 29 % de los encuestados identifica a vaquillas y novillos como grupos en riesgo, y el 21 % a vacas y toros adultos, lo que indica que la neumonía no solo afecta las etapas iniciales del ciclo productivo, sino que puede presentarse en diferentes fases, dependiendo del estado de salud general, el manejo y el ambiente.

**Tabla 35.**

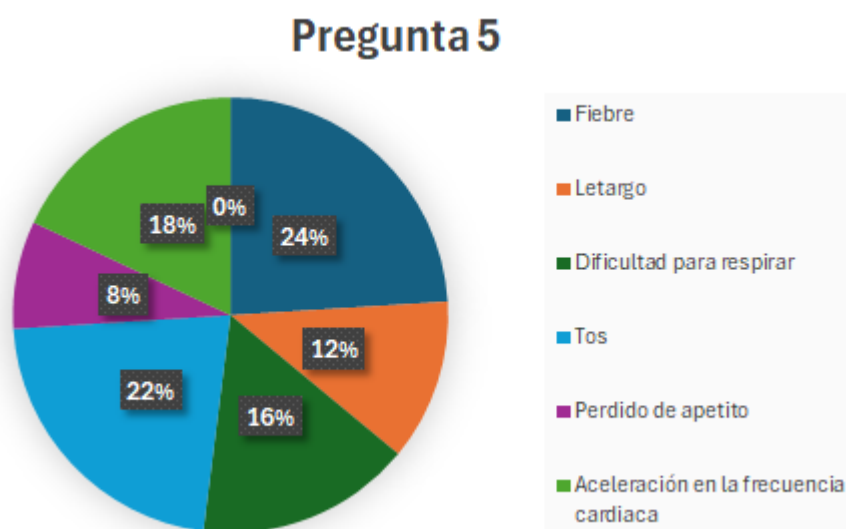
*Frecuencia y porcentaje pregunta 5: ¿Cuáles son los síntomas más comunes que ha observado en animales afectados por neumonía bovina? (Puede marcar varias)*

<b>Pregunta 5</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Fiebre	7	24%
Letargo	4	12%
Dificultad para respirar	5	16%
Tos	7	22%

Perdido de apetito	2	8%
Aceleración en la frecuencia cardíaca	5	18%
Otros	0	0%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 69.**  
*Pregunta 5*



*Elaborado por: El Autor.*

Según los resultados de la Tabla 35 y Figura 69, los síntomas más comunes reportados por los encuestados en casos de neumonía bovina son fiebre (24 %) y tos (22 %), seguidos de la aceleración de la frecuencia cardíaca (18 %) y dificultad respiratoria (16 %). En menor medida, se registran también el letargo (12 %) y la pérdida de apetito (8 %). Este patrón de respuesta concuerda con la sintomatología clínica habitual en la literatura del Complejo Respiratorio Bovino (CRB). Según el marco teórico de esta investigación, la fiebre es uno de los primeros y más objetivos signos fisiológicos de infecciones respiratorias, reflejando una respuesta inmune activa a la presencia de patógenos.

Asimismo, reconocer señales más amplias como la somnolencia o disminución del apetito (aunque menos comunes) es importante, ya que estos cambios conductuales pueden ser tempranas señales de enfermedad, particularmente en terneros, donde los síntomas específicos pueden no ser evidentes.

Además, el que ningún encuestado seleccionara "otros" sugiere que la mayoría de los productores vinculan la neumonía bovina a un conjunto restringido de síntomas visibles, lo que revela una posible limitación en la identificación completa de la enfermedad. En este contexto, los hallazgos de esta tabla enfatizan la urgencia de establecer sistemas IoT que faciliten el monitoreo en tiempo real de variables fisiológicas críticas para identificar patrones anormales que puedan indicar neumonía, incluso antes de que los síntomas sean visibles.

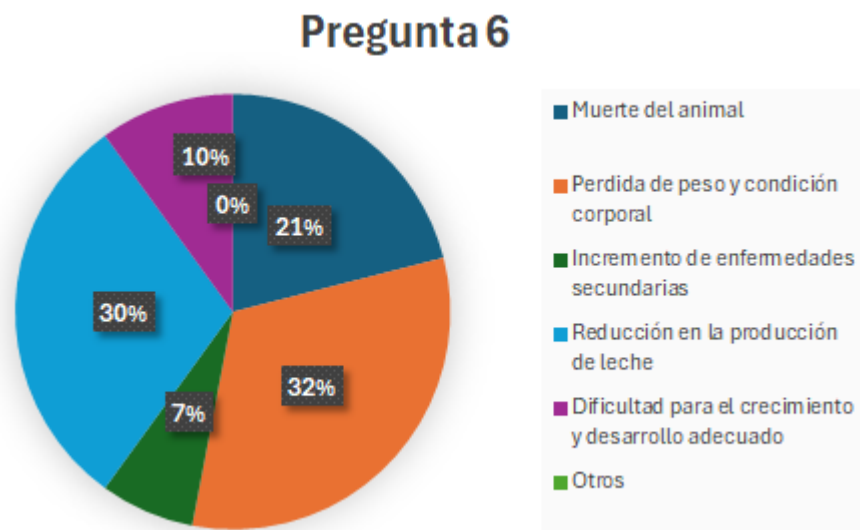
**Tabla 36.**

*Frecuencia y porcentaje pregunta 6: ¿Qué impacto ha tenido la neumonía en su ganado? (Puede marcar varias)*

<b>Pregunta 6</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Muerte del animal	6	21%
Pérdida de peso y condición corporal	10	32%
Incremento de enfermedades secundarias	2	7%
Reducción en la producción de leche	9	30%
Dificultad para el crecimiento y desarrollo adecuado	3	10%
Otros	0	0%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 70.**  
**Pregunta 6.**



*Elaborado por: El Autor.*

Los datos de la Tabla 36 y Figura 70, demuestran que la neumonía bovina impacta considerablemente la salud y productividad del ganado. Primero, el 32 % de los encuestados opina que la principal afectación de esta enfermedad es la pérdida de peso y estado corporal de los animales. En segundo lugar, el 30 % señala la disminución en la producción de leche como el impacto más evidente, mientras que el 21 % menciona la muerte del animal como la consecuencia más grave. Asimismo, el 10 % de los productores señala la dificultad en el crecimiento y desarrollo correcto, y un 7 % menciona que la neumonía ha provocado enfermedades secundarias.

Los resultados respaldan el diagnóstico presentado en la investigación, que indica que la neumonía bovina impacta la rentabilidad ganadera, no solo por la mortalidad, sino también por el deterioro del estado físico y la reducción de productividad. De hecho, como señala García et al. (2016), esta enfermedad puede causar la muerte de hasta el 25 % de los animales infectados y afectar al 100 % de un lote, sobre todo si no se identifica a tiempo

Asimismo, el elevado porcentaje de encuestados (62 %) que menciona impactos subletales (como pérdida de peso y menor producción de leche) revela un problema menos visible, pero igualmente significativo: el deterioro gradual del rendimiento animal. Asimismo, la referencia a enfermedades secundarias (7 %) y problemas de desarrollo (10 %) muestra que la neumonía no opera de forma aislada, sino que frecuentemente debilita al animal, haciéndolo vulnerable a otras patologías, creando un ciclo vicioso de deterioro inmunológico y costos veterinarios acumulativos.

**Tabla 37.**

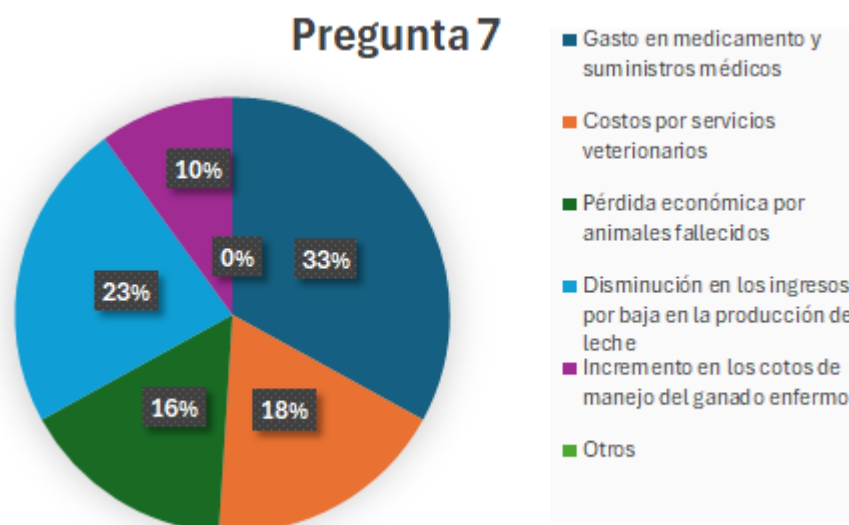
*Frecuencia y porcentaje pregunta 7: ¿Qué costos asociados a la neumonía bovina ha tenido que enfrentar como ganadero? (Puede marcar varias)*

Pregunta 7	Frecuencia	Porcentaje
Gasto en medicamento y suministros médicos	10	33%
Costos por servicios veterinarios	5	18%
Pérdida económica por animales fallecidos	5	16%
Disminución en los ingresos por baja en la producción de leche	7	23%
Incremento en los costos de manejo del ganado enfermo	3	10%
Otros	0	0%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 71.**

*Pregunta 7.*



*Elaborado por: El Autor.*

La Tabla 37 y Figura 71, proporciona una visión precisa de la carga financiera que supone la neumonía bovina para los ganaderos del sector El Rosal. Según los datos recopilados, el 33 % de los encuestados señala que el mayor gasto es por la adquisición de medicamentos y suministros médicos, mientras que un 23 % opina que la principal pérdida se vincula a la reducción de ingresos por la baja en la producción lechera. Asimismo, un 18 % de los productores indica que los costos de servicios veterinarios son un impacto importante, y el 16 % resalta la pérdida financiera por animales muertos. Finalmente, el 10 % muestra un incremento en los gastos de manejo de ganado enfermo, y ningún encuestado reportó gastos distintos a los mencionados.

Este análisis indica que la neumonía bovina es un problema no solo de salud, sino también económico, afectando el equilibrio financiero de las unidades productivas. El gasto en medicamentos y suministros médicos es la principal preocupación para los ganaderos, debido a la duración extendida de los tratamientos antibióticos y antiinflamatorios requeridos para manejar los brotes, además de la necesidad de conservar reservas de fármacos dada la frecuencia de los casos reportados. Este hallazgo concuerda con lo mencionado por Snowden (2017), quien señaló que la neumonía bovina causa más del 90 % de los tratamientos antibióticos en ganado lechero y de engorde.

El 23 % que señala efectos por la disminución de la producción láctea muestra una consecuencia significativa. Este efecto, previamente mencionado en la Tabla 22, impacta no solo los ingresos diarios de los productores, sino también la programación comercial, la entrega de productos y la satisfacción del mercado.

Del mismo modo, los gastos por servicios veterinarios (18 %) y la pérdida de animales (16 %) subrayan que muchos productores necesitan atención profesional cuando

la enfermedad progresa, aumentando el costo total del tratamiento. Este escenario enfatiza el valor preventivo del sistema IoT planteado, ya que su habilidad para alertar pronto puede reducir la necesidad de intervenciones difíciles y costosas.

Respecto al aumento en los costos de manejo (10 %), aunque sea un porcentaje menor, no debe ser subestimado. Esta categoría incluye gastos indirectos como comida especializada, aislamiento de animales, cuidados intensivos y personal extra para supervisar a los animales enfermos, lo cual aumenta el esfuerzo operativo y logístico de la finca.

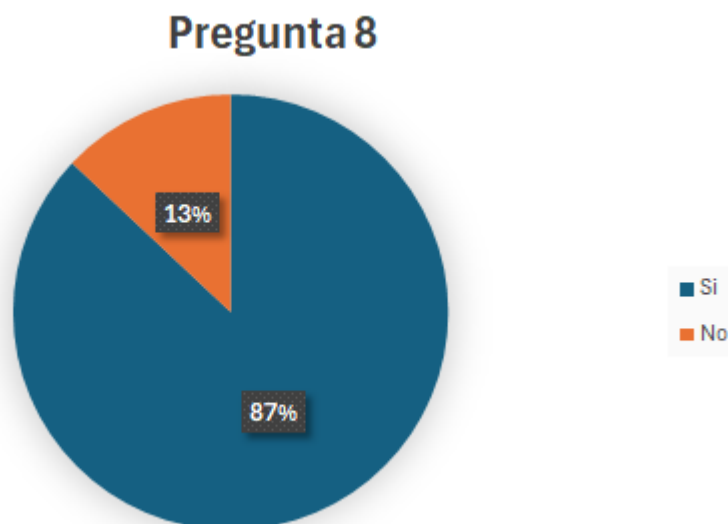
**Tabla 38.**

*Frecuencia y porcentaje pregunta 8: ¿Conoce Ud. la importancia de la detección temprana de neumonía en el ganado bovino?*

<b>Pregunta 8</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Si	26	87%
No	4	13%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 72.**  
*Pregunta 8.*



*Elaborado por: El Autor.*

Los resultados de la Tabla 38 y Figura 72, muestran que los productores ganaderos encuestados tienen un alto nivel de conciencia sobre la importancia de detectar temprano la neumonía bovina. El 87 % de los encuestados reconoció la importancia de detectar la enfermedad en etapas iniciales, mientras que solo un 13 % señaló no saberlo.

Este descubrimiento es particularmente importante, ya que muestra que la mayoría de los ganaderos entienden que una intervención adecuada puede ser clave para una recuperación rápida en lugar de avanzar hacia situaciones graves que causan pérdida de productividad o incluso la muerte del animal. Esta visión concuerda con la investigación mencionada, que indica que la detección temprana de la enfermedad puede reducir el uso de antibióticos, bajar la mortalidad y mejorar el bienestar animal (Bushby et al., 2024).

Asimismo, esta información apoya la relevancia del desarrollo e implementación del sistema IoT planteado en este proyecto, diseñado específicamente para ofrecer herramientas tecnológicas que faciliten el monitoreo de variables fisiológicas en tiempo real y la detección temprana de síntomas sutiles antes de que la enfermedad progrese. En contraste, el 13 % de los encuestados que aún ignora la relevancia de este diagnóstico temprano señala la urgencia de reforzar la capacitación técnica y la sensibilización en salud animal

**Tabla 39.**

*Frecuencia y porcentaje pregunta 9: ¿Dispone usted de algún dispositivo electrónico con acceso a Internet? (Puede marcar varias)*

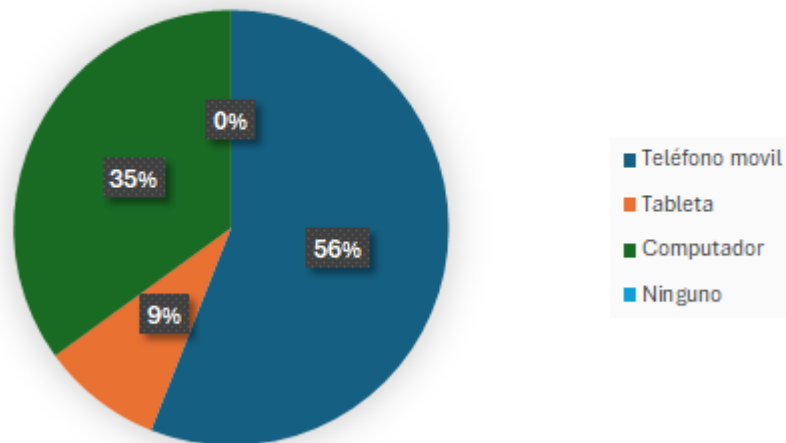
<b>Pregunta 9</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Teléfono móvil	17	56%
Tableta	3	9%
Computador	11	35%
Ninguno	0	0%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 73.**

*Pregunta 9.*

## Pregunta 9



*Elaborado por: El Autor.*

Los hallazgos de la Tabla 39 y Figura 73, muestran que la mayoría de los encuestados posee al menos un dispositivo electrónico conectado a Internet. Concretamente, el 56 % de los ganaderos entrevistados dice poseer un teléfono móvil con conexión, luego un 35 % tiene acceso a un ordenador, y un 9 % usa una tableta.

Este hallazgo es muy significativo en el marco del actual estudio, pues evidencia la posibilidad de aplicar sistemas tecnológicos de Internet de las Cosas (IoT) con plataformas digitales accesibles desde múltiples dispositivos. La inclusión de computadoras y tabletas, aunque en menor grado, aumenta las opciones de acceso a interfaces más completas para visualizar datos, como dashboards o paneles de monitoreo web.

Desde un enfoque práctico, estos resultados permiten prever un nivel adecuado de alfabetización digital en los ganaderos de El Rosal, lo que representa una condición propicia para la adopción de tecnologías nuevas. Por lo tanto, los datos de esta tabla verifican que el entorno productivo en análisis tiene los recursos esenciales para implementar con éxito el sistema IoT sugerido. Sin embargo, es crucial acompañar esa implementación con

programas de capacitación y soporte técnico, para que los productores maximicen el uso de herramientas digitales y mejoren la gestión sanitaria de sus ganados bovinos.

**Tabla 40.**

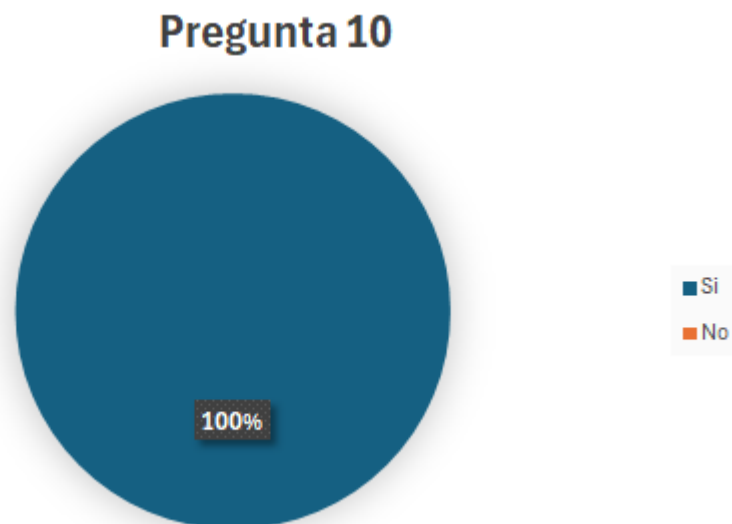
*Frecuencia y porcentaje pregunta 10: ¿Le gustaría contar con un Sistema de monitoreo en tiempo real que detecte de manera temprana síntomas de neumonía en su ganado?*

Pregunta 10	Frecuencia	Porcentaje
Si	30	100%
No	0	0%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 74.**

*Pregunta 10.*



*Elaborado por: El Autor.*

La Tabla 40 y Figura 74, muestran un resultado claro: el 100 % de los encuestados mostró interés en un sistema de monitoreo en tiempo real para detectar neumonía precoz en ganado bovino. Esta información tiene una importancia clave en el análisis, porque confirma empíricamente la necesidad y aceptación del sistema IoT presentado como solución innovadora.

Este resultado, efectivamente, concuerda con las evidencias de las tablas anteriores. La elevada tasa de neumonía registrada en el último año, el escaso uso de tecnologías de monitoreo, y la valoración del impacto económico y productivo de la enfermedad, configuran un entorno donde la demanda de una herramienta preventiva es tanto lógica como urgente. Asimismo, este interés se fortalece porque el 87 % de los encuestados reconoce la relevancia de la detección temprana, y todos poseen al menos un dispositivo con acceso a Internet, lo que facilita la implementación eficaz del sistema.

Desde un enfoque de innovación tecnológica, este resultado ofrece una oportunidad primordial para implementar soluciones con Internet de las Cosas (IoT), apoyadas en sensores biométricos, análisis en la nube y alertas móviles. Como proponen Puig y otros. (2022) y Casella et al. (2023), la incorporación de tecnologías inteligentes en la ganadería optimiza el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, disminuye el uso excesivo de antibióticos, eleva el bienestar animal y mejora la sostenibilidad del sistema productivo.

**Tabla 41.**

*Frecuencia y porcentaje pregunta 11: ¿Con qué frecuencia le gustaría recibir alertas sobre el estado de salud de su ganado?*

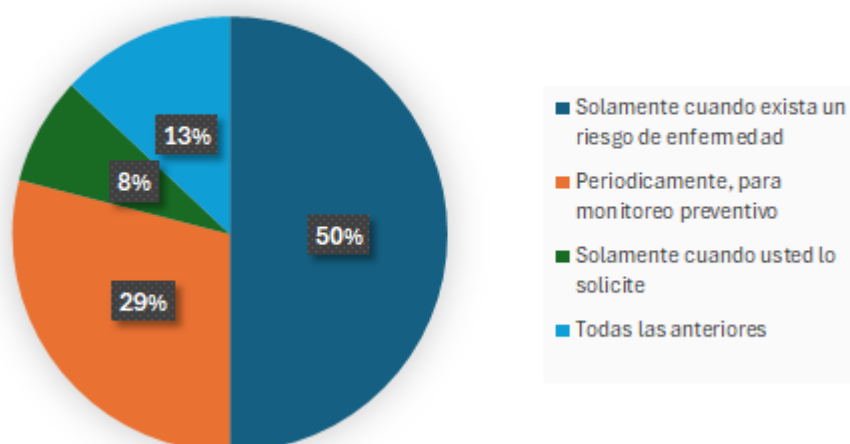
<b>Pregunta 11</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Solamente cuando exista un riesgo de enfermedad	15	50%
Periódicamente, para monitoreo preventivo	9	29%
Solamente cuando usted lo solicite	2	8%
Todas las anteriores	4	13%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 75.**

*Pregunta 11*

## Pregunta 11



*Elaborado por: El Autor.*

La Tabla 41 y Figura 75, muestran las preferencias de los ganaderos sobre la frecuencia que desean recibir notificaciones del sistema de monitoreo sugerido. El 50 % de los encuestados desea recibir alertas solo si sus animales están en riesgo de enfermedad, mientras que el 29 % mostró interés en alertas periódicas para prevención. En otro sentido, un 13 % eligió "todas las anteriores", lo que sugiere un enfoque más adaptable que abarca notificaciones automáticas por riesgo, seguimiento programado y alertas a pedido. Por último, el 8 % prefería recibir información solo cuando la soliciten.

Estos hallazgos identifican tendencias clave para el diseño operativo del sistema IoT. Primero, se nota una evidente preferencia por un modelo de notificación reactiva (50 %), lo que indica que la mayoría de los ganaderos valoran la eficiencia informativa: quieren ser avisados únicamente al detectar una amenaza específica para la salud animal.

Sin embargo, el 29 % que opta por un monitoreo preventivo periódico muestra que hay un grupo de productores que desean mantener vigilancia constante, aun sin eventos críticos. Esta posición coincide con prácticas ganaderas actuales que se centran en la

prevención, permitiendo detectar cambios fisiológicos leves para anticipar enfermedades y prevenir complicaciones

Asimismo, el 13 % de los encuestados que elige mezclar todas las modalidades sugiere la necesidad de añadir personalización al sistema, permitiendo que el usuario seleccione su tipo de notificación según su contexto, experiencia o tamaño del hato. Finalmente, aunque solo el 8 % prefiere recibir alertas solo al solicitarlas, esta minoría señala que no todos los usuarios desean automatización total. Algunos optan por un control manual de la supervisión, lo que destaca la necesidad de brindar funciones adicionales según se requiera.

**Tabla 42.**

*Frecuencia y porcentaje pregunta 12: ¿Qué tamaño preferiría para los dispositivos a instalarse en el ganado?*

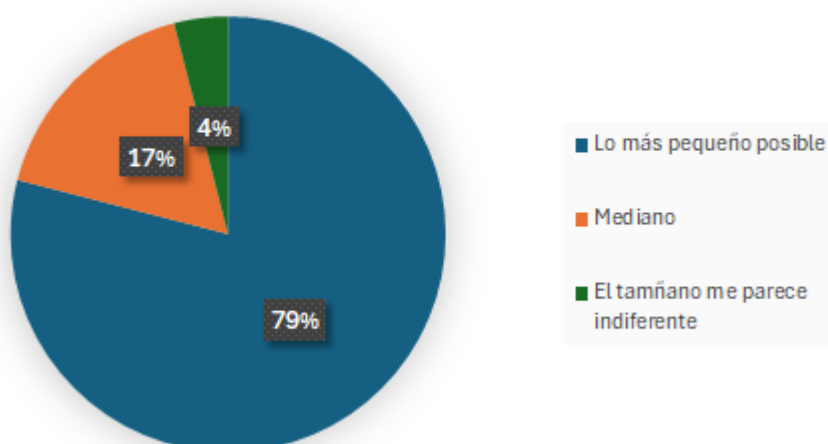
<b>Pregunta 12</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Lo más pequeño posible	24	79%
Mediano	5	17%
El tamaño me parece indiferente	1	4%
Total	30	100%

*Elaborado por: El Autor.*

**Figura 76.**

*Pregunta 12.*

## Pregunta 12



*Elaborado por: El Autor.*

La Tabla 42 y Figura 76, indican que un alto porcentaje de encuestados, concretamente el 79 %, prefiere que los dispositivos en ganado bovino sean los más compactos. De manera reducida, el 17 % de los ganaderos afirma sentirse a gusto con un tamaño medio, mientras que solo un 4 % opina que el tamaño del dispositivo no importa.

Desde un enfoque técnico, esta preferencia establece un criterio esencial en el diseño del sistema IoT sugerido. Los elementos de hardware (sensores, módulos de comunicación, fuentes de energía y soportes) deben formar parte de una estructura ergonómica, ligera y discreta.

Asimismo, esta necesidad de miniaturización plantea un desafío tecnológico que debe ser abordado desde la fase de prototipado. Elegir sensores delgados, baterías eficientes y materiales ligeros y duraderos es crucial para satisfacer las expectativas del usuario. En este escenario, el 17% de los productores que aceptan dispositivos medianos y el 4% que no muestra preferencia específica también indican flexibilidad en el mercado objetivo, permitiendo que, si el sistema es funcional y no invasivo, su tamaño se adapte a las condiciones ambientales, al tipo de ganado o a las capacidades del productor.

### **Anexo 3. Ficha de requerimientos**

**Proyecto de titulación:** “Sistema IoT de monitoreo en tiempo real para identificación temprana de neumonía en ganado bovino.”

**Objetivo de análisis:** Entender de forma clara todos los requerimientos que debe contar el Sistema para cumplir con los objetivos planteados dentro del trabajo de investigación.

**Fecha de realización:** 03 de julio del 2025

Los requisitos técnicos para el sistema de monitoreo IoT, enfocados en detección temprana de neumonía bovina, se basan en una revisión sistemática de literatura científica. Para esto, se revisaron estudios publicados en revistas de alto impacto sobre sistemas. Las fuentes seleccionadas se enfocaron en artículos con relevancia directa para el diseño, desarrollo e implementación de sistemas ciberfísicos en entornos rurales, priorizando los que emplean tecnologías como LoRaWAN, sensores biomédicos, bases de datos en la nube y arquitecturas distribuidas de baja latencia. Se filtraron todos los documentos según criterios de actualidad (publicaciones entre 2020 y 2024), relevancia temática y disponibilidad de identificadores persistentes (DOI), garantizando la trazabilidad de la evidencia utilizada.

A continuación, se muestra el listado de las fuentes científicas empleadas como base técnica del modelo de requerimientos:

#### **Artículos consultados:**

1. Bhatla, A., Adlakha, A., & Joshi, A. (2023).
2. Schulthess, N., Probst, C., & Andersson, M. (2024).
3. Çevik, E. I., Şimşek, G. G., & Yücel, E. (2020).
4. Casella, M., Braccini, M., & Pantaleoni, E. (2023).
5. Darvesh, S., Jahan, M., & Ali, A. (2023).
6. Langer, M., Brodersen, C., & Fuchs, M. (2024).
7. Weber, A., Schillinger, M., & Federspiel, M. (2023).
8. Pantham, S., & Pattaramalai, P. (2020).
9. Alipio, M. & Villena, P. (2023).

## Lista de Stakeholders

**Tabla 43.**  
*Descripción de los requerimientos*

Descripción	Abreviatura
Requerimientos de Stakeholders	StSR
Requerimientos de Sistema	SySR
Requerimientos de Arquitectura	SrSH

**Tabla 44.**  
*Requerimiento de Stakeholders*

Requerimiento de Stakeholders			
Nomenclatura	Requerimiento	Descripción	Prioridad
StSR1	Monitorear parámetros fisiológicos, como temperatura corporal, frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria.	La supervisión en tiempo real de parámetros fisiológicos como la temperatura, la frecuencia cardíaca y la actividad física ayuda a identificar precozmente signos clínicos de enfermedades respiratorias en bovinos. La incorporación de sensores biométricos en plataformas en la nube ha demostrado ser efectiva para mejorar el bienestar animal, facilitando intervenciones a tiempo y disminuyendo el uso excesivo de antibióticos. Esta estrategia ha sido comprobada en recientes investigaciones sobre monitoreo inteligente de la salud animal, que han destacado su eficacia para prevenir el avance de enfermedades respiratorias como la neumonía (Bhatla et al., 2023).	Alta
StSR2	Nodo móvil eficiente con bajo consumo de energía.	La eficiencia energética del nodo móvil es esencial para garantizar su autonomía en zonas rurales donde el acceso a fuentes de energía es limitado. Diversos estudios han demostrado que la utilización de tecnologías como LoRaWAN y la inclusión de sistemas de recolección de energía, como paneles solares, permiten una operación continua por varios meses sin mantenimiento, lo cual es fundamental para el monitoreo de ganado en campo abierto (Schulthess et al., 2024).	Media

<b>StSR3</b>	Asegurar que el nodo móvil sea compacto, ligero y cómodo para el ganado.	Un diseño compacto, ligero y cómodo del nodo es crucial para evitar el estrés y alterar el comportamiento natural del animal. Investigaciones enfocadas en dispositivos wearables para ganado han revelado que los sensores deben integrarse en arneses o collares ergonómicos que no restrinjan el movimiento, asegurando así su uso prolongado sin afectar el bienestar del animal (Alipio & Villena, 2023).	<b>Media</b>
<b>StSR4</b>	Proveer una plataforma web que permitan a los ganaderos consultar los datos en tiempo real.	El acceso instantáneo a los datos de salud del ganado a través de una plataforma web ayuda en la toma de decisiones informadas del ganadero. Cuando se diseñan adecuadamente, estas plataformas proporcionan visualización intuitiva, alertas automatizadas y análisis predictivos, optimizando la eficiencia operativa en ganadería inteligente (Çevik et al., 2020).	<b>Alta</b>
<b>StSR5</b>	Implementar un Sistema de alertas que notifique a los ganaderos sobre anomalías mediante SMS o notificaciones en la plataforma web.	La habilidad del sistema para emitir alertas instantáneas al detectar anomalías es una ventaja fundamental para mejorar la reacción ante situaciones críticas. Investigaciones recientes han validado que los sistemas IoT con algoritmos de alerta temprana pueden enviar avisos automáticos al productor, aumentando la eficacia de las medidas preventivas (Irjmets, 2025).	<b>Alta</b>
<b>StSR6</b>	Almacenamiento en la base de datos	El uso de bases de datos en la nube facilita el almacenamiento continuo de datos fisiológicos, permitiendo su análisis histórico y el seguimiento de la evolución clínica de los animales. Esta capacidad mejora la eficiencia operativa y permite la trazabilidad completa de cada ejemplar (Bhatla et al., 2023).	<b>Alta</b>
<b>StSR7</b>	Realizar pruebas con ganado en la comunidad de El Rosal para validar el funcionamiento y efectividad del Sistema.	Debido a que los registros locales muestran una alta incidencia de neumonía bovina en la zona rural de El Rosal, es crucial hacer pruebas de validación del sistema en ese contexto específico. Esta medida no solo fortalece la aplicación técnica, sino también la relevancia social del sistema.	<b>Alta</b>
<b>Requerimientos de Usuario</b>			
<b>StSR8</b>	Mostrar los datos de los sensores de manera comprensible	Mostrar datos fisiológicos de forma visual y clara es esencial para ayudar a ganaderos con escasos conocimientos técnicos a interpretarlos. Interfaces adecuadas disminuyen errores humanos y mejoran decisiones en producción (Irjmets, 2025).	<b>Alta</b>

<b>StSR9</b>	El nodo móvil debe contar con baterías intercambiables	Los ganaderos en áreas rurales han manifestado la necesidad de cambiar baterías manualmente debido a restricciones eléctricas. Las soluciones tecnológicas adoptadas deben atender esta necesidad para asegurar la continuidad del monitoreo sin requerir recargas frecuentes (Schulthess et al., 2024).	<b>Alta</b>
<b>StSR10</b>	Las alertas deben ser instantáneas al detectar anomalías.	Las alertas deben emitirse de inmediato para que el usuario responda rápidamente a cualquier anomalía encontrada. En áreas rurales, con recursos veterinarios limitados, este tipo de alertas es crucial para disminuir el tiempo de respuesta (Irijmets, 2025).	<b>Alta</b>
<b>StSR11</b>	El usuario debe poseer conocimientos en ganadería.	Aunque los sistemas están diseñados para automatizar la detección de enfermedades, la interpretación final de las alertas requiere conocimientos básicos en salud animal por parte del usuario. Por tanto, se considera necesario que los ganaderos tengan formación mínima para interpretar adecuadamente los indicadores del sistema (Jiang et al., 2020).	<b>Media</b>

**Tabla 45.**  
*Requerimiento de Sistema*

<b>Requerimiento de Sistema</b>			
<b>Nomenclatura</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Prioridad</b>
<b>Requerimientos de interfaz</b>			
<b>SySR1</b>	El Sistema deberá enviar los datos de los sensores utilizados en tiempo real.	La transmisión en tiempo real de los datos de los sensores es crucial para que el sistema identifique tempranamente posibles anomalías en la salud del ganado. Esta habilidad ha probado ser crucial en la efectividad de los sistemas IoT usados en el control de variables fisiológicas, permitiendo a los gestores de la producción animal reaccionar ágilmente, reduciendo riesgos sanitarios y pérdidas económicas (Schulthess et al., 2024).	<b>Alta</b>
<b>SySR2</b>	Deberá emitir alertas en tiempo real en caso de anomalías detectadas.	Los sistemas inteligentes necesitan incorporar mecanismos que generen alertas en tiempo real al detectar desviaciones en los parámetros vigilados. Varios estudios subrayan que avisar al usuario a tiempo, ya sea en la web o móviles, mejora notablemente la reacción del ganadero, ayudando a prevenir enfermedades como la neumonía bovina (Bhatla et al., 2023).	<b>Alta</b>

<b>SySR3</b>	El Sistema deberá tener interacción con la plataforma web para la visualización de datos.	El desarrollo de sistemas IoT con una plataforma web para la visualización gráfica de datos proporciona una experiencia de usuario accesible, intuitiva y efectiva. Estas plataformas concentran la información recopilada, simplifican el análisis de tendencias y optimizan la gestión sanitaria del hato, sobre todo en sistemas productivos pequeños o medianos (Çevik et al., 2020).	<b>Alta</b>
<b>SySR4</b>	Deberá generar reportes periódicos con la información recolectada.	La capacidad del sistema para generar reportes periódicos basados en los datos históricos permite al ganadero evaluar la evolución del estado de salud del animal, planificar acciones de mejora y documentar tratamientos anteriores. Este tipo de documentación sistemática refuerza el proceso de toma de decisiones y facilita la trazabilidad del animal (Bhatla et al., 2023).	<b>Media</b>
<b>SySR5</b>	Conexiones estándar para la integración de sensores y módulos de comunicación.	La incorporación de conexiones estándar en el diseño del sistema permite una integración más flexible y modular de sensores, facilitando futuras actualizaciones o expansiones del sistema sin necesidad de rediseños estructurales. Esta característica es fundamental en aplicaciones IoT con entornos cambiantes como el ganadero (Çevik et al., 2020).	<b>Media</b>
<b>SySR6</b>	Indicadores LED para notificaciones de estado del dispositivo (encendido, comunicación activa, batería baja).	Los indicadores visuales por medio de luces LED permiten a los usuarios identificar rápidamente el estado operativo del dispositivo (activo, inactivo, fallo, batería baja), sin necesidad de ingresar a la plataforma. Esta funcionalidad es especialmente útil en entornos rurales donde no siempre se dispone de conectividad inmediata o acceso a dispositivos móviles (Alipio & Villena, 2023).	<b>Baja</b>
<b>Requerimientos de Uso</b>			
<b>SySR7</b>	El Sistema Electrónico se energiza mediante baterías.	El uso de baterías como fuente de alimentación garantiza la autonomía del sistema en zonas rurales con limitada infraestructura eléctrica. Esta autonomía se vuelve aún más eficaz si se combina con estrategias de bajo consumo energético, permitiendo que los dispositivos funcionen de manera prolongada sin requerir mantenimiento frecuente (Schulthess et al., 2024).	<b>Media</b>
<b>SySR8</b>	Los datos del Sistema de monitoreo deben ser obtenidos rápidamente.	La baja latencia en la recolección de datos incrementa la rapidez de respuesta y perfecciona la toma de decisiones frente a riesgos en salud animal. Investigaciones sobre supervisión remota indican que incluso breves retrasos en la recopilación de datos pueden afectar la efectividad del sistema ante enfermedades de rápida evolución como la neumonía (Darvesh et al., 2023).	<b>Alta</b>
<b>SySR9</b>	Para la conexión entre el nodo móvil y el Gateway se debe usar comunicación tecnología de largo alcance.	Implementar tecnologías como LoRaWAN posibilita alcanzar grandes distancias en áreas rurales, superando las limitaciones de redes como WiFi o Bluetooth. Esta ventaja es vital para asegurar que los datos del nodo móvil fluyan sin interrupciones al gateway, aun cuando los animales estén en movimiento (Casella et al., 2023).	<b>Alta</b>
<b>SySR10</b>	Facilidad de instalación y operación del dispositivo	Los sistemas deben ser intuitivos tanto en su instalación como en su uso cotidiano, especialmente en contextos donde los usuarios no tienen formación técnica avanzada. La simplicidad operativa fomenta su adopción por parte de pequeños ganaderos y asegura el mantenimiento del sistema con mínima intervención (Langer et al., 2024).	<b>Media</b>

<b>Requerimientos de performance</b>			
<b>SySR11</b>	La plataforma web debe estar siempre disponible para el usuario.	La plataforma web siempre disponible permite al usuario acceder a los datos de salud de los animales en todo momento, sin interrupciones. La falta de actividad del sistema puede significar la pérdida de alertas clave, lo que supone un riesgo para la salud del ganado (Çevik et al., 2020).	<b>Alta</b>
<b>SySR12</b>	Bajo tiempo de respuesta para la transmisión de datos entre el nodo móvil y el Gateway.	Una baja latencia en la transmisión de datos entre el nodo móvil y el gateway es fundamental para asegurar el monitoreo en tiempo real. Esta característica permite detectar síntomas de enfermedades incluso en sus fases subclínicas, contribuyendo a una intervención más rápida y precisa (Pantham & Pattaramalai, 2020).	<b>Media</b>
<b>SySR13</b>	Sistema debe permanecer funcional con bajo tiempo de inactividad.	El sistema debe garantizar una operación constante, incluso ante condiciones adversas. La tolerancia a fallos y la capacidad de recuperación rápida son aspectos críticos para mantener la funcionalidad del sistema y no comprometer la seguridad sanitaria del hato (Darvesh et al., 2023).	<b>Media</b>
<b>SySR14</b>	Dispositivo capaz de comunicarse a distancias mayores a 100 metros.	Los dispositivos de monitoreo necesitan transmitir datos a más de 100 metros para adaptarse a espacios amplios. Se ha comprobado que LoRaWAN es eficaz en estas aplicaciones, demostrando eficiencia en áreas rurales con escasa infraestructura (Casella et al., 2023).	<b>Alta</b>
<b>Requerimientos de modos/estado</b>			
<b>SySR15</b>	El Sistema debe estar en funcionamiento todo el tiempo	El sistema tiene que funcionar sin interrupciones, las 24 horas del día, para asegurar un control constante del ganado. Esta cualidad es fundamental en enfermedades de rápida evolución, donde las señales de alerta pueden surgir en cualquier instante (Schulthess et al., 2024).	<b>Alta</b>
<b>Requerimientos físicos</b>			
<b>SySR16</b>	El Sistema debe estar colocado sobre cada bovino mediante collar o arnés para el monitoreo de los sensores.	El dispositivo debe colocarse en el animal de forma práctica, segura y cómoda, usualmente como collar o arnés. Esta técnica asegura una recolección de datos exacta sin alterar el comportamiento natural del ganado (Weber et al., 2023).	<b>Alta</b>
<b>SySR17</b>	Batería recargable con duración mínima de 3 días en operación normal.	La batería del sistema debe ser recargable y garantizar una autonomía mínima de tres días en condiciones normales. Esta capacidad operativa ha sido identificada como un estándar adecuado en soluciones comerciales aplicadas a ganado, reduciendo la carga operativa para el usuario (Schulthess et al., 2024).	<b>Media</b>
<b>SySR18</b>	Tamaño reducido	El tamaño del dispositivo debe ser lo suficientemente compacto como para no incomodar al animal ni dificultar su uso por parte del ganadero. Dispositivos pequeños y ergonómicos incrementan la tasa de adopción y facilitan la instalación en el campo (Darvesh et al., 2023).	<b>Media</b>

**Tabla 46.**  
*Requerimiento de Sistema*

<b>Requerimiento de Sistema</b>			
<b>Requerimientos de Software</b>			
<b>Nomenclatura</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Prioridad</b>
<b>SRSH1</b>	El Sistema debe ser compatible con una placa embebida.	El uso de placas embebidas facilita la integración de sensores, módulos de comunicación y procesamiento en un solo sistema, optimizando consumo energético y reduciendo el tamaño del dispositivo. Esta tecnología ha sido ampliamente utilizada en soluciones IoT aplicadas a salud animal por su versatilidad y eficiencia (Bhatla et al., 2023).	<b>Alta</b>
<b>SRSH2</b>	El software de programación debe ser compatible con los sensores y la placa de desarrollo.	La compatibilidad del software con el hardware del sistema garantiza una comunicación fluida y evita pérdidas de datos. Además, permite implementar algoritmos de detección y análisis en tiempo real sin conflictos de integración, aspecto crítico en sistemas de monitoreo inteligentes (Çevik et al., 2020).	<b>Alta</b>
<b>SRSH3</b>	Disponibilidad de librerías de código abierto para facilitar la integración.	El acceso a librerías de código abierto facilita el desarrollo y la actualización de funcionalidades del sistema, reduce costos y acelera el proceso de implementación. Esta práctica es especialmente valorada en proyectos académicos y comunitarios de IoT en entornos rurales (Langer et al., 2024).	<b>Alta</b>
<b>SRSH4</b>	El Sistema debe soportar servicios en la nube para almacenamiento y procesamiento.	El almacenamiento y procesamiento en la nube mejora la capacidad del sistema para gestionar grandes volúmenes de datos, permitiendo análisis avanzados y consultas históricas desde cualquier lugar con conexión a internet (Darvesh et al., 2023).	<b>Alta</b>
<b>SRSH5</b>	La plataforma web debe ser intuitiva para el usuario	Una interfaz web clara e intuitiva facilita la interpretación de datos por parte de los usuarios finales, quienes muchas veces carecen de formación técnica. Esta facilidad de uso incrementa la adopción del sistema y reduce la necesidad de soporte técnico (Çevik et al., 2020).	<b>Media</b>
<b>SRSH6</b>	La programación de módulos se la	El uso de plataformas abiertas para programar los módulos del sistema mejora la transparencia, flexibilidad y la posibilidad de personalización por parte del usuario o técnico local, promoviendo	<b>Media</b>

	realizara bajo software Open Source.	una tecnología más democrática (Langer et al., 2024).	
--	--------------------------------------	-------------------------------------------------------	--

<b>Requerimientos de Hardware</b>			
-----------------------------------	--	--	--

<b>SRSH7</b>	Debe incluir sensores IoT como podómetros, acelerómetros y sensores de temperatura corporal y otros.	La combinación de sensores permite una evaluación holística del estado de salud del animal. El análisis conjunto de temperatura, actividad y frecuencia cardíaca ha demostrado ser altamente efectivo para la detección temprana de enfermedades respiratorias (Casella et al., 2023).	<b>Alta</b>
--------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------

<b>SRSH8</b>	Alta capacidad de procesamiento.	El sistema debe contar con suficiente capacidad de cómputo para procesar datos en tiempo real, ejecutar algoritmos de detección de anomalías y generar alertas sin demoras, garantizando un diagnóstico oportuno (Darvesh et al., 2023).	<b>Media</b>
<b>SRSH9</b>	Cobertura inalámbrica de largo alcance	La arquitectura del sistema debe incluir módulos de comunicación que permitan la conexión en áreas remotas. LoRaWAN ha demostrado cobertura eficiente a varios kilómetros en campo abierto (Schulthess et al., 2024).	<b>Alta</b>
<b>SRSH10</b>	Conectividad WiFi	Cuando sea posible, la conectividad WiFi permite sincronización directa con plataformas de visualización o bases de datos, especialmente útil en zonas con acceso a redes locales (Çevik et al., 2020).	<b>Alta</b>
<b>SRSH11</b>	El hardware debe ser resistente a las condiciones ambientales del entorno rural, como humedad y golpes.	Los dispositivos deben estar protegidos contra humedad, polvo y golpes para asegurar un funcionamiento continuo en entornos rurales adversos. Esta característica mejora la durabilidad del sistema (Casella et al., 2023).	<b>Media</b>
<b>SRSH12</b>	El nodo móvil debe tener un diseño compacto y ligero para facilitar su integración con los animales.	El diseño compacto y ligero del nodo móvil minimiza la interferencia con el comportamiento natural del animal y facilita el montaje, mantenimiento y portabilidad del sistema (Weber et al., 2023)..	<b>Media</b>
<b>Requerimientos Lógicos</b>			
<b>SRSH13</b>	El nodo móvil del Sistema debe mantener siempre comunicación con el gateway	Una conectividad ininterrumpida entre el nodo y el gateway asegura que la transmisión de datos sea constante y confiable, lo que es fundamental para mantener actualizado el estado del	<b>Alta</b>

		animal (Bhatla et al., 2023).	
<b>SRSH14</b>	La placa del nodo móvil debe tener entrada y salida analógica para la recolección de datos	Las entradas y salidas analógicas permiten capturar señales fisiológicas continuas con mayor precisión, en comparación con señales digitales discretas. Esto mejora la fidelidad del monitoreo (Çevik et al., 2020).	<b>Alta</b>
<b>SRSH15</b>	El Sistema debe generar alertas en tiempo real en caso de detectar anomalías en los datos recopilados.	La arquitectura debe permitir la emisión instantánea de alertas al detectar valores anómalos, reforzando la capacidad preventiva del sistema (Darvesh et al., 2023).	<b>Alta</b>
<b>SRSH16</b>	Capacidad de integración de múltiples nodos de monitoreo sin pérdida de eficiencia.	El sistema debe escalar sin comprometer su rendimiento al incorporar nuevos nodos, garantizando que la comunicación y el procesamiento se mantengan estables (Schulthess et al., 2024).	<b>Media</b>
<b>Requerimientos Eléctricos</b>			
<b>SRSH17</b>	El nodo móvil requiere que soporte una batería portable	El nodo móvil debe funcionar con baterías portátiles para permitir su uso en zonas sin acceso a electricidad y facilitar su reemplazo en campo (Schulthess et al., 2024).	<b>Alta</b>
<b>SRSH18</b>	Bajo consumo de energía	El bajo consumo energético asegura una operación prolongada con baterías pequeñas, optimizando la autonomía del sistema (Langer et al., 2024).	<b>Media</b>
<b>Requerimientos de Diseño</b>			
<b>SRSH19</b>	Para el nodo móvil se debe diseñar una caja para protección de la humedad y factores externos.	El encapsulamiento del nodo en una carcasa resistente protege los componentes electrónicos y extiende la vida útil del dispositivo (Casella et al., 2023).	<b>Media</b>
<b>SRSH20</b>	El nodo central estar ubicado en un lugar adecuado para la correcta comunicación	El nodo central debe situarse en un lugar óptimo para garantizar una comunicación eficiente y continua con todos los nodos móviles desplegados (Darvesh et al., 2023).	<b>Alta</b>

	con el nodo móvil.		
<b>SRSH21</b>	Unión del módulo de comunicación con la placa de procesamiento en un circuito único.	Integrar estos componentes en un único circuito reduce el tamaño, mejora la eficiencia energética y simplifica las tareas de mantenimiento (Bhatla et al., 2023).	<b>Alta</b>

*Elaborado por: El Autor.*

#### Anexo 4. Código nodo móvil

```
#include <Wire.h>
#include "LoRaWan_APP.h"
#include "Arduino.h"
#include <Adafruit_MPU6050.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <OneWireNg_CurrentPlatform.h>
#include "MAX30105.h"
#include "heartRate.h"

// Configuración del sensor de temperatura DS18B20
#define DS18B20_PIN 6
OneWireNg_CurrentPlatform oneWire(DS18B20_PIN, true);
uint8_t sensorAddr[8];

// Configuración del sensor de sonido (tos)
#define SOUND_SENSOR_PIN 7

// Objeto MPU6050
Adafruit_MPU6050 mpu;

// Objeto MAX30102
MAX30105 particleSensor;

// Variables BPM (MAX30102)
const byte RATE_SIZE = 4;
byte rates[RATE_SIZE];
byte rateSpot = 0;
long lastBeat = 0;
float beatsPerMinute = 0;
int beatAvg = 0;

// Variables Temperatura
float tempC = 0.0;
unsigned long tempStart = 0;
bool tempConversionStarted = false;

// Variables pasos
int pasos = 0;
float umbralPaso = 2.0;
bool pico = false;

// Variables tos
int thresholdTos = 1000;
int coughCount = 0;
bool coughing = false;

// LoRa config
```

```

#define RF_FREQUENCY 915000000
#define TX_OUTPUT_POWER 5
#define LORA_BANDWIDTH 0
#define LORA_SPREADING_FACTOR 7
#define LORA_CODINGRATE 1
#define LORA_PREAMBLE_LENGTH 8
#define LORA_SYMBOL_TIMEOUT 0
#define LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON false
#define LORA_IQ_INVERSION_ON false

#define RX_TIMEOUT_VALUE 1000
#define BUFFER_SIZE 100

char txpacket[BUFFER_SIZE];
bool lora_idle = true;

static RadioEvents_t RadioEvents;
void OnTxDone(void);
void OnTxTimeout(void);

unsigned long lastSend = 0;

void seleccionarSensor(uint8_t addr[8]) {
    oneWire.writeByte(0x55);
    for (int i = 0; i < 8; i++) oneWire.writeByte(addr[i]);
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(500);

    // Inicializar sensor de tos
    pinMode(SOUND_SENSOR_PIN, INPUT);

    // Inicializar sensor de temperatura
    if (oneWire.search(sensorAddr, false) != 0) {
        Serial.println("No se encontró ningún DS18B20.");
        while (1);
    }
    oneWire.reset();
    seleccionarSensor(sensorAddr);
    oneWire.writeByte(0x44);
    tempStart = millis();
    tempConversionStarted = true;

    // Inicializar MPU6050
    Wire.begin(41, 42);
    if (!mpu.begin(0x68, &Wire)) {
        Serial.println("No se encontró MPU6050");
        while (1);
    }
}

```

```

}
Serial.println("MPU6050 listo!");

// Inicializar MAX30102
if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST)) {
  Serial.println("No se encontró MAX30102");
  while (1);
}
particleSensor.setup();
particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A);
particleSensor.setPulseAmplitudeGreen(0);
Serial.println("MAX30102 listo!");

// Inicializar LoRa
Mcu.begin(HELTEC_BOARD, SLOW_CLK_TPYE);
RadioEvents.TxDone = OnTxDone;
RadioEvents.TxTimeout = OnTxTimeout;
Radio.Init(&RadioEvents);
Radio.SetChannel(RF_FREQUENCY);
Radio.SetTxConfig(MODEM_LORA, TX_OUTPUT_POWER, 0,
LORA_BANDWIDTH,
                LORA_SPREADING_FACTOR, LORA_CODINGRATE,
                LORA_PREAMBLE_LENGTH,
LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON,
                true, 0, 0, LORA_IQ_INVERSION_ON, 3000);

Serial.println("LoRa Inicializado!");
}

void loop() {
  unsigned long now = millis();

  // Leer MAX30102
  long irValue = particleSensor.getIR();
  if (checkForBeat(irValue)) {
    long delta = millis() - lastBeat;
    lastBeat = millis();

    beatsPerMinute = 60 / (delta / 1000.0);
    if (beatsPerMinute < 255 && beatsPerMinute > 20) {
      rates[rateSpot++] = (byte)beatsPerMinute;
      rateSpot %= RATE_SIZE;

      beatAvg = 0;
      for (byte x = 0; x < RATE_SIZE; x++)
        beatAvg += rates[x];
      beatAvg /= RATE_SIZE;
    }
  }
}

```

```

// Leer temperatura DS18B20
if (tempConversionStarted && (now - tempStart > 750)) {
  oneWire.reset();
  seleccionarSensor(sensorAddr);
  oneWire.writeByte(0xBE);

  uint8_t data[9];
  for (int i = 0; i < 9; i++) data[i] = oneWire.readByte();
  int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
  tempC = (float)raw / 16.0;

  oneWire.reset();
  seleccionarSensor(sensorAddr);
  oneWire.writeByte(0x44);
  tempStart = now;
  tempConversionStarted = true;
}

// Leer MPU6050 (pasos)
sensors_event_t a, g, temp;
mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
float acc = sqrt(
  a.acceleration.x * a.acceleration.x +
  a.acceleration.y * a.acceleration.y +
  a.acceleration.z * a.acceleration.z);
float acc_filtrada = abs(acc - 9.81);
if (acc_filtrada > umbralPaso && !pico) {
  pasos++;
  pico = true;
} else if (acc_filtrada < umbralPaso) {
  pico = false;
}

// Leer tos (sensor de sonido)
int soundValue = analogRead(SOUND_SENSOR_PIN);
if (soundValue > thresholdTos && !coughing) {
  coughCount++;
  coughing = true;
  delay(500);
}
if (soundValue < thresholdTos) {
  coughing = false;
}

// Enviar datos cada 5 seg
if (now - lastSend > 5000) {
  sprintf(txpacket, "USER:%s|PASS:%s|BPM:%d|Temp:%.2f|Pasos:%d|Tos:%d",
    "Nodo1", "Andres123", beatAvg, tempC, pasos, coughCount);

  Serial.printf("Enviando: %s\n", txpacket);
}

```

```
if (lora_idle) {
  Radio.Send((uint8_t *)txpacket, strlen(txpacket));
  lora_idle = false;
}

lastSend = now;
}

// Procesar interrupciones de LoRa
Radio.IrqProcess();

delay(1);
}

void OnTxDone(void) {
  Serial.println("Transmisión completada");
  lora_idle = true;
}

void OnTxTimeout(void) {
  Serial.println("Error: Timeout en transmisión");
  Radio.Sleep();
  lora_idle = true;
}
```

## Anexo 5. Código nodo central (GATEWAY)

```
#include "LoRaWan_APP.h"
#include "Arduino.h"
#include <WiFi.h>
#include <FirebaseESP32.h>

// Configuración WiFi
#define WIFI_SSID "POZO_MONTALVO"
#define WIFI_PASSWORD "andres123"

// Configuración Firebase
#define API_KEY "AIzaSyDeQ31MCvi42tSYqPdaBNZwthrcL0pJJ6Q"
#define DATABASE_URL "https://prueba-7e50e-default-rtdb.firebaseio.com/"

// Usuario Firebase
#define USER_EMAIL "andrespozomontalvo@gmail.com"
#define USER_PASSWORD "andres123"

FirebaseData fbdo;
FirebaseAuth auth;
FirebaseConfig config;

// Configuración LoRa
#define RF_FREQUENCY 915000000
#define TX_OUTPUT_POWER 5
#define LORA_BANDWIDTH 0
#define LORA_SPREADING_FACTOR 7
#define LORA_CODINGRATE 1
#define LORA_PREAMBLE_LENGTH 8
#define LORA_SYMBOL_TIMEOUT 0
#define LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON false
#define LORA_IQ_INVERSION_ON false
#define RX_TIMEOUT_VALUE 0
#define BUFFER_SIZE 100

static RadioEvents_t RadioEvents;
void OnRxDone(uint8_t *payload, uint16_t size, int16_t rssi, int8_t snr);
void OnRxTimeout(void);
void OnRxError(void);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);

  // Inicializar LoRa
  Mcu.begin(HELTEC_BOARD, SLOW_CLK_TPYE);
  RadioEvents.RxDone = OnRxDone;
  RadioEvents.RxTimeout = OnRxTimeout;
  RadioEvents.RxError = OnRxError;
```

```

Radio.Init(&RadioEvents);

Radio.SetChannel(RF_FREQUENCY);
    Radio.SetRxConfig(MODEM_LORA,          LORA_BANDWIDTH,
LORA_SPREADING_FACTOR,
    LORA_CODINGRATE, 0, LORA_PREAMBLE_LENGTH,
    LORA_SYMBOL_TIMEOUT, LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON,
    0, true, 0, 0, LORA_IQ_INVERSION_ON, true);

Serial.println("LoRa receptor listo");

// Conectar WiFi
WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
Serial.println("Conectando a WiFi...");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("\nWiFi conectado!");

// Configurar Firebase
config.api_key = API_KEY;
auth.user.email = USER_EMAIL;
auth.user.password = USER_PASSWORD;
config.database_url = DATABASE_URL;

Firebase.begin(&config, &auth);
Firebase.reconnectWiFi(true);

Serial.println("Firebase inicializado");

// Iniciar recepción LoRa
Radio.Rx(RX_TIMEOUT_VALUE);
}

void loop() {
    Radio.IrqProcess();
}

void OnRxDone(uint8_t *payload, uint16_t size, int16_t rssi, int8_t snr) {
    payload[size] = '\0';
    String mensaje = (char *)payload;
    Serial.printf("Mensaje recibido: %s\n", mensaje.c_str());

    // Validar credenciales
    if (mensaje.indexOf("USER:Nodo1") != -1 &&
mensaje.indexOf("PASS:Andres123") != -1) {
        Serial.println("Autenticación correcta ✅");
    }

    // Extraer campos

```

```

int bpmIndex = mensaje.indexOf("BPM:");
int tempIndex = mensaje.indexOf("Temp:");
int pasosIndex = mensaje.indexOf("Pasos:");
int tosIndex = mensaje.indexOf("Tos:");

    int bpm = mensaje.substring(bpmIndex + 4, mensaje.indexOf("|",
bpmIndex)).toInt();
    float temperatura = mensaje.substring(tempIndex + 5, mensaje.indexOf("|",
tempIndex)).toFloat();
    int pasos = mensaje.substring(pasosIndex + 6, mensaje.indexOf("|",
pasosIndex)).toInt();
    int tos = mensaje.substring(tosIndex + 4).toInt();

Serial.printf("BPM: %d\n", bpm);
Serial.printf("Temp: %.2f\n", temperatura);
Serial.printf("Pasos: %d\n", pasos);
Serial.printf("Tos: %d\n", tos);

// Enviar a Firebase (sin espacios en las rutas)
if (Firebase.setInt(fbdo, "/Cliente_1/Nodo_1/BPM", bpm))
    Serial.println("BPM enviado");
else
    Serial.println(fbdo.errorReason());

if (Firebase.setFloat(fbdo, "/Cliente_1/Nodo_1/Temperatura", temperatura))
    Serial.println("Temperatura enviada");
else
    Serial.println(fbdo.errorReason());

if (Firebase.setInt(fbdo, "/Cliente_1/Nodo_1/Pasos", pasos))
    Serial.println("Pasos enviados");
else
    Serial.println(fbdo.errorReason());

if (Firebase.setInt(fbdo, "/Cliente_1/Nodo_1/Tos", tos))
    Serial.println("Tos enviados");
else
    Serial.println(fbdo.errorReason());

} else {
    Serial.println("⚠ Autenticación fallida");
}

Radio.Rx(RX_TIMEOUT_VALUE);
}

void OnRxTimeout(void) {
    Radio.Rx(RX_TIMEOUT_VALUE);
}

```

```
void OnRxError(void) {  
    Radio.Rx(RX_TIMEOUT_VALUE);  
}
```