

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ



TRABAJO DE TITULACIÓN

MODALIDAD DE PROYECTO INTEGRADOR

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

TEMA DEL PROYECTO:

IMPLEMENTACIÓN DE UNA ARQUITECTURA IOT PARA EL MONITOREO
Y CONSERVACIÓN DE NIDOS DE TORTUGAS MARINAS, MEDIANTE EL
CONTROL DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD DE LA ARENA Y
VELOCIDAD DEL VIENTO USANDO TECNOLOGÍA LORAWAN

AUTOR:

RIVADENEIRA SALVATIERRA EDWIN DENNIS
SANCHEZ BIRONES LUIS ALFREDO

TUTOR:

ING. WILLIAN JESÚS ZAMORA MERO, PHD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

MANTA – MANABÍ - ECUADOR-2026

CERTIFICADO

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico:

Haber dirigido y revisado el trabajo de titulación, cumpliendo el total de 384 horas, bajo la modalidad de Investigación, cuyo tema de proyecto es **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA ARQUITECTURA IOT PARA EL MONITOREO Y CONSERVACIÓN DE NIDOS DE TORTUGAS MARINAS, MEDIANTE EL CONTROL DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD DE LA ARENA Y VELOCIDAD DEL VIENTO USANDO TECNOLOGÍA LORAWAN”**, el mismo que ha sido desarrollado de acuerdo con los lineamientos internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo **CERTIFICO**, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde a Rivadeneira Salvatierra Edwin Dennis, Sanchez Briones Luis Alfredo, estudiantes de la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información, período académico 2024-2025 quienes se encuentran aptos para la sustentación de su trabajo de titulación.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 9 de junio del 2026

Lo certifico,

Ing. Willian Jesús Zamora Mero
TUTOR DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaramos, que la presente investigación, cuyo tema es **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA ARQUITECTURA IOT PARA EL MONITOREO Y CONSERVACIÓN DE NIDOS DE TORTUGAS MARINAS, MEDIANTE EL CONTROL DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD DE LA ARENA Y VELOCIDAD DEL VIENTO USANDO TECNOLOGÍA LORAWAN”**, es un trabajo que fue investigado y realizado en su totalidad por Rivadeneira Salvatierra Edwin Dennis, Sánchez Briones Luis Alfredo cumpliendo con todas las exigencias requeridas por la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías y la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información.

La responsabilidad de los hechos, opiniones e ideas presentadas en este estudio, corresponden exclusivamente a los autores y el patrimonio intelectual de la investigación pertenecerá a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

Manta, 9 de junio del 2024

Rivadeneira Salvatierra Edwin Dennis

C.I. 131540006-7

Sánchez Briones Luis Alfredo

C.I. 1312929217

DEDICATORIA

A mis padres, por ser la raíz que me sostiene y el impulso que me mueve hacia adelante. Su amor, su sacrificio y su confianza incondicional han sido la fuerza silenciosa detrás de cada esfuerzo, cada desvelo y cada meta alcanzada a lo largo de esta carrera.

Este trabajo no solo representa años de estudio; es el fruto de los valores que ustedes me inculcaron desde pequeño: la constancia, la honestidad y la voluntad de nunca rendirse. Hoy, al culminar esta etapa, quiero que sepan que cada página de esta tesis lleva impresa su dedicación y su amor. Este logro es tanto suyo como mío.

Rivadeneira Salvatierra Edwin Dennis

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a Dios por brindarme la sabiduría, fortaleza y la perseverancia necesaria para alcanzar cada una de mis metas y permitirme culminar con orgullo esta importante etapa de mi vida. A mis padres y mi hermana, que han sido la motivación y quiénes con su amor, sacrificio y esfuerzo me han dado la oportunidad de recibir educación y han sido mi principal inspiración.

Gracias por siempre creer y entregar todo para alcanzar mis sueños, son mi orgullo.

A mi hermano y mi abuela, quienes partieron de este mundo, pero cuya memoria, valores y amor que dejaron en mi vida continúan acompañándome e inspirándome a seguir adelante por mis objetivos. A toda mi familia por su apoyo y cariño. A mi tutor, Dr. Willian Zamora, por su paciencia, comprensión y constante guía, por brindarme siempre su apoyo para hacer posible la culminación de mi formación profesional. A mí compañero de tesis, Edwin Rivadeneira por compartir conmigo este reto, por su dedicación Y por el esfuerzo conjunto que hizo posible el desarrollo de esta investigación.

A mi madre universitaria, Dra. Dolores Muñoz, quien ha sido un apoyo incondicional durante mi formación, brindándome palabras de aliento, motivación y enseñanzas que me impulsaron a ser un mejor profesional. A mí hermano Andhy, que siempre ha estado pendiente de mi progreso y orgulloso de mis logros como si fueran propios. De manera especial agradezco a Karla por confiar en mí y brindarme su apoyo incondicional desde el primer día, como si me conociera de toda la vida. A Mai por sentirse orgulloso de mis logros y enseñarme a ser paciente con las decisiones de mi vida, a Dayana por alegrar mis días y demostrarme que una amistad sincera no depende del tiempo. A Andreina que se ha convertido en una persona importante en mi vida, gracias por compartir momentos especiales y brindarme ánimos para culminar esta etapa. El apoyo y confianza de ustedes han sido un impulso valioso en este camino.

Finalmente, me dedico este logro a mi mismo, por cada sacrificio, esfuerzo y desafío superado. Porque, aunque cada persona tiene su propio ritmo, con constancia, fe y dedicación, he logrado llegar hasta aquí y demostrarme que los sueños sí se cumplen.

Sanchez Briones Luis Alfredo

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa académica, mi corazón está lleno de gratitud hacia quienes, de una u otra forma, hicieron posible la realización de este trabajo.

A mi director de tesis, el Ing. Willian Jesús Zamora Mero, PhD, mi más sincero agradecimiento por su guía experta, su paciencia y su disposición permanente a orientarme en cada etapa de esta investigación. Su confianza en mi trabajo y su visión académica fueron fundamentales para que este proyecto llegara a buen término.

A los docentes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, quienes a lo largo de mi formación compartieron con generosidad sus conocimientos y experiencias. Cada clase, cada observación y cada consejo contribuyeron a forjar al profesional que hoy soy.

A mis amigos y compañeros más cercanos, quienes estuvieron presentes en los momentos más exigentes de esta travesía: gracias por las palabras de aliento, por las risas que aligeraron los días difíciles y por recordarme siempre que no estaba solo. Su amistad incondicional ha sido una de las más grandes bendiciones de esta etapa.

Rivadeneira Salvatierra Edwin Dennis

AGRADECIMIENTO

Hoy culmino esta etapa con profunda gratitud, dedicando estas palabras a mi Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por permitirme formarme como profesional. A cada Docente que impartió sus conocimientos en este proceso integral de formación.

Mi sincero reconocimiento y especial agradecimiento a todas las personas que han sido muy importantes en este camino. A mis Amigos de mi infancia y adolescencia. Damián, Ángelo, Sergio, Joel, quienes siempre creyeron en mí, sintiéndose orgullosos y considerándome un ejemplo.

A mis amigos de Carrera. Helen, Yelitza, Nathaly, Michael Medina, Giorver, Isabella, Mosquera, Cornejo, Shirley, Gudiño, Carolina, quienes semestre a semestre me brindaron su apoyo constante para alcanzar las metas académicas. Unos desde el primer día de clases y otro en el transcurso, dejando una huella importante en mi formación profesional.

A mis amigos que conocí en mi proceso como dirigente estudiantil. Mateo, Eddie, Fernando, Pierina, Ámbar, quienes me impulsaron a dar siempre lo mejor de mí y supieron comprender mi forma de ser, mi compromiso y mi manera de trabajar.

De manera especial agradezco a Edihlu, Yuri, Fabrizio, Jared y Javier, quienes en poco tiempo, se convirtieron en personas especiales, con las cuales compartí momentos únicos y siempre me recordaban culminar esta etapa universitaria.

A todos los mencionados, gracias por confiar y creer en mí, formaron parte de este proceso y contribuyeron a que este logro sea una realidad.

Sanchez Briones Luis Alfredo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	1
Resumen	13
Abstract.....	14
Introducción.....	15
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1. Ubicación y contextualización del problema	17
1.2. Planteamiento del problema	17
1.3. Formulación del problema	18
1.4. Diagrama causa – efecto del problema	18
1.5. Objetivos	19
1.5.1. Objetivo general	19
1.5.2. Objetivo específico	19
1.6. Justificación.....	20
Capítulo II.....	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1 Estado del arte histórico.....	21
2.1.1 Historia del Monitoreo Tradicional de Tortugas Marinas.....	21
2.1.2 Monitoreo convencional: Métodos y Limitaciones.....	21
2.1.3 Monitoreo en Ecuador.....	21
2.2 Problemática ambiental: Temperatura, humedad, velocidad del viento	22
2.2.1 Determinación sexual dependiente de la temperatura	22
2.2.2 Humedad en la incubación.....	22
2.2.3 Velocidad del viento como variable ambiental.....	23
2.3 Primeros Sistemas Tecnológicos de Monitoreo de Nidos	23
2.3.1 Data loggers y registradores de temperatura.....	24
2.3.2 TurtleSense: sensor de acelerómetro y temperatura (2022).....	25
2.3.3 Monitoreo con drones termales (2022–2024).....	26
2.4 Evolución hacia IoT y LoRaWAN en Conservación de Fauna	27
2.4.1 El Internet de las Cosas (IoT) aplicado al monitoreo ambiental	27
2.4.2 Tecnología LoRaWAN: fundamentos y ventajas para entornos remotos	28
2.4.3 LoRaWAN aplicado a la conservación de tortugas marinas.....	29
2.5 Estado del Arte: Sistemas IoT para Monitoreo de Nidos de Tortugas	30

2.5.1 Sistema IoT en tiempo real con LoRa — Isla Tengah, Malasia (2025).....	32
2.5.2 Rastreadores LoRa GNSS de bajo costo para fauna silvestre (2025)	33
2.5.3 IoT satelital y LoRaWAN combinados para conservación (2024)	34
2.5.4 Sistema inteligente de monitoreo térmico para incubación de tortugas marinas mediante sensores inalámbricos (2023)	35
2.5.5 Plataforma IoT basada en ESP32 para monitoreo ambiental costero (2024). 36	
2.5.6 Sistema de monitoreo remoto mediante sensores IoT y energía solar para conservación ambiental (2024)	37
2.5.7 Arquitectura IoT para monitoreo climático en ecosistemas protegidos (2023) 39	
2.5.8 Monitoreo ambiental con sensores LoRaWAN en playas de anidación (2024) 40	
2.5.9 Sistema IoT de análisis ambiental mediante dashboards web en tiempo real (2025)41	
2.5.10 Redes LPWAN aplicadas al monitoreo de fauna silvestre y ecosistemas costeros (2024).....	42
2.6 Vacío de Investigación y Justificación de la Tesis	45
2.6.1 Análisis de las brechas en la literatura	45
2.6.2 Contribución original de la presente investigación	46
2.7 Definiciones conceptuales	47
2.7.1 Arquitectura IoT	47
2.7.2 reComputer R1025-10 basado en Raspberry Pi Compute Module 4	48
2.8 Bases teóricas.....	49
Capítulo III	52
MARCO DE INVESTIGACIÓN	52
3.1 Introducción	52
3.2 Tipos de Investigación	52
3.2.1 Investigación Aplicada.....	52
3.2.2 Investigación Cuantitativa.....	53
3.2.3 Investigación Descriptiva.....	53
3.2.4 Investigación Experimental.....	54
3.3 Métodos de Investigación	55
3.3.1 Métodos Teóricos.....	55
3.3.2 Métodos Empíricos	56

4.10.2 Factibilidad Operativa	78
4.10.3 Factibilidad Económica.....	79
4.11 Validación de la Propuesta.....	80
4.12 Evidencia de la Implementación en Campo.....	81
Capítulo V.....	84
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
5.1 Introducción	84
5.2 Resultados del Monitoreo Ambiental	84
5.2.1 Resultados de Humedad del Suelo	84
5.2.2 Resultados de Temperatura de la Arena.....	85
5.2.3 Resultados de Velocidad del Viento	86
5.3 Resultados de la Comunicación LoRaWAN.....	87
5.4 Resultados de la Plataforma Web	89
5.5 Validación de la Propuesta Tecnológica.....	90
5.6 Discusión de Resultados	91
CAPÍTULO VI	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
6.1 Conclusiones	95
6.2 Recomendaciones	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
Bibliografía.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Comparación de investigaciones relacionadas con sistemas IoT para monitoreo ambiental y conservación de tortugas marinas</i>	43
Tabla 2. <i>Bases teóricas de las tecnologías utilizadas en la arquitectura IoT propuesta</i>	49
Tabla 3. <i>Componentes de hardware utilizados en la arquitectura IoT propuesta</i>	70
Tabla 4. <i>Tecnologías de software implementadas</i>	73
Tabla 5. <i>Presupuesto usado en el proyecto</i>	79
Tabla 6. <i>Parámetros de comunicación registrados</i>	88
Tabla 7. <i>Resultados de validación del sistema</i>	90
Tabla 8. <i>Comparación antes y después de la implementación del sistema IoT</i>	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Diagrama de Ishikawa</i>	18
Figura 2. <i>Arquitectura general del sistema IoT</i>	63
Figura 3. <i>Flujo de transmisión de datos del sistema</i>	64
Figura 4. <i>Sensor SenseCap S2105 utilizado en la investigación</i>	66
Figura 5. <i>Anemómetro de tres tazas utilizado en la investigación.</i>	67
Figura 6. <i>reComputer R1025-10 utilizado en la investigación</i>	68
Figura 7. <i>Gateway LoRaWAN utilizado en la investigación</i>	70
Figura 8. <i>Funcionamiento general del sistema</i>	74
Figura 9. <i>Diseño de la plataforma web de monitoreo ambiental</i>	75
Figura 10. <i>Área de estudio seleccionada para la implementación del sistema</i>	82
Figura 11. <i>Proceso de instalación de los sensores ambientales</i>	82
Figura 12. <i>Configuración y pruebas del sistema IoT en campo</i>	83
Figura 13. <i>Humedad histórica registrada por el sistema IoT</i>	85
Figura 14. <i>Temperatura histórica registrada por el sistema</i>	86
Figura 15. <i>Velocidad histórica del viento</i>	87
Figura 16. <i>Registro de uplinks LoraWan</i>	88
Figura 17. <i>Dashboard principal del sistema de monitoreo</i>	89

RESUMEN

La conservación de las tortugas marinas requiere herramientas tecnológicas que permitan monitorear las condiciones ambientales que influyen en el proceso de incubación de los huevos. La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar e implementar una arquitectura IoT basada en tecnología LoRaWAN para el monitoreo en tiempo real de la temperatura de la arena, la humedad del suelo y la velocidad del viento en los nidos de tortugas marinas ubicados en la Playa El Murciélago, Manta. Para ello, se emplearon sensores SenseCAP S2105, un anemómetro de tres tazas, un gateway LoRaWAN WM1302 y un controlador reComputer R1025-10, integrados a una plataforma web para la visualización y gestión de datos ambientales.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, descriptiva y experimental. Los resultados evidenciaron el correcto funcionamiento del sistema, permitiendo registrar variables ambientales en tiempo real y transmitir la información de manera estable mediante tecnología LoRaWAN. Se concluye que la arquitectura propuesta constituye una alternativa tecnológica viable para fortalecer las estrategias de conservación y monitoreo de tortugas marinas mediante el uso de tecnologías IoT.

Palabras clave: Internet de las Cosas, LoRaWAN, monitoreo ambiental, tortugas marinas, sensores IoT.

ABSTRACT

The conservation of sea turtles requires technological tools capable of monitoring the environmental conditions that influence egg incubation processes. The objective of this research was to develop and implement an IoT architecture based on LoRaWAN technology for real-time monitoring of sand temperature, soil moisture, and wind speed in sea turtle nests located at El Murciélagos Beach, Manta. To achieve this, SenseCAP S2105 sensors, a three-cup anemometer, a WM1302 LoRaWAN gateway, and a reComputer R1025-10 controller were integrated into a web platform for environmental data visualization and management.

The research followed a quantitative, applied, descriptive, and experimental approach. The results demonstrated the proper operation of the proposed system, enabling real-time environmental data acquisition and stable transmission through LoRaWAN technology. It is concluded that the implemented architecture represents a viable technological alternative for strengthening sea turtle conservation and monitoring strategies through the use of IoT technologies.

Keywords: Internet of Things, LoRaWAN, environmental monitoring, sea turtles, IoT sensors.

INTRODUCCIÓN

Las tortugas marinas constituyen especies de gran importancia ecológica debido a su contribución al mantenimiento del equilibrio de los ecosistemas marinos y costeros. Su presencia favorece procesos naturales relacionados con la conservación de la biodiversidad, el ciclo de nutrientes y la estabilidad de diversos hábitats oceánicos (Gulati et al., 2022).

No obstante, en las últimas décadas estas especies han enfrentado múltiples amenazas derivadas de factores ambientales y antrópicos, entre los que destacan el cambio climático, la contaminación de los océanos, la degradación de los ecosistemas costeros y el incremento de las actividades humanas en las zonas de anidación. Estas condiciones afectan de manera significativa su ciclo reproductivo, comprometiendo especialmente el desarrollo embrionario y el éxito de eclosión de los huevos (Laha et al., 2022).

En la costa ecuatoriana, la Playa El Murciélagu, ubicada en la ciudad de Manta, representa un espacio de relevancia para la anidación de tortugas marinas. En este entorno, diversos factores ambientales influyen directamente en las condiciones de incubación de los nidos (Pattanayak et al., 2021).

Variables como la temperatura de la arena, la humedad del suelo y la velocidad del viento desempeñan un papel determinante en el desarrollo de los embriones y en la supervivencia de las crías. Sin embargo, el monitoreo de estas variables suele realizarse mediante métodos convencionales que presentan limitaciones relacionadas con la frecuencia de medición, la disponibilidad de información inmediata y la capacidad para detectar oportunamente cambios ambientales que puedan afectar el proceso de incubación (Arenas & Fabian, 2024).

Frente a estos desafíos, las tecnologías asociadas al Internet de las Cosas (IoT) han adquirido una creciente relevancia en el ámbito del monitoreo ambiental. La incorporación de sensores inteligentes, redes de comunicación de largo alcance y plataformas digitales de gestión de datos permite obtener información de manera automática, continua y remota .

En este contexto, la presente investigación plantea el diseño e implementación de una arquitectura basada en Internet de las Cosas (IoT) y tecnología LoRaWAN para el monitoreo de nidos de tortugas marinas en la Playa El Murciélago. La propuesta tecnológica integra sensores ambientales destinados a la medición de variables críticas como la temperatura de la arena, la humedad del suelo y la velocidad del viento, permitiendo la transmisión de los datos hacia una plataforma web donde pueden ser consultados y analizados en tiempo real.

El documento se estructura en seis capítulos. En el Capítulo I se desarrolla el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación que sustentan la investigación. El Capítulo II aborda el marco teórico y el estado del arte relacionados con las tecnologías IoT, las redes LoRaWAN, el monitoreo ambiental y la conservación de tortugas marinas.

El Capítulo III describe el diseño metodológico empleado para el desarrollo del estudio. El Capítulo IV presenta la arquitectura tecnológica propuesta y su proceso de implementación. El Capítulo V expone los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento y el análisis de los datos recopilados. Finalmente, el Capítulo VI recoge las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación, así como posibles líneas de trabajo futuro orientadas a mejorar y ampliar la solución desarrollada.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Ubicación y contextualización del problema

La Playa El Murciélago, ubicada en el cantón Manta, Ecuador, es una de las áreas claves de anidación de tortugas marinas en el litoral ecuatoriano. Este espacio es frecuentado tanto por turistas como por las tortugas que anidan, lo que genera la necesidad de estrategias efectivas para la conservación de los nidos. Factores ambientales como la temperatura y la humedad juegan un papel crucial en el éxito reproductivo de estas especies, ya que influyen directamente en la incubación de los huevos (Gulati et al., 2022).

En los últimos años, la playa El Murciélago ha sido afectada por cambios climáticos y actividades humanas que han modificado su ecosistema. Para conservar la biodiversidad en esta zona, es esencial un monitoreo constante que permita obtener información en tiempo real sobre las condiciones del hábitat de las tortugas. La implementación de una arquitectura IoT (Internet of Things) para monitorear estas variables ambientales en la playa El Murciélago, puede proporcionar datos valiosos que ayuden a proteger los nidos y mejorar la tasa de eclosión (Laha et al., 2022).

1.2. Planteamiento del problema

Las tortugas marinas que anidan en la Playa El Murciélago enfrentan múltiples amenazas que ponen en riesgo la incubación de sus huevos. Las altas temperaturas en la arena, la falta de humedad adecuada y los cambios en la velocidad del viento son algunos de los factores que afectan el desarrollo de los embriones. El aumento de la actividad humana, como el turismo, también contribuye a la alteración de las condiciones naturales de la playa, lo que podría reducir significativamente la tasa de eclosión (Pattanayak et al., 2021).

Aunque existen esfuerzos para proteger a las tortugas marinas, no se cuenta con un sistema eficaz que monitoree de manera continua las condiciones ambientales de los nidos. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una solución IoT que, mediante la tecnología

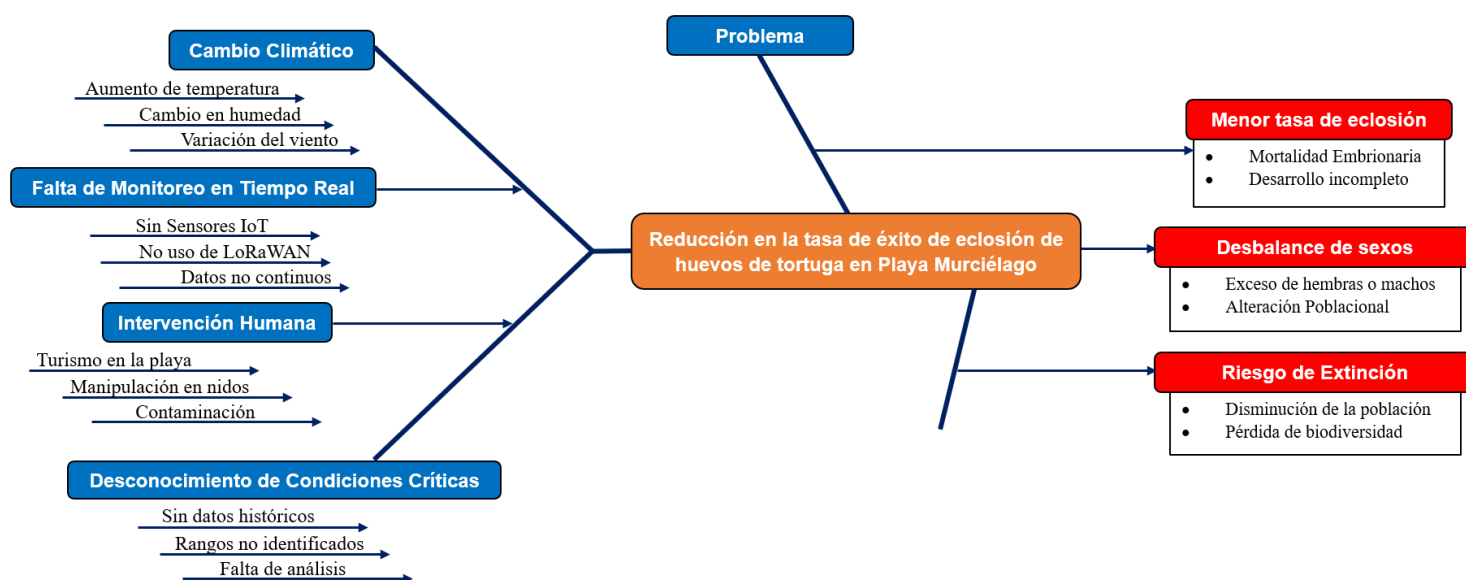
LoRaWAN, capture y transmita datos en tiempo real sobre la temperatura, humedad y velocidad del viento, ayudando a los conservacionistas a tomar decisiones oportunas para mejorar las condiciones de los nidos en la Playa El Murciélago.

1.3. Formulación del problema

¿Cómo puede la implementación de una arquitectura IoT basada en LoRaWAN mejorar la conservación de los nidos de tortugas marinas en la Playa El Murciélago, Manta, mediante el monitoreo en tiempo real de la temperatura, humedad y velocidad del viento?

1.4. Diagrama causa – efecto del problema

Figura 1. *Diagrama de Ishikawa*



La **Figura 1** muestra las causas que influyen en la reducción de la tasa de éxito de eclosión de huevos de tortugas en la Playa El Murciélago. Entre las principales se destacan:

1. **Cambio climático.** Provoca variaciones de temperatura, humedad y viento, afectando directamente las condiciones naturales de incubación de nidos.
2. **La falta de monitoreo en tiempo real.** Impide conocer con precisión el estado de los nidos y dificulta la toma de decisiones oportunas para su conservación.

3. Intervención Humana. El turismo en la playa, la manipulación de los nidos y la contaminación alteran el entorno natural, afectando al desarrollo de los embriones.

4. Desconocimiento de Condiciones Críticas. La falta de datos históricos, la no identificación de rangos óptimos y análisis adecuados, impiden establecer medidas preventivas/correctivas.

Como consecuencia, se evidencia efectos significativos como la disminución en la tasa de eclosión, el desbalance de sexos, el cual es provocado por la influencia de la temperatura en la determinación sexual y por último el riesgo de extinción, reflejada en la reducción progresiva de su población y biodiversidad en el ecosistema.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Desarrollar e implementar una arquitectura IoT basada en LoRaWAN para el monitoreo en tiempo real de la temperatura, humedad y velocidad del viento en nidos de tortugas marinas en la Playa El Murciélago, Manta, con el fin de mejorar las estrategias de conservación.

1.5.2. Objetivo específico

- Diseñar una red de sensores IoT que registre y transmita datos en tiempo real sobre la temperatura de la arena, la humedad del suelo y la velocidad del viento en los nidos de tortugas marinas de la Playa El Murciélago.
- Implementar un sistema basado en LoRaWAN para asegurar la conectividad y transmisión de datos en áreas remotas de la playa.
- Desarrollar una plataforma de visualización en tiempo real que permita acceder y monitorear los datos obtenidos, facilitando la interpretación de los resultados, apoyando la toma de decisiones en las estrategias de conservación.
- Evaluar el impacto del sistema de monitoreo en las estrategias de conservación de las tortugas marinas, realizando un análisis comparativo de las

condiciones de los nidos antes y después de la implementación de la arquitectura IoT.

1.6. Justificación

La Playa El Murciélago, en el cantón Manta, Ecuador, es una zona crítica para la anidación de tortugas marinas, especies que se encuentran en peligro de extinción. Las condiciones ambientales de esta playa, como la temperatura y humedad son determinantes en el éxito del proceso de incubación de los huevos. Sin embargo, la falta de sistemas de monitoreo en tiempo real limita la capacidad de los conservacionistas para tomar medidas inmediatas cuando las condiciones no son óptimas (Arenas & Fabian, 2024).

La implementación de una arquitectura IoT utilizando la tecnología LoRaWAN permitirá el monitoreo continuo y en tiempo real de las variables críticas que afectan la incubación de los huevos. Esta tecnología, al ser de bajo costo y eficiente en el uso de energía, es ideal para monitorear áreas remotas como Playa El Murciélago.

Los datos obtenidos podrán usarse para desarrollar estrategias más efectivas de conservación, contribuyendo directamente a la protección de las tortugas marinas y asegurando la viabilidad de su ciclo reproductivo en esta playa.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte histórico

2.1.1 Historia del Monitoreo Tradicional de Tortugas Marinas

Las tortugas marinas han habitado en los océanos desde hace más de 100 millones de años, en la actualidad cada una de las especies de tortugas reconocidas se encuentran en alguna amenaza según la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) todo esto ocasionado por intervención humana, cambios climáticos, falta de monitoreo, etc (Sánchez-Castillo, 2025).

2.1.2 Monitoreo convencional: Métodos y Limitaciones

A lo largo de la historia el monitorio de tortugas marinas se ha realizado a través de los patrullajes nocturnos en playas de anidación, entre los procesos se encuentra la identificación de las hembras que emergen a desovar, registro biométrico, marcaje individual con tags numéricos, el seguimiento hasta el nido de anidación y registro georreferenciado. El monitoreo manual representa limitaciones que son muy considerables, así como un costo logístico alto si este se realiza en zonas remotas. Además, existe la limitación de no poder realizar un monitoreo continuo y preciso de las condiciones climáticas dentro del nido, como por ejemplo: temperatura, humedad, entre otros, sin incurrir a una intervención invasiva que puede afectar el desarrollo embrionario (Baena Navarro et al., 2025).

2.1.3 Monitoreo en Ecuador

En su protocolo, (MAATE, WildAid, GIZ, 2021) especifican que en los años 90 empezaron a realizarse los primeros monitoreos de registros de anidación de manera más sistemática (no solo por observaciones aleatorias) y a partir del 2007 se estableció el primer proyecto de monitoreo a largo plazo de anidación de tortugas marinas en la costa del Ecuador dirigido por la fundación Equilibrio Azul.

En este protocolo también se establece los lineamientos para el monitoreo, protección de nidos reubicación a viveros y exhumación de nidadas siguiendo metodologías estandarizadas de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT).

2.2 Problemática ambiental: Temperatura, humedad, velocidad del viento

2.2.1 Determinación sexual dependiente de la temperatura

En su artículo (Marc Girondot, 2025) menciona que las tortugas marinas no poseen cromosomas sexuales que sean diferenciados, lo que determina que el sexo de las crías se forma mediante la temperatura que posee el nido de incubación durante el período termosensible, esto ocurre en el tercio medio de la incubación. Cuando la temperatura supera los 29°C se producen la mayoría de las hembras, a diferencia de temperaturas bajas que producen machos. Este mecanismo se conoce como determinación sexual dependiente de temperatura (TSD) y provoca que las poblaciones de tortugas marinas sean vulnerables al calentamiento global.

2.2.2 Humedad en la incubación

Para que el desarrollo de los embriones sea exitoso el sitio de anidación debe proporcionar el rango térmico apropiado, suficiente humedad la cual actúa como regulador térmico del nido mediante el enfriamiento evaporativo del sustrato y mitiga los efectos causados por las altas temperaturas durante la incubación (Lv & Li, 2021).

Un estudio realizado en la isla de Maio en el archipiélago de Cabo Verde, donde se encuentra una de las colonias de tortuga boba más grande del mundo, demostró que el sustrato influye en el éxito de eclosión. La humedad de la arena presentaba cambios entre 1.5% en sustrato mixto y 2.4% en sustrato oscuro, mientras que las temperaturas medias de incubación variaron considerablemente entre los distintos tipos de arena, en arena clara 30.40°C, en arena oscura 32.5°C y en arena mixta 32.38°C. Dando como resultado que las temperaturas en arena clara fueron 2.2°C más frescas que en arena negra, esto presento diferencias en el éxito de eclosión (Menéndez Cedeño & Tenelema Mero, 2025).

2.2.3 Velocidad del viento como variable ambiental

La velocidad del viento representa una de las variables ambientales más relevantes dentro de los ecosistemas costeros utilizados por las tortugas marinas para sus procesos de anidación. Su comportamiento influye directamente sobre las condiciones microclimáticas de la playa, especialmente en aspectos relacionados con la regulación térmica de la arena, la conservación de la humedad y la estabilidad ambiental de los nidos (Jamshed et al., 2022).

En zonas costeras, las corrientes de viento pueden generar procesos de enfriamiento superficial de la arena y alterar los niveles de evaporación de la humedad, factores que inciden indirectamente en el desarrollo embrionario de los huevos. De igual manera, velocidades elevadas de viento pueden ocasionar modificaciones físicas en la superficie de la playa, favoreciendo fenómenos de erosión, desplazamiento de sedimentos y cambios en la estructura del entorno donde se encuentran los nidos (Silvestre et al., 2022).

Diversas investigaciones sobre incubación natural de tortugas marinas han demostrado que las variaciones climáticas asociadas a la dinámica del viento influyen significativamente en el equilibrio térmico de los nidos, particularmente en playas expuestas a cambios meteorológicos constantes. Por esta razón, el monitoreo de la velocidad del viento constituye un elemento complementario importante dentro de los estudios ambientales orientados a comprender los factores que afectan la supervivencia embrionaria y la tasa de eclosión (López Medina & Paste Zambrano, 2025).

2.3 Primeros Sistemas Tecnológicos de Monitoreo de Nidos

El monitoreo tecnológico de nidos de tortugas marinas ha experimentado una importante evolución durante las últimas décadas, impulsada por el avance de las tecnologías electrónicas y los sistemas de adquisición de datos ambientales. En sus primeras etapas, las investigaciones dependían principalmente de mediciones manuales de temperatura y observaciones periódicas realizadas por investigadores y conservacionistas en las playas de anidación (Palacios et al., 2025).

Con el progreso de las tecnologías de monitoreo ambiental, comenzaron a incorporarse dispositivos automatizados capaces de registrar variables ambientales de forma continua y con mayor precisión. Esta transformación permitió mejorar significativamente la calidad de los estudios científicos relacionados con los procesos de incubación, el desarrollo embrionario y las condiciones ecológicas que influyen en la conservación de las tortugas marinas (Tirado Rodríguez, 2025).

En la actualidad, la integración de tecnologías emergentes como sensores IoT, redes de comunicación LoRaWAN, drones térmicos y plataformas de monitoreo remoto ha optimizado la recopilación y transmisión de información en tiempo real. Estas herramientas tecnológicas no solo reducen la necesidad de intervención humana constante, sino que también facilitan el monitoreo de ecosistemas vulnerables, fortaleciendo las estrategias de conservación y permitiendo una gestión ambiental más eficiente y sostenible de las zonas de anidación (Netho et al., 2023).

2.3.1 Data loggers y registradores de temperatura

Los data loggers constituyen una de las primeras herramientas tecnológicas implementadas en el monitoreo ambiental de nidos de tortugas marinas. Estos dispositivos electrónicos fueron diseñados para registrar variables ambientales, principalmente temperatura y humedad, durante períodos prolongados de tiempo mediante sensores integrados y sistemas internos de almacenamiento de datos (Olivera-Ruiz & Vega-Ventocilla, 2026).

La incorporación de estos equipos en estudios de incubación permitió obtener mediciones más precisas sobre las condiciones térmicas presentes dentro de los nidos, contribuyendo significativamente al desarrollo de investigaciones relacionadas con el crecimiento embrionario, las tasas de eclosión y la determinación sexual dependiente de la temperatura, fenómeno característico en diversas especies de tortugas marinas (Kopetz & Steiner, 2022).

No obstante, pese a los beneficios aportados por esta tecnología, los data loggers presentan ciertas limitaciones operativas. Entre las principales se encuentra la necesidad de recuperar físicamente los dispositivos para acceder a la información almacenada, lo que dificulta la supervisión continua y limita la posibilidad de realizar monitoreo en tiempo real. Esta situación puede retrasar la toma de decisiones ante cambios ambientales críticos o eventos que representen riesgos para los nidos (Hassan, 2025).

Como consecuencia de estas restricciones, los sistemas tradicionales basados únicamente en registradores de datos evolucionaron hacia soluciones tecnológicas más avanzadas fundamentadas en arquitecturas IoT, las cuales permiten la transmisión automática de información mediante redes inalámbricas, facilitando el monitoreo remoto y la gestión ambiental en tiempo real (Samizadeh Nikoui et al., 2021).

2.3.2 TurtleSense: sensor de acelerómetro y temperatura (2022)

TurtleSense es una tecnología desarrollada para el monitoreo automatizado e inteligente de nidos de tortugas marinas mediante el uso de sensores térmicos y acelerómetros. Su implementación tiene como finalidad supervisar las condiciones ambientales del nido y detectar, en tiempo real, los movimientos asociados al proceso de nacimiento y emergencia de las crías (Salam, 2024).

El sistema funciona a través de sensores especializados capaces de registrar vibraciones, desplazamientos y variaciones de movimiento generadas durante la etapa de eclosión. Gracias a esta capacidad, es posible estimar con mayor precisión el momento en que las tortugas comienzan a emerger del nido, optimizando las actividades de seguimiento y conservación. Adicionalmente, la integración de sensores de temperatura permite analizar el comportamiento térmico del nido a lo largo del período de incubación, proporcionando información relevante sobre las condiciones ambientales que influyen en el desarrollo embrionario (Sadhu et al., 2022).

Una de las principales ventajas de esta tecnología radica en la disminución de intervenciones manuales sobre los nidos, reduciendo excavaciones innecesarias y minimizando la perturbación humana en ecosistemas sensibles. Esto contribuye significativamente al fortalecimiento de las estrategias de conservación, protección y manejo sostenible de las especies de tortugas marinas (Coulby et al., 2021).

2.3.3 Monitoreo con drones termales (2022–2024)

Durante los últimos años, los drones equipados con cámaras térmicas se han convertido en una herramienta tecnológica de gran relevancia dentro de las investigaciones ambientales orientadas al monitoreo de tortugas marinas y la conservación de ecosistemas costeros. La incorporación de esta tecnología ha permitido mejorar significativamente los procesos de observación y análisis en zonas de anidación (Baena Navarro et al., 2025).

La termografía aplicada mediante drones permite detectar variaciones de temperatura en la superficie de la arena, facilitando la identificación de posibles áreas de anidación sin necesidad de realizar intervenciones invasivas sobre los nidos. Gracias a esta capacidad, los investigadores pueden analizar amplias extensiones de playa en períodos reducidos de tiempo, optimizando las labores de monitoreo y reduciendo el impacto humano sobre ecosistemas sensibles (Jamshed et al., 2022).

Adicionalmente, los drones térmicos contribuyen al análisis de diferentes factores ambientales que pueden influir en el desarrollo embrionario de las tortugas marinas, entre ellos procesos de erosión costera, alteraciones ocasionadas por la actividad humana, cambios climáticos y fluctuaciones térmicas presentes en las playas de anidación (Silvestre et al., 2022).

No obstante, aunque esta tecnología ofrece elevados niveles de precisión, cobertura y eficiencia operativa, su implementación también presenta ciertas limitaciones. Entre las principales se encuentran los altos costos asociados a la adquisición y mantenimiento de los equipos, la autonomía limitada de vuelo y la complejidad técnica requerida para el procesamiento e interpretación de imágenes térmicas (López Medina & Paste Zambrano, 2025).

2.4 Evolución hacia IoT y LoRaWAN en Conservación de Fauna

El avance del Internet of Things ha generado una transformación significativa en las estrategias modernas de monitoreo ambiental y conservación de fauna silvestre. La integración de sensores inteligentes conectados mediante redes inalámbricas permite recopilar, transmitir y analizar información en tiempo real sobre variables ambientales, comportamiento animal y condiciones ecológicas presentes en ecosistemas naturales, incluso en zonas remotas y de difícil acceso (Sandoval-Ramírez et al., 2021a).

En este contexto, las tecnologías de comunicación LPWAN, especialmente LoRaWAN, han adquirido una gran importancia debido a su capacidad para transmitir datos a largas distancias utilizando un consumo energético reducido. Estas características convierten a LoRaWAN en una alternativa eficiente y sostenible para proyectos de monitoreo ambiental, donde los dispositivos requieren operar durante largos períodos sin necesidad de mantenimiento constante o infraestructura compleja (Gutiérrez Zambrano & Vélez Molina, 2023).

La evolución hacia arquitecturas basadas en IoT ha permitido modernizar los procesos de conservación ambiental mediante la automatización de la recolección de datos, la supervisión continua de variables ecológicas y la integración de plataformas digitales de análisis y visualización en tiempo real. Como resultado, estas tecnologías facilitan una toma de decisiones más rápida y precisa, fortaleciendo las estrategias de protección y manejo sostenible de los ecosistemas y especies silvestres (Palacios et al., 2025).

2.4.1 El Internet de las Cosas (IoT) aplicado al monitoreo ambiental

El Internet of Things, conocido como Internet de las Cosas, se basa en la interconexión de dispositivos físicos inteligentes capaces de recopilar, procesar y transmitir información a través de redes de comunicación. Esta tecnología ha revolucionado múltiples áreas del conocimiento, especialmente el ámbito ambiental, donde ha permitido el desarrollo de sistemas automatizados para el monitoreo climático, la evaluación de la calidad del aire, el seguimiento de la biodiversidad y la conservación de ecosistemas naturales (Mora et al., 2021).

Los sistemas IoT integran sensores inteligentes que pueden registrar de manera continua diferentes variables ambientales, entre ellas temperatura, humedad, velocidad del viento, radiación solar y niveles de contaminación. La información obtenida es transmitida en tiempo real hacia plataformas digitales de análisis, facilitando una supervisión ambiental más eficiente, precisa y constante (Ríos-Huerta et al., 2021).

La incorporación de tecnologías IoT en proyectos de conservación ambiental representa una importante ventaja operativa y científica, ya que permite disminuir costos asociados al monitoreo tradicional, reducir la intervención humana directa sobre ecosistemas sensibles y mejorar la precisión en la recopilación y análisis de datos. Como resultado, estas herramientas tecnológicas fortalecen las investigaciones relacionadas con fauna silvestre, dinámica ecológica y gestión sostenible de los recursos naturales (Tirado Rodríguez, 2025).

2.4.2 Tecnología LoRaWAN: fundamentos y ventajas para entornos remotos

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) es un protocolo de comunicación inalámbrica desarrollado para aplicaciones basadas en el Internet of Things que requieren transmisión de datos a largas distancias utilizando un consumo energético reducido. Esta tecnología forma parte de las redes LPWAN (Low Power Wide Area Network), diseñadas específicamente para conectar dispositivos y sensores inteligentes que operan durante largos períodos de tiempo con baterías de bajo consumo (Netho et al., 2023).

LoRaWAN se caracteriza por ofrecer una combinación eficiente entre cobertura, estabilidad de comunicación y ahorro energético, permitiendo la transmisión de información incluso en entornos rurales, ecosistemas remotos y zonas con infraestructura tecnológica limitada. Gracias a estas capacidades, se ha convertido en una de las tecnologías más utilizadas dentro de proyectos de monitoreo ambiental, agricultura inteligente, ciudades inteligentes y conservación de fauna silvestre (Olivera-Ruiz & Vega-Ventocilla, 2026).

Una de las principales ventajas de esta tecnología radica en su bajo consumo de energía, ya que los dispositivos conectados pueden funcionar durante meses o incluso años sin necesidad de reemplazar baterías constantemente. Asimismo, LoRaWAN posee un amplio alcance de transmisión, permitiendo comunicar sensores ubicados a varios kilómetros de distancia mediante gateways o estaciones receptoras (Hassan, 2025).

Otra característica importante es su escalabilidad, debido a que una misma red puede soportar la conexión simultánea de una gran cantidad de dispositivos IoT sin afectar significativamente el rendimiento del sistema. Además, sus costos de implementación y mantenimiento suelen ser inferiores en comparación con otras tecnologías de comunicación inalámbrica, lo que facilita su adopción en proyectos científicos y ambientales de gran cobertura territorial (Samizadeh Nikoui et al., 2021).

La alta capacidad de conexión de dispositivos también permite integrar múltiples sensores encargados de medir variables ambientales como temperatura, humedad, velocidad del viento, presión atmosférica y radiación solar, generando información continua y automatizada para plataformas de análisis en tiempo real (Salam, 2024).

2.4.3 LoRaWAN aplicado a la conservación de tortugas marinas

LoRaWAN ha comenzado a desempeñar un papel importante dentro de los proyectos tecnológicos orientados a la conservación de fauna marina y monitoreo de ecosistemas costeros. Su capacidad para transmitir información a largas distancias mediante redes inalámbricas de bajo consumo energético la convierte en una alternativa eficiente para el monitoreo ambiental en zonas alejadas, donde la infraestructura de comunicación tradicional suele ser limitada o inexistente (Sadhu et al., 2022).

En el ámbito de la conservación de tortugas marinas, esta tecnología permite integrar sensores inteligentes capaces de recopilar variables ambientales como temperatura, humedad, vibraciones, movimiento y condiciones climáticas alrededor de los nidos. Los datos obtenidos son enviados automáticamente hacia gateways o estaciones receptoras, desde donde pueden ser

almacenados y analizados en servidores o plataformas digitales de monitoreo centralizado (Coulby et al., 2021).

La implementación de LoRaWAN en este tipo de investigaciones facilita el monitoreo remoto y continuo de las condiciones ambientales presentes en las playas de anidación, permitiendo detectar cambios relevantes en tiempo real y generar alertas automáticas ante posibles alteraciones que puedan afectar el desarrollo embrionario o la estabilidad del ecosistema. Esto representa una importante ventaja para investigadores y conservacionistas, ya que mejora la capacidad de supervisión y respuesta frente a eventos ambientales críticos (Adepu, 2022).

Además, el uso de esta tecnología contribuye significativamente a disminuir la necesidad de visitas constantes a los sitios de anidación, reduciendo la perturbación humana sobre áreas protegidas y minimizando riesgos asociados a manipulación directa de los nidos. De esta manera, se favorece una conservación más sostenible y menos invasiva de las especies marinas (Cuevas et al., 2023).

Otro aspecto relevante de LoRaWAN es su capacidad de operar durante largos períodos de tiempo con un consumo energético reducido, lo que permite mantener sensores activos de forma autónoma en ecosistemas remotos. Esta característica resulta especialmente útil en proyectos de conservación ambiental donde el acceso frecuente a los dispositivos puede ser complejo debido a condiciones geográficas o climáticas (Hidalgo Sevillano, 2025).

2.5 Estado del Arte: Sistemas IoT para Monitoreo de Nidos de Tortugas

El desarrollo de sistemas basados en Internet of Things orientados a la conservación de tortugas marinas ha experimentado un crecimiento significativo durante los últimos años, impulsado por la necesidad de implementar soluciones tecnológicas más eficientes para el monitoreo ambiental y la protección de ecosistemas costeros. Este avance responde a la creciente preocupación científica y ambiental por la disminución de diversas especies marinas y

por los efectos del cambio climático, la contaminación y la intervención humana sobre las zonas de anidación (Ramani et al., 2025).

En este contexto, múltiples investigaciones internacionales han comenzado a integrar sensores inteligentes, plataformas de monitoreo remoto, dispositivos automatizados y protocolos de comunicación inalámbrica de largo alcance con el objetivo de supervisar de manera continua las condiciones ambientales presentes en los nidos de tortugas marinas. Estas tecnologías permiten recopilar información en tiempo real sobre variables críticas como temperatura, humedad, movimiento, radiación solar y velocidad del viento, factores que influyen directamente en el desarrollo embrionario y la tasa de supervivencia de las crías (Mustapha et al., 2021).

La incorporación de arquitecturas IoT dentro de proyectos de conservación ha permitido mejorar considerablemente la precisión y continuidad del monitoreo ecológico, reduciendo la dependencia de registros manuales y observaciones periódicas realizadas por investigadores. Asimismo, la automatización en la captura y transmisión de datos facilita una supervisión más eficiente de ecosistemas remotos, especialmente en playas de difícil acceso o con limitaciones de infraestructura tecnológica (Jiménez Jiménez, 2023).

Además, muchas de estas investigaciones han implementado tecnologías de comunicación LPWAN, como LoRaWAN, debido a su capacidad para transmitir información a largas distancias utilizando un bajo consumo energético. Gracias a ello, los sensores pueden operar durante extensos períodos de tiempo de manera autónoma, enviando información hacia plataformas digitales de análisis y visualización en tiempo real (Greengard, 2021).

Otro aspecto importante del uso de sistemas IoT en conservación ambiental es la posibilidad de generar alertas automáticas frente a cambios críticos en las condiciones del entorno, permitiendo a investigadores y organismos de conservación actuar de manera más rápida y precisa ante posibles amenazas para los nidos o ecosistemas protegidos (Sindhvani et al., 2022).

2.5.1 Sistema IoT en tiempo real con LoRa — Isla Tengah, Malasia (2025)

En Isla Tengah se desarrolló un sistema tecnológico basado en Internet of Things y comunicación LoRa con el propósito de fortalecer el monitoreo ambiental de nidos de tortugas marinas en tiempo real. Este proyecto fue implementado como parte de las estrategias de conservación orientadas a mejorar la supervisión de las condiciones ambientales presentes en las playas de anidación y optimizar los procesos de investigación ecológica (Lupi et al., 2024).

El sistema integró sensores inteligentes encargados de medir variables críticas como temperatura y humedad dentro de los nidos, permitiendo recopilar información continua durante todo el período de incubación. Los datos obtenidos eran transmitidos automáticamente mediante tecnología LoRa hacia plataformas de monitoreo remoto, donde podían ser visualizados y analizados en tiempo real por investigadores y conservacionistas (Azanza Ricardo et al., 2023).

Gracias a esta infraestructura tecnológica, fue posible detectar de manera temprana variaciones ambientales que podrían afectar el desarrollo embrionario de las tortugas marinas, incluyendo cambios térmicos extremos, alteraciones de humedad y condiciones desfavorables para la incubación. Esto permitió mejorar la capacidad de respuesta ante posibles riesgos ambientales y fortalecer las estrategias de protección de los nidos (Ricardo et al., 2021).

Otro aspecto relevante del sistema fue la reducción de la necesidad de visitas constantes a las zonas de anidación, minimizando la intervención humana directa sobre ecosistemas sensibles y disminuyendo las perturbaciones ocasionadas en las playas. Además, el uso de comunicación LoRa facilitó la transmisión de información desde áreas remotas con limitada infraestructura tecnológica, demostrando la viabilidad de estas soluciones en entornos naturales de difícil acceso (Suárez Vega, 2025).

Los investigadores concluyeron que la integración de sensores IoT y tecnologías de comunicación inalámbrica de largo alcance mejora significativamente la eficiencia del monitoreo ambiental en playas remotas, proporcionando información precisa, automatizada y en

tiempo real para apoyar las labores de conservación de tortugas marinas y la gestión sostenible de los ecosistemas costeros (Contreras-Mérida & Morales-Mérida, 2021).

2.5.2 Rastreadores LoRa GNSS de bajo costo para fauna silvestre (2025)

Investigaciones recientes relacionadas con sistemas de rastreo GNSS integrados con LoRaWAN han demostrado el gran potencial de estas tecnologías para el monitoreo de fauna silvestre y ecosistemas naturales. La combinación entre sistemas de posicionamiento geográfico y redes inalámbricas de bajo consumo energético ha permitido desarrollar dispositivos capaces de recopilar y transmitir información ambiental y de localización de manera eficiente, incluso en zonas remotas y de difícil acceso (Pinargote Solórzano, 2025).

Estos rastreadores inteligentes utilizan tecnologías GNSS (Global Navigation Satellite System) para obtener coordenadas geográficas precisas sobre la ubicación de especies animales o puntos de monitoreo ambiental. Posteriormente, la información recopilada es transmitida mediante redes LoRaWAN hacia estaciones receptoras o plataformas de monitoreo remoto, permitiendo supervisar datos en tiempo real sin necesidad de infraestructura de comunicación compleja (Pacheco Pinargote, 2022).

Diversos estudios aplicados a ecosistemas protegidos evidenciaron que estos sistemas poseen una elevada eficiencia en la transmisión de datos, destacándose por su estabilidad operativa, bajo consumo energético y capacidad de cobertura a largas distancias. Gracias a estas características, los dispositivos pueden permanecer activos durante extensos períodos de tiempo utilizando baterías de bajo consumo, lo que resulta especialmente beneficioso para investigaciones ambientales desarrolladas en áreas naturales alejadas (Gutiérrez et al., 2022).

Además, la implementación de rastreadores GNSS basados en LoRaWAN ha permitido mejorar significativamente las estrategias de monitoreo ecológico, facilitando la recopilación continua de información geográfica, climática y ambiental relacionada con el comportamiento de especies silvestres y las condiciones de sus hábitats naturales (Sandoval-Ramírez et al., 2021b).

Otro aspecto importante identificado en estas investigaciones es la reducción de costos operativos en comparación con tecnologías tradicionales de monitoreo satelital o sistemas de comunicación de mayor consumo energético. Esto convierte a LoRaWAN en una alternativa tecnológica sostenible y accesible para proyectos científicos orientados a la conservación ambiental y protección de la biodiversidad (Portillo Godoy et al., 2022).

2.5.3 IoT satelital y LoRaWAN combinados para conservación (2024)

La integración de tecnologías de Internet of Things satelital con redes LoRaWAN ha permitido el desarrollo de sistemas híbridos de monitoreo ambiental capaces de operar eficientemente en ecosistemas donde no existe infraestructura convencional de conectividad. Esta combinación tecnológica representa una solución innovadora para proyectos de conservación desarrollados en áreas remotas, rurales o de difícil acceso, donde las redes tradicionales de comunicación presentan limitaciones operativas (Gispert & Vivanco, 2025).

Los sistemas híbridos funcionan mediante la integración de sensores ambientales inteligentes, gateways LoRa y plataformas de comunicación satelital que permiten recopilar y transmitir información en tiempo real hacia centros de monitoreo, servidores de análisis y plataformas digitales de visualización. Los sensores instalados en el entorno natural registran variables ambientales como temperatura, humedad, velocidad del viento, radiación solar y movimiento, mientras que las redes LoRaWAN se encargan de transmitir los datos a largas distancias utilizando un bajo consumo energético (Medel, 2024).

Posteriormente, la conectividad satelital permite enviar la información recopilada desde zonas sin cobertura celular o acceso a internet hacia centros de procesamiento remoto, garantizando la continuidad del monitoreo ambiental incluso en ecosistemas altamente aislados. Gracias a esta arquitectura tecnológica, los investigadores y organismos de conservación pueden acceder a información actualizada y realizar análisis en tiempo real sobre las condiciones ecológicas presentes en las áreas monitoreadas (Esquivel Pineda, 2024).

Diversas investigaciones han evidenciado que la combinación entre IoT satelital y LoRaWAN mejora significativamente la cobertura territorial, la disponibilidad de información y la capacidad de supervisión ambiental en proyectos de conservación ecológica. Además, estos sistemas permiten automatizar la recopilación de datos, reducir la necesidad de intervención humana constante y optimizar los procesos de vigilancia ambiental en ecosistemas vulnerables (Castro Lizarbe, 2023).

2.5.4 Sistema inteligente de monitoreo térmico para incubación de tortugas marinas mediante sensores inalámbricos (2023)

En una investigación desarrollada en playas de conservación ubicadas en el sudeste asiático, se implementó un sistema inteligente de monitoreo térmico basado en sensores inalámbricos y tecnologías Internet of Things con el objetivo de supervisar las condiciones de incubación de huevos de tortugas marinas en tiempo real. Este proyecto buscó mejorar las estrategias de conservación mediante el uso de herramientas tecnológicas capaces de automatizar la recopilación y transmisión de información ambiental en ecosistemas costeros (Gulati et al., 2022).

El sistema integró sensores especializados encargados de registrar continuamente variables críticas como temperatura y humedad dentro y alrededor de los nidos. La información recopilada era enviada automáticamente hacia plataformas IoT de monitoreo remoto, permitiendo a los investigadores visualizar y analizar los datos de manera inmediata desde centros de supervisión ambiental (Laha et al., 2022).

Uno de los aspectos más relevantes del sistema fue la capacidad de generar alertas automáticas cuando las condiciones ambientales superaban los rangos considerados adecuados para el desarrollo embrionario de las tortugas marinas. Gracias a ello, los investigadores podían detectar rápidamente cambios térmicos extremos, alteraciones de humedad o posibles riesgos ambientales que pudieran afectar la supervivencia de los embriones (Pattanayak et al., 2021).

Los resultados obtenidos evidenciaron que la automatización del monitoreo ambiental permitió reducir considerablemente la necesidad de inspecciones manuales frecuentes en las playas de anidación. Esto contribuyó no solo a disminuir la intervención humana sobre ecosistemas sensibles, sino también a optimizar el tiempo y los recursos utilizados en las labores de conservación (Arenas & Fabian, 2024).

Asimismo, los investigadores concluyeron que la incorporación de sensores inteligentes y plataformas IoT mejoró significativamente la capacidad de respuesta frente a cambios ambientales extremos, facilitando una supervisión más precisa, continua y eficiente de las condiciones presentes en los nidos (Sánchez-Castillo, 2025).

2.5.5 Plataforma IoT basada en ESP32 para monitoreo ambiental costero (2024)

En un estudio desarrollado en ecosistemas costeros, se implementó una arquitectura tecnológica basada en Internet of Things utilizando microcontroladores ESP32 y sensores ambientales inteligentes con el propósito de supervisar variables climáticas relacionadas con temperatura, humedad y velocidad del viento. La investigación tuvo como objetivo desarrollar un sistema automatizado capaz de recopilar información ambiental de manera continua y transmitirla en tiempo real para apoyar estudios ecológicos y estrategias de conservación (Lv & Li, 2021).

La arquitectura del sistema integró diversos sensores encargados de medir las condiciones atmosféricas presentes en el entorno costero. Los datos obtenidos eran procesados por el microcontrolador ESP32, el cual actuaba como unidad central de adquisición y transmisión de información. Posteriormente, mediante comunicación inalámbrica, los registros ambientales eran enviados hacia una plataforma web diseñada para el monitoreo remoto y visualización de datos en tiempo real (Menéndez Cedeño & Tenelema Mero, 2025).

La aplicación web permitía observar estadísticas ambientales actualizadas, gráficos dinámicos y reportes automatizados relacionados con el comportamiento climático del

ecosistema monitoreado. Gracias a esta funcionalidad, los investigadores podían realizar análisis ecológicos más precisos, identificar variaciones ambientales y supervisar continuamente las condiciones presentes en las zonas de estudio sin necesidad de visitas permanentes al sitio (Baena Navarro et al., 2025).

Uno de los aspectos más destacados de la investigación fue la estabilidad de comunicación obtenida durante largos períodos de funcionamiento. Los resultados demostraron que la arquitectura IoT mantenía una transmisión eficiente y constante de los datos ambientales, incluso en condiciones climáticas variables y entornos costeros con limitada infraestructura tecnológica (Jamshed et al., 2022).

Además, el sistema evidenció un bajo consumo energético, característica fundamental en proyectos de monitoreo ambiental remoto donde los dispositivos deben operar de manera autónoma durante extensos períodos de tiempo. Esta eficiencia energética permitió optimizar el uso de baterías y reducir los requerimientos de mantenimiento de los equipos instalados en campo (Medel;, 2024).

Los investigadores concluyeron que la integración de microcontroladores ESP32, sensores inteligentes y plataformas IoT representa una solución tecnológica eficiente, escalable y sostenible para el monitoreo ambiental en ecosistemas costeros. Asimismo, destacaron que este tipo de arquitecturas facilita la automatización de procesos de supervisión ecológica, mejora la disponibilidad de información en tiempo real y fortalece las estrategias de investigación y conservación ambiental (Silvestre et al., 2022).

2.5.6 Sistema de monitoreo remoto mediante sensores IoT y energía solar para conservación ambiental (2024)

Diversos investigadores desarrollaron un sistema autónomo de monitoreo ambiental orientado a proyectos de conservación ecológica en zonas remotas, utilizando tecnologías basadas en Internet of Things y fuentes de energía renovable. El objetivo principal de la investigación fue diseñar una infraestructura tecnológica capaz de operar de manera continua en

ecosistemas naturales con acceso limitado a redes eléctricas convencionales (Gispert & Vivanco, 2025).

El sistema implementado integró paneles solares como fuente principal de alimentación energética, permitiendo garantizar el funcionamiento autónomo de sensores ambientales y dispositivos de comunicación instalados en campo. Esta característica resultó fundamental para mantener la operatividad del sistema durante largos períodos de tiempo sin necesidad de intervención humana constante o reemplazo frecuente de baterías (López Medina & Paste Zambrano, 2025).

La arquitectura tecnológica incluyó sensores inteligentes encargados de medir variables ambientales como temperatura, humedad y presión atmosférica, factores fundamentales para el análisis climático y ecológico de las áreas monitoreadas. Los datos recopilados eran transmitidos mediante redes inalámbricas LPWAN, especialmente diseñadas para comunicaciones de largo alcance y bajo consumo energético (Sandoval-Ramírez et al., 2021a).

Gracias a la utilización de estas tecnologías de comunicación, el sistema logró mantener una transmisión estable y eficiente de información desde zonas naturales alejadas hacia plataformas de monitoreo remoto y análisis ambiental. Esto permitió a los investigadores supervisar continuamente las condiciones ecológicas presentes en los ecosistemas estudiados y acceder a información en tiempo real para apoyar procesos de investigación y conservación (Gutiérrez Zambrano & Vélez Molina, 2023).

Los resultados de la investigación demostraron que la combinación entre energía solar, sensores IoT y tecnologías LPWAN constituye una solución eficiente y sostenible para proyectos de monitoreo ambiental desarrollados en áreas con infraestructura limitada o ausencia de suministro eléctrico convencional. Además, el sistema evidenció un bajo consumo energético y una elevada autonomía operativa, características esenciales para aplicaciones ecológicas en entornos remotos (Portillo Godoy et al., 2022).

2.5.7 Arquitectura IoT para monitoreo climático en ecosistemas protegidos (2023)

Diversas investigaciones desarrolladas en ecosistemas protegidos han incorporado arquitecturas basadas en Internet of Things con el propósito de supervisar variables ambientales en tiempo real mediante el uso de sensores inteligentes y gateways de comunicación inalámbrica. Estas iniciativas tecnológicas han surgido como respuesta a la necesidad de implementar sistemas de monitoreo más precisos, automatizados y eficientes para fortalecer las estrategias de conservación de la biodiversidad y gestión sostenible de los recursos naturales (Sandoval-Ramírez et al., 2021a).

Los sistemas implementados integraron sensores especializados capaces de medir diferentes variables climáticas y ecológicas, entre ellas temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad del viento, radiación solar y calidad del aire. La información recopilada era transmitida automáticamente hacia plataformas digitales de análisis mediante gateways de comunicación, permitiendo la supervisión remota y continua de las condiciones ambientales presentes en los ecosistemas monitoreados (Palacios et al., 2025).

Gracias a estas arquitecturas IoT, los investigadores pudieron analizar patrones climáticos, identificar variaciones ambientales y detectar cambios bruscos de temperatura que podrían representar riesgos para la estabilidad ecológica de las áreas protegidas. Asimismo, la recopilación continua de información permitió evaluar fenómenos asociados al cambio climático, incluyendo alteraciones en las condiciones atmosféricas, modificaciones en los niveles de humedad y posibles impactos sobre especies de fauna y flora silvestre (Mora et al., 2021).

Otro aspecto relevante de estas investigaciones fue la capacidad de los sistemas IoT para generar alertas automáticas frente a eventos ambientales críticos, facilitando una respuesta más rápida por parte de investigadores y organismos encargados de la conservación ambiental. Además, la automatización del monitoreo redujo considerablemente la necesidad de

inspecciones manuales frecuentes, disminuyendo la intervención humana sobre ecosistemas sensibles y optimizando el uso de recursos operativos (Ríos-Huerta et al., 2021).

2.5.8 Monitoreo ambiental con sensores LoRaWAN en playas de anidación (2024)

En un proyecto enfocado en el monitoreo ambiental de playas de anidación, se implementó una red basada en LoRaWAN con el objetivo de transmitir información ecológica desde múltiples sensores distribuidos estratégicamente en zonas costeras. Esta iniciativa tecnológica buscó fortalecer los procesos de supervisión ambiental y mejorar la recopilación de datos relacionados con las condiciones presentes en ecosistemas utilizados por especies marinas durante sus procesos de incubación y reproducción (Esquivel Pineda, 2024).

La arquitectura del sistema integró sensores inteligentes encargados de medir variables ambientales críticas como temperatura superficial de la arena, humedad y velocidad del viento. Los dispositivos instalados en distintos puntos de la playa recopilaban información de manera continua y la transmitían mediante la red LoRaWAN hacia estaciones receptoras o plataformas de monitoreo remoto, permitiendo visualizar y analizar los datos en tiempo real (Ricardo et al., 2021).

Gracias a esta infraestructura tecnológica, los investigadores lograron realizar un análisis más detallado de las condiciones ambientales presentes en las áreas de incubación, identificando variaciones climáticas y patrones ecológicos que podrían influir en el desarrollo embrionario y la supervivencia de las especies marinas. Asimismo, el sistema permitió supervisar continuamente el comportamiento ambiental de las playas sin necesidad de realizar inspecciones manuales constantes (Pinargote Solórzano, 2025).

Uno de los principales beneficios identificados durante la investigación fue la capacidad de LoRaWAN para mantener una comunicación estable y eficiente en extensas áreas costeras, incluso en zonas con limitada infraestructura tecnológica o difícil acceso. Además, el bajo consumo energético de los sensores permitió que los dispositivos operaran de manera autónoma

durante largos periodos de tiempo, reduciendo costos de mantenimiento y optimizando la sostenibilidad operativa del sistema (Netho et al., 2023).

2.5.9 Sistema IoT de análisis ambiental mediante dashboards web en tiempo real (2025)

Investigaciones recientes han desarrollado plataformas basadas en Internet of Things integradas con dashboards web para fortalecer el monitoreo ambiental de ecosistemas vulnerables y áreas de conservación ecológica. Estas soluciones tecnológicas fueron diseñadas con el propósito de optimizar la recopilación, visualización y análisis de información ambiental obtenida mediante sensores inteligentes distribuidos estratégicamente en campo (Kopetz & Steiner, 2022).

Las plataformas implementadas permitieron supervisar variables climáticas en tiempo real, incluyendo temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad del viento y otros indicadores ambientales relevantes para el estudio de ecosistemas naturales. Los datos recopilados por los sensores eran transmitidos automáticamente hacia servidores centrales, donde podían ser procesados y visualizados mediante interfaces web dinámicas y accesibles para investigadores y organismos de conservación (Hassan, 2025).

Uno de los aspectos más importantes del sistema fue la capacidad de visualizar tanto datos históricos como información en tiempo real a través de dashboards interactivos. Estas plataformas incorporaban gráficas automáticas, indicadores estadísticos y paneles de monitoreo que facilitaban la interpretación del comportamiento ambiental y el análisis de tendencias climáticas en los ecosistemas monitoreados (Samizadeh Nikoui et al., 2021).

Asimismo, el sistema integró mecanismos de generación automática de alertas ambientales capaces de notificar cambios críticos en las condiciones ecológicas, permitiendo una respuesta más rápida frente a eventos que pudieran representar riesgos para la biodiversidad o la estabilidad del ecosistema (Salam, 2024).

Para el almacenamiento y gestión de la información, las investigaciones utilizaron PostgreSQL como base de datos principal, permitiendo organizar grandes volúmenes de información ambiental de manera eficiente y segura. Esto facilitó la realización de análisis posteriores, estudios comparativos y procesos de minería de datos relacionados con comportamiento climático y conservación ecológica (Sadhu et al., 2022).

2.5.10 Redes LPWAN aplicadas al monitoreo de fauna silvestre y ecosistemas costeros (2024)

Un estudio centrado en redes LPWAN analizó la implementación de tecnologías LoRa y LoRaWAN aplicadas al monitoreo de fauna silvestre y ecosistemas costeros ubicados en áreas protegidas. La investigación tuvo como objetivo evaluar el desempeño, alcance y eficiencia de estas tecnologías dentro de proyectos de conservación ambiental desarrollados en entornos naturales de difícil acceso y con infraestructura de comunicación limitada (Castro Lizarbe, 2023).

Durante el estudio, se implementaron sensores inteligentes capaces de recopilar información ambiental y biológica relacionada con variables climáticas, comportamiento ecológico y condiciones presentes en los ecosistemas monitoreados. Los dispositivos utilizados transmitían los datos mediante redes LoRa y LoRaWAN hacia estaciones receptoras y plataformas de monitoreo remoto, permitiendo una supervisión continua y automatizada de las áreas protegidas (Coulby et al., 2021).

Los resultados demostraron que estas redes inalámbricas poseen una alta capacidad para transmitir información a largas distancias utilizando dispositivos de bajo costo y reducido consumo energético. Gracias a estas características, los sensores podían operar durante largos períodos de tiempo utilizando baterías de bajo consumo, lo que representa una ventaja importante para proyectos ambientales implementados en zonas remotas donde el acceso a energía eléctrica y mantenimiento constante es limitado (Adepu, 2022).

Asimismo, la investigación evidenció que la combinación entre sensores IoT y tecnologías LPWAN optimiza significativamente la eficiencia operativa de los sistemas de monitoreo ecológico. La automatización en la recopilación y transmisión de datos permitió reducir la necesidad de inspecciones manuales frecuentes, disminuyendo la intervención humana sobre ecosistemas sensibles y mejorando la continuidad del monitoreo ambiental (Cuevas et al., 2023).

Otro aspecto relevante identificado en el estudio fue la estabilidad de comunicación ofrecida por las redes LoRaWAN en ambientes costeros y áreas protegidas, incluso bajo condiciones climáticas variables. Esto facilitó la obtención de información ambiental más precisa y continua para apoyar investigaciones científicas y procesos de conservación de la biodiversidad (Hidalgo Sevillano, 2025).

Tabla 1. Comparación de investigaciones relacionadas con sistemas IoT para monitoreo ambiental y conservación de tortugas marinas

Autor / Año	Caso de estudio	Tecnologías implementadas	Variables monitoreadas	Principales resultados	Relación con la presente investigación
Isla Tengah (2025)	Sistema IoT en tiempo real para monitoreo de nidos de tortugas marinas	IoT, LoRa, sensores ambientales, plataforma web	Temperatura y humedad	Supervisión continua de las condiciones de incubación en tiempo real	Demuestra la viabilidad de LoRa para el monitoreo remoto de nidos
GNSS LoRa (2025)	Rastreo de fauna silvestre mediante dispositivos inteligentes	GNSS, LoRaWAN, sensores de ubicación	Posición geográfica y movimiento	Seguimiento eficiente de especies en áreas extensas	Evidencia la capacidad de LoRaWAN para transmitir datos a larga distancia

IoT Satelital (2024)	Conservación ambiental en zonas remotas	IoT, LoRaWAN, comunicación satelital	Temperatura, humedad y viento	Cobertura de monitoreo en áreas sin conectividad convencional	Respalda el uso de tecnologías LPWAN en ecosistemas aislados
Sistema Térmico Inteligente (2023)	Monitoreo de incubación de tortugas marinas	Sensores inalámbricos, IoT, alertas automáticas	Temperatura y humedad	Generación de alertas ante condiciones críticas de incubación	Sirve como referencia para la supervisión ambiental automatizada
ESP32 Ambiental Costero (2024)	Plataforma IoT para monitoreo climático costero	ESP32, sensores ambientales, plataforma web	Temperatura, humedad y velocidad del viento	Visualización de datos mediante dashboard en tiempo real	Similar a la arquitectura propuesta en la presente investigación
Sistema Autónomo con Energía Solar (2024)	Conservación ecológica en zonas remotas	IoT, LPWAN, paneles solares	Variables climáticas	Operación autónoma con bajo consumo energético	Aporta criterios para futuras mejoras energéticas del sistema
Arquitectura IoT en Ecosistemas Protegidos (2023)	Monitoreo climático automatizado	IoT, gateways, sensores inteligentes	Temperatura, humedad, presión y viento	Supervisión continua de ecosistemas sensibles	Evidencia la utilidad de IoT para la gestión ambiental
LoRaWAN en Playas de	Monitoreo ambiental de playas costeras	LoRaWAN, sensores ambientales	Temperatura, humedad y	Comunicación estable en	Investigación más cercana a la problemática abordada

Anidación			velocidad del	extensas áreas	
(2024)			viento	costeras	
Dashboard Ambiental IoT	Plataforma web para análisis ambiental	IoT, PostgreSQL, dashboard web	Datos ambientales históricos y en tiempo real	Mejora la interpretación y toma de decisiones	Referencia directa para el desarrollo del dashboard propuesto
(2025)					
Redes LPWAN para Fauna Silvestre	Monitoreo ecológico de ecosistemas naturales	LoRa, LoRaWAN, sensores IoT	Variables ambientales diversas	Bajo consumo energético y amplia cobertura	Justifica el uso de LoRaWAN como tecnología de comunicación
(2024)					

Nota: Elaboración propia

La tabla 1 resume de manera comparativa las investigaciones más relevantes consideradas dentro del estado del arte. Del análisis realizado se evidencia que las tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT), LoRaWAN y las plataformas web de monitoreo representan las alternativas más empleadas para la supervisión de variables ambientales en ecosistemas naturales. Los estudios revisados demuestran que estas herramientas permiten una captura, transmisión y visualización eficiente de datos en tiempo real, contribuyendo significativamente a la toma de decisiones y al monitoreo remoto.

2.6 Vacío de Investigación y Justificación de la Tesis

2.6.1 Análisis de las brechas en la literatura

Las principales brechas identificadas dentro de la literatura científica relacionada con monitoreo ambiental y conservación de tortugas marinas evidencian importantes limitaciones tecnológicas y operativas en el contexto ecuatoriano. Entre los aspectos más relevantes se encuentra la escasa implementación de sistemas basados en LoRaWAN en playas y ecosistemas costeros del Ecuador, a pesar de las ventajas que esta tecnología ofrece para proyectos de

monitoreo remoto y transmisión de datos en tiempo real (Contreras-Mérida & Morales-Mérida, 2021).

Asimismo, se observa un limitado desarrollo de sistemas capaces de supervisar continuamente variables ambientales críticas presentes en los nidos de tortugas marinas, como temperatura, humedad, velocidad del viento y condiciones microclimáticas. La mayoría de investigaciones existentes continúan dependiendo de métodos tradicionales o monitoreos periódicos que dificultan la obtención de información continua y automatizada (Mustapha et al., 2021).

Otra brecha importante corresponde a la reducida integración entre sensores inteligentes IoT y plataformas web de visualización y análisis de datos. Aunque existen investigaciones internacionales que utilizan dashboards y sistemas de monitoreo remoto, en el contexto nacional todavía son escasas las soluciones tecnológicas que permitan visualizar información ambiental en tiempo real mediante plataformas accesibles y automatizadas (Ramani et al., 2025).

2.6.2 Contribución original de la presente investigación

La presente investigación propone el desarrollo de una arquitectura basada en Internet of Things y tecnología LoRaWAN para el monitoreo continuo de variables ambientales en nidos de tortugas marinas ubicados en Playa El Murciélagos. El sistema estará orientado a supervisar en tiempo real parámetros como temperatura, humedad y velocidad del viento, factores fundamentales para el análisis de las condiciones de incubación y conservación de las especies marinas.

La principal contribución de esta investigación radica en la implementación de un sistema de monitoreo ambiental automatizado capaz de recopilar y transmitir información de manera continua desde zonas costeras hacia plataformas digitales de supervisión y análisis. Para ello, se emplearán sensores IoT de bajo consumo energético, diseñados para operar durante largos períodos de tiempo en entornos naturales con mínima intervención humana.

Asimismo, el proyecto integrará comunicación LoRaWAN con el propósito de garantizar transmisión inalámbrica de datos a largas distancias, permitiendo mantener conectividad eficiente incluso en áreas con infraestructura tecnológica limitada. Esta característica facilitará la supervisión remota de las condiciones ambientales presentes en los nidos de tortugas marinas (Jiménez Jiménez, 2023).

Otro aporte importante de la investigación corresponde al desarrollo de una plataforma web de visualización de datos, mediante la cual será posible consultar información ambiental en tiempo real, generar estadísticas y facilitar el análisis de las variables monitoreadas. Esto permitirá optimizar los procesos de observación y apoyar la toma de decisiones relacionadas con conservación ecológica y monitoreo ambiental (Pacheco Pinargote, 2022).

2.7 Definiciones conceptuales

2.7.1 Arquitectura IoT

La arquitectura basada en Internet of Things corresponde a la estructura tecnológica que permite la integración e interacción entre dispositivos físicos, sensores inteligentes, redes de comunicación, plataformas de procesamiento y sistemas de visualización de datos dentro de un ecosistema digital automatizado. Su finalidad principal es facilitar la recopilación, transmisión, almacenamiento y análisis de información proveniente del entorno físico para generar monitoreo y supervisión en tiempo real (Greengard, 2021).

De manera general, una arquitectura IoT se encuentra organizada en diferentes capas funcionales que trabajan de forma coordinada para garantizar el funcionamiento integral del sistema. Estas capas permiten transformar datos capturados desde sensores en información útil para análisis, automatización y toma de decisiones (Sindhwani et al., 2022).

La primera corresponde a la capa de percepción, encargada de captar información directamente del entorno mediante sensores y dispositivos electrónicos. En esta capa se encuentran los equipos responsables de medir variables ambientales como temperatura,

humedad, velocidad del viento, presión atmosférica y otros parámetros físicos relevantes para el monitoreo ambiental (Lupi et al., 2024).

Posteriormente, la capa de comunicación tiene la función de transmitir los datos recopilados hacia servidores o plataformas de procesamiento mediante protocolos de comunicación inalámbrica. Entre las tecnologías más utilizadas destacan WiFi, LoRaWAN, Bluetooth y MQTT, los cuales permiten mantener conectividad eficiente entre dispositivos IoT y plataformas remotas (Suárez Vega, 2025).

La siguiente etapa corresponde a la capa de procesamiento, donde la información recibida es almacenada, organizada y analizada mediante servidores, servicios en la nube o sistemas de bases de datos. En esta capa se ejecutan procesos de análisis, generación de estadísticas, interpretación de datos y automatización de alertas relacionadas con las condiciones monitoreadas (Azanza Ricardo et al., 2023).

Finalmente, la capa de aplicación permite visualizar la información mediante plataformas web, dashboards interactivos o aplicaciones móviles, facilitando el acceso a datos en tiempo real por parte de investigadores, operadores o usuarios del sistema. Gracias a estas herramientas, es posible supervisar variables ambientales, generar reportes y apoyar procesos de toma de decisiones de manera más eficiente (Vallejo Sánchez et al., 2024).

La implementación de arquitecturas IoT ha permitido optimizar significativamente los sistemas de monitoreo en tiempo real debido a su capacidad para integrar múltiples tecnologías dentro de un mismo entorno operativo automatizado. Además, estas arquitecturas favorecen la escalabilidad, eficiencia energética y supervisión continua de ecosistemas naturales y proyectos ambientales (López Medina & Paste Zambrano, 2025).

2.7.2 reComputer R1025-10 basado en Raspberry Pi Compute Module 4

El reComputer R1025-10 es una plataforma industrial diseñada para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), basada en la tecnología Raspberry Pi Compute Module 4 (CM4). Este dispositivo combina capacidades avanzadas de procesamiento, almacenamiento y conectividad,

lo que le permite desempeñarse eficientemente como controlador y gateway en entornos que requieren monitoreo, automatización y gestión inteligente de datos (Molano & Pérez, 2026).

Su estructura tecnológica facilita la integración de múltiples sensores y dispositivos de campo, permitiendo la captura, procesamiento y transmisión de información en tiempo real mediante diversos protocolos de comunicación utilizados en sistemas IoT. Gracias a esta versatilidad, puede ser implementado en aplicaciones relacionadas con el monitoreo ambiental, agricultura de precisión, automatización industrial, gestión de recursos naturales y proyectos de ciudades inteligentes (Cobeña et al., 2025).

Entre sus características más relevantes se encuentran su procesador de alto desempeño, memoria RAM integrada, almacenamiento eMMC de alta velocidad, conectividad Ethernet, WiFi y Bluetooth, así como múltiples interfaces de expansión que favorecen la interoperabilidad con equipos industriales y sensores especializados. Estas prestaciones garantizan una operación estable y continua, además de la capacidad de ejecutar procesos de análisis local y comunicación con plataformas de almacenamiento y procesamiento en la nube (Yau, 2025).

2.8 Bases teóricas

Tabla 2. Bases teóricas de las tecnologías utilizadas en la arquitectura IoT propuesta

Tecnología	Fundamento teórico	Aplicación dentro de la investigación
Django	Framework de desarrollo web de código abierto basado en Python que sigue el patrón	Implementación del backend para la gestión, procesamiento y almacenamiento de los
	Modelo-Vista-Controlador (MVC), permitiendo la creación de aplicaciones robustas y escalables.	

React	Biblioteca de JavaScript orientada al desarrollo de interfaces de usuario dinámicas e interactivas mediante componentes reutilizables.	Desarrollo de la interfaz gráfica de la plataforma web para la visualización de datos ambientales en tiempo real.
PostgreSQL	Sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto caracterizado por su estabilidad, seguridad y capacidad de manejo de grandes volúmenes de información.	Almacenamiento y administración de los registros históricos generados por los sensores IoT.
MQTT	Protocolo de mensajería ligero diseñado para aplicaciones IoT, optimizado para dispositivos con recursos limitados y redes de baja capacidad.	Comunicación eficiente entre los dispositivos de monitoreo y la plataforma de procesamiento de datos.
LoRaWAN	Protocolo de comunicación LPWAN que permite la transmisión de datos a largas distancias con bajo consumo energético.	Envío de datos de temperatura, humedad y velocidad del viento desde el área de monitoreo hacia el gateway y la plataforma web.
Python	Lenguaje de programación de alto nivel ampliamente utilizado en aplicaciones científicas, desarrollo web e Internet de las Cosas.	Desarrollo de la lógica de negocio, procesamiento de datos y servicios del sistema backend.
JavaScript	Lenguaje de programación orientado al desarrollo de aplicaciones web interactivas y dinámicas.	Implementación de funcionalidades del frontend y actualización de información en tiempo real dentro del dashboard.

MVC	Patrón de arquitectura de software que separa la aplicación en componentes de modelo, vista y controlador para facilitar su mantenimiento y escalabilidad.	Organización estructurada de la plataforma web para mejorar la gestión del código y la interacción entre componentes.
------------	--	---

Nota: Elaboración propia

La Tabla 2 describe las tecnologías que integran la arquitectura IoT diseñada para el monitoreo de nidos de tortugas marinas. Cada componente tecnológico desempeña un papel fundamental dentro del sistema, abarcando procesos de captura, transmisión, procesamiento, almacenamiento y visualización de información ambiental en tiempo real. La articulación de estas herramientas permite la implementación de una solución tecnológica robusta, escalable y eficiente, capaz de proporcionar un seguimiento continuo de las condiciones ambientales del entorno de anidación.

CAPÍTULO III

MARCO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Introducción

En el presente capítulo se describen los enfoques, métodos y procedimientos metodológicos empleados para el desarrollo de la investigación orientada a la implementación de una arquitectura basada en Internet of Things y tecnología LoRaWAN destinada al monitoreo y conservación de nidos de tortugas marinas en Playa El Murciélago.

La metodología aplicada permitió definir las técnicas y herramientas necesarias para la recopilación, procesamiento y análisis de información relacionada con las variables ambientales que influyen directamente en el proceso de incubación de los huevos de tortugas marinas. Entre las principales variables estudiadas se encuentran la temperatura, humedad y velocidad del viento, factores fundamentales para evaluar las condiciones ecológicas presentes en las zonas de anidación (Bates et al., 2021).

Asimismo, este capítulo expone los tipos de investigación utilizados, los métodos teóricos y empíricos aplicados, las fuentes de información consultadas y los procedimientos técnicos implementados para garantizar la validez científica, tecnológica y metodológica del proyecto. La integración de estos elementos permitió desarrollar una propuesta tecnológica orientada al monitoreo ambiental en tiempo real mediante sensores IoT, comunicación inalámbrica y plataformas de visualización de datos.

3.2 Tipos de Investigación

3.2.1 Investigación Aplicada

La presente investigación se enmarca dentro del enfoque de investigación aplicada, debido a que está orientada al desarrollo de una solución tecnológica destinada a atender una problemática ambiental específica relacionada con la conservación de nidos de tortugas marinas en Playa El Murciélago.

La investigación aplicada tiene como propósito utilizar conocimientos científicos, tecnológicos y metodológicos para resolver problemas reales mediante el diseño e implementación de herramientas prácticas y funcionales. En este contexto, el estudio se enfoca en el desarrollo de una arquitectura basada en Internet of Things y tecnología LoRaWAN, capaz de supervisar variables ambientales presentes en los nidos de tortugas marinas mediante sensores inteligentes y sistemas de monitoreo en tiempo real.

La aplicación de este enfoque investigativo permitió integrar tecnologías de monitoreo ambiental, redes inalámbricas, sensores IoT y plataformas web de visualización de datos con el objetivo de optimizar los procesos de supervisión ecológica y fortalecer las estrategias de conservación ambiental. Asimismo, este tipo de investigación facilitó el desarrollo de una solución tecnológica adaptada a las necesidades y condiciones de los ecosistemas costeros ecuatorianos (Sobhi et al., 2023).

3.2.2 Investigación Cuantitativa

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que se fundamenta en la recopilación, procesamiento y análisis de datos numéricos relacionados con las variables ambientales presentes en los nidos de tortugas marinas ubicados en Playa El Murciélago.

Las variables objeto de monitoreo incluyen temperatura de la arena, humedad y velocidad del viento, cuyos valores serán obtenidos mediante sensores electrónicos integrados dentro de una arquitectura basada en IoT. La información recopilada será transmitida y almacenada de manera automatizada para su posterior procesamiento y análisis mediante herramientas tecnológicas de monitoreo y visualización de datos.

3.2.3 Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva permitió identificar, analizar y caracterizar las condiciones ambientales presentes en Playa El Murciélago, así como su influencia sobre el proceso de incubación de los huevos de tortugas marinas. Este tipo de investigación se centra en describir

fenómenos, comportamientos y variables observadas dentro del entorno de estudio sin intervenir ni modificar las condiciones naturales del ecosistema analizado.

El enfoque descriptivo facilita el análisis detallado de las características ambientales presentes en las zonas de anidación, permitiendo comprender el comportamiento de variables climáticas y ecológicas relevantes para la conservación de las tortugas marinas. En este contexto, la investigación permitió estudiar factores como temperatura de la arena, humedad y velocidad del viento, variables que influyen directamente en el desarrollo embrionario y en las condiciones de eclosión de los nidos (Bonilla et al., 2023).

3.2.4 Investigación Experimental

La investigación experimental fue aplicada durante las etapas de implementación, pruebas y validación de la arquitectura basada en Internet of Things, permitiendo evaluar el funcionamiento de los sensores ambientales, la estabilidad de transmisión de datos mediante LoRaWAN y la capacidad operativa del sistema para realizar monitoreo en tiempo real (Manzano et al., 2021).

A través de pruebas controladas y procesos de supervisión continua, se verificó la precisión y confiabilidad de las mediciones obtenidas por los sensores instalados en el entorno de estudio. Estas pruebas permitieron analizar la capacidad del sistema para recopilar, registrar y transmitir información ambiental relacionada con variables como temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en los nidos de tortugas marinas (Ramani et al., 2025).

Asimismo, la investigación experimental facilitó la evaluación del comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones ambientales existentes en Playa El Murciélagos, incluyendo variaciones climáticas y escenarios de operación en tiempo real. Esto permitió validar la estabilidad de comunicación, eficiencia energética y capacidad de respuesta de la arquitectura tecnológica implementada (Ragnoli et al., 2022).

3.3 Métodos de Investigación

3.3.1 Métodos Teóricos

Los métodos teóricos permitieron fundamentar y analizar los conceptos científicos y tecnológicos relacionados con Internet of Things, monitoreo ecológico, conservación de tortugas marinas y sistemas de comunicación inalámbrica basados en LoRaWAN. Estos métodos facilitaron la comprensión de los principios tecnológicos y ambientales necesarios para el desarrollo de la arquitectura IoT propuesta dentro de la investigación (Lopes et al., 2025).

Para el análisis de la información científica se aplicaron métodos analítico-sintéticos e inductivo-deductivos, los cuales permitieron interpretar y organizar información obtenida de artículos académicos, tesis, documentos técnicos, investigaciones científicas y publicaciones especializadas relacionadas con monitoreo ambiental, sensores IoT y conservación ecológica (Iqbal & Nazish, 2024).

El método analítico permitió descomponer y estudiar individualmente cada uno de los elementos tecnológicos involucrados en el sistema de monitoreo, incluyendo sensores ambientales, protocolos de comunicación, plataformas web y componentes de la arquitectura IoT. Gracias a este proceso, fue posible comprender el funcionamiento específico de cada tecnología utilizada dentro del proyecto (Netho et al., 2023).

Por su parte, el método sintético facilitó integrar los diferentes componentes tecnológicos y conceptuales necesarios para el diseño de la solución propuesta, permitiendo estructurar de manera organizada la arquitectura IoT orientada al monitoreo ambiental en tiempo real de los nidos de tortugas marinas (Ragnoli et al., 2022).

Asimismo, el método inductivo-deductivo permitió analizar situaciones particulares relacionadas con las condiciones ambientales y los procesos de conservación de tortugas marinas, para posteriormente establecer conclusiones generales acerca de la importancia del monitoreo ecológico automatizado y el uso de tecnologías IoT dentro de ecosistemas costeros (Gulati et al., 2022).

3.3.2 Métodos Empíricos

Los métodos empíricos permitieron recopilar información directamente desde el entorno de estudio mediante procesos de observación, monitoreo ambiental y pruebas técnicas realizadas en Playa El Murciélago. La aplicación de estos métodos facilitó obtener datos reales relacionados con las condiciones ecológicas presentes en las zonas de anidación de tortugas marinas, contribuyendo al desarrollo y validación de la arquitectura tecnológica propuesta (Bonilla et al., 2023).

La observación directa permitió identificar y analizar las condiciones ambientales existentes en la playa, así como reconocer factores externos y variaciones climáticas que podrían influir en el proceso de incubación de los huevos de tortugas marinas. Entre los aspectos observados se consideraron variables como temperatura, humedad, velocidad del viento y características generales del ecosistema costero (Laha et al., 2022).

Asimismo, se realizaron pruebas de funcionamiento orientadas a evaluar el desempeño de los sensores integrados dentro de la arquitectura basada en Internet of Things. Estas pruebas permitieron validar la capacidad de los dispositivos para capturar, registrar y transmitir información relacionada con variables ambientales críticas mediante tecnologías de comunicación inalámbrica (Manzano et al., 2021).

3.4 Fuentes de Información

3.4.1 Fuentes Primarias

Las fuentes primarias de la investigación estuvieron conformadas por la información obtenida directamente en Playa El Murciélago mediante actividades de observación de campo, monitoreo ambiental y pruebas técnicas realizadas con sensores integrados dentro de la arquitectura basada en Internet de las cosas (Pattanayak et al., 2021).

Estas fuentes permitieron recopilar datos reales relacionados con las condiciones climáticas y ambientales presentes en el entorno de anidación de las tortugas marinas, facilitando el análisis de variables como temperatura, humedad y velocidad del viento durante el

desarrollo de la investigación. La información obtenida directamente desde el ecosistema monitoreado contribuyó a comprender las características ambientales que influyen en el proceso de incubación y conservación de los nidos (Arenas & Fabian, 2024).

Asimismo, los registros generados por los sensores electrónicos constituyeron una fuente primaria fundamental para evaluar y validar el funcionamiento de la arquitectura IoT propuesta. Los datos recopilados permitieron verificar la precisión de las mediciones, la estabilidad de transmisión de información y la capacidad operativa del sistema de monitoreo ambiental en tiempo real (Sánchez-Castillo, 2025).

3.4.2 Fuentes Secundarias

Las fuentes secundarias utilizadas en la investigación estuvieron conformadas por artículos científicos, tesis, libros, protocolos ambientales, publicaciones académicas y documentos técnicos relacionados con temas de conservación de tortugas marinas, monitoreo ambiental, IoT, tecnologías LoRaWAN, sensores inteligentes, plataformas web y sistemas de comunicación inalámbrica (Lv & Li, 2021).

La recopilación y análisis de estas fuentes permitió obtener información científica y tecnológica relevante para comprender el funcionamiento de las arquitecturas IoT aplicadas a procesos de monitoreo ecológico y conservación ambiental. Asimismo, los documentos consultados facilitaron el estudio de investigaciones previas relacionadas con sensores ambientales, transmisión de datos en tiempo real y supervisión automatizada de ecosistemas costeros (Molano & Pérez, 2026).

Además, las fuentes secundarias proporcionaron fundamentos teóricos, metodológicos y técnicos necesarios para sustentar el desarrollo de la propuesta tecnológica planteada en la investigación. La información obtenida permitió establecer criterios para la selección de tecnologías, protocolos de comunicación, frameworks de desarrollo y herramientas utilizadas dentro de la arquitectura IoT implementada (Menéndez Cedeño & Tenelema Mero, 2025).

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1 Observación Directa

La técnica de observación directa permitió analizar de manera detallada las condiciones ambientales presentes en Playa El Murciélago y evaluar diversos factores que podrían influir en el proceso de incubación de los huevos de tortugas marinas. Mediante esta técnica fue posible recopilar información del entorno natural sin alterar las condiciones del ecosistema, facilitando una comprensión más precisa de las características ecológicas de la zona de estudio (Baena Navarro et al., 2025).

La observación realizada permitió identificar aspectos relacionados con la temperatura ambiental, niveles de humedad, condiciones climáticas y características propias del entorno costero que pueden afectar el desarrollo embrionario y la estabilidad de los nidos. Asimismo, se analizaron factores asociados a la actividad humana presentes en la playa, tales como tránsito de personas, contaminación y otras alteraciones que podrían representar riesgos para las áreas de anidación.

3.5.2 Monitoreo mediante Sensores IoT

Se implementaron sensores basados en IoT para recopilar información ambiental relacionada con variables como temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en las zonas de anidación de tortugas marinas. Estos dispositivos inteligentes fueron instalados estratégicamente para supervisar de manera continua las condiciones ecológicas del entorno de estudio (Gutiérrez et al., 2022).

Los sensores permitieron registrar datos ambientales en tiempo real, facilitando la obtención de información precisa y actualizada sobre las condiciones presentes en los nidos. Posteriormente, la información recopilada fue transmitida mediante tecnología LoRaWAN hacia la plataforma de monitoreo ambiental, donde los datos pudieron ser procesados, almacenados y visualizados de forma remota (Medel;, 2024).

El uso de sensores IoT contribuyó a automatizar el proceso de adquisición de datos, reduciendo la necesidad de intervención humana constante y fortaleciendo la capacidad de supervisión ambiental dentro del ecosistema monitoreado. Además, esta tecnología permitió mantener un monitoreo continuo y eficiente de las variables climáticas que influyen en el proceso de incubación de los huevos de tortugas marinas en Playa El Murciélago (Jamshed et al., 2022).

3.5.3 Registro y Análisis de Datos

Los datos ambientales recopilados por los sensores IoT fueron almacenados en una base de datos PostgreSQL con el propósito de garantizar una administración segura, organizada y eficiente de la información obtenida durante el monitoreo ambiental. Este almacenamiento permitió conservar registros históricos relacionados con variables como temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en las zonas de anidación de tortugas marinas (Gispert & Vivanco, 2025).

Posteriormente, la información almacenada fue procesada y analizada mediante la arquitectura tecnológica implementada, facilitando la interpretación de los datos ambientales recopilados en tiempo real. Asimismo, los registros obtenidos fueron representados gráficamente mediante dashboards interactivos y gráficas dinámicas desarrolladas dentro de la plataforma web de monitoreo ambiental (Vallejo Sánchez et al., 2024).

La visualización de los datos permitió supervisar de manera más eficiente el comportamiento de las variables ambientales presentes en Playa El Murciélago, facilitando el análisis de tendencias, variaciones climáticas y condiciones ecológicas relacionadas con los nidos de tortugas marinas (Silvestre et al., 2022).

3.6 Población y Muestra

3.6.1 Población

La población objeto de estudio de la presente investigación está conformada por los nidos de tortugas marinas ubicados en Playa El Murciélago, los cuales constituyen el entorno

natural donde se desarrollan los procesos de incubación de los huevos y posterior eclosión de las especies marinas. Estos espacios representan áreas ecológicas sensibles en las que las condiciones ambientales desempeñan un papel fundamental en el desarrollo embrionario y supervivencia de las crías.

Dentro de la población de estudio también se consideran las variables ambientales presentes en el ecosistema costero de la playa, especialmente aquellas relacionadas con temperatura, humedad y velocidad del viento, debido a su influencia directa sobre las condiciones microclimáticas de los nidos.

3.6.2 Muestra

La muestra estuvo conformada por un nido de tortugas marinas seleccionado mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, conteniendo aproximadamente entre 20 y 30 huevos. La selección se realizó debido a las limitaciones operativas y al carácter piloto de la implementación tecnológica.

En el área seleccionada se instalaron sensores basados en IoT encargados de recopilar información relacionada con variables ambientales como temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en el entorno de incubación. Los datos obtenidos permitieron realizar un seguimiento continuo de las condiciones ambientales que influyen en el desarrollo embrionario de las tortugas marinas.

3.7 Procesamiento y Análisis de Datos

La información ambiental recopilada mediante sensores basados en Internet of Things será procesada, administrada y almacenada utilizando herramientas tecnológicas orientadas al monitoreo y supervisión en tiempo real de las condiciones presentes en los nidos de tortugas marinas.

Los datos obtenidos a partir de las mediciones de temperatura, humedad y velocidad del viento serán organizados mediante bases de datos relacionales, permitiendo mantener un almacenamiento estructurado, seguro y eficiente de la información ambiental recopilada durante

el desarrollo de la investigación. Posteriormente, estos registros serán procesados y representados mediante gráficas dinámicas, dashboards interactivos y reportes estadísticos integrados dentro de la plataforma web desarrollada para el proyecto.

La visualización de los datos permitirá supervisar el comportamiento de las variables ambientales monitoreadas y facilitará la interpretación de las condiciones ecológicas presentes en Playa El Murciélagu. Asimismo, el análisis de la información contribuirá a identificar variaciones climáticas, cambios ambientales y patrones relacionados con el proceso de incubación de los huevos de tortugas marinas.

CAPITULO IV

MARCO PROPOSITIVO

4.1 Introducción

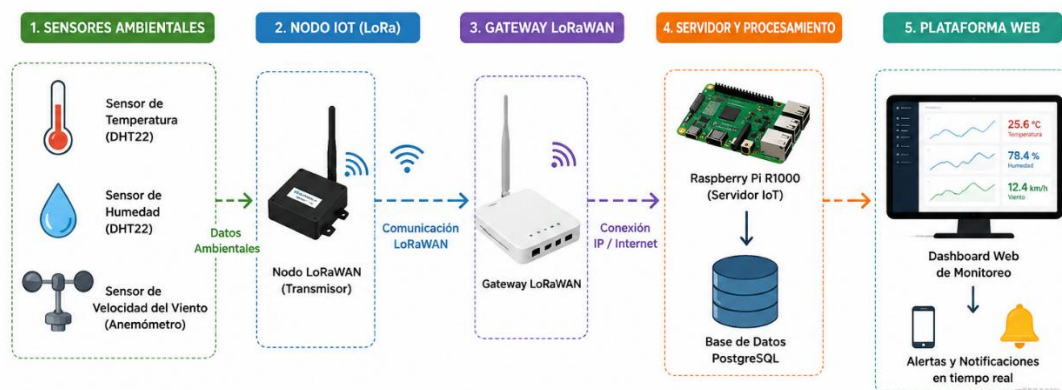
En el presente capítulo se expone la propuesta tecnológica desarrollada para el monitoreo y conservación de nidos de tortugas marinas mediante una arquitectura basada en Internet of Things y tecnología LoRaWAN. La solución propuesta tiene como objetivo principal recopilar y transmitir información ambiental en tiempo real relacionada con variables como temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en los nidos ubicados en Playa El Murciélagos.

La implementación de esta arquitectura tecnológica busca fortalecer las estrategias de conservación ambiental mediante la integración de sensores inteligentes, sistemas de comunicación inalámbrica de largo alcance y plataformas web orientadas a la visualización y análisis de datos ambientales. Gracias a esta infraestructura, será posible supervisar continuamente las condiciones ecológicas presentes en las zonas de anidación, facilitando procesos de monitoreo automatizado y toma de decisiones basadas en información en tiempo real.

4.2 Descripción de la Propuesta Tecnológica

La propuesta tecnológica planteada consiste en el desarrollo e implementación de una arquitectura basada en Internet of Things capaz de supervisar variables ambientales presentes en los nidos de tortugas marinas mediante sensores inteligentes interconectados a través de tecnología LoRaWAN.

Figura 2. *Arquitectura general del sistema IoT*



Nota: Elaboración propia

En la figura 2 se presenta el sistema propuesto, mismo que permitirá recopilar información ambiental relacionada con temperatura de la arena, humedad, velocidad del viento y otras condiciones presentes en el entorno costero donde se desarrollan los procesos de incubación de los huevos de tortugas marinas. Estos datos serán obtenidos de manera continua mediante sensores electrónicos instalados estratégicamente en las zonas de monitoreo.

4.3 Arquitectura General del Sistema

La arquitectura basada en Internet of Things propuesta para la investigación estará conformada por diferentes componentes tecnológicos encargados de recopilar, transmitir, procesar, almacenar y visualizar información ambiental obtenida desde los nidos de tortugas marinas ubicados en Playa El Murciélagu.

El sistema integrará sensores IoT, dispositivos de adquisición de datos, un gateway de comunicación LoRaWAN, un servidor de procesamiento, una base de datos PostgreSQL y una plataforma web de monitoreo ambiental orientada a la supervisión en tiempo real de las variables ambientales presentes en las zonas de anidación.

Figura 3. *Flujo de transmisión de datos del sistema*



Nota: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 3 el funcionamiento general de la arquitectura inicia con la captura de información ambiental mediante sensores inteligentes instalados estratégicamente cerca de los nidos de tortugas marinas. Estos dispositivos se encargarán de medir variables como temperatura de la arena, humedad y velocidad del viento, recopilando datos de forma continua y automatizada.

Posteriormente, la información obtenida será transmitida mediante tecnología LoRaWAN hacia un gateway encargado de recibir y reenviar los datos al servidor de procesamiento. Gracias a esta tecnología de comunicación inalámbrica, el sistema podrá mantener transmisión eficiente de información a largas distancias con bajo consumo energético.

Una vez recibidos por el servidor, los datos serán procesados y almacenados dentro de la base de datos PostgreSQL para garantizar una administración organizada y segura de la información ambiental recopilada. Finalmente, los registros serán representados mediante dashboards interactivos, gráficas dinámicas y herramientas de visualización integradas dentro de la plataforma web de monitoreo ambiental.

4.4 Componentes de Hardware

4.4.1 Sensores Ambientales

Los sensores ambientales constituyen los dispositivos tecnológicos encargados de recopilar información relacionada con las condiciones ecológicas presentes en el entorno de

incubación de los huevos de tortugas marinas. Estos componentes representan uno de los elementos fundamentales dentro de la arquitectura basada en IoT, debido a que permiten obtener datos ambientales de manera automatizada y en tiempo real.

4.4.1.1 SenseCAP S2105 LoRaWAN Soil Moisture, Temperature and EC Sensor

El SenseCAP S2105 es un sensor inteligente desarrollado para aplicaciones de monitoreo ambiental basadas en tecnología LoRaWAN, diseñado para la medición precisa de variables como la humedad del suelo, la temperatura y la conductividad eléctrica. Gracias a su capacidad de comunicación inalámbrica de largo alcance, el dispositivo puede transmitir los datos recopilados hacia el gateway de la red de manera eficiente y confiable, incluso en entornos remotos o de difícil acceso (López Medina & Paste Zambrano, 2025).

En el contexto de esta investigación, el sensor fue empleado para monitorear la humedad del suelo y la temperatura de la arena en los nidos de tortugas marinas, parámetros ambientales de gran relevancia para el adecuado desarrollo e incubación de los huevos. La información capturada fue transmitida en tiempo real mediante la red LoRaWAN, permitiendo un seguimiento continuo de las condiciones presentes en el entorno de anidación (Silva-Moreno & Culma-Caraballo, 2026).

Asimismo, sus características de bajo consumo energético, alta precisión de medición y capacidad de transmisión a larga distancia lo convierten en una herramienta idónea para proyectos de monitoreo ambiental de larga duración. Su integración dentro de la arquitectura IoT propuesta contribuyó significativamente a la obtención de datos confiables y oportunos, fundamentales para el análisis de las condiciones ambientales y el fortalecimiento de las estrategias de conservación de las tortugas marinas (Sandoval-Ramírez et al., 2021a).

Figura 4. *Sensor SenseCap S2105 utilizado en la investigación*



Nota: Sensor empleado para el monitoreo de la humedad del suelo y temperatura de la arena mediante tecnología LoRaWAN.

4.4.1.2 Anemómetro de Tres Tazas

Para el monitoreo de la velocidad del viento se empleó un anemómetro de tres cazoletas, un instrumento meteorológico ampliamente reconocido por su precisión, estabilidad y confiabilidad en la medición de variables atmosféricas. Este dispositivo permite determinar la velocidad del viento mediante el movimiento rotacional de sus cazoletas, proporcionando datos continuos sobre las condiciones climáticas presentes en el área de estudio (Gutiérrez et al., 2022).

La información obtenida permitió identificar las variaciones de la velocidad del viento en el entorno de los nidos de tortugas marinas, aportando datos relevantes para el análisis de los factores ambientales que pueden influir en el microclima de la zona de anidación. Aunque esta variable no afecta directamente el proceso de incubación, sí puede incidir en aspectos relacionados con la temperatura superficial de la arena, la humedad del entorno y la dinámica

ambiental característica de los ecosistemas costeros (Gutiérrez Zambrano & Vélez Molina, 2023).

La integración del anemómetro junto con el sensor ambiental SenseCAP S2105 permitió conformar un sistema de monitoreo más completo, capaz de recopilar información en tiempo real sobre diferentes variables ambientales. Esta combinación de tecnologías facilitó la supervisión continua de las condiciones presentes en los nidos de tortugas marinas, fortaleciendo las acciones de investigación, monitoreo y conservación mediante el uso de soluciones basadas en Internet de las Cosas (IoT) y redes de comunicación LoRaWAN (Portillo Godoy et al., 2022).

Figura 5. *Anemómetro de tres tazas utilizado en la investigación.*



Nota: Dispositivo utilizado para la medición de la velocidad del viento en el área de monitoreo de los nidos de tortugas marinas.

4.4.2 reComputer R1025-10 basado en Raspberry Pi Compute Module 4

La arquitectura tecnológica propuesta incorpora un reComputer R1025-10 basado en Raspberry Pi Compute Module 4 (CM4) como elemento central para el procesamiento y administración de la información generada por el sistema de monitoreo. La selección de este dispositivo responde a sus capacidades para funcionar como gateway IoT, permitiendo la

integración eficiente de sensores, módulos de comunicación y servicios de almacenamiento dentro de una infraestructura tecnológica unificada (Sandoval-Ramírez et al., 2021b).

El dispositivo actúa como punto de concentración de datos, recibiendo la información transmitida por los sensores ambientales a través de la tecnología LoRaWAN. Una vez capturados, los datos son procesados y organizados para su posterior almacenamiento en la base de datos PostgreSQL, garantizando la disponibilidad y trazabilidad de la información recopilada. Posteriormente, estos registros son enviados a la plataforma web desarrollada, donde se presentan mediante gráficos interactivos, indicadores en tiempo real y reportes históricos que facilitan el análisis de las variables monitoreadas (Palacios et al., 2025).

La incorporación del reComputer R1025-10 aporta robustez, confiabilidad y eficiencia al sistema, gracias a su capacidad de procesamiento, bajo consumo energético y compatibilidad con múltiples tecnologías de comunicación utilizadas en entornos IoT (Mora et al., 2021).

Estas características lo convierten en un componente estratégico dentro de la propuesta, ya que permite asegurar la operación continua del sistema y el monitoreo permanente de las condiciones ambientales presentes en los nidos de tortugas marinas de la Playa El Murciélagos, contribuyendo al fortalecimiento de las acciones de conservación y seguimiento científico de esta especie (Ríos-Huerta et al., 2021).

Figura 6. *reComputer R1025-10 utilizado en la investigación*



Nota: reComputer R1025-10 utilizado en la investigación como unidad central de procesamiento, encargado de recibir los datos transmitidos por los sensores ambientales, almacenarlos en la base de datos y gestionar su visualización en la plataforma web de monitoreo.

4.4.3 Gateway LoRaWAN

El LoRaWAN Gateway constituye el componente encargado de recibir la información transmitida por los sensores integrados dentro de la arquitectura basada en Internet of Things y reenviarla hacia el servidor de procesamiento y monitoreo del sistema (Esquivel Pineda, 2024).

Este dispositivo cumple una función fundamental dentro de la red IoT, ya que actúa como intermediario entre los sensores ambientales instalados en campo y la plataforma tecnológica encargada del almacenamiento, procesamiento y visualización de los datos recopilados. Gracias a esta infraestructura, la información ambiental puede transmitirse de manera continua y eficiente hacia los sistemas de monitoreo en tiempo real (Lopes et al., 2025).

El uso de la tecnología LoRaWAN permitirá mantener comunicación inalámbrica de largo alcance con bajo consumo energético, característica especialmente importante para proyectos de monitoreo ambiental desarrollados en zonas costeras, ecosistemas naturales y áreas remotas con infraestructura limitada (Anchiraico Alderete et al., 2026).

Asimismo, el gateway LoRaWAN facilitará la estabilidad de comunicación entre los dispositivos IoT distribuidos en el entorno de estudio, permitiendo transmitir información relacionada con temperatura, humedad y velocidad del viento sin necesidad de conexiones cableadas o elevados requerimientos energéticos (Ricardo et al., 2021).

Figura 7. Gateway LoRaWAN utilizado en la investigación

Nota. Módulo WM1302 LoRaWAN Gateway implementado como componente de comunicación dentro de la arquitectura IoT propuesta, encargado de recibir y retransmitir los datos ambientales capturados por los sensores hacia la plataforma de monitoreo en tiempo real.

Tabla 3. Componentes de hardware utilizados en la arquitectura IoT propuesta

Dispositivo	Modelo	Función dentro del sistema
Sensor ambiental	SenseCAP S2105 LoRaWAN Soil	Medición de humedad, temperatura y conductividad eléctrica
	Moisture, Temperature and EC	
	Sensor	
Sensor meteorológico	Anemómetro de Tres Tazas	Medición de velocidad del viento
Nodo IoT	ESP32 LoRa SX1276 + WiFi +	Adquisición y transmisión de datos
	Bluetooth + OLED	
Gateway LoRaWAN	WM1302 LoRaWAN Gateway	Recepción y reenvío de información LoRaWAN
	Module (USB) US915	

Controlador IoT	reComputer R1025-10 (CM4)	Procesamiento y gestión del sistema
Módem celular	Quectel EG25-G Mini PCIe 4G/LTE	Conectividad a internet
Antena LoRaWAN	LoRa Antenna Kit for WM1302	Mejora de cobertura de comunicación
Antena WiFi	Highfine 2.4 GHz 6 dBi	Optimización de conectividad inalámbrica

Nota: Elaboración propia

La Tabla 3 presenta los principales componentes de hardware utilizados dentro de la arquitectura IoT propuesta para el monitoreo de nidos de tortugas marinas. Cada dispositivo cumple una función específica relacionada con la captura, procesamiento, transmisión y alimentación de los datos ambientales obtenidos en tiempo real.

4.5 Componentes de Software

4.5.1 Plataforma Web de Monitoreo

La plataforma web desarrollada para el proyecto permitirá visualizar la información ambiental recopilada mediante sensores basados en IoT a través de dashboards interactivos, gráficas dinámicas y herramientas de análisis estadístico en tiempo real.

La interfaz del sistema estará diseñada para supervisar de manera organizada y eficiente variables ambientales como temperatura, humedad, velocidad del viento y el estado operativo del sistema de monitoreo implementado en los nidos de tortugas marinas. Gracias a estas funcionalidades, los usuarios podrán interpretar de forma más clara el comportamiento de las condiciones ambientales presentes en el entorno de estudio.

4.5.2 Backend del Sistema

El backend de la plataforma será desarrollado utilizando Django y el lenguaje de programación Python, tecnologías ampliamente utilizadas en aplicaciones web y sistemas

basados en Internet of Things debido a su estabilidad, escalabilidad y capacidad de procesamiento de información en tiempo real.

Esta capa del sistema será la encargada de administrar toda la lógica funcional de la arquitectura tecnológica propuesta, permitiendo gestionar de manera eficiente el flujo de información proveniente de los sensores ambientales instalados en los nidos de tortugas marinas.

Entre sus principales funciones se encuentran el procesamiento y validación de datos ambientales, la gestión de la comunicación entre los dispositivos IoT y la plataforma web, el almacenamiento de información dentro de la base de datos y la administración general de los servicios y operaciones internas del sistema.

4.5.3 Frontend del Sistema

El frontend de la plataforma será desarrollado utilizando React y JavaScript con el propósito de construir interfaces dinámicas, interactivas y orientadas a la visualización eficiente de datos ambientales obtenidos mediante la arquitectura basada en Internet of Things.

La interfaz gráfica permitirá representar la información recopilada por los sensores ambientales a través de dashboards interactivos, tablas de datos, gráficos estadísticos y herramientas de monitoreo en tiempo real. Estas funcionalidades facilitarán la interpretación y supervisión de variables ambientales como temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en los nidos de tortugas marinas.

4.5.4 Base de Datos PostgreSQL

La base de datos PostgreSQL será utilizada para almacenar y administrar la información relacionada con las variables ambientales monitoreadas por el sistema basado en Internet of Things.

Este sistema de almacenamiento permitirá organizar de manera estructurada los datos recopilados por los sensores ambientales instalados en los nidos de tortugas marinas, incluyendo

registros relacionados con temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en el entorno de monitoreo.

La implementación de PostgreSQL facilitará mantener registros históricos de la información ambiental obtenida en tiempo real, permitiendo realizar consultas, análisis comparativos y evaluaciones posteriores sobre las condiciones ecológicas presentes en el nido monitoreado.

Asimismo, el almacenamiento estructurado de los datos contribuirá a mejorar la administración, seguridad y disponibilidad de la información recopilada durante el desarrollo de la investigación. Esto permitirá representar los datos mediante dashboards, gráficas estadísticas y herramientas de visualización integradas dentro de la plataforma web de monitoreo ambiental.

Tabla 4. *Tecnologías de software implementadas*

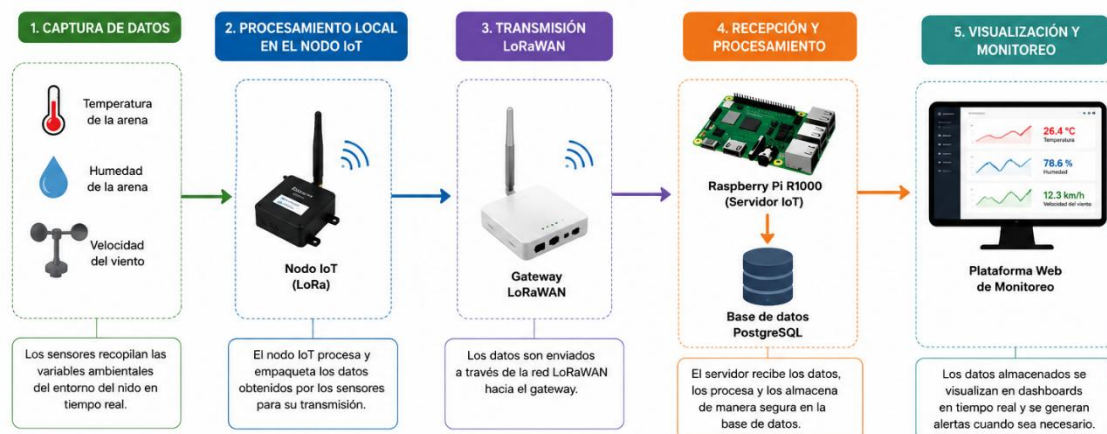
Software	Función
Django	Backend
React	Frontend
PostgreSQL	Base de datos
Python	Procesamiento
JavaScript	Interfaz web

Nota: Elaboración propia

La Tabla 4 presenta las principales tecnologías de software utilizadas en el desarrollo de la arquitectura IoT propuesta para el monitoreo ambiental de nidos de tortugas marinas.

4.6 Funcionamiento del Sistema

Figura 8. *Funcionamiento general del sistema*



Nota: Elaboración propia

Como lo muestra la figura 4, el funcionamiento de la arquitectura basada en IoT inicia con la captura de información ambiental mediante sensores inteligentes instalados estratégicamente cerca de los nidos de tortugas marinas ubicados en Playa El Murciélago. Estos dispositivos se encargan de medir variables ambientales como temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en el entorno de incubación.

Posteriormente, los datos recopilados por los sensores son transmitidos mediante tecnología LoRaWAN hacia el gateway de comunicación, encargado de recibir y reenviar la información al servidor de procesamiento del sistema. Gracias a esta tecnología, la transmisión de datos puede realizarse de manera eficiente, estable y con bajo consumo energético, incluso en zonas costeras y áreas con infraestructura limitada.

Una vez que la información llega al servidor, los datos son procesados, organizados y almacenados dentro de la base de datos PostgreSQL, permitiendo mantener registros históricos y gestionar de forma segura la información ambiental obtenida durante el monitoreo.

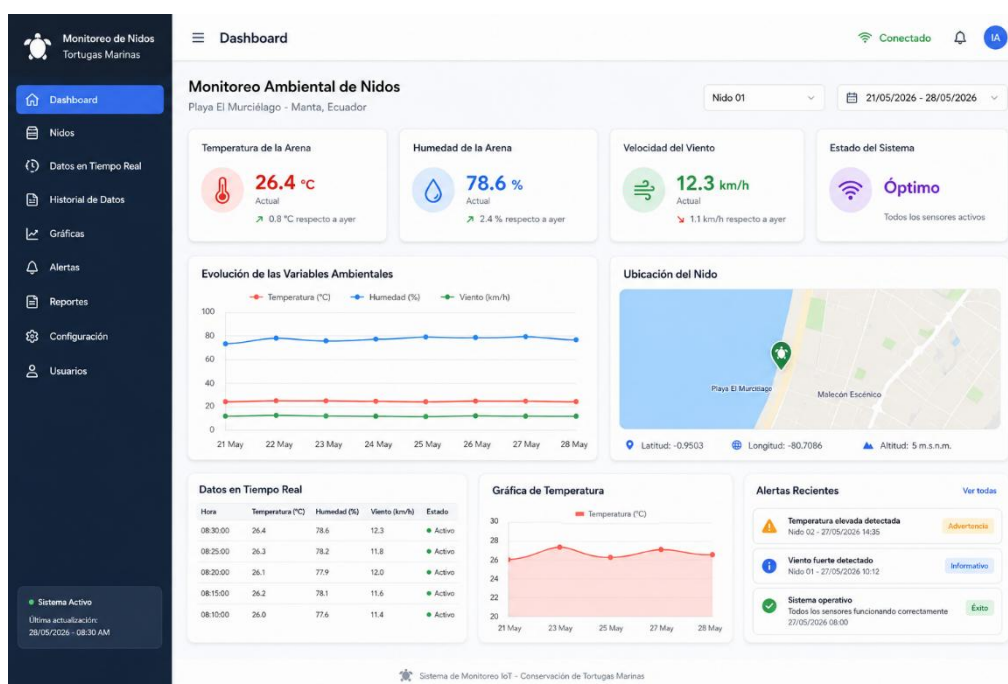
Finalmente, los datos procesados son representados y visualizados en tiempo real mediante la plataforma web de monitoreo ambiental, la cual incorpora dashboards interactivos,

gráficas dinámicas y herramientas de análisis estadístico que facilitan la interpretación de las condiciones ecológicas presentes en los nidos de tortugas marinas.

4.7 Diseño de la Plataforma Web

La plataforma web será desarrollada bajo principios de accesibilidad, organización visual y monitoreo ambiental en tiempo real, con el propósito de facilitar la supervisión e interpretación de la información recopilada mediante la arquitectura basada en IoT.

Figura 9. *Diseño de la plataforma web de monitoreo ambiental*



Nota: Mockup del diseño del sitio web de elaboración propia

Como se puede observar en la figura 5, el sistema contará con un panel principal de monitoreo desde el cual será posible visualizar de manera organizada las variables ambientales obtenidas desde los sensores instalados en los nidos de tortugas marinas ubicados en Playa El Murciélago.

Asimismo, la plataforma incorporará gráficas estadísticas, visualización histórica de datos, alertas ambientales automáticas y herramientas de supervisión relacionadas con el estado de conectividad y funcionamiento de los sensores IoT. Estas funcionalidades permitirán realizar

un seguimiento continuo de variables como temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en el entorno de incubación.

La interfaz será diseñada para ofrecer una experiencia intuitiva, dinámica y de fácil interpretación, facilitando el acceso y análisis de la información ambiental por parte de investigadores, conservacionistas y usuarios encargados del monitoreo ecológico.

Además, la representación visual de los datos mediante dashboards interactivos y reportes estadísticos permitirá identificar variaciones ambientales, analizar tendencias climáticas y fortalecer la toma de decisiones relacionadas con la conservación de tortugas marinas y la protección de los ecosistemas costeros.

4.8 Transmisión de Datos mediante LoRaWAN

La tecnología LoRaWAN permitirá transmitir información ambiental a largas distancias utilizando un bajo consumo energético, característica que la convierte en una solución eficiente para arquitecturas basadas en Internet of Things.

Esta capacidad resulta especialmente importante en proyectos de monitoreo ambiental desarrollados en zonas costeras y ecosistemas remotos, donde el acceso a infraestructura tradicional de comunicación y suministro eléctrico puede ser limitado o inexistente. Gracias a su eficiencia energética, los dispositivos IoT podrán operar durante largos períodos de tiempo sin requerir altos niveles de consumo o mantenimiento constante.

Asimismo, la implementación de LoRaWAN permitirá mantener una comunicación inalámbrica estable y continua entre los sensores ambientales y el gateway de comunicación, incluso en áreas alejadas del punto de procesamiento o en entornos con condiciones geográficas complejas.

4.9 Beneficios de la Propuesta

La implementación de la arquitectura basada en Internet of Things propuesta en la investigación permitirá generar múltiples beneficios relacionados con el monitoreo ecológico y la conservación de tortugas marinas en Playa El Murciélago.

Entre las principales ventajas del sistema destacan la capacidad de realizar monitoreo ambiental en tiempo real, la reducción de la intervención humana en las zonas de anidación y la automatización en la recopilación de datos relacionados con variables ambientales como temperatura, humedad y velocidad del viento. Estas características permitirán supervisar continuamente las condiciones presentes en los nidos sin alterar significativamente el entorno natural de incubación.

Asimismo, la arquitectura tecnológica facilitará el acceso remoto a la información ambiental mediante plataformas web de monitoreo, permitiendo a investigadores y conservacionistas consultar los datos desde dispositivos conectados a internet y analizar el comportamiento de las variables ambientales en tiempo real.

Otro beneficio importante corresponde al fortalecimiento de las estrategias de conservación ecológica, ya que la información obtenida permitirá identificar variaciones ambientales y evaluar las condiciones de incubación que influyen en el desarrollo embrionario y éxito de eclosión de las tortugas marinas.

Además, el sistema contribuirá a mejorar los procesos de análisis ambiental mediante el almacenamiento estructurado de datos históricos, lo que permitirá realizar estudios comparativos, análisis estadísticos y futuras investigaciones relacionadas con conservación de ecosistemas marinos y monitoreo ambiental automatizado.

4.10 Factibilidad de la Propuesta

4.10.1 Factibilidad Técnica

La propuesta tecnológica presenta factibilidad técnica debido a la disponibilidad y accesibilidad de dispositivos basados en Internet of Things, sensores ambientales, equipos de comunicación LoRaWAN y herramientas de desarrollo web compatibles con la arquitectura planteada en la investigación.

Asimismo, las tecnologías seleccionadas ofrecen un alto nivel de compatibilidad entre hardware y software, permitiendo integrar de manera eficiente sensores inteligentes, dispositivos de procesamiento, bases de datos y plataformas web de monitoreo ambiental dentro de un mismo ecosistema tecnológico.

4.10.2 Factibilidad Operativa

La propuesta tecnológica presenta factibilidad operativa debido a que el sistema de monitoreo podrá ser utilizado de manera sencilla y eficiente por investigadores, conservacionistas y personal encargado de la supervisión ambiental mediante una plataforma web intuitiva, accesible y orientada al monitoreo en tiempo real.

La interfaz desarrollada permitirá visualizar información ambiental de forma organizada mediante dashboards interactivos, gráficas dinámicas y herramientas de análisis que facilitarán la interpretación de variables como temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en los nidos de tortugas marinas ubicados en Playa El Murciélago.

Asimismo, la implementación de la arquitectura basada en Internet of Things permitirá automatizar gran parte del proceso de supervisión ambiental, reduciendo la necesidad de monitoreo manual constante y disminuyendo la intervención humana dentro de las zonas de anidación.

El acceso remoto a la información ambiental también facilitará la consulta y análisis de los datos desde diferentes dispositivos conectados a internet, optimizando los procesos de seguimiento ecológico y fortaleciendo las estrategias de conservación ambiental.

Además, la facilidad de uso de la plataforma permitirá que los usuarios puedan interpretar rápidamente la información obtenida por los sensores IoT, favoreciendo la toma de decisiones relacionadas con la protección de los nidos y el análisis de las condiciones ambientales presentes en el ecosistema costero monitoreado.

4.10.3 Factibilidad Económica

La implementación de tecnologías basadas en Internet of Things y LoRaWAN representa una alternativa tecnológica de bajo costo en comparación con los sistemas tradicionales utilizados para el monitoreo ambiental y supervisión ecológica.

El uso de sensores inteligentes de bajo consumo energético, dispositivos de comunicación eficientes y plataformas de desarrollo de código abierto permitirá reducir significativamente los costos asociados a infraestructura tecnológica, operación y mantenimiento del sistema de monitoreo ambiental.

Asimismo, las características de eficiencia energética de LoRaWAN facilitan el funcionamiento continuo de los dispositivos IoT durante largos períodos de tiempo, disminuyendo gastos relacionados con consumo eléctrico y reemplazo frecuente de equipos o baterías.

Otro aspecto importante es que el uso de herramientas de software libres y tecnologías compatibles contribuye a optimizar los recursos económicos necesarios para el desarrollo e implementación de la arquitectura propuesta, permitiendo construir una solución tecnológica funcional y escalable sin requerir inversiones elevadas.

Tabla 5. Presupuesto usado en el proyecto

Recurso	Cantidad	Valor
<i>LoRa Antenna Kit for Wio-WM1302 LoRaWAN Gateway Module</i>	1	\$5.99
<i>WM1302 LoRaWAN Gateway Module (USB) - US915</i>	1	\$30.99
<i>SenseCAP S2105 - LoRaWAN® Soil Moisture, Temperature and EC Sensor</i>	1	\$ 161.99
<i>reComputer R1025-10 - Raspberry Pi IoT Gateway & Controller, CM4-Powered, AI Capable 4GB RAM, 32GB eMMC</i>	1	\$ 209.00

<i>Highfine 2 x 2.4GHz 6dBi Antena WiFi omnidireccional interior 802.11n/b/g RP-SMA conector hembra + 0.8 x 7.9 in/8" UFL/IPEX a RP-SMA Pigtail Antena WiFi Cable WiFi</i>	1	\$ 8.59
<i>Generic Quectel EG25-G Mini PCIe Módulo 4G/LTE Cat 4 Módem celular IoT/M2M optimizado</i>	1	\$75.00
<i>Placa Iot Lora Sx1276 Esp32 + Wifi Y Bluetooth + Oled 0.96</i>	1	\$45
<i>Anemometro Sensor De Viento De Tres Tazas</i>	1	\$48
IMPUESTOS		\$33
<i>Transporte</i>	-	\$60
<i>Internet</i>	-	\$80
<i>Luz</i>	-	\$40
<i>Alimentación</i>	-	\$80
<i>Chip telefónico marca Tuenti</i>	1	\$5
<i>Recarga al chip telefónico</i>	1	\$5
TOTAL	-	\$882.62

Nota: Elaboración propia

4.11 Validación de la Propuesta

La validación de la propuesta tecnológica se realizará mediante pruebas de funcionamiento orientadas a verificar el correcto desempeño de la arquitectura basada en Internet of Things implementada para el monitoreo de los nidos de tortugas marinas.

Estas pruebas estarán enfocadas en evaluar aspectos fundamentales del sistema, tales como la captura de datos ambientales mediante sensores inteligentes, la estabilidad de transmisión de información utilizando tecnología LoRaWAN, el almacenamiento seguro de los registros dentro de la base de datos y la correcta visualización de los datos en tiempo real mediante la plataforma web de monitoreo ambiental.

Asimismo, el proceso de validación permitirá comprobar la precisión y continuidad de las mediciones relacionadas con temperatura, humedad y velocidad del viento presentes en el entorno de incubación de los nidos de tortugas marinas.

Las pruebas también facilitarán la evaluación del comportamiento operativo del sistema bajo condiciones ambientales reales presentes en Playa El Murciélago, incluyendo variaciones climáticas y condiciones propias del ecosistema costero.

Además, este proceso permitirá identificar posibles limitaciones técnicas y verificar la estabilidad de comunicación entre sensores, gateway y plataforma web, garantizando el correcto funcionamiento de la arquitectura tecnológica propuesta.

4.12 Evidencia de la Implementación en Campo

Con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica y validar el desempeño de la arquitectura IoT propuesta, se llevó a cabo la implementación de los dispositivos, sensores y componentes de comunicación en la Playa El Murciélagu, ubicada en la ciudad de Manta. Las evidencias fotográficas presentadas a continuación documentan las distintas fases del proceso, incluyendo la instalación de los equipos, la configuración de la infraestructura tecnológica y las actividades de monitoreo de las variables ambientales asociadas a los nidos de tortugas marinas.

La ejecución de estas pruebas en un entorno real permitió comprobar el adecuado funcionamiento de la red de comunicación basada en tecnología LoRaWAN, así como la capacidad del sistema para capturar, transmitir, procesar y visualizar información ambiental en tiempo real. Los resultados obtenidos evidencian la operatividad de la solución propuesta y su potencial aplicación como herramienta tecnológica para fortalecer las labores de monitoreo, investigación y conservación de las tortugas marinas en ecosistemas costeros.

Figura 10. Área de estudio seleccionada para la implementación del sistema



Nota: Zona de monitoreo seleccionada para la implementación de la arquitectura IoT destinada al seguimiento de variables ambientales asociadas a los nidos de tortugas marinas.
Elaboración propia.

Figura 11. Proceso de instalación de los sensores ambientales.



Nota: Proceso de instalación de los sensores encargados de registrar temperatura, humedad del suelo y velocidad del viento en el área de monitoreo

Figura 12. Configuración y pruebas del sistema IoT en campo



Nota: Actividades de configuración, calibración y verificación del funcionamiento de los dispositivos utilizados en la arquitectura IoT basada en tecnología LoRaWAN.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación y validación de la arquitectura IoT sustentada en tecnología LoRaWAN para el monitoreo ambiental de nidos de tortugas marinas en Playa El Murciélago. Se exponen los datos recopilados durante el proceso de monitoreo, analizando el comportamiento de las variables ambientales registradas, así como el desempeño integral del sistema en las etapas de adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización de la información en tiempo real.

De igual manera, se evalúa el nivel de efectividad de la solución tecnológica propuesta, considerando su capacidad para proporcionar información confiable y oportuna sobre las condiciones del entorno. Finalmente, los resultados obtenidos son contrastados con los objetivos establecidos en la investigación y con los hallazgos reportados en estudios previos, permitiendo determinar el aporte de la arquitectura desarrollada al monitoreo inteligente y la conservación de los nidos de tortugas marinas.

5.2 Resultados del Monitoreo Ambiental

5.2.1 Resultados de Humedad del Suelo

Durante la fase de monitoreo ambiental ejecutada mediante la arquitectura IoT desarrollada, se registraron niveles de humedad que oscilaron entre el 27,0 % y el 40,4 %. La información recopilada permitió identificar fluctuaciones relacionadas con las condiciones climáticas y las características ambientales propias de Playa El Murciélago, reflejando el comportamiento dinámico del entorno monitoreado.

Según los reportes diarios generados por la plataforma de monitoreo, el promedio máximo de humedad alcanzó el 37,6 %, mientras que el promedio mínimo fue de 28,3 %. Estos valores evidencian una variabilidad moderada de la humedad ambiental, manteniéndose dentro

de rangos relativamente estables durante el período de observación. Lo anterior demuestra la capacidad del sistema para capturar y registrar información ambiental de manera continua y confiable, proporcionando datos relevantes para el seguimiento de las condiciones que rodean el nido de tortugas marinas.

Figura 13. Humedad histórica registrada por el sistema IoT



Nota: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 5, los resultados muestran que la humedad se mantuvo dentro de rangos relativamente constantes durante el período monitoreado, permitiendo evaluar las condiciones del suelo donde se desarrolla el proceso de incubación.

5.2.2 Resultados de Temperatura de la Arena

La temperatura representa una de las variables ambientales de mayor relevancia en el proceso de incubación de las tortugas marinas, debido a que influye directamente en el desarrollo embrionario, la viabilidad de los huevos e incluso en la determinación del sexo de las crías. Por esta razón, su monitoreo continuo resulta fundamental para evaluar las condiciones presentes en el nido.

Los registros obtenidos mediante la arquitectura IoT implementada evidenciaron temperaturas que oscilaron entre un valor mínimo de 23,4 °C y un valor máximo de 31,9 °C

durante el período de monitoreo. Estos datos reflejan las variaciones térmicas naturales del entorno costero donde se localiza el nido.

Adicionalmente, los reportes diarios generados por la plataforma permitieron identificar temperaturas promedio comprendidas entre 24,7 °C y 31,1 °C. Los resultados obtenidos muestran un comportamiento térmico relativamente estable, proporcionando información valiosa para el seguimiento de las condiciones ambientales que influyen en el proceso de incubación y desarrollo de las tortugas marinas en Playa El Murciélagos.

Figura 14. *Temperatura histórica registrada por el sistema*

FECHA / HORA	HUMEDAD (%)	TEMP (°C)	EC (MS/CM)	RSSI (DBM)	SNR	FCNT
2026-05-30 16:40:33	32.10%	30.88°C	0.220 mS/cm	-110 dBm	-7.0	18705
2026-05-30 16:24:19	32.10%	31.70°C	0.220 mS/cm	-110 dBm	-6.8	18655
2026-05-30 14:42:29	32.10%	31.70°C	0.220 mS/cm	-112 dBm	-15.5	18345
2026-05-30 14:40:21	32.10%	31.70°C	0.220 mS/cm	-112 dBm	-17.8	18339
2026-05-30 14:40:13	32.10%	31.70°C	0.220 mS/cm	-112 dBm	-15.5	18338
2026-05-30 14:39:29	32.10%	31.70°C	0.220 mS/cm	-113 dBm	-15.5	18333
2026-05-30 14:37:39	32.10%	31.70°C	0.220 mS/cm	-113 dBm	-17.0	18330
2026-05-30 14:35:27	32.10%	31.70°C	0.220 mS/cm	-113 dBm	-16.2	18324
2026-05-30 14:35:13	32.10%	31.80°C	0.220 mS/cm	-113 dBm	-18.0	18323
2026-05-30 14:33:49	32.10%	31.80°C	0.330 mS/cm	-113 dBm	-17.0	18319
2026-05-30 14:33:33	34.20%	31.80°C	0.330 mS/cm	-113 dBm	-17.2	18318

Nota: Elaboración propia.

Las temperaturas registradas evidencian un comportamiento acorde con las condiciones ambientales de una playa costera tropical, permitiendo realizar seguimiento continuo sobre posibles variaciones que puedan afectar el proceso de incubación.

5.2.3 Resultados de Velocidad del Viento

La velocidad del viento constituye una variable ambiental relevante dentro del ecosistema costero, ya que puede influir en las condiciones microclimáticas que rodean los nidos de tortugas marinas, afectando parámetros como la temperatura superficial de la arena y la humedad del entorno. Por ello, su monitoreo permite obtener una visión más completa de las condiciones ambientales presentes en la zona de estudio.

Mediante el anemómetro integrado a la arquitectura IoT y conectado a la red LoRaWAN, fue posible registrar de forma continua el comportamiento de esta variable durante el período de observación. Los datos recopilados evidenciaron velocidades promedio cercanas a los 48 km/h, reflejando la dinámica característica de los vientos presentes en el sector costero de Playa El Murciélago.

Asimismo, se registraron picos máximos de velocidad que alcanzaron hasta 89,8 km/h en determinados momentos del monitoreo. Estos resultados demuestran la capacidad del sistema para detectar y transmitir variaciones ambientales significativas en tiempo real, proporcionando información útil para el análisis de las condiciones climáticas que podrían incidir en el entorno de incubación de las tortugas marinas.

Figura 15. *Velocidad histórica del viento*



Nota: Elaboración propia.

La velocidad del viento presentó variaciones importantes durante el período de monitoreo, comportamiento característico de ecosistemas costeros expuestos a corrientes marinas y cambios climáticos diarios.

5.3 Resultados de la Comunicación LoRaWAN

La arquitectura IoT propuesta demostró un desempeño satisfactorio en la transmisión de los datos ambientales recopilados por los sensores, utilizando la tecnología LoRaWAN como medio de comunicación de largo alcance y bajo consumo energético. Esta capacidad permitió

garantizar el envío eficiente de la información generada en el área de monitoreo hacia la plataforma de gestión y visualización de datos.

Durante la fase de validación y pruebas operativas, se comprobó la recepción continua y estable de mensajes uplink provenientes de los nodos instalados en campo. Los registros obtenidos evidenciaron que los dispositivos lograron transmitir correctamente las mediciones ambientales hacia la infraestructura de red, manteniendo la integridad y disponibilidad de la información.

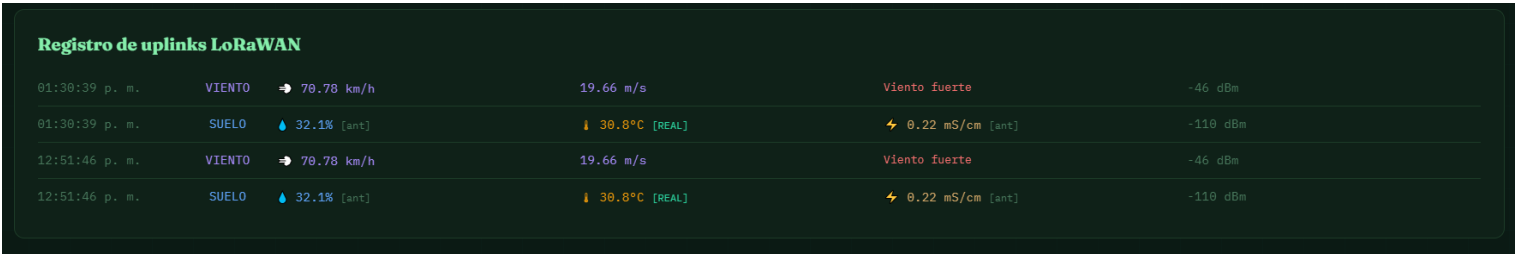
Estos resultados confirman la viabilidad de la tecnología LoRaWAN para aplicaciones de monitoreo ambiental en zonas costeras, permitiendo una comunicación confiable entre los sensores y la plataforma centralizada, incluso en escenarios donde la conectividad convencional puede presentar limitaciones.

Tabla 6. *Parámetros de comunicación registrados*

Parámetro	Valor observado
<i>RSSI mínimo</i>	-113 dBm
<i>RSSI máximo</i>	-46 dBm
<i>SNR mínimo</i>	-18 Db
<i>SNR máximo</i>	14 dB
<i>Estado de transmisión</i>	Correcto
<i>Recepción de paquetes</i>	Estable

Fuente: Plataforma IoT desarrollada.

Figura 16. *Registro de uplinks LoraWan*



Nota: Elaboración propia.

Los valores RSSI y SNR obtenidos demuestran que la tecnología LoRaWAN mantuvo una comunicación estable entre los sensores y el gateway, permitiendo la transmisión continua de información ambiental.

5.4 Resultados de la Plataforma Web

La plataforma web desarrollada permitió la visualización y consulta en tiempo real de la información generada por los sensores IoT desplegados en el área de monitoreo. Gracias a esta funcionalidad, fue posible supervisar continuamente las condiciones ambientales del entorno donde se localiza el nido de tortugas marinas, facilitando el acceso oportuno a los datos recopilados.

La interfaz fue diseñada para presentar de manera clara e intuitiva los principales indicadores ambientales monitoreados, permitiendo a los usuarios analizar el comportamiento de las variables mediante gráficos, tablas y paneles informativos. Entre los parámetros visualizados se incluyeron la humedad del suelo, la temperatura de la arena, la conductividad eléctrica y la velocidad del viento, variables fundamentales para evaluar las condiciones del hábitat de incubación.

Adicionalmente, la plataforma incorporó herramientas para la consulta de históricos de monitoreo, generación de resúmenes diarios y supervisión del estado operativo de los dispositivos conectados a la red LoRaWAN. Estas funcionalidades facilitaron el seguimiento integral del sistema y contribuyeron a una gestión más eficiente de la información ambiental obtenida durante el proceso de monitoreo.

Figura 17. *Dashboard principal del sistema de monitoreo*



Nota: Elaboración propia.

La plataforma permitió centralizar toda la información obtenida por los sensores, facilitando la supervisión remota y la toma de decisiones relacionadas con el monitoreo ambiental.

5.5 Validación de la Propuesta Tecnológica

Los resultados obtenidos durante la fase de validación permitieron confirmar el adecuado funcionamiento de todos los componentes que integran la arquitectura IoT propuesta. Las pruebas realizadas evidenciaron una correcta interacción entre los sensores, los nodos de comunicación, la red LoRaWAN, la plataforma de almacenamiento y la interfaz web de visualización.

Asimismo, se comprobó que el sistema fue capaz de ejecutar de manera eficiente cada una de las etapas del proceso de monitoreo, desde la captura de las variables ambientales hasta la transmisión, procesamiento y presentación de los datos en tiempo real. Estos resultados demuestran la estabilidad operativa de la solución tecnológica y respaldan su viabilidad para aplicaciones de monitoreo ambiental orientadas a la conservación de nidos de tortugas marinas.

Tabla 7. *Resultados de validación del sistema*

Prueba	Resultado
Lectura de humedad	Correcta
Lectura de temperatura	Correcta
Lectura de velocidad del viento	Correcta
Lectura de conductividad	Correcta
Comunicación LoRaWAN	Correcta
Almacenamiento PostgreSQL	Correcto
Visualización web	Correcta
Dashboard en tiempo real	Correcto

Nota: Elaboración propia.

5.6 Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos durante la implementación y validación de la arquitectura IoT basada en tecnología LoRaWAN demuestran la viabilidad y eficiencia de la solución propuesta para el monitoreo ambiental de nidos de tortugas marinas en Playa El Murciélago. La integración de sensores ambientales, dispositivos de comunicación inalámbrica y una plataforma web de monitoreo permitió recopilar y gestionar información en tiempo real sobre las condiciones presentes en el entorno de incubación, facilitando la supervisión continua de variables críticas para la conservación de esta especie.

En relación con la humedad del suelo, los datos registrados evidenciaron valores comprendidos entre 27,0 % y 40,4 %, mientras que los promedios diarios oscilaron entre 28,3 % y 37,6 %. Estos resultados reflejan un comportamiento relativamente estable de la humedad durante el período de observación, aunque se identificaron variaciones asociadas a las condiciones climáticas propias de la zona costera.

Respecto a la temperatura de la arena, los registros obtenidos mostraron valores mínimos de 23,4 °C y máximos de 31,9 °C, mientras que las temperaturas promedio diarias se situaron entre 24,7 °C y 31,1 °C. Las gráficas generadas por la plataforma evidenciaron variaciones térmicas relacionadas con los ciclos diarios de radiación solar, permitiendo identificar periodos de incremento y disminución de temperatura a lo largo del día. Estos resultados son particularmente relevantes debido a que la temperatura constituye una variable determinante en el desarrollo embrionario y en los procesos biológicos asociados a la incubación de las tortugas marinas.

En cuanto a la velocidad del viento, los registros capturados por el anemómetro evidenciaron velocidades promedio cercanas a los 48 km/h y picos máximos de hasta 89,8 km/h durante determinados intervalos de monitoreo. Las fluctuaciones observadas son consistentes con las características meteorológicas propias de un ecosistema costero, donde la influencia de las

corrientes marinas y los cambios atmosféricos generan variaciones constantes en la intensidad del viento.

Uno de los aspectos más relevantes de la investigación fue la validación de la comunicación inalámbrica mediante tecnología LoRaWAN. Durante el período de pruebas se registró una transmisión continua y estable de datos desde los nodos sensores hacia la plataforma centralizada. Los indicadores de calidad de enlace mostraron valores RSSI comprendidos entre -113 dBm y -46 dBm, así como valores SNR entre -18 dB y 14 dB, parámetros que evidencian una recepción adecuada de los paquetes de datos y una comunicación confiable dentro de las condiciones de operación establecidas.

Asimismo, la plataforma web desarrollada demostró ser una herramienta eficaz para la gestión y supervisión remota del sistema. La incorporación de dashboards interactivos, indicadores en tiempo real, gráficos históricos, reportes diarios y módulos de seguimiento de dispositivos facilitó la centralización de la información en una única interfaz de acceso. Esta característica redujo la necesidad de inspecciones presenciales frecuentes y permitió disponer de información actualizada sobre el estado ambiental del nido y el funcionamiento de los dispositivos desplegados en campo.

Los resultados obtenidos presentan concordancia con diversas investigaciones revisadas en el estado del arte, las cuales destacan el potencial de las tecnologías IoT y las redes LPWAN para aplicaciones de monitoreo ambiental en ecosistemas naturales. De manera similar a estudios desarrollados en proyectos de conservación de fauna y monitoreo de variables ambientales, la arquitectura implementada logró proporcionar transmisión de datos de largo alcance, bajo consumo energético y acceso remoto a la información, características fundamentales para entornos donde la supervisión permanente resulta compleja.

En términos generales, los hallazgos obtenidos permiten concluir que la arquitectura IoT propuesta cumplió satisfactoriamente con los objetivos establecidos en la investigación. La integración de sensores ambientales, comunicación LoRaWAN, bases de datos PostgreSQL y una

plataforma web de monitoreo permitió capturar, transmitir, almacenar y visualizar información ambiental en tiempo real de manera eficiente y confiable.

Tabla 8. Comparación antes y después de la implementación del sistema IoT

Aspecto Evaluado	Situación Antes		Situación Después		
Monitoreo de temperatura	Mediciones esporádicas	manuales	Monitoreo en tiempo real	automático	en
Monitoreo de humedad	Registros discontinuos	limitados	y Registro de sensores IoT	continuo	mediante
Monitoreo de velocidad del viento	No existía monitoreo permanente		Datos transmitidos automáticamente		
Disponibilidad de información	Dependía de observaciones de campo		Acceso remoto mediante dashboard web		
Tiempo de obtención de datos	Horas o días después de la medición		Información inmediata		
Historial de datos	Registros físicos o inexistentes		Base de datos PostgreSQL		
Toma de decisiones	Basada en observaciones puntuales		Basada en datos históricos y en tiempo real		
Comunicación de datos	No existía transmisión automática		Comunicación mediante LoRaWAN		
Supervisión del nido	Presencial		Remota y continua		
Apoyo a la conservación	Limitado		Mayor capacidad de seguimiento ambiental		

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 8 presenta una comparación entre las condiciones de monitoreo existentes antes de la implementación del sistema propuesto y las capacidades alcanzadas posteriormente mediante la arquitectura IoT basada en LoRaWAN. Los resultados evidencian mejoras significativas en la automatización de la recolección de datos, disponibilidad de información en tiempo real, almacenamiento histórico y monitoreo remoto de variables ambientales críticas para la conservación de los nidos de tortugas marinas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó exitosamente una arquitectura basada en Internet de las Cosas (IoT) y tecnología LoRaWAN para el monitoreo ambiental de nidos de tortugas marinas en Playa El Murciélago, permitiendo la adquisición, transmisión y visualización de datos ambientales en tiempo real. La integración de sensores inteligentes, dispositivos de comunicación y una plataforma web demostró la viabilidad técnica de la propuesta para apoyar procesos de conservación ambiental en ecosistemas costeros.
- La implementación de la red de sensores ambientales permitió registrar de forma continua variables críticas para el proceso de incubación de los huevos, tales como temperatura, humedad y velocidad del viento. Los resultados obtenidos evidenciaron la capacidad del sistema para recopilar información confiable y oportuna, proporcionando una fuente de datos útil para el seguimiento de las condiciones ambientales presentes en los nidos monitoreados.
- La utilización de tecnología LoRaWAN demostró ser una alternativa eficiente para la transmisión inalámbrica de datos en entornos abiertos y de difícil acceso. Las pruebas realizadas confirmaron la estabilidad de la comunicación entre los nodos sensores, el gateway y la plataforma de monitoreo, garantizando el envío continuo de información con bajo consumo energético y reduciendo la necesidad de infraestructura de comunicación compleja.
- El desarrollo de la plataforma web permitió centralizar el almacenamiento, procesamiento y visualización de los datos ambientales obtenidos por los sensores IoT. La interfaz implementada facilitó la supervisión remota de las condiciones de incubación mediante gráficos, indicadores y registros históricos, mejorando el acceso a la información para investigadores y responsables de la conservación de tortugas marinas.

- La evaluación de la propuesta tecnológica evidenció una mejora significativa en los procesos de monitoreo ambiental en comparación con los métodos tradicionales de observación manual. La automatización de la captura y transmisión de datos permitió obtener información continua, reducir tiempos de supervisión y fortalecer la capacidad de análisis de las variables ambientales que influyen en el éxito reproductivo de las tortugas marinas.

- Los resultados obtenidos durante la fase de validación confirmaron el correcto funcionamiento de todos los componentes del sistema, incluyendo sensores, red LoRaWAN, base de datos PostgreSQL y plataforma web. Esto demuestra que la arquitectura propuesta constituye una solución tecnológica funcional, escalable y aplicable a futuros proyectos de monitoreo ambiental y conservación de especies en diferentes zonas costeras del Ecuador.

6.2 Recomendaciones

- Extender la implementación del sistema de monitoreo a un mayor número de nidos de tortugas marinas distribuidos en diferentes sectores de Playa El Murciélago y otras zonas de anidación, con el propósito de incrementar el volumen de información recopilada y realizar estudios comparativos que permitan comprender mejor las variaciones ambientales entre distintos hábitats de incubación.
- Incorporar sensores adicionales capaces de medir variables ambientales complementarias, tales como radiación solar, presión atmosférica, precipitación, calidad del aire y humedad relativa, con el fin de ampliar el alcance del monitoreo y obtener una caracterización más completa de las condiciones que influyen en el desarrollo de los nidos.
- Implementar sistemas de alimentación energética basados en paneles solares y tecnologías de bajo consumo, permitiendo aumentar la autonomía operativa de los dispositivos IoT y garantizando la continuidad del monitoreo en áreas remotas, con limitada infraestructura eléctrica o de difícil acceso.
- Desarrollar e integrar módulos de alertas inteligentes que generen notificaciones automáticas cuando las variables ambientales registradas superen los rangos considerados óptimos para la

incubación de los huevos, facilitando una respuesta rápida por parte de investigadores, conservacionistas y organismos responsables del monitoreo.

- Incorporar técnicas de análisis predictivo, aprendizaje automático e inteligencia artificial que permitan identificar tendencias, patrones ambientales y posibles factores de riesgo, contribuyendo a la generación de modelos capaces de anticipar eventos que puedan afectar el éxito reproductivo y la supervivencia de las tortugas marinas.
- Replicar y adaptar la arquitectura tecnológica propuesta en otras playas de anidación del Ecuador, con el objetivo de fortalecer los programas de monitoreo y conservación a nivel nacional, así como construir bases de datos ambientales más amplias que sirvan de apoyo para futuras investigaciones científicas y proyectos de gestión ambiental.
- Mantener un proceso continuo de actualización, optimización y mantenimiento de la plataforma web y de la infraestructura tecnológica asociada, garantizando la estabilidad operativa del sistema, la protección de la información almacenada, la disponibilidad permanente de los servicios y la escalabilidad de la solución ante futuras ampliaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adepu, G. (2022). MACHINE LEARNING-DRIVEN ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS FOR REAL-TIME REGULATORY COMPLIANCE AND RISK DETECTION. *International Journal of Engineering & Extended Technologies Research (IJEETR)*, 4(2), 23–37.
<https://doi.org/10.15662/g7x3wj55>
- Anchiraico Alderete, J. K., Orellana Mendoza, E. E., Ayre Balbin, V., Orellana Ayre, E. D., & Peceros Oscoco, H. H. (2026).
Http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2739-00632026000203069&lng=es&nrm=iso&tlng=es. *Revista InveCom*, 6(2).
<https://doi.org/10.5281/zenodo.16741506>
- Arenas, L., & Fabian, Y. (2024). *Análisis del Estado del Arte en el Uso de las Tecnologías Internet de las cosas para Sistemas de Monitoreo en la Apicultura a Nivel Nacional e Internacional*.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/62078>
- Azanza Ricardo, J., Calderón Peña, R., Cabrera Guerra, C., Martínez González, Y., Betancourt Avila, R., Pérez Álvarez, P., Azanza Ricardo, J., Calderón Peña, R., Cabrera Guerra, C., Martínez González, Y., Betancourt Avila, R., & Pérez Álvarez, P. (2023). Vulnerabilidad de las áreas de anidación de tortugas marinas ante el cambio climático. *Anales de La Academia de Ciencias de Cuba*, 13(2).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2304-01062023000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Baena Navarro, R. E., Carriazo Regino, Y., & Macea Anaya, M. R. (2025). *Capítulo 2: Aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube en el monitoreo ambiental: Revisión sistemática y análisis de datos* (pp. 15–30).

- Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería de Sistemas, Montería. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/59316>
- Bates, H., Pierce, M., & Benter, A. (2021). Real-Time Environmental Monitoring for Aquaculture Using a LoRaWAN-Based IoT Sensor Network. *Sensors*, 21(23), 7963. <https://doi.org/10.3390/s21237963>
- Bonilla, V., Campoverde, B., & Yoo, S. G. (2023). A Systematic Literature Review of LoRaWAN: Sensors and Applications. *Sensors*, 23(20), 8440. <https://doi.org/10.3390/s23208440>
- Castro Lizarbe, A. G. (2023). *Islas Cavillaca. Complejo de revaloración del patrimonio insular*. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/24617>
- Cobeña, G. I. M., Coterá-Ramírez, G. A., Felipe, M. del R. C., & Sánchez, W. A. M. (2025). Monitorización Ambiental con IoT y Big Data: Una Revisión Sistemática de Avances y Desafíos. *INNOVATION & DEVELOPMENT IN ENGINEERING AND APPLIED SCIENCE*, 7(2), 12–12. <https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1288>
- Contreras-Mérida, M. R., & Morales-Mérida, B. A. (2021). Relación entre la temperatura de incubación y la asimetría del carapacho de neonatos de *Lepidochelys olivacea* incubados en el Área de Usos Múltiples Hawaii (AUMH), Santa Rosa, Guatemala. *Revista Científica*, 30(1), 27–36. <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v30i1.18>
- Coulby, G., Clear, A. K., Jones, O., & Godfrey, A. (2021). Low-cost, multimodal environmental monitoring based on the Internet of Things. *Building and Environment*, 203, 108014. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108014>
- Cuevas, J. L. S., Castillo, M. M. G., Peña, L. J. M., Jácome, O. S., & Pacheco, A. E. V. (2023). Monitoreo de temperatura y humedad ambiental con lorawan: IoT en el

- desafío energético y el cambio climático. *REVISTA IPSUMTEC*, 6(5), 60–67.
<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v6i5.215>
- Esquivel Pineda, G. (2024). *Evaluación de las condiciones ambientales sobre el éxito de eclosión de Sceloporus aeneus (Squamata: Phrynosomatidae) en un ambiente templado*. http://repositorio.uatx.mx:8443/jspui/handle/DSyTI_UATx/755
- Gispert, M. Í., & Vivanco, M. G. (2025). *Crónicas en Primer Movimiento. Sustentabilidad*. UNAM, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial.
- Greengard, S. (2021). *The Internet of Things, revised and updated edition*. MIT Press.
- Gulati, K., Kumar Boddu, R. S., Kapila, D., Bangare, S. L., Chandnani, N., & Saravanan, G. (2022). A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT). *Materials Today: Proceedings, CMAE'21, 51*, 161–165. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.067>
- Gutiérrez, Y. Á., Escobar, A. H., & Vince, A. (2022). CARACTERIZACIÓN DEL VARAMIENTO DE TORTUGAS GOLFINAS EN PLAYAS DE LA PARROQUIA CRUCITA: CARACTERIZACIÓN DEL VARAMIENTO DE TORTUGAS GOLFINAS. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 6(1), 129–140. <https://doi.org/10.47230/unsum-ciencias.v6.n1.2022.332>
- Gutiérrez Zambrano, G. C., & Vélez Molina, J. S. (2023). *EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ANIDACIÓN DE TORTUGAS MARINAS (L. OLIVACEA, E. IMBRICATA, C. MYDAS) EN LA COSTA SUR DE MANABÍ* [bachelorThesis, Jipijapa-Unesum]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4863>
- Hassan, Q. F. (2025). *Internet of Things A to Z: Technologies and Applications*. John Wiley & Sons.

- Hidalgo Sevillano, S. A. (2025). *Plataformas en la nube para sistemas IOT: Implementación de un prototipo iot para sensado de parámetros ambientales utilizando la plataforma the thing network (TTN) en un ambiente Lorawan*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26637>
- Iqbal, S., & Nazish, A. (2024). Security and Privacy Challenges in IoT Applications: A Focus on LoRaWAN Networks. In *Strengthening Industrial Cybersecurity to Protect Business Intelligence* (pp. 180–208). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0839-4.ch008>
- Jamshed, M. A., Ali, K., Abbasi, Q. H., Imran, M. A., & Ur-Rehman, M. (2022). Challenges, Applications, and Future of Wireless Sensors in Internet of Things: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 22(6), 5482–5494. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3148128>
- Jiménez Jiménez, M. L. (2023). *TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LA ARENA EN ÁREAS DE ANIDACIÓN DE TORTUGAS MARINAS MEDIANTE TELEDETECCIÓN* [masterThesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.]. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/3182>
- Kopetz, H., & Steiner, W. (2022). Internet of Things. In H. Kopetz & W. Steiner (Eds.), *Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications* (pp. 325–341). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11992-7_13
- Laha, S. R., Pattanayak, B. K., Pattnaik, S., Laha, S. R., Pattanayak, B. K., & Pattnaik, S. (2022). Advancement of Environmental Monitoring System Using IoT and Sensor: A Comprehensive Analysis. *AIMS Environmental Science*, 9(6), 771–800. <https://doi.org/10.3934/environsci.2022044>

- Lopes, I. R., Coelho, P. R. da S. L., Pasquini, R., & Miani, R. S. (2025). Evaluating the Performance of LoRa Networks: A Study on Disaster Monitoring Scenarios. *IoT*, 6(1), 14. <https://doi.org/10.3390/iot6010014>
- López Medina, M. B., & Paste Zambrano, J. P. (2025). “*Diseño de una estación meteorológica inteligente para el monitoreo continuo de variables ambientales utilizando tecnologías de internet de las cosas (IoT)*” [Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/14276>
- Lupi, O. D., Zaradnik, I. J., Turconi, D. H., Slawiski, J. M., Domínguez, F. M., Caccaviello, D. I., De Vita, F. D., Martinez Sarrasegue, C., Horowicz, B. D., Lucero, M., Salvatore, L. F., & Calabro, J. P. (2024). *Uso de redes LoraWAN para la gestión ambiental de ecosistemas acuáticos*. <http://repositoriocy.unlam.edu.ar/handle/123456789/2255>
- Lv, X., & Li, M. (2021). Application and Research of the Intelligent Management System Based on Internet of Things Technology in the Era of Big Data. *Mobile Information Systems*, 2021(1), 6515792. <https://doi.org/10.1155/2021/6515792>
- Manzano, L. G., Boukabache, H., Danzeca, S., Heracleous, N., Murtas, F., Perrin, D., Pirc, V., Alfaro, A. R., Zimmaro, A., & Silari, M. (2021). An IoT LoRaWAN Network for Environmental Radiation Monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1–12. <https://doi.org/10.1109/TIM.2021.3089776>
- Medel, V. L. M. C. P. E. M. Á. V. (2024). *Cómo percibir: Guía sensorial de escritura creativa*. ALBA Editorial.
- Menéndez Cedeño, M. J., & Tenelema Mero, J. P. (2025). *Cambio climático y sex ratio de la tortuga marina golfina (Lepidochelys olivacea) en las playas Crucita y*

San Jacinto al norte de Manabí en la temporada julio 2024 – enero 2025.

[bachelorThesis, Jipijapa - Unesum].

<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/7398>

Molano, C. A. R., & Pérez, A. F. O. (2026). Arquitectura IoT basada en Node-RED y MQTT para el monitoreo ambiental en entornos agrícolas. *INGENIERÍA*

INVESTIGA, 8, e1332–e1332. <https://doi.org/10.47796/ing.v8i00.1332>

Mora, N. E., Orrego, C. M., & Alvarado, L. D. A. (2021). Estimación del área y el número máximo de turistas para observar la anidación de tortugas marinas protegidas. *Ecología Austral*, 31(2), 289–300.

<https://doi.org/10.25260/EA.21.31.2.0.1133>

Mustapha, U. F., Alhassan, A.-W., Jiang, D.-N., & Li, G.-L. (2021). Sustainable aquaculture development: A review on the roles of cloud computing, internet of things and artificial intelligence (CIA). *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2076–2091. <https://doi.org/10.1111/raq.12559>

Netho, A. A., Andrade, G. E. de, & Pereira, L. A. (2023). Internet de las cosas (IoT) en la Gestión Ambiental de Ciudades Inteligentes: Presentación del Proyecto Smart Harpia como Estudio de Caso. *ALBA - ISFIC Research and Science Journal*, 1(2), 3–12.

Olivera-Ruiz, G., & Vega-Ventocilla, E. J. (2026). Internet de las cosas para el monitoreo de factores ambientales agrícolas: Mapeo sistemático. *Ingenium et Potentia*, 8(14), 137–161. <https://doi.org/10.35381/i.p.v8i14.4909>

Pacheco Pinargote, E. D. (2022). *Tensores antropogénicos en sitios marino-costeros durante la época de anidación de tortugas marinas en las provincias de Esmeraldas, Manabí y Santa Elena, Ecuador 2011-2020.*

<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8097>

- Palacios, L. E. S., Rodríguez, M. C., Molina, J. L. M., & Franco, V. M. C. (2025). El Internet de las cosas en la agricultura. *Polo del Conocimiento*, 10(2), 766–778. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i2.8914>
- Pattanayak, B. K., Nohur, D., Cowlessur, S. K., & Mohanty, R. K. (2021). An IoT-Based System Architecture for Environmental Monitoring. In C. R. Panigrahi, B. Pati, B. K. Pattanayak, S. Amic, & K.-C. Li (Eds.), *Progress in Advanced Computing and Intelligent Engineering* (pp. 507–514). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4299-6_42
- Pinargote Solórzano, N. J. (2025). *Impacto del cambio climático en la proporción sexual de la tortuga golfina (Lepidochelys olivacea) en las playas de Manta, Manabí*. [bachelorThesis, Jipijapa - Unesum]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/7390>
- Portillo Godoy, F. M., Aixa González, D., Mendoza Aguilar, J. I., Baca Rodríguez, L. D. S., Portillo Godoy, F. M., Aixa González, D., Mendoza Aguilar, J. I., & Baca Rodríguez, L. D. S. (2022). Efectos del Enos durante la veda y liberación de lepidochelys olivacea en Golfo de Fonseca del 2010-2020. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(6), 596–607.
- Ragnoli, M., Colaiuda, D., Leoni, A., Ferri, G., Barile, G., Rotilio, M., Laurini, E., De Berardinis, P., & Stornelli, V. (2022). A LoRaWAN Multi-Technological Architecture for Construction Site Monitoring. *Sensors*, 22(22), 8685. <https://doi.org/10.3390/s22228685>
- Ramani, D. R., Sujitha, B. B., & Tangade, S. (2025). Smart Environmental Monitoring Systems. In *Environmental Monitoring Using Artificial Intelligence* (pp. 45–60). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781394270392.ch3>

- Ricardo, J. A., Guerra, C. C., Borges, A. M., Alvarez, J. C. F., Alarcón, A. P., González, Y. M., Peña, R. C., Avila, R. B., & Montero, R. V. (2021). Impacto de eventos meteorológicos en el éxito reproductivo de las tortugas marinas en la Península de Guanahacabibes, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 41(2), 109–125.
- Ríos-Huerta, D. R., González-Hernández, M., Hart, C. E., Ramírez-Guillén, A., & Santos, K. E. (2021). Evaluación de 2 métodos de incubación ex situ para huevos de tortugas marinas considerando temperatura del nido, éxito de eclosión, y calidad de los neonatos. *Ciencias Marinas*, 47(4), 241–254.
<https://doi.org/10.7773/cm.v47i4.3225>
- Sadhu, P. K., Yanambaka, V. P., & Abdelgawad, A. (2022). Internet of Things: Security and Solutions Survey. *Sensors*, 22(19), 7433. <https://doi.org/10.3390/s22197433>
- Salam, A. (2024). Internet of Things for Sustainable Community Development: Introduction and Overview. In A. Salam (Ed.), *Internet of Things for Sustainable Community Development: Wireless Communications, Sensing, and Systems* (pp. 1–31). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62162-8_1
- Samizadeh Nikoui, T., Rahmani, A. M., Balador, A., & Haj Seyyed Javadi, H. (2021). Internet of Things architecture challenges: A systematic review. *International Journal of Communication Systems*, 34(4), e4678.
<https://doi.org/10.1002/dac.4678>
- Sánchez-Castillo, V. (2025). Aplicaciones de la tecnología Internet of Things en las ciencias ambientales: Un estudio mixto en la base de datos Scopus. *Respuestas*, 30(1), 51–66. <https://doi.org/10.22463/0122820X.4689>
- Sandoval-Ramírez, J.-L., Solana-Arellano, E., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S., Castro-Mondragón, H., Sandoval-Ramírez, J.-L., Solana-

- Arellano, E., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S., & Castro-Mondragón, H. (2021a). Efecto de la reubicación de nidos en el éxito reproductivo de la tortuga marina *Lepidochelys olivacea* (Testudinata: Cheloniidae). *Revista de Biología Tropical*, 69(4), 1233–1241.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v69i4.46689>
- Sandoval-Ramírez, J.-L., Solana-Arellano, E., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S., Castro-Mondragón, H., Sandoval-Ramírez, J.-L., Solana-Arellano, E., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S., & Castro-Mondragón, H. (2021b). Effect of nest relocation on the reproductive success of the marine turtle *Lepidochelys olivacea* (Testudinata: Cheloniidae). *Revista de Biología Tropical*, 69(4), 1233–1241.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v69i4.46689>
- Silva-Moreno, M. A., & Culma-Caraballo, K. S. (2026). *Diseño e implementación de un Sistema Portátil de Monitoreo de variables Ambientales Basado en IoT en la Universitaria Agustiniiana*.
<https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/3266>
- Silvestre, E. R. R., Telleria, R. I. F., & Rodriguez, A. O. (2022). Desarrollo de una plataforma de monitoreo para una red de dispositivos IOT empleando tecnología Lorawan. *Journal Boliviano de Ciencias*, 18(53), 6–25.
<https://doi.org/10.52428/20758944.v18i53.371>
- Sindhvani, N., Anand, R., Vashisth, R., Chauhan, S., Talukdar, V., & Dhabliya, D. (2022). Thingspeak-Based Environmental Monitoring System Using IoT. *2022 Seventh International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)*, 675–680. <https://doi.org/10.1109/PDGC56933.2022.10053167>

- Sobhi, S., Elzanaty, A., Selim, M. Y., Ghuniem, A. M., & Abdelkader, M. F. (2023). Mobility of LoRaWAN Gateways for Efficient Environmental Monitoring in Pristine Sites. *Sensors*, 23(3), 1698. <https://doi.org/10.3390/s23031698>
- Suárez Vega, J. P. (2025). *Valoración del cambio de temperatura del suelo y estimación de la proporción de sexos en los nidos de Dermochelys coriacea en Playa Bobalito (Necoclí—Antioquia) a partir de datos de temperatura modelados y registros de anidación (2014-2020)*. <https://hdl.handle.net/10495/48130>
- Tirado Rodríguez, K. A. (2025). *Implementación de un sistema para el monitoreo de parámetros ambientales en tiempo real, basado en IoT Y LoRaWAN en una plataforma Cloud*. [bachelorThesis]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/15704>
- Vallejo Sánchez, D., Muñoz García, A. M., Chaverra Zuleta, E., Correa Casas, J., Londoño, L. F., & Bustamante Rua, M. O. (2024). Desarrollo de una arquitectura IoT para monitoreo ambiental: Integración de tecnologías de código abierto con proyección de aplicación en el sector minero. *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, 91(231), 163–168.
- Yau, R. M. C. (2025). Tecnologías Emergentes y Gestión Ambiental: Inteligencia Artificial y su Rol en la Conservación Frente a la Crisis Ecológica Global. *Revista Semilla del Este*, 6(1), 115–132. <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.8159>