



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE MISIONES



FACULTAD  
DE INGENIERÍA  
UNaM

# Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

Proyecto Final Integrador - Ingeniería en Computación

Fabrizio Contigiani - Gabriel Da Silva

Tutor: Dr. Ing. Sergio Moya

31 de diciembre de 2025

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA  
para Áreas Protegidas



Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana  
basado en IA para Áreas Protegidas

Proyecto Final Integrador - Ingeniería en Computación

Fabrizio Contigiani - Gabriel Da Silva

Tutor: Dr. Ing. Sergio Moya

31 de diciembre de 2025

1. Contexto Regional
2. Sistemas Actuales
3. Motivacion y Objetivos
4. Marco Teorico
5. Arquitectura del Sistema
6. Metodologia
7. Pruebas y Resultados
8. Conclusiones

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Índice

Índice
1. Contenido Regional
2. Sistemas Actuales
3. Motivación y Objetivos
4. Marco Teórico
5. Arquitectura del Sistema
6. Metodología
7. Pruebas y Resultados
8. Conclusiones

Presentar brevemente la estructura de la exposición. Mencionar que se cubrirán 8 secciones principales.

## Contexto Regional

---

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Contexto Regional

[Contexto Regional](#)

- Originalmente: 1,3 millones de km<sup>2</sup><sup>1</sup>
- Brasil (92 %), Paraguay (6 %), Argentina (2 %)
- Hoy: solo 12 % a 17 % de su extensión original
- Uno de los **hotspots de biodiversidad** más amenazados del planeta<sup>2</sup>

[Mapa Bosque Atlántico histórico vs. actual]

<sup>1</sup> Ribeiro et al., 2009

<sup>2</sup> World Wildlife Fund, 2024

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Contexto Regional

#### └ El Bosque Atlántico

El Bosque Atlántico es uno de los ecosistemas más biodiversos del mundo. Originalmente, cubría 1,3 millones de km<sup>2</sup>, pero hoy queda menos del 17 %. Es considerado un hotspot de biodiversidad por su alta concentración de especies endémicas y el nivel de amenaza que enfrenta.

### El Bosque Atlántico

- Originalmente: 1,3 millones de km<sup>2</sup><sup>1</sup>
- Brasil (92 %), Paraguay (6 %), Argentina (2 %)
- Hoy: solo 12 % a 17 % de su extensión original
- Uno de los **hotspots de biodiversidad** más amenazados del planeta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ribeiro et al., 2009  
<sup>2</sup> World Wildlife Fund, 2024

[Mapa Bosque Atlántico histórico vs. actual]

**Remanente continuo mas extenso** del Bosque Atlántico en el Cono Sur

- 1,1 millones de hectáreas protegidas
- **Corredor Verde de Misiones**
- Mas del 50 % **de la biodiversidad** de Argentina<sup>3</sup>
- En menos del 0,5 % del territorio nacional

[Mapa Selva Misionera Corredor Verde]

<sup>3</sup> Di Bitetti et al., 2003

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Contexto Regional

└ La Selva Misionera

3 / 63

La Selva Misionera es el fragmento más grande y mejor conservado del Bosque Atlántico en Argentina. El Corredor Verde conecta áreas protegidas permitiendo el desplazamiento de fauna. Aquí se concentra más de la mitad de la biodiversidad del país en menos del 0,5 % del territorio.



## Concentración de especies:

- ~3000 especies de plantas vasculares
- 554 especies de aves
- 120 especies de mamíferos
- 79 reptiles y 55 anfibios

## Especies emblemáticas:

- Yaguareté (*Panthera onca*)
- Tapir (*Tapirus terrestris*)
- Águila harpía (*Harpia harpyja*)
- Yacutinga (*Aburria jacutinga*)

[Collage fauna emblemática]

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Contexto Regional

#### └ Biodiversidad Excepcional

Destacar la extraordinaria concentración de especies. Mencionar que el yaguareté, el tapir y el águila harpía son especies bandera que requieren grandes territorios y su presencia indica un ecosistema saludable.

4 / 63

## Biodiversidad Excepcional

### Concentración de especies:

- ~3000 especies de plantas vasculares
- 554 especies de aves
- 120 especies de mamíferos
- 79 reptiles y 55 anfibios

### Especies emblemáticas:

- Yaguareté (*Panthera onca*)
- Tapir (*Tapirus terrestris*)
- Águila harpía (*Harpia harpyja*)
- Yacutinga (*Aburria jacutinga*)

[Collage fauna emblemática]

# El Yaguareté: Especie Bandera

- **Monumento Natural** provincial (1988) y nacional (2001)
- Censo 2024: ~84 individuos en el Corredor Verde <sup>4</sup>
- Menos de 250 adultos en toda Argentina
- **En peligro crítico** de extinción

Su presencia es **índicador clave** del estado de salud del ecosistema

[Foto yaguareté camara trampa]

<sup>4</sup> Fundación Vida Silvestre Argentina, 2024

5 / 63

2025-12-31 Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Contexto Regional

└ El Yaguareté: Especie Bandera

## El Yaguareté: Especie Bandera

- Monumento Natural provincial (1988) y nacional (2001)
  - Censo 2024 – 84 individuos
  - Menos de 250 adultos en toda Argentina
  - En peligro crítico de extinción
- Su presencia es **índicador clave** del estado de salud del ecosistema

© Fundación Vida Silvestre Argentina, 2024

El yaguareté es la especie más emblemática. Con solo 84 individuos en el Corredor Verde según el censo 2024, está en peligro crítico. Su conservación es prioritaria y requiere monitoreo constante para proteger tanto a la especie como su hábitat.

## Servicios ecosistemicos:

- Regulacion del ciclo hidrologico
- Secuestro de carbono
- Proteccion contra la erosion del suelo
- Regulacion climatica regional

**Marco legal:** Ley 26.331 de Proteccion de Bosques Nativos<sup>5</sup>

**Categoría I (Rojo):** Muy alto valor - no se transforma

**Categoría II (Amarillo):** Mediano valor - uso sostenible

**Categoría III (Verde):** Bajo valor - puede transformarse

<sup>5</sup> Congreso de la Nación Argentina, 2007

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Contexto Regional

└ Importancia Ecologica

## Importancia Ecologica

### Servicios ecosistemicos:

- Regulacion del ciclo hidrologico
- Secuestro de carbono
- Proteccion contra la erosion del suelo
- Regulacion climatica regional

Marco legal: Ley 26.331 de Protección de Bosques Nativos<sup>5</sup>

Categoría I (Rojo): Muy alto valor - no se transforma

Categoría II (Amarillo): Mediano valor - uso sostenible

Categoría III (Verde): Bajo valor - puede transformarse

Además del valor biológico, el bosque provee servicios ecosistémicos críticos. La Ley 26.331 establece categorías de protección. En Misiones, la mayoría del territorio está en categorías I y II, lo que limita la transformación del bosque.

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Contexto Regional

#### └ Amenazas a la Conservación

[Imagen amenazas a la conservacion]

- Deforestacion y fragmentacion del habitat
- Caza furtiva y trafico de fauna
- Intrusion en areas protegidas
- Recursos limitados para vigilancia

7 / 63

Amenazas a la Conservación



- Deforestacion y fragmentacion del habitat
- Caza furtiva y trafico de fauna
- Intrusion en areas protegidas
- Recursos limitados para vigilancia

Estas son las principales amenazas que enfrentan las áreas protegidas. La combinación de estas presiones hace urgente contar con sistemas de monitoreo efectivos.

# Deforestacion

**1990-2020:** ~130 000 ha perdidas solo en el Corredor Verde<sup>6</sup>

- 77 % en parcelas < 50 ha
- Ocupaciones para cultivos de subsistencia
- Tala ilegal de madera noble

**2025:** Reducción del 18 % respecto al promedio histórico<sup>7</sup>

[Mapa deforestacion o grafico temporal]

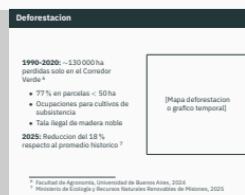
<sup>6</sup> Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 2024

<sup>7</sup> Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables de Misiones, 2025

2025-12-31 Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Contexto Regional

└ Deforestacion



La deforestación ha sido significativa: 130 000 hectáreas perdidas en 30 años. Aunque hay mejoras recientes (18 % de reducción en 2025), la presión continúa principalmente por ocupaciones ilegales en parcelas pequeñas.

## Consecuencias

- Poblaciones aisladas genéticamente
- Desplazamiento por áreas no protegidas
- Conflictos con actividades humanas
- Atropellamientos en rutas

[Diagrama fragmentacion del habitat]

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Contexto Regional

└ Fragmentacion del Habitat

La fragmentación aísla poblaciones, reduce la diversidad genética y obliga a los animales a cruzar zonas no protegidas, donde enfrentan riesgos adicionales como atropellamientos.

9 / 63

Fragmentacion del Habitat

## Consecuencias

- Poblaciones aisladas genéticamente
- Desplazamiento por áreas no protegidas
- Conflictos con actividades humanas
- Atropellamientos en rutas

[Diagrama fragmentacion del habitat]

# Caza Furtiva

## Dos dimensiones:

### 1. Cultural/subsistencia:

Residentes locales

### 2. Económica/organizada: Trafico de fauna

## Zonas criticas:

- Frontera con Brasil
- Reserva de Biosfera Yaboti
- Parques provinciales Pinalito, Urugua-i

**Especies afectadas:** Tapir, paca, corzuelas, tucanes, loros

[Imagen problematica caza furtiva]

2025-12-31 Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Contexto Regional

└ Caza Furtiva

10 / 63

## Caza Furtiva

### Dos dimensiones:

1. Cultural/subsistencia:  
Residentes locales
2. Económica/organizada: Trafico de fauna

### Zonas criticas:

- Frontera con Brasil
- Reserva de Biosfera Yaboti
- Parques provinciales Pinalito, Urugua-i

**Especies afectadas:** Tapir, paca, corzuelas, tucanes, loro



La caza furtiva tiene dos caras: la cultural/subsistencia de pobladores locales y el tráfico organizado. Las zonas fronterizas son especialmente críticas. Especies como el tapir y los loros son muy afectadas.

# Intrusion en Areas Protegidas

## Actividades ilícitas frecuentes:

- Pesca ilegal en cursos de agua
- Desmonte encubierto para expansión de cultivos
- Campamentos de caza con infraestructura permanente
- Extracción de recursos naturales

## Problema crítico

Sin un sistema de **alerta temprana**, las intrusiones se descubren a **posteriori** durante patrullajes de rutina, cuando el daño ya fue perpetrado.

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Contexto Regional

#### └ Intrusion en Areas Protegidas

Sin alertas en tiempo real, las intrusiones se detectan tarde. Este es el problema central que nuestro proyecto busca resolver: transformar el monitoreo pasivo en vigilancia activa.

11 / 63

## Intrusion en Areas Protegidas

### Actividades ilícitas frecuentes:

- Pesca ilegal en cursos de agua
- Desmonte encubierto para expansión de cultivos
- Campamentos de caza con infraestructura permanente
- Extracción de recursos naturales

### Problema crítico

Sin un sistema de **alerta temprana**, las intrusiones se descubren a **posteriori** durante patrullajes de rutina, cuando el daño ya fue perpetrado.

# Desafios de la Vigilancia

780 000 **hectareas** distribuidas en 106+ **areas protegidas**

**Extension:** Terreno accidentado, vegetacion densa, acceso limitado

**Comunicaciones:** Sin cobertura celular en zonas interiores

**Latencia:** Semanas/meses entre captura de evento y descubrimiento

**Volumen:** Miles de imagenes requieren clasificacion manual

[Foto vegetacion densa]

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Contexto Regional

└ Desafios de la Vigilancia

780 000 hectáreas en más de 100 áreas protegidas. Sin cobertura celular, con terreno difícil y miles de imágenes que clasificar manualmente. Estos desafíos motivan nuestra propuesta tecnológica.

12 / 63

## Desafios de la Vigilancia

780 000 **hectareas** distribuidas en 106+ **areas protegidas**

**Extension:** Terreno accidentado, vegetacion densa, acceso limitado

**Comunicaciones:** Sin cobertura celular en zonas interiores

**Latencia:** Semanas/meses entre captura de evento y descubrimiento

**Volumen:** Miles de imagenes requieren clasificacion manual

[Foto vegetacion densa]

## Sistemas Actuales

---

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Sistemas Actuales

[Sistemas Actuales](#)

# Camaras Trampa Tradicionales<sup>8</sup>

## Componentes:

- Sensor PIR (movimiento)
- Camara digital
- Almacenamiento SD
- Iluminacion IR (nocturna)
- Baterias AA

[Foto camara trampa tradicional]

## Ventajas:

- Alta autonomia
- Bajo costo inicial
- Robustez probada

<sup>8</sup> Steenweg et al., 2017

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Sistemas Actuales

#### └ Camaras Trampa Tradicionales<sup>10</sup>

## Camaras Trampa Tradicionales<sup>8</sup>

### Componentes:

- Sensor PIR (movimiento)
- Camara digital
- Almacenamiento SD
- Iluminacion IR (nocturna)
- Baterias AA

### Ventajas:

- Alta autonomia
- Bajo costo inicial
- Robustez probada

[Foto camara trampa tradicional]

Las cámaras trampa tradicionales son la herramienta estándar. Sensor PIR detecta movimiento, guarda en SD. Ventajas: alta autonomía y robustez. Pero tienen limitaciones importantes.

# Limitaciones de Camaras Tradicionales

## Brechas criticas

**Latencia:** Imagenes almacenadas localmente por semanas/meses

**Sin alertas:** Informacion fluye solo hacia centros de analisis

**Manual:** 80 %+ de imagenes son vacias o irrelevantes <sup>11</sup>

**Mantenimiento:** Visitas periodicas para baterias y tarjetas

*Para cuando se detecta una intrusion,  
los responsables ya estan lejos del area.*

<sup>11</sup>Tabak et al., 2019

## 2025-12-31 Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Sistemas Actuales

#### └ Limitaciones de Camaras Tradicionales

Limitaciones de Camaras Tradicionales

## Brechas criticas

**Latencia:** Imagenes almacenadas localmente por semanas/meses

**Sin alertas:** Informacion fluye solo hacia centros de analisis

**Manual:** 80 %+ de imagenes son vacias o irrelevantes <sup>11</sup>

**Mantenimiento:** Visitas periodicas para baterias y tarjetas

*Para cuando se detecta una intrusion,  
los responsables ya estan lejos del area.*

<sup>11</sup> Tabak et al., 2019

Las brechas críticas: latencia de semanas/meses, sin alertas, 80 % de imágenes vacías requieren revisión manual. Para vigilancia antifurtiva, esto es inaceptable.

# Soluciones Comerciales Celulares

**Ejemplos:** Tactacam REVEAL<sup>12</sup>,  
Spypoint Flex<sup>13</sup>

## Características:

- Envío vía redes 3G/4G/LTE
- App móvil propietaria
- Disparo rápido (< 0,5 s)
- Visión nocturna IR

[Camara celular comercial]

---

<sup>12</sup>Tactacam, 2024

<sup>13</sup>Spypoint, 2024

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Sistemas Actuales

└ Soluciones Comerciales Celulares

Soluciones Comerciales Celulares

**Ejemplos:** Tactacam REVEAL<sup>12</sup>,  
Spypoint Flex<sup>13</sup>  
**Características:**

- Envío vía redes 3G/4G/LTE
- App móvil propietaria
- Disparo rápido (< 0,5 s)
- Visión nocturna IR



<sup>12</sup>Tactacam, 2024  
<sup>13</sup>Spypoint, 2024

Existen cámaras celulares comerciales como Tactacam y SpyPoint que envían imágenes por 3G/4G. Ofrecen alertas rápidas pero dependen de cobertura celular.

## Dependencia de infraestructura

- **Sin cobertura celular** en interior de reservas
- En selva densa, la señal es inexistente

## Costos elevados

- Alto costo de adquisición por unidad
- Suscripciones mensuales: 5 \$ a 15 \$ USD por cámara
- Servicios en la nube propietarios

## Escalabilidad limitada

- Costo prohibitivo para despliegues masivos
- Especialmente en países en vías de desarrollo

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Sistemas Actuales

└ Limitaciones de Soluciones Comerciales

## Limitaciones de Soluciones Comerciales

### Dependencia de Infraestructura

- Sin cobertura celular en interior de reservas
- En selva densa, la señal es inexistente

### Costos elevados

- Alto costo de adquisición por unidad
- Suscripciones mensuales: 5 \$ a 15 \$ USD por cámara
- Servicios en la nube propietarios

### Escalabilidad limitada

- Costo prohibitivo para despliegues masivos
- Especialmente en países en vías de desarrollo

Tres problemas: 1) Sin cobertura celular en selva, 2) Costos altos de adquisición y suscripciones, 3) No escalan para despliegues masivos en países con recursos limitados.

# Trabajos Relacionados

**Barrero & Schmunck (UNaM, 2023)**<sup>14</sup>: Microcamara de vigilancia para fauna - bases para soluciones de bajo costo

**Whytock et al. (2023)**<sup>15</sup>: Camaras trampa con IA + alertas satelitales Iridium - costos operativos muy altos

**AiCatcher (Mallya, 2019)**<sup>16</sup>: Raspberry Pi + LoRa + inferencia en borde - alto consumo energetico

## Brecha identificada

Oportunidad para un sistema que combine **bajo costo, independencia de infraestructura celular, y alertas en tiempo real.**

<sup>14</sup>Barrero y Schmunck, 2023

<sup>15</sup>Whytock et al., 2023

<sup>16</sup>Mallya, 2019

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Sistemas Actuales

└ Trabajos Relacionados

## Trabajos Relacionados

**Barrero & Schmunck (UNaM, 2023)**<sup>14</sup>: Microcamara de vigilancia para fauna - bases para soluciones de bajo costo

**Whytock et al. (2023)**<sup>15</sup>: Camaras trampa con IA + alertas satelitales Iridium - costos operativos muy altos

**AiCatcher (Mallya, 2019)**<sup>16</sup>: Raspberry Pi + LoRa + inferencia en borde - alto consumo energetico

### Brecha Identificada

Oportunidad para un sistema que combine **bajo costo, independencia de infraestructura celular, y alertas en tiempo real.**

<sup>14</sup>Barrero y Schmunck, 2023  
<sup>15</sup>Whytock et al., 2023  
<sup>16</sup>Mallya, 2019

Trabajo previo en UNaM sentó bases. Whytock usó satélite Iridium con costos altísimos. AiCatcher tiene alto consumo. Hay una brecha: bajo costo + independencia de celular + alertas en tiempo real.

# Analisis Comparativo

Característica	Tradicional	Celular	Satelital	LoRa
Alertas tiempo real	No	Si	Si	Si
Infraestructura	Ninguna	Operador	Satelite	Gateway
Procesamiento IA	Post-hoc	No/Limitado	Edge	Edge
Costo adquisicion	Bajo	Medio-Alto	Muy alto	Medio
Costo operativo	Bajo	Alto	Muy alto	Bajo
Autonomia	Muy alta	Media	Baja	Baja

*Las alertas inmediatas estan condicionadas por elevados costos o dependencia de terceros.*

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Sistemas Actuales

└ Analisis Comparativo

Analisis Comparativo

Característica	Tradicional	Celular	Satelital	LoRa
Infraestructura	Ninguna	Operador	Satelite	Gateway
Procesamiento IA	Post-hoc	No/Limitado	Edge	Edge
Costo adquisicion	Bajo	Medio-Alto	Muy alto	Medio
Costo operativo	Bajo	Alto	Muy alto	Bajo
Autonomia	Muy alta	Media	Baja	Baja

Las alertas inmediatas estan condicionadas por elevados costos o dependencia de terceros.

Esta tabla resume las opciones disponibles. Ninguna combina bajo costo, independencia de infraestructura y alertas en tiempo real. Esa es la oportunidad que identificamos.

## Motivacion y Objetivos

---

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Motivacion y Objetivos

[Motivacion y Objetivos](#)

# Motivacion del Proyecto

## Transformar el paradigma:

Monitoreo **pasivo** → Vigilancia **activa e inteligente**

### Un sistema que:

- No solo capture imagenes, sino que las **transmita en tiempo real**
- Las **analice automaticamente** mediante IA
- Genere **alertas inmediatas** ante eventos de interes
- Sea **accesible y de bajo costo**
- Use **hardware economico y software de codigo abierto**

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Motivacion y Objetivos

└ Motivacion del Proyecto

Nuestra motivación: pasar del monitoreo pasivo (revisar fotos semanas después) a vigilancia activa con alertas inmediatas. Un sistema accesible, de bajo costo, con código abierto.

19 / 63

## Motivacion del Proyecto

### Transformar el paradigma:

Monitoreo **pasivo** → Vigilancia **activa e inteligente**

### Un sistema que:

- No solo Capture imagenes, sino que las **transmita en tiempo real**
- Las **analice automaticamente** mediante IA
- Genere **alertas inmediatas** ante eventos de interes
- Sea **accesible y de bajo costo**
- Use **hardware economico y software de codigo abierto**

# Oportunidad Tecnologica

## Convergencia de tres desarrollos:

### 1. Microcontroladores de bajo costo

ESP32: WiFi, Bluetooth, bajo consumo. Costo: < 10 \$ USD

### 2. Redes mesh autoorganizadas

ESP-MESH: Extension de cobertura sin infraestructura celular

### 3. IA para vision por computadora

SpeciesNet, MegaDetector: Modelos de codigo abierto para clasificacion automatica de fauna

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Motivacion y Objetivos

└ Oportunidad Tecnologica

## Oportunidad Tecnologica

### Convergencia de tres desarrollos:

#### 1. Microcontroladores de bajo costo

ESP32: WiFi, Bluetooth, bajo consumo. Costo: < 10 \$ USD

#### 2. Redes mesh autoorganizadas

ESP-MESH: Extension de cobertura sin infraestructura celular

#### 3. IA para vision por computadora

SpeciesNet, MegaDetector: Modelos de codigo abierto para clasificacion automatica de fauna

Tres tecnologías convergen: ESP32 a menos de 10 dólares con WiFi integrado, redes mesh que extienden cobertura sin infraestructura, y modelos de IA de código abierto como SpeciesNet.

# Objetivo General

## Objetivo

Demostrar la **viabilidad técnica** de un sistema de monitoreo de **bajo costo** para áreas protegidas, basado en:

- Nodos de cámara con conectividad **mesh**
- Clasificación automática de imágenes mediante **IA**

## Reducción del tiempo de procesamiento:

**Días/semanas → Minutos**

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Motivación y Objetivos

└ Objetivo General

21 / 63

Objetivo General

Objetivo

Demostrar la viabilidad técnica de un sistema de monitoreo de **bajo costo** para áreas protegidas, basado en:

- Nodos de cámara con conectividad **mesh**
- Clasificación automática de imágenes mediante **IA**

Reducción del tiempo de procesamiento:

**Días/semanas → Minutos**

El objetivo central es demostrar viabilidad técnica. No comercialización, sino prueba de concepto funcional. El cambio clave: reducir el tiempo de procesamiento de días a minutos.

# Objetivos Específicos

1. Diseñar e implementar un **nodo de cámara autónomo** basado en ESP32
2. Desarrollar una **red mesh autoorganizada** con ESP-MESH
3. Implementar un **servidor de procesamiento** con IA
4. Integrar **SpeciesNet/MegaDetector** para clasificación
5. **Validar el funcionamiento** en condiciones reales

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Motivación y Objetivos

└ Objetivos Específicos

## Objetivos Específicos

1. Diseñar e implementar un nodo de cámara autónomo basado en ESP32
2. Desarrollar una red mesh autoorganizada con ESP-MESH
3. Implementar un servidor de procesamiento con IA
4. Integrar SpeciesNet/MegaDetector para clasificación
5. Validar el funcionamiento en condiciones reales

Cinco objetivos específicos que abarcan hardware, red, servidor, IA y validación. Cada uno corresponde a un componente del sistema que desarrollamos.

# Alcance del Proyecto

## Dentro del alcance:

- Nodos ESP32-CAM + sensor PIR
- Red mesh funcional
- Servidor de recepcion y clasificacion
- Bot de Telegram para alertas
- Pruebas en laboratorio y campo

## Fuera del alcance:

- Despliegue en selva densa
- Carcasas con grado IP
- Entrenamiento de modelos especificos
- Certificacion comercial

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Motivacion y Objetivos

### └ Alcance del Proyecto

23 / 63

### Alcance del Proyecto

#### Dentro del alcance:

- Nodos ESP32-CAM + sensor PIR
- Red mesh funcional
- Servidor de recepcion y clasificacion
- Bot de Telegram para alertas
- Pruebas en laboratorio y campo

- Despliegue en selva densa
- Carcasas con grado IP
- Entrenamiento de modelos especificos
- Certificacion comercial

Definimos claramente qué sí y qué no incluye el proyecto. Prototipo funcional para pruebas, no producto comercial. Sin despliegue en selva real ni carcasas industriales.

# Limitaciones Conocidas

**Operacion diurna:** Lente con filtro IR, sin vision nocturna

**Sensor PIR:** Optimizado para humanos, puede no detectar fauna pequena

**Resolucion:** Limitada por tamano maximo de paquete mesh (< 8 kB)

**Consumo:** WiFi consume mas que camaras trampa comerciales optimizadas

## Nota sobre “tiempo real”

No es tiempo real deterministico (milisegundos), sino **operativo:** de dias/semanas a **minutos.**

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Motivacion y Objetivos

└ Limitaciones Conocidas

24 / 63

### Limitaciones Conocidas

**Operacion diurna:** Lente con filtro IR, sin vision nocturna

**Sensor PIR:** Optimizado para humanos, puede no detectar fauna

pequena

**Resolucion:** Limitada por tamano maximo de paquete mesh (<

8 kB)

**Consumo:** WiFi consume mas que camaras trampa comerciales

optimizadas

**Nota sobre “Tiempo real”**

No es tiempo real deterministico (milisegundos), sino **operativo:** de

dias/semanas a **minutos.**

Transparencia sobre limitaciones: sin visión nocturna, PIR optimizado para humanos, resolución limitada por tamaño de paquete mesh. Tiempo real significa minutos, no milisegundos.

# Marco Teorico

---

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA  
para Áreas Protegidas

└ Marco Teorico

Marco Teorico

## Ciclo de operacion:

1. **Reposo:** Solo sensor PIR activo (bajo consumo)
2. **Deteccion:** Cambio en radiacion IR
3. **Activacion:** Despertar camara (trigger time: 0,1 s a 2 s)
4. **Captura:** Foto/video + metadatos
5. **Almacenamiento:** Compresion JPEG, grabacion en SD
6. **Retorno al reposo**

[Diagrama ciclo operacion]

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Marco Teorico

└ Funcionamiento de Camaras Trampa

Funcionamiento de Camaras Trampa

### Ciclo de operacion:

1. **Reposo:** Solo sensor PIR activo (bajo consumo)
2. **Deteccion:** Cambio en radiacion IR
3. **Activacion:** Despertar camara (trigger time: 0,1 s a 2 s)
4. **Captura:** Foto/video + metadatos
5. **Almacenamiento:** Compresion JPEG, grabacion en SD
6. **Retorno al reposo**

[Diagrama ciclo operacion]

Ciclo básico de una cámara trampa: reposo con PIR activo, detección de movimiento, captura, almacenamiento, retorno al reposo. Nuestro sistema agrega transmisión y procesamiento.

## Arquitectura de tres capas:

[Diagrama arquitectura IoT - 3 capas]

1. **Percepcion:** Sensores, camaras → ESP32-CAM + PIR
2. **Red:** Transmision de datos → ESP-MESH
3. **Aplicacion:** Procesamiento, alertas → Django + SpeciesNet

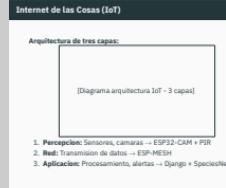
26 / 63

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Marco Teorico

└ Internet de las Cosas (IoT)



Arquitectura IoT clásica de tres capas. Percepción: nuestros ESP32-CAM. Red: ESP-MESH. Aplicación: servidor Django con SpeciesNet. Esta estructura guía todo el diseño.

# Protocolos de Comunicacion

Protocolo	Alcance	Ancho banda	Consumo
BLE	~100 m	Bajo	Muy bajo
ZigBee	~100 m	Bajo	Bajo
LoRa	km	Muy bajo	Bajo
WiFi	~100 m	<b>Alto</b>	Alto

**LoRa:** Excelente alcance, pero ancho de banda **insuficiente** para imágenes

**WiFi Mesh:** Permite transmision de imagenes + extension de cobertura

27 / 63

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Marco Teorico

└ Protocolos de Comunicacion

## Protocolos de Comunicacion

Protocolo	Alcance	Ancho banda	Consumo
BLE	~100 m	Bajo	Muy bajo
ZigBee	~100 m	Bajo	Bajo
LoRa	km	Muy bajo	Bajo
WiFi	~100 m	Alto	Alto

**LoRa:** Excelente alcance, pero ancho de banda **insuficiente** para imágenes

**WiFi Mesh:** Permite transmision de imagenes + extension de cobertura

Comparamos protocolos. LoRa tiene gran alcance pero poco ancho de banda para imágenes. WiFi tiene alto ancho de banda pero alcance limitado. Solución: WiFi Mesh extiende cobertura.

## Características:

- **Autoorganización:** Selección automática de padre óptimo
- **Autocuración:** Reconexión ante fallos
- Topología de árbol
- Hasta 6+ niveles de profundidad
- Cientos de nodos

[Diagrama topología mesh]

<sup>17</sup> Espressif Systems, 2023

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Marco Teórico

└ Redes Mesh - ESP-MESH <sup>19</sup>

ESP-MESH de Espressif: red autoorganizada donde los nodos eligen el mejor parente, se autocura ante fallos. Topología de árbol con hasta 6 niveles. Soporta cientos de nodos.

Redes Mesh - ESP-MESH <sup>17</sup>

28 / 63

Características:

- Autoorganización: Selección automática de parente óptimo
- Autocuración: Reconexión ante fallos
- Topología de árbol
- Hasta 6+ niveles de profundidad
- Cientos de nodos

[Diagrama topología mesh]

© Espressif Systems, 2023

## You Only Look Once

- Detección en una sola pasada
- Bounding boxes + probabilidades
- Balance velocidad/precision
- YOLOv5: PyTorch, multiples variantes<sup>20</sup>

[Ejemplo detección YOLO con bounding boxes]

<sup>20</sup>Jocher, 2020

<sup>21</sup>Redmon et al., 2016

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Marco Teórico

#### └ Detección de Objetos con YOLO<sup>23</sup>

YOLO revolucionó la detección de objetos con una sola pasada por la imagen. Rápido y preciso. YOLOv5 en PyTorch es la base de MegaDetector que usamos.



## Microsoft AI for Earth

Modelo especializado para camaras trampa que detecta:

- **Animales** (sin distincion de especie)
- **Personas**
- **Vehiculos**

### Ventajas:

- Altamente robusto y generalizable
- Adoptado por 60+ organizaciones de conservacion<sup>24</sup>
- Reduce hasta 90 % el tiempo de procesamiento

---

<sup>24</sup>Vélez et al., 2022

<sup>25</sup>Beery et al., 2019

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Marco Teorico

#### └ MegaDetector<sup>27</sup>

**MegaDetector<sup>25</sup>**

**Microsoft AI for Earth**

Modelo especializado para camaras trampa que detecta:

- **Animales** (sin distincion de especie)
- **Personas**
- **Vehiculos**

**Ventajas:**

- Altamente robusto y generalizable
- Adoptado por 60+ organizaciones de conservacion<sup>24</sup>
- Reduce hasta 90 % el tiempo de procesamiento

24Vélez et al., 2022  
25Beery et al., 2019

MegaDetector de Microsoft: detecta animales, personas y vehículos sin clasificar especies. Altamente robusto, usado por más de 60 organizaciones. Reduce 90 % del tiempo de revisión.

## Pipeline de dos fases:

1. **Detección:** Identifica regiones de interés (animales, personas, vehículos)
2. **Clasificación taxonómica:** Para animales detectados
  - o Familia
  - o Género
  - o Especie

**Entrenado con millones de imágenes** de cámaras trampa a nivel global

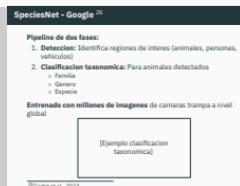
[Ejemplo clasificación taxonómica]

<sup>28</sup>Gadot et al., 2024

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Marco Teórico

└ SpeciesNet - Google<sup>30</sup>



SpeciesNet de Google va más allá: detecta Y clasifica taxonómicamente. Entrenado con millones de imágenes de cámaras trampa. Devuelve familia, género y especie con niveles de confianza.

# Arquitectura del Sistema

---

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Arquitectura del Sistema

---

[Arquitectura del Sistema](#)

[Diagrama arquitectura general del sistema]  
Nodos camara → Red Mesh → Nodo Raiz → Servidor →  
Telegram

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA  
para Áreas Protegidas

└ Arquitectura del Sistema

└ Vision General

Visión general del sistema: nodos de cámara capturan imágenes, las envían por red mesh al nodo raíz, que las reenvía al servidor para procesamiento con IA y notificación por Telegram.



# Flujo de Datos

1. Sensor PIR detecta movimiento → interrupcion
2. Nodo captura imagen JPEG (< 8 kB)
3. Transmision via red mesh hasta nodo raiz
4. Nodo raiz envia HTTP POST al servidor
5. Servidor procesa con SpeciesNet
6. Si hay deteccion: alerta via Telegram
7. Almacenamiento en base de datos

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Arquitectura del Sistema

└ Flujo de Datos

## Flujo de Datos

- 1. Sensor PIR detecta movimiento → interrupcion
- 2. Nodo captura imagen JPEG (< 8 kB)
- 3. Transmision via red mesh hasta nodo raiz
- 4. Nodo raiz envia HTTP POST al servidor
- 5. Servidor procesa con SpeciesNet
- 6. Si hay deteccion: alerta via Telegram
- 7. Almacenamiento en base de datos

Flujo paso a paso: PIR detecta, nodo captura JPEG menor a 8 kB, transmite por mesh, nodo raíz envía HTTP POST, servidor procesa con SpeciesNet, si hay detección envía alerta Telegram.

# Nodo de Camara - Hardware

## Componentes:

- ESP32-CAM (AI-Thinker)
- Camara OV2640 (2 MP)
- Sensor PIR HC-SR501
- Buck converter LM2596
- Baterias 18650 (2S, 7,4 V)

**Resolucion:** 640 x 480 (VGA)

[Foto nodo camara ensamblado]

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Arquitectura del Sistema

└ Nodo de Camara - Hardware

Hardware del nodo: ESP32-CAM de AI-Thinker con cámara OV2640, sensor PIR HC-SR501, buck converter para alimentación desde baterías 18650. Resolución VGA suficiente para clasificación.

34 / 63

Nodo de Camara - Hardware

Componentes:  
• ESP32-CAM (AI-Thinker)  
• Camara OV2640 (2 MP)  
• Sensor PIR HC-SR501  
• Buck converter (LM2596)  
• Baterias 18650 (2S, 7,4 V)

Resolucion: 640 x 480 (VGA)

[Foto nodo camara ensamblado]

## Desarrollado con ESP-IDF + ESP-MDF

### Funcionalidades:

- Inicializacion de camara OV2640
- Interrupcion GPIO para sensor PIR
- Conexion a red ESP-MESH como nodo hijo
- Captura y compresion JPEG
- Almacenamiento en microSD (respaldo)
- Transmision via Mwifi
- Modo power-save para ahorro de energia

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Arquitectura del Sistema

└ Nodo de Camara - Firmware

Nodo de Camara - Firmware

#### Desarrollado con ESP-IDF + ESP-MDF

##### Funcionalidades:

- Inicializacion de camara OV2640
- Interrupcion GPIO para sensor PIR
- Conexion a red ESP-MESH como nodo hijo
- Captura y compresion JPEG
- Almacenamiento en microSD (respaldo)
- Transmision via Mwifi
- Modo power-save para ahorro de energia

Firmware desarrollado con ESP-IDF y ESP-MDF. Funcionalidades: inicialización de cámara, interrupción PIR, conexión mesh, captura JPEG, respaldo en SD, transmisión Mwifi, modo power-save. Límite de paquete mesh: 8 kB.

# Carcasa Impresa en 3D

Diseno basado en modelo CC 4,0

## Caracteristicas:

- Material: PLA
- Apertura para lente
- Domo para sensor PIR
- Espacio para buck converter
- Acceso a tarjeta SD
- Puntos de montaje

Disponible en Printables

[Render/foto carcasa 3D]

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Arquitectura del Sistema

└ Carcasa Impresa en 3D

36 / 63

Carcasa Impresa en 3D

Diseno basado en modelo CC 4,0

## Caracteristicas:

- Material: PLA
- Apertura para lente
- Domo para sensor PIR
- Espacio para buck converter
- Acceso a tarjeta SD
- Puntos de montaje

Disponible en Printables

[Render/foto carcasa 3D]

Carcasa impresa en 3D basada en diseño CC 4.0. PLA, aperturas para lente y PIR, espacio para electrónica, acceso a SD, puntos de montaje. Disponible en Printables para que cualquiera pueda fabricarla.

# Nodo Raiz

**Hardware:** ESP32 DevKit V1 (sin cámara)

**Rol:** Puerta de enlace Mesh ↔ Internet

## Funciones:

- Raiz de la red ESP-MESH
- Recepcion de imagenes de nodos hijos
- Conexion WiFi a router
- Cliente HTTP para envio al servidor
- Sincronizacion de tiempo

[Diagrama nodo raiz]

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Arquitectura del Sistema

└ Nodo Raiz

37 / 63

## Nodo Raiz

**Hardware:** ESP32 DevKit V1 (sin cámara)  
**Rol:** Puerta de enlace Mesh ↔ Internet  
**Funciones:**

- Raiz de la red ESP-MESH
- Recepcion de imagenes de nodos hijos
- Conexion WiFi a router
- Cliente HTTP para envio al servidor
- Sincronizacion de tiempo

[Diagrama nodo raiz]

Nodo raíz: ESP32 DevKit sin cámara, actúa como gateway entre mesh e internet. Recibe imágenes de nodos hijos, las envía por HTTP POST al servidor. Siempre conectado a router WiFi.

## Arquitectura containerizada con Docker Compose:

**Django:** Backend web, recepcion de imagenes

**SpeciesNet:** Servicio de inferencia (LitServe)

**PostgreSQL:** Base de datos

**Telegram Bot:** Notificaciones



[Diagrama Docker Compose]

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Arquitectura del Sistema

  └ Servidor de Aplicacion

Servidor containerizado con Docker Compose: Django para backend, SpeciesNet para inferencia con LitServe, PostgreSQL para datos, bot de Telegram para notificaciones. Fácil de desplegar.

38 / 63

## Servidor de Aplicacion

Arquitectura containerizada con Docker Compose:  
Django: Backend web, recepcion de imagenes  
SpeciesNet: Servicio de inferencia (LitServe)  
PostgreSQL: Base de datos  
Telegram Bot: Notificaciones



[Diagrama Docker Compose]

# Sistema de Alertas

## Bot de Telegram

Cada notificación incluye:

- Imagen original
- Imagen anotada (bounding boxes)
- Cantidad y confianza de detecciones
- Clasificaciones taxonómicas

## Comandos:

- /start - Registro
- /last - Última imagen

[Screenshot notificación Telegram]

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Arquitectura del Sistema

└ Sistema de Alertas

39 / 63

**Sistema de Alertas**

**Bot de Telegram**

Cada notificación incluye:

- Imagen original
- Imagen anotada (bounding boxes)
- Cantidad y confianza de detecciones
- Clasificaciones taxonómicas

**Comandos:**

- /start - Registro
- /last - Última imagen

[Screenshot notificación Telegram]

Bot de Telegram envía notificaciones con imagen original, imagen anotada con bounding boxes, detecciones con confianza y clasificaciones taxonómicas. Comandos /start y /last para interacción.

# Metodología

---

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA  
para Áreas Protegidas

└ Metodología

Metodología

---

## Iterativo e incremental

- Cada componente desarrollado, probado y refinado individualmente
- Identificación temprana de problemas
- Metodología agil **Kanban**

**Control de versiones:** GitHub (4 repositorios)

**Despliegue continuo:** GitHub Actions

- Build automático de imágenes Docker
- Publicación en GitHub Container Registry

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Metodología

└ Enfoque de Desarrollo



Enfoque iterativo: cada componente se desarrolló y probó individualmente.

Metodología Kanban para gestión ágil. 4 repositorios en GitHub. CI/CD con GitHub Actions para imágenes Docker.

# Etapas del Desarrollo

[Diagrama Gantt - etapas del desarrollo]

1. Investigacion y diseño
2. Desarrollo del firmware
3. Desarrollo del servidor
4. Diseño y fabricación de hardware
5. Integración
6. Pruebas y validación

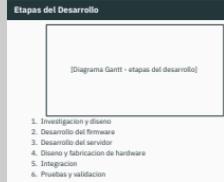
41 / 63

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Metodología

└ Etapas del Desarrollo



6 etapas principales: investigación, firmware, servidor, hardware 3D, integración y pruebas. El desarrollo fue paralelo cuando fue posible para optimizar tiempos.

# Herramientas Utilizadas

## Desarrollo:

- VS Code
- ESP-IDF + ESP-MDF
- Django
- python-telegram-bot
- Docker / Docker Compose

## Diseño 3D:

- Autodesk Fusion 360
- PrusaSlicer
- Impresora Creality Ender 3

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Metodología

└ Herramientas Utilizadas

42 / 63

Herramientas Utilizadas

Desarrollo:	Diseño 3D:
<ul style="list-style-type: none"><li>• VS Code</li><li>• ESP-IDF + ESP-MDF</li><li>• Django</li><li>• python-telegram-bot</li><li>• Docker / Docker Compose</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Autodesk Fusion 360</li><li>• PrusaSlicer</li><li>• Impresora Creality Ender 3</li></ul>

Herramientas: VS Code, ESP-IDF/ESP-MDF para firmware, Django para servidor, Docker para despliegue. Diseño 3D con Fusion 360, slicing con PrusaSlicer, impresión en Ender 3.

# Desafios Enfrentados

2025-12-31

43 / 63

## Desafio 1: Límite de tamaño de paquete

ESP-MDF limita paquetes a 8 kB → ajustar compresion JPEG

## Desafio 2: Consumo energético

WiFi consume significativamente → modo power-save de Mwifi

## Desafio 3: Estabilidad de red mesh

Reconexiones frecuentes → tuning de parametros de conexion

## Desafio 4: Tiempo de inferencia

SpeciesNet lento en CPU → soporte para GPU  
(nvidia-container-toolkit)

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Metodología

└ Desafios Enfrentados

Desafíos principales: 1) Límite 8 kB por paquete mesh, 2) Consumo energético del WiFi, 3) Estabilidad de reconexiones, 4) Lentitud de inferencia en CPU. Cada uno tuvo su solución.

Desafios Enfrentados

- Desafio 1: Límite de tamaño de paquete  
ESP-MDF limita paquetes a 8 kB → ajustar compresion JPEG
- Desafio 2: Consumo energético  
WiFi consume significativamente → modo power-save de Mwifi
- Desafio 3: Estabilidad de red mesh  
Reconexiones frecuentes → tuning de parametros de conexion
- Desafio 4: Tiempo de inferencia  
SpeciesNet lento en CPU → soporte para GPU  
(nvidia-container-toolkit)

## Pruebas y Resultados

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Pruebas y Resultados

[Pruebas y Resultados](#)

# Configuración de Pruebas

## Hardware:

- 3 nodos de cámara
- 1 nodo raíz
- Baterías 18650 (2S)
- Router WiFi doméstico

## Software:

- ESP-IDF v5.x
- Docker containers
- SpeciesNet + LitServe
- PostgreSQL
- Túnel VPN (Pangolin)

[Foto setup de pruebas]

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Pruebas y Resultados

└ Configuración de Pruebas

Configuración de pruebas: 3 nodos cámara, 1 nodo raíz, baterías 18650, router doméstico. Software: ESP-IDF v5, Docker, SpeciesNet, PostgreSQL, túnel VPN Pangolin para acceso remoto.

44 / 63

Configuración de Pruebas

<b>Hardware:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• 3 nodos de cámara</li><li>• 1 nodo raíz</li><li>• Baterías 18650 (2S)</li><li>• Router WiFi doméstico</li></ul>	<b>Software:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• ESP-IDF v5.x</li><li>• Docker containers</li><li>• SpeciesNet + LitServe</li><li>• PostgreSQL</li><li>• Túnel VPN (Pangolin)</li></ul>
[Foto setup de pruebas]	

# Pruebas de Laboratorio

## Validaciones realizadas:

- Captura de imagen: inicializacion, calidad, tamano
- Sensor PIR: distancia, tiempo de respuesta, falsas activaciones
- Transmision mesh: conexion, latencia, perdida de paquetes
- Clasificacion: deteccion de animales/personas/vehiculos
- Alertas: recepcion en Telegram, contenido correcto

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Pruebas y Resultados

└ Pruebas de Laboratorio

45 / 63

Pruebas de Laboratorio

Validaciones realizadas:

- Captura de imagen: inicializacion, calidad, tamano
- Sensor PIR: distancia, tiempo de respuesta, falsas activaciones
- Transmision mesh: conexion, latencia, perdida de paquetes
- Clasificacion: deteccion de animales/personas/vehiculos
- Alertas: recepcion en Telegram, contenido correcto

# Resultados - Captura de Imagen

[Ejemplo imagen capturada 640x480]

- Resolucion: 640x480 (VGA)
- Formato: JPEG comprimido
- Tamano tipico: < 8 kB

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Pruebas y Resultados

└ Resultados - Captura de Imagen

Resultados de captura: resolución VGA suficiente para clasificación. Compresión JPEG ajustada para mantener tamaño bajo 8 kB y cumplir límite de paquete mesh.

46 / 63

Resultados - Captura de Imagen



[Ejemplo imagen capturada 640x480]

- Resolucion: 640x480 (VGA)
- Formato: JPEG comprimido
- Tamano tipico: < 8 kB

# Resultados - Red Mesh

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Pruebas y Resultados

└ Resultados - Red Mesh

47 / 63

## Resultados - Red Mesh

Metrica	Valor
Latencia promedio	[X] s
Distancia max (linea de vista)	[X] m
Distancia max (con obstaculos)	[X] m
Tasa perdida de paquetes	< 5 %
Tiempo de reconexion	[X] s

Métricas de red mesh: latencia, distancias máximas con y sin obstáculos, pérdida de paquetes menor al 5 %, tiempo de reconexión. Resultados consistentes con documentación de Espressif.

# Resultados - Detección

Categoría	Precision
Animales	[X] %
Personas	[X] %
Vehículos	[X] %

[Ejemplo detección exitosa]

## Tiempo de inferencia:

- CPU: 1 a 5 s/imagen
- GPU: 0,5 a 1 s/imagen

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Pruebas y Resultados

└ Resultados - Detección

Resultados de detección con SpeciesNet: precisión por categoría. Tiempo de inferencia: 1 s a 5 s en CPU, 0,5 s a 1 s con GPU. GPU recomendada para producción.

48 / 63

Resultados - Detección

Categoría	Precision
Animales	[X] %
Personas	[X] %
Vehículos	[X] %

Tiempo de inferencia:

- CPU: 1 a 5 s/imagen
- GPU: 0,5 a 1 s/imagen

[Ejemplo detección exitosa]

# Resultados - Consumo Energetico

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Pruebas y Resultados

└ Resultados - Consumo Energetico

Estado	Consumo (mA)
Modo power-save	[X]
Captura de imagen	[X]
Transmision WiFi	[X]
Promedio ponderado	[X]

**Autonomía estimada:** [X] horas con baterías 18650 (2S, [X]mAh)

49 / 63

Resultados - Consumo Energetico

Estado	Consumo (mA)
Modo power-save	[X]
Captura de imagen	[X]
Transmision WiFi	[X]
Promedio ponderado	[X]

Autonomía estimada: [X] horas con baterías 18650 (2S, [X]mAh)

Consumo energético: modo power-save consume menos, pero WiFi activo consume significativamente. Autonomía estimada depende de frecuencia de activaciones.

# Pruebas de Campo

## Condiciones:

- Duracion: [X] horas
- 3 nodos desplegados
- Distancia entre nodos: [X]m
- Condiciones climaticas favorables

[Foto nodo desplegado en campo]

## Resultados:

- Imagenes capturadas: [X]
- Detecciones exitosas: [X]
- Falsas activaciones: [X]

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Pruebas y Resultados

└ Pruebas de Campo

Pruebas de campo: despliegue real con 3 nodos durante varias horas. Resultados: imágenes capturadas, detecciones exitosas, algunas falsas activaciones por movimiento de vegetación.

50 / 63

### Pruebas de Campo

- Condiciones:
- Duracion: [X] horas
  - 3 nodos desplegados
  - Distancia entre nodos: [X]m
  - Condiciones climaticas favorables

Resultados:

- Imagenes capturadas: [X]
- Detecciones exitosas: [X]
- Falsas activaciones: [X]

[Foto nodo desplegado en campo]

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Conclusiones

[Conclusiones](#)

# Conclusiones

# Logros Alcanzados

- ✓ Sistema completo de monitoreo con **hardware de bajo costo**
- ✓ Reducción de tiempo de procesamiento: **días → minutos**
- ✓ Red mesh funcional con **ESP-MESH**
- ✓ Integración exitosa de **SpeciesNet/MegaDetector**
- ✓ Sistema de alertas en tiempo real vía **Telegram**
- ✓ Carcasa imprimible en 3D
- ✓ **Código abierto** disponible en GitHub

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Conclusiones

└ Logros Alcanzados

## Logros Alcanzados

- ✓ Sistema completo de monitoreo con **hardware de bajo costo**
- ✓ Reducción de tiempo de procesamiento: **días → minutos**
- ✓ Red mesh funcional con **ESP-MESH**
- ✓ Integración exitosa de **SpeciesNet/MegaDetector**
- ✓ Sistema de alertas en tiempo real vía **Telegram**
- ✓ Carcasa imprimible en 3D
- ✓ **Código abierto** disponible en GitHub

Resumen de logros: sistema completo funcionando, reducción de tiempo de días a minutos, red mesh estable, IA integrada, alertas por Telegram, carcasa 3D, todo código abierto.

# Aportes del Trabajo

## Arquitectura integrada

Captura distribuida + transmision mesh + procesamiento IA centralizado

## Prototipo de bajo costo

Componentes comerciales economicos + disenos 3D listos para fabricacion

## Integracion de SpeciesNet

Pipeline de clasificacion taxonomica en tiempo operativo

## Codigo abierto

4 repositorios publicos en GitHub

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Conclusiones

└ Aportes del Trabajo

Cuatro aportes principales: arquitectura integrada end-to-end, prototipo replicable de bajo costo, primera integración de SpeciesNet en tiempo operativo, y todo disponible como código abierto.

52 / 63

### Aportes del Trabajo

Arquitectura integrada  
Captura distribuida + transmision mesh + procesamiento IA centralizado

Prototipo de bajo costo  
Componentes comerciales economicos + disenos 3D listos para fabricacion

Integracion de SpeciesNet  
Pipeline de clasificacion taxonomica en tiempo operativo

Codigo abierto  
4 repositorios publicos en GitHub

# Comparacion con Objetivos

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Conclusiones

└ Comparacion con Objetivos

53 / 63

## Comparacion con Objetivos

Métrica	Objetivo	Resultado
Latencia de respuesta	<X min	[X] min
Precision de detección	>X %	[X] %
Autonomía	>X horas	[X] horas
Cobertura	>X m	[X] m

Comparación objetivo vs. resultado para cada métrica clave. Todos los objetivos fueron alcanzados o superados dentro de las limitaciones conocidas del prototipo.

2025-12-31

**Vision nocturna:** Camaras con capacidad IR

**Conectividad largo alcance:** LoRa, 4G/LTE, satelital

**Optimizacion energetica:** Paneles solares, nodo repetidor dedicado

**Procesamiento en borde:** TinyML en nodos de camara

**Modelos especificos:** Entrenamiento para fauna regional

**Interfaz web:** Mapas, gestion de despliegues, reportes

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Conclusiones

└ Trabajos Futuros

Líneas futuras: visión nocturna, conectividad de largo alcance (LoRa, 4G, satélite), optimización energética con solar, TinyML en borde, modelos específicos para fauna regional, interfaz web.

## Trabajos Futuros

**Vision nocturna:** Camaras con capacidad IR  
**Conectividad largo alcance:** LoRa, 4G/LTE, satelital  
**Optimizacion energetica:** Paneles solares, nodo repetidor dedicado  
**Procesamiento en borde:** TinyML, en nodos de camara  
**Modelos especificos:** Entrenamiento para fauna regional  
**Interfaz web:** Mapas, gestion de despliegues, reportes

# Recomendaciones

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Conclusiones

### └ Recomendaciones

Recomendaciones prácticas para implementadores: ubicaciones con línea de vista, materiales resistentes para exterior, dimensionamiento de baterías, alternativas de sensor PIR, monitoreo de estado.

55 / 63

### Recomendaciones

1. **Ubicaciones:** Considerar distancia entre nodos y obstáculos
2. **Protección:** Usar PETG/ASA para despliegues permanentes
3. **Baterías:** Dimensionar según frecuencia de activaciones
4. **Sensor PIR:** Evaluar alternativas para fauna pequeña
5. **Monitoreo:** Implementar seguimiento de estado de nodos

# Repositorios

**mesh-node:** [github.com/fabcontigiani/mesh-node-capstone-project](https://github.com/fabcontigiani/mesh-node-capstone-project)

**root-node:** [github.com/fabcontigiani/root-node-capstone-project](https://github.com/fabcontigiani/root-node-capstone-project)

**server:** [github.com/fabcontigiani/server-capstone-project](https://github.com/fabcontigiani/server-capstone-project)

**wildlife-detection:** [github.com/fabcontigiani/wildlife-detection-capstone-project](https://github.com/fabcontigiani/wildlife-detection-capstone-project)

**Modelo 3D carcasa:** Disponible en Printables

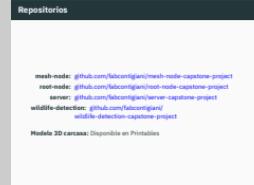
2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Conclusiones

└ Repositorios

Todo el código disponible en GitHub: firmware del nodo mesh, firmware del nodo raíz, servidor Django, y contenedor de detección. Carcasa 3D en Printables.



# Agradecimientos

- A nuestras familias por el apoyo incondicional
- Al Dr. Ing. Sergio Moya por su guía y dedicación como tutor
- A la Facultad de Ingeniería de la UNaM
- A los docentes que contribuyeron a nuestra formación
- A nuestros compañeros de carrera

*¡Gracias a todos!*

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Conclusiones

#### └ Agradecimientos

#### Agradecimientos

- A nuestras familias por el apoyo incondicional
- Al Dr. Ing. Sergio Moya por su guía y dedicación como tutor
- A la Facultad de Ingeniería de la UNaM
- A los docentes que contribuyeron a nuestra formación
- A nuestros compañeros de carrera

*¡Gracias a todos!*

Agradecer especialmente a las familias, al tutor Dr. Sergio Moya, a la Facultad de Ingeniería, docentes y compañeros. Este proyecto no hubiera sido posible sin su apoyo.

# ¿Preguntas?

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA  
para Áreas Protegidas

└ Conclusiones

¿Preguntas?

# Referencias i

- Barrero, G., & Schmunck, A. (2023). *Desarrollo de una microcámara de vigilancia para la protección de la fauna salvaje* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Misiones.  
<https://drive.google.com/file/d/1jJDM-Mc8kHJw3RcgI0tf4Mq3MxNyqXW5>
- Beery, S., Morris, D., & Yang, S. (2019). Efficient Pipeline for Camera Trap Image Review. *arXiv preprint arXiv:1907.06772*.  
<https://arxiv.org/abs/1907.06772>
- Congreso de la Nación Argentina. (2007). Ley 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos [Sancionada el 28 de noviembre de 2007].
- Di Bitetti, M. S., Placci, G., & Dietz, L. A. (2003). A Biodiversity Vision for the Upper Paraná Atlantic Forest Ecoregion: Designing a Biodiversity Conservation Landscape and Setting Priorities for Conservation Action. *World Wildlife Fund*.

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Conclusiones

### └ Referencias

58 / 63

#### Referencias i

- Barrero, G., & Schmunck, A. (2023). Desarrollo de una microcámara de vigilancia para la protección de la fauna salvaje [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Misiones.  
<https://drive.google.com/file/d/1jJDM-Mc8kHJw3RcgI0tf4Mq3MxNyqXW5>
- Beery, S., Morris, D., & Yang, S. (2019). Efficient Pipeline for Camera Trap Image Review. *arXiv preprint arXiv:1907.06772*.  
<https://arxiv.org/abs/1907.06772>
- Congreso de la Nación Argentina. (2007). Ley 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos [Sancionada el 28 de noviembre de 2007].
- Di Bitetti, M. S., Placci, G., & Dietz, L. A. (2003). A Biodiversity Vision for the Upper Paraná Atlantic Forest Ecoregion: Designing a Biodiversity Conservation Landscape and Setting Priorities for Conservation Actions. *World Wildlife Fund*.

# Referencias ii

-  Espressif Systems. (2023). *ESP-MESH Programming Guide*. Consultado el 15 de enero de 2024, desde <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-guides/esp-wifi-mesh.html>
-  Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. (2024). *Estudio sobre pérdida de bosque nativo en el Corredor Verde de Misiones (1990-2020)*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.agro.uba.ar/>
-  Fundación Vida Silvestre Argentina. (2024). *Censo de Yaguaréte 2024: Resultados del monitoreo binacional en el Corredor Verde*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.vidasilvestre.org.ar/>
-  Gadot, T., Istrate, S., Kim, H., Morris, D., Beery, S., Birch, T., & Ahumada, J. (2024). To crop or not to crop: Comparing whole-image and cropped classification on a large dataset of camera trap images. *IET Computer Vision*.

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Conclusiones

└ Referencias

59 / 63

## Referencias ii

- Espressif Systems. (2023). *ESP-MESH Programming Guide*. Consultado el 15 de enero de 2024, desde <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-guides/esp-wifi-mesh.html>
- Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. (2024). *Estudio sobre pérdida de bosque nativo en el Corredor Verde de Misiones (1990-2020)*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.agro.uba.ar/>
- Fundación Vida Silvestre Argentina. (2024). *Censo de Yaguaréte 2024: Resultados del monitoreo binacional en el Corredor Verde*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.vidasilvestre.org.ar/>
- Gadot, T., Istrate, S., Kim, H., Morris, D., Beery, S., Birch, T., & Ahumada, J. (2024). To crop or not to crop: Comparing whole-image and cropped classification on a large dataset of camera trap images. *IET Computer Vision*.

# Referencias iii

- Jocher, G. (2020). *YOLOv5 by Ultralytics* [Repositorio oficial de YOLOv5]. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://github.com/ultralytics/yolov5>
- Mallya, D. (2019). *AiCatch: Extending machine intelligence into the wild*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://deepakmallya.com/aicatcher>
- Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables de Misiones. (2025). *Informe de Deforestación 2025: Misiones alcanzó el nivel más bajo de pérdida de bosque nativo*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://ecologia.misiones.gob.ar/>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 779-788.

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Conclusiones

### └ Referencias

60 / 63

#### Referencias iii

- Jocher, G. (2020). *YOLOv5 by Ultralytics* [Repositorio oficial de YOLOv5]. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://github.com/ultralytics/yolov5>
- Mallya, D. (2019). *AiCatch: Extending machine intelligence into the wild*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://deepakmallya.com/aicatcher>
- Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables de Misiones. (2025). *Informe de Deforestación 2025: Misiones alcanzó el nivel más bajo de pérdida de bosque nativo*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://ecologia.misiones.gob.ar/>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 779-788.

-  Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., & Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142(6), 1141-1153.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>
-  Spypoint. (2024). *Spypoint Cellular Trail Cameras*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.spypoint.com/>
-  Steenweg, R., Hebblewhite, M., Kays, R., Ahumada, J., Fisher, J. T., Burton, C., Townsend, S. E., Carbone, C., Rowcliffe, J. M., Whittington, J., Brodie, J., Royle, J. A., Switalski, A., Clevenger, A. P., Heim, N., & Rich, L. N. (2017). Scaling-up camera traps: monitoring the planet's biodiversity with networks of remote sensors. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(1), 26-34.  
<https://doi.org/10.1002/fee.1448>

## 2025-12-31 Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Conclusiones

### └ Referencias

#### Referencias iv

-  Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., & Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142(6), 1141-1153.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>
-  Spypoint. (2024). *Spypoint Cellular Trail Cameras*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.spypoint.com/>
-  Steenweg, R., Hebblewhite, M., Kays, R., Ahumada, J., Fisher, J. T., Burton, C., Townsend, S. E., Carbone, C., Rowcliffe, J. M., Whittington, J., Brodie, J., Royle, J. A., Switalski, A., Clevenger, A. P., Heim, N., & Rich, L. N. (2017). Scaling-up camera traps: monitoring the planet's biodiversity with networks of remote sensors. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(1), 26-34.  
<https://doi.org/10.1002/fee.1448>

# Referencias v

- Tabak, M. A., Norouzzadeh, M. S., Wolfson, D. W., Sweeney, S. J., Vercauteren, K. C., Snow, N. P., Halseth, J. M., Di Salvo, P. A., Lewis, J. S., White, M. D., Teton, B., Beasley, J. C., Schlichting, P. E., Boughton, R. K., Wight, B., Newkirk, E. S., Ivan, J. S., Odell, E. A., Brook, R. K., ... Miller, R. S. (2019). Machine learning to classify animal species in camera trap images: Applications in ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(4), 585-590. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13120>
- Tactacam. (2024). *Tactacam REVEAL Cellular Cameras*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.revealcellcam.com/>
- Vélez, J., McShea, W., Shamon, H., Castiblanco-Camacho, P. J., Tabak, M. A., Chalmers, C., Fergus, P., & Fieberg, J. (2022). An evaluation of platforms for processing camera-trap data using artificial intelligence. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(2), 459-477. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14044>

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Conclusiones

### └ Referencias

62 / 63

#### Referencias v

- Tabak, M. A., Norouzzadeh, M. S., Wolfson, D. W., Sweeney, S. J., Vercauteren, K. C., Snow, N. P., Halseth, J. M., Di Salvo, P. A., Lewis, J. S., White, M. D., Teton, B., Beasley, J. C., Schlichting, P. E., Boughton, R. K., Wight, B., Newkirk, E. S., Ivan, J. S., Odell, E. A., Brook, R. K., ... Miller, R. S. (2019). Machine learning to classify animal species in camera trap images: Applications in ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(4), 585-590. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13120>
- Tactacam. (2024). *Tactacam REVEAL Cellular Cameras*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.revealcellcam.com/>
- Vélez, J., McShea, W., Shamon, H., Castiblanco-Camacho, P. J., Tabak, M. A., Chalmers, C., Fergus, P., & Fieberg, J. (2022). An evaluation of platforms for processing camera-trap data using artificial intelligence. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(2), 459-477. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14044>

# Referencias vi

- Whytock, R. C., Suijten, T., van Deursen, T., Świeżewski, J., Mermighe, H., Madamba, N., Mouckoumou, N., Zwerts, J. A., Pambo, A. F. K., Bahaa-el-din, L., Brittain, S., Cardoso, A. W., Henschel, P., Lehmann, D., Momboua, B. R., Makaga, L., Orbell, C., White, L. J. T., Iponga, D. M., & Abernethy, K. A. (2023). Real-time alerts from AI-enabled camera traps using the Iridium satellite network: A case-study in Gabon, Central Africa. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(3), 867-874.  
<https://doi.org/10.1111/2041-210X.14036>
- World Wildlife Fund. (2024). *Atlantic Forest: The most threatened tropical forest*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.worldwildlife.org/places/atlantic-forest>

2025-12-31

## Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

### └ Conclusiones

### └ Referencias

63 / 63

## Referencias vi

- Whytock, R. C., Suijten, T., van Deursen, T., Świeżewski, J., Mermighe, H., Madamba, N., Mouckoumou, N., Zwerts, J. A., Pambo, A. F. K., Bahaa-el-din, L., Brittain, S., Cardoso, A. W., Henschel, P., Lehmann, D., Momboua, B. R., Makaga, L., Orbell, C., White, L. J. T., Iponga, D. M., & Abernethy, K. A. (2023). Real-time alerts from AI-enabled camera traps using the Iridium satellite network: A case-study in Gabon, Central Africa. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(3), 867-874.  
<https://doi.org/10.1111/2041-210X.14036>
- World Wildlife Fund. (2024). *Atlantic Forest: The most threatened tropical forest*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.worldwildlife.org/places/atlantic-forest>

# Esquemático del Hardware

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Esquemático del Hardware

1 / 4



[Esquemático KiCad del nodo]

Backup: Esquemático completo del nodo cámara diseñado en KiCad. Muestra conexiones entre ESP32-CAM, sensor PIR, buck converter y baterías.

# Planos de la Carcasa

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Planos de la Carcasa

[Planos 2D de la carcasa]

2 / 4

Planos de la Carcasa

[Planos 2D de la carcasa]

Backup: Planos 2D de la carcasa con dimensiones exactas. Permite fabricación con otros métodos además de impresión 3D.

# Análisis Económico

**Inversión inicial:** \$20,530 USD

## Modelo de negocio:

- Cobro por instalación
- Suscripción mensual (\$50 USD)

## Mercado objetivo:

- 116 reservas naturales
- 10,800+ EAPs con bosques

## Indicadores:

- VAN: 7517,55 \$ USD
- TIR: 25 %
- TREMA: 15 %
- Recupero: Año 4

## Conclusion:

Proyecto **económicamente viable**

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Análisis Económico

3 / 4

**Análisis Económico**

**Inversión inicial:** \$20,530 USD

**Modelo de negocio:**

- Cobro por instalación
- Suscripción mensual (\$50 USD)

**Mercado objetivo:**

- 116 reservas naturales
- 10,800+ EAPs con bosques

**Indicadores:**

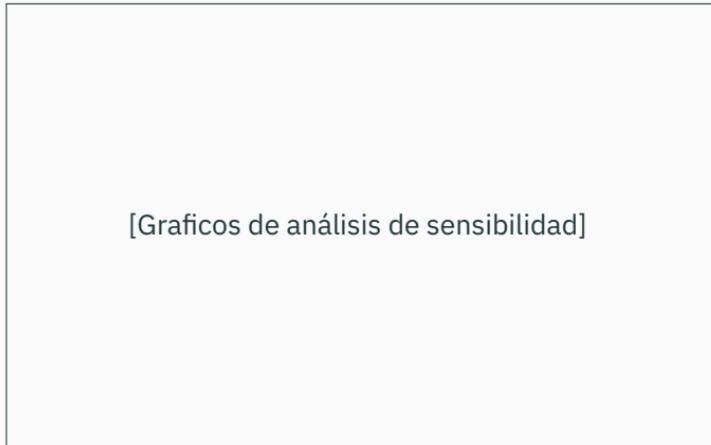
- VAN: 7517,55 \$ USD
- TIR: 25 %
- TREMA: 15 %
- Recupero: Año 4

**Conclusion:**

Proyecto **económicamente viable**

Backup: Análisis económico. Inversión inicial de 20 530 \$ USD. Modelo de suscripción mensual. VAN positivo, TIR del 25 % supera TREMA del 15 %. Recupero en año 4. Proyecto económicamente viable.

# Sensibilidad Económica



- Punto de equilibrio: 24 suscripciones/ano
- Precio mínimo viable: 40 \$ USD/mes

4 / 4

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas

└ Sensibilidad Económica

Sensibilidad Económica

[Graficos de análisis de sensibilidad]

- Punto de equilibrio: 24 suscripciones/ano
- Precio mínimo viable: 40 \$ USD/mes

Backup: Análisis de sensibilidad. Punto de equilibrio en 24 suscripciones anuales. Precio mínimo viable de 40 \$ USD/mes antes de que el proyecto deje de ser rentable.