



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

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

└ Contexto Regional

[Contexto Regional](#)

- Originalmente: 1,3 millones de km² (Ribeiro et al., 2009)
- 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 (World Wildlife Fund, 2024)

[Mapa Bosque Atlántico histórico vs. actual]

2025-12-31

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

└ Contexto Regional

└ El Bosque Atlántico

2 / 63

El Bosque Atlántico

- Originalmente: 1,3 millones de km² (Ribeiro et al., 2009)
- 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 (World Wildlife Fund, 2024)

[Mapa Bosque Atlántico histórico vs. actual]

El Bosque Atlántico es uno de los ecosistemas más biodiversos del mundo. Originalmente, cubría 1,3 millones de km², 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.

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 (Di Bitetti et al., 2003)
- En menos del 0,5 % del territorio nacional

[Mapa Selva Misionera Corredor Verde]

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

└ Contexto Regional

└ La Selva Misionera

2025-12-31

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 (Fundación Vida Silvestre Argentina, 2024)
- 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 cámara trampa]

2025-12-31

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

└ Contexto Regional

└ El Yaguareté: Especie Bandera

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.

5 / 63

El Yaguareté: Especie Bandera

- Monumento Natural provincial (1988) y nacional (2001)
- Censo 2024 – 84 individuos en el Corredor Verde (Fundación Vida Silvestre Argentina, 2024)
- 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 cámara trampa]

Importancia Ecologica

Servicios ecosistemicos:

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

Marco legal: Ley 26.331 de Protección de Bosques Nativos (Congreso de la Nación Argentina, 2007)

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

Categoría II (Amarillo): Mediano valor - uso sostenible

Categoría III (Verde): Bajo valor - puede transformarse

2025-12-31

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

└ Contexto Regional

└ Importancia Ecologica

6 / 63

Importancia Ecologica

Servicios ecosistemicos:

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

Marco legal: Ley 26.331 de Protección de Bosques Nativos (Congreso de la Nación Argentina, 2007)

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 (Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 2024)

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

2025: Reducción del 18 % respecto al promedio histórico (Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables de Misiones, 2025)

[Mapa deforestación o gráfico temporal]

2025-12-31

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

└ Contexto Regional

└ Deforestación

Deforestación

1990-2020: ~130.000 ha perdidas solo en el Corredor Verde (Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 2024)

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

2025: Reducción del 18 % respecto al promedio histórico (Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables de Misiones, 2025)

[Mapa deforestación o gráfico temporal]

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.

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.

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](#)

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

2025-12-31

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

└ Sistemas Actuales

└ Camaras Trampa Tradicionales (Steenweg et al., 2017)

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

13 / 63

Camaras Trampa Tradicionales (Steenweg et al., 2017)

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]

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 (Tabak et al., 2019)

Mantenimiento: Visitas periodicas para baterias y tarjetas

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

2025-12-31

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

└ Sistemas Actuales

└ Limitaciones de Camaras Tradicionales

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

14 / 63

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 (Tabak et al., 2019)

Mantenimiento: Visitas periodicas para baterias y tarjetas

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

Soluciones Comerciales Celulares

Ejemplos: Tactacam REVEAL
(Tactacam, 2024), Spypoint Flex
(Spypoint, 2024)

Características:

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

[Camara celular comercial]

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
(Tactacam, 2024), Spypoint Flex

Características:

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

[Camara celular comercial]

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) (Barrero & Schmunck, 2023):

Microcamara de vigilancia para fauna - bases para soluciones de bajo costo

Whytock et al. (2023) (Whytock et al., 2023): Camaras trampa con IA + alertas satelitales Iridium - costos operativos muy altos

AiCatcher (Mallya, 2019) (Mallya, 2019): 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.**

17 / 63

2025-12-31

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

└ Sistemas Actuales

└ Trabajos Relacionados

Trabajos Relacionados

Barrero & Schmunck (UNaM, 2023) (Barrero & Schmunck, 2023): Microcamaras de vigilancia para fauna - bases para soluciones de bajo costo

Whytock et al. (2023) (Whytock et al., 2023): Camaras trampa con IA + alertas satelitales Iridium - costos operativos muy altos

AiCatcher (Mallya, 2019) (Mallya, 2019): 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.

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.

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

└ Motivacion y Objetivos

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

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**

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.

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

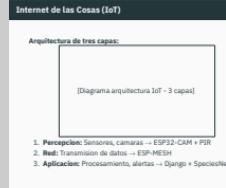
26 / 63

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	Alto	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]

2025-12-31

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

└ Marco Teórico

└ Redes Mesh - ESP-MESH (Espressif Systems, 2023)

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.

28 / 63

Redes Mesh - ESP-MESH (Espressif Systems, 2023)

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]

You Only Look Once

- Detección en una sola pasada
- Bounding boxes + probabilidades
- Balance velocidad/precision
- YOLOv5: PyTorch, multiples variantes (Jocher, 2020)

[Ejemplo detección YOLO con bounding boxes]

2025-12-31

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

└ Marco Teorico

└ Detección de Objetos con YOLO (Redmon et al., 2016)

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.

29 / 63

Detección de Objetos con YOLO (Redmon et al., 2016)

- You Only Look Once
- Detección en una sola pasada
 - Bounding boxes + probabilidades
 - Balance velocidad/precision
 - YOLOv5: PyTorch, multiples variantes (Jocher, 2020)



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 (Vélez et al., 2022)
- Reduce hasta 90 % el tiempo de procesamiento

2025-12-31

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

└ Marco Teorico

└ MegaDetector (Beery et al., 2019)

30 / 63

MegaDetector (Beery et al., 2019)

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 (Vélez et al., 2022)
- Reduce hasta 90 % el tiempo de procesamiento

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]

2025-12-31

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

└ Marco Teórico

└ SpeciesNet - Google (Gadot et al., 2024)

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.

31 / 63

SpeciesNet - Google (Gadot et al., 2024)

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]

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, Species-Net 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

40 / 63

Enfoque de Desarrollo

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

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

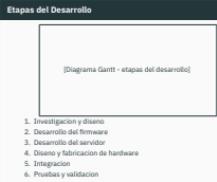
41 / 63

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

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.

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

44 / 63

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]

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

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

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.

54 / 63

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

root-node: github.com/fabcontigiani/root-node-capstone-project

server: github.com/fabcontigiani/server-capstone-project

wildlife-detection: 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>

61 / 63

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:

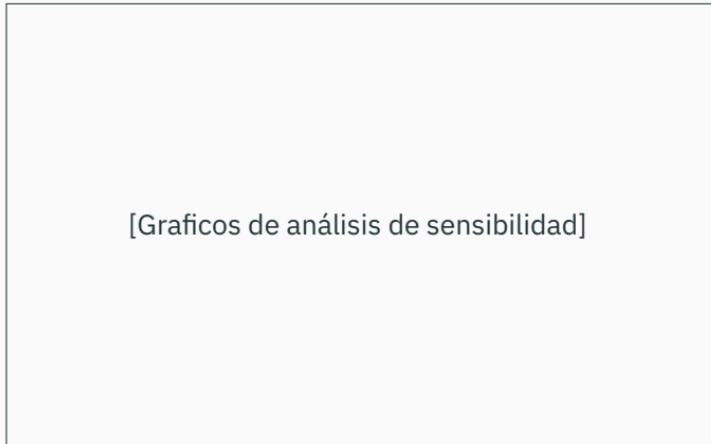
- VAN: 7517,55 \$ USD
- TIR: 25 %
- TREMA: 15 %
- Recupero: Año 4

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



[Graficos de análisis de sensibilidad]

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

2025-12-31

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

└ Sensibilidad Económica

4 / 4

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.