



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



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

- 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

2025-12-31

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

└ Índice

Índice
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

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 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)



2025-12-31

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

Contexto Regional

El Bosque Atlántico

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)



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 Atlantico en el Cono Sur

- 1,1 millones de hectareas 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



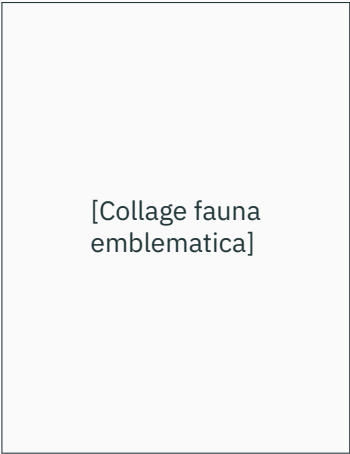
La Selva Misionera es el fragmento más grande y mejor conservado del Bosque Atlántico en Argentina. El Corredor Verde conecta áreas protegidas permitiendo el desplazamiento de fauna. Aquí se concentra más de la mitad de la biodiversidad del país en menos del 0,5 % del territorio.

Concentracion de especies:

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

Especies emblematicas:

- Yaguarete (*Panthera onca*)
- Tapir (*Tapirus terrestris*)
- Aguila harpia (*Harpia harpyja*)
- Yacutinga (*Aburria jacutinga*)



[Collage fauna emblematica]

Destacar la extraordinaria concentraci3n de especies. Mencionar que el ya-gua-re-t3, el tapir y el 3guila harp3a son especies bandera que requieren gran-des territorios y su presencia indica un ecosistema saludable.

- **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 **indicador clave** del estado de salud del ecosistema



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

Contexto Regional

El Yaguarete: Especie Bandera

El Yaguarete: 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 **indicador clave** del estado de salud del ecosistema



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

Marco legal: Ley 26.331 de Proteccion 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 Ecológica

Importancia Ecológica

Servicios ecosistemicos:

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

Marco legal: Ley 26.331 de Proteccion 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.

[Imagen amenazas a la conservacion]

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

[Imagen amenazas a la conservacion]

- 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.

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: Reduccion del 18 % respecto al promedio historico (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

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

[Mapa de deforestacion o grafico 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 geneticamente
- Desplazamiento por areas no protegidas
- Conflictos con actividades humanas
- Atropellamientos en rutas

[Diagrama 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.

Dos dimensiones:

- 1. **Cultural/subsistencia:**
Residentes locales
- 2. **Economica/organizada:** Trafico de fauna

Zonas criticas:

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

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



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 ilicitas frecuentes:

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

Problema critico

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

2025-12-31

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

Contexto Regional

Intrusion en Areas Protegidas

Intrusion en Areas Protegidas

Actividades ilicitas frecuentes:

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

Problema critico

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

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

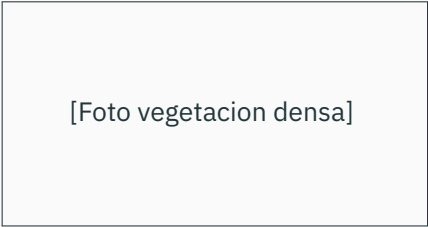
780 000 **hectareas** distribuidas en 106+ **áreas protegidas**

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



Desafíos de la Vigilancia

780 000 hectareas distribuidas en 106+ áreas 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



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.

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



Ventajas:

- Alta autonomia
- Bajo costo inicial
- Robustez probada

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

└ Sistemas Actuales

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

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



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

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

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

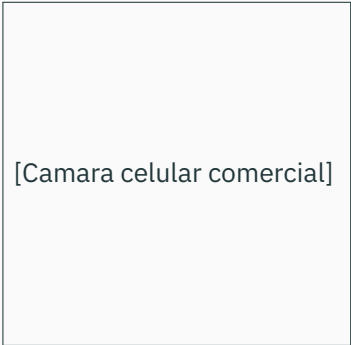
*Para cuando se detecta una intrusion,
los responsables ya estan lejos del area.*

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

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

Características:

- Envío via redes 3G/4G/LTE
- App movil propietaria
- Disparo rapido (< 0,5 s)
- Vision nocturna IR



2025-12-31

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

└─ Sistemas Actuales

└─ Soluciones Comerciales Celulares

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

Características:

- Envío via redes 3G/4G/LTE
- App movil propietaria
- Disparo rapido (< 0,5 s)
- Vision nocturna IR



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 adquisicion por unidad
- Suscripciones mensuales: 5 \$ a 15 \$ USD por camara
- Servicios en la nube propietarios

Escalabilidad limitada

- Costo prohibitivo para despliegues masivos
- Especialmente en paises en vias 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 adquisicion por unidad
- Suscripciones mensuales: 5 \$ a 15 \$ USD por camara
- Servicios en la nube propietarios

Escalabilidad limitada

- Costo prohibitivo para despliegues masivos
- Especialmente en paises en vias 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.

- 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.**

2025-12-31

- Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas
- └ Sistemas Actuales
 - └ Trabajos Relacionados

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.

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.**

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
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.

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

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

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.

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

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

- Nodos de camara con conectividad **mesh**
- Clasificacion automatica de imagenes mediante **IA**

Reduccion del tiempo de procesamiento:

Dias/semanas → Minutos

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas
└─ Motivacion y Objetivos
└─ Objetivo General

Objetivo General

Objetivo

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

- Nodos de camara con conectividad **mesh**
- Clasificacion automatica de imagenes mediante **IA**

Reduccion del tiempo de procesamiento:

Dias/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.

1. Diseñar e implementar un **nodo de camara autonomo** 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 clasificacion
5. **Validar el funcionamiento** en condiciones reales

2025-12-31

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

└─ Motivacion y Objetivos

└─ Objetivos Especificos

Objetivos Especificos

1. Diseñar e implementar un **nodo de camara autonomo** 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 clasificacion
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.

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

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

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.

- 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

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

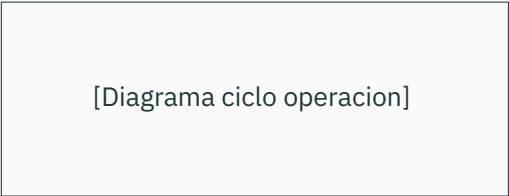
Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA
para Áreas Protegidas

└ 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**



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

└─ Marco Teorico

└─ Funcionamiento de Camaras Trampa

Funcionamiento de Camaras Trampa

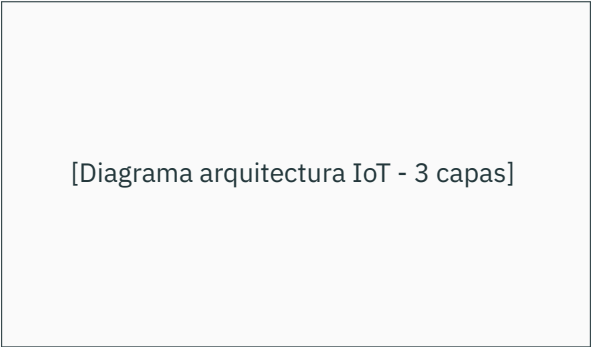
Ciclo de operacion:

- 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**



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:



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

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

└─ Marco Teorico

└─ Internet de las Cosas (IoT)

Internet de las Cosas (IoT)

Arquitectura de tres capas:



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

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

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 imagenes

WiFi Mesh: Permite transmision de imagenes + extension de cobertura

2025-12-31

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

└─ Marco Teorico

└─ Protocolos de Comunicacion

Protocolos de Comunicacion

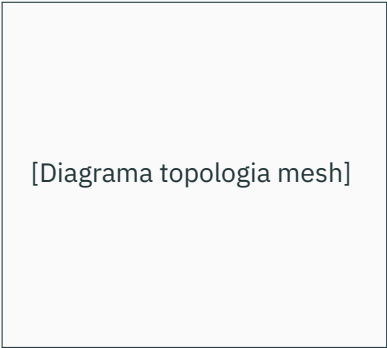
Protocolo	Alcance	Ancho banda	Consumo
BLE	~100 m	Bajo	Muy bajo
ZigBee	~100 m	Bajo	Bajo
LoRa	km	Muy bajo	Bajo
WiFi	~100 m	Alto	Alto

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

- **Autoorganizacion:** Seleccion automatica de padre optimo
- **Autocuracion:** Reconexion ante fallos
- Topologia de arbol
- Hasta 6+ niveles de profundidad
- Cientos de nodos



2025-12-31

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

└─ Marco Teorico

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

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

- Características:
- **Autoorganizacion:** Seleccion automatica de padre optimo
 - **Autocuracion:** Reconexion ante fallos
 - Topologia de arbol
 - Hasta 6+ niveles de profundidad
 - Cientos de nodos



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

You Only Look Once

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

[Ejemplo deteccion YOLO
con bounding boxes]

29 / 63

2025-12-31

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

└ Marco Teorico

└ Deteccion 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.

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

You Only Look Once

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

[Ejemplo deteccion YOLO
con bounding boxes]

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)

MegaDetector (Beery et al., 2019)

Microsoft AI for Earth
Modelo especializado para camaras trampa que detecta:

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

Ventajas:

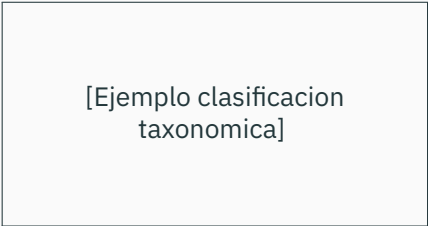
- Altamente robusto y generalizable
- Adoptado por 60+ organizaciones de conservacion (Vélez et al., 2022)
- Reduce hasta 90 % el tiempo de procesamiento

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. **Deteccion:** Identifica regiones de interes (animales, personas, vehiculos)
- 2. **Clasificacion taxonomica:** Para animales detectados
 - o Familia
 - o Genero
 - o Especie

Entrenado con millones de imagenes de camaras trampa a nivel global



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

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

SpeciesNet - Google (Gadot et al., 2024)

- Pipeline de dos fases:
- 1. **Deteccion:** Identifica regiones de interes (animales, personas, vehiculos)
 - 2. **Clasificacion taxonomica:** Para animales detectados
 - o Familia
 - o Genero
 - o Especie

Entrenado con millones de imagenes de camaras trampa a nivel global



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.

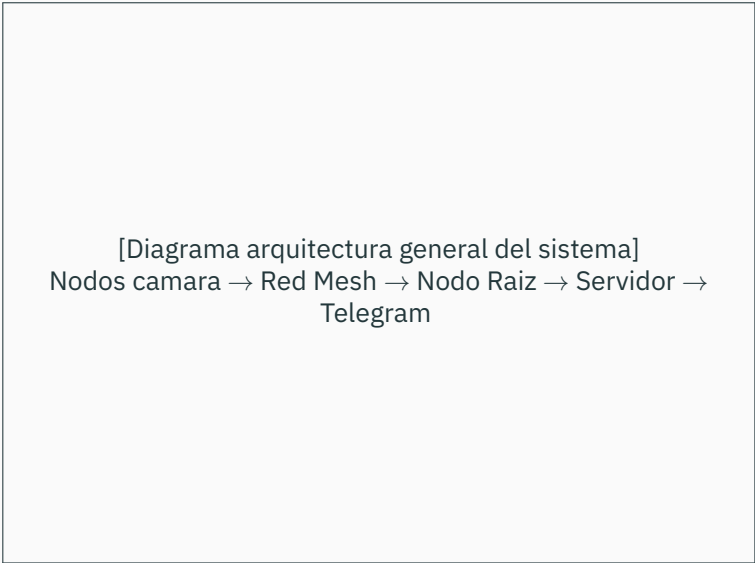
Arquitectura del Sistema

2025-12-31

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

└─ Arquitectura del Sistema

Arquitectura del Sistema



2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas	
└─Arquitectura del Sistema	
└─Vision General	

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.

- 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.

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

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]

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.

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

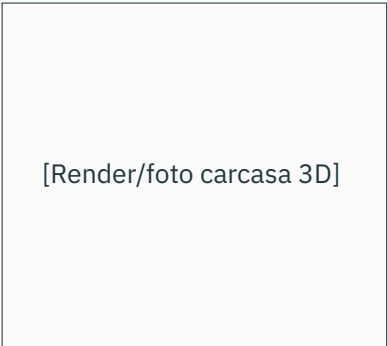
Firmware desarrollado con ESP-IDF y ESP-MDF. Funcionalidades: inicialización de cámara, interrupción PIR, conexión mesh, captura JPEG, respaldo en SD, transmisión Mwifi, modo power-save. Límite de paquete mesh: 8 kB.

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]

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

└─Arquitectura del Sistema

└─Carcasa Impresa en 3D

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]

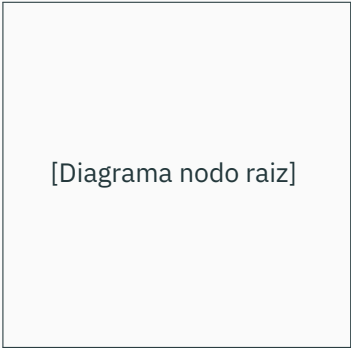
Carcasa impresa en 3D basada en diseño CC 4.0. PLA, aperturas para lente y PIR, espacio para electrónica, acceso a SD, puntos de montaje. Disponible en Printables para que cualquiera pueda fabricarla.

Hardware: ESP32 DevKit V1 (sin camara)

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



2025-12-31

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

└─ Arquitectura del Sistema

└─ Nodo Raiz

Nodo Raiz

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

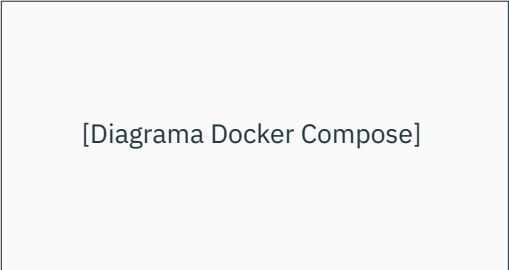
- Raiz de la red ESP-MESH
- Recepcion de imagenes de nodos hijos
- Conexion WiFi a router
- Cliente HTTP para envio al servidor
- Sincronizacion de tiempo



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



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

- └─ Arquitectura del Sistema
 - └─ Servidor de Aplicacion

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

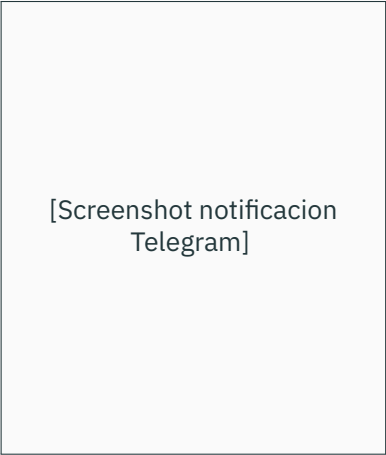


Servidor containerizado con Docker Compose: Django para backend, Species-Net para inferencia con LitServe, PostgreSQL para datos, bot de Telegram para notificaciones. Fácil de desplegar.

Bot de Telegram

Cada notificacion incluye:

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



Comandos:

- /start - Registro
- /last - Ultima imagen

2025-12-31

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

└─Arquitectura del Sistema

└─Sistema de Alertas

Sistema de Alertas

Bot de Telegram
Cada notificacion incluye:
• Imagen original
• Imagen anotada (bounding boxes)
• Cantidad y confianza de detecciones
• Clasificaciones taxonomicas

Comandos:
• /start - Registro
• /last - Ultima imagen

[Screenshot notificacion 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.

Metodologia

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

Iterativo e incremental

- Cada componente desarrollado, probado y refinado individualmente
- Identificación temprana de problemas
- Metodología ágil **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 de Desarrollo

- Iterativo e incremental**
- Cada componente desarrollado, probado y refinado individualmente
 - Identificación temprana de problemas
 - Metodología ágil **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.

[Diagrama Gantt - etapas del desarrollo]

- 1. Investigacion y diseno
- 2. Desarrollo del firmware
- 3. Desarrollo del servidor
- 4. Diseno y fabricacion de hardware
- 5. Integracion
- 6. Pruebas y validacion

2025-12-31

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

└─ Metodologia

└─ Etapas del Desarrollo

Etapas del Desarrollo

[Diagrama Gantt - etapas del desarrollo]

- 1. Investigacion y diseno
- 2. Desarrollo del firmware
- 3. Desarrollo del servidor
- 4. Diseno y fabricacion de hardware
- 5. Integracion
- 6. Pruebas y validacion

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

Desarrollo:

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

Diseño 3D:

- Autodesk Fusion 360
- PrusaSlicer
- Impresora Creality Ender 3

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

└─ Metodología

└─ Herramientas Utilizadas

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

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.

Desafio 1: Limite de tamanho de pacote

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

Desafio 2: Consumo energetico

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)

2025-12-31

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

└─ Metodologia

└─ Desafios Enfrentados

Desafios Enfrentados

Desafio 1: Limite de tamanho de pacote
ESP-MDF limita paquetes a 8kB → ajustar compresion JPEG
Desafio 2: Consumo energetico
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)

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

2025-12-31

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

└─ Pruebas y Resultados

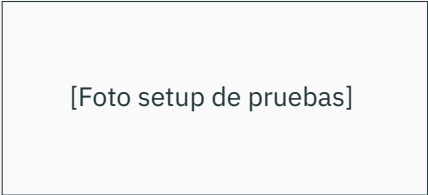
Pruebas y Resultados

Hardware:

- 3 nodos de camara
- 1 nodo raiz
- Baterias 18650 (2S)
- Router WiFi domestico

Software:

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



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

└─ Pruebas y Resultados

└─ Configuracion de Pruebas

Configuración de Pruebas

- Hardware:**
 - 3 nodos de camara
 - 1 nodo raiz
 - Baterias 18650 (2S)
 - Router WiFi domestico
- Software:**
 - ESP-IDF v5.x
 - Docker containers
 - SpeciesNet + LitServe
 - PostgreSQL
 - Tunel VPN (Pangolin)



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.

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

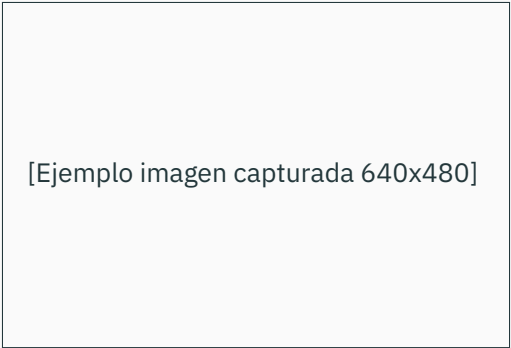
└─ Pruebas de Laboratorio

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

Pruebas de laboratorio cubrieron cada componente: captura de imagen, sensor PIR, transmisión mesh, clasificación con IA, y recepción de alertas en Telegram.



- Resolución: 640x480 (VGA)
- Formato: JPEG comprimido
- Tamaño típico: < 8 kB



- Resolución: 640x480 (VGA)
- Formato: JPEG comprimido
- Tamaño típico: < 8 kB

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

2025-12-31

Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas
└ Pruebas y Resultados
└ Resultados - Red Mesh

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.

Categoria	Precision
Animales	[X] %
Personas	[X] %
Vehiculos	[X] %

[Ejemplo deteccion exitosa]

Tiempo de inferencia:

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

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

└ Pruebas y Resultados

└ Resultados - Deteccion

Resultados - Deteccion

Categoria	Precision
Animales	[X] %
Personas	[X] %
Vehiculos	[X] %

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

[Ejemplo deteccion exitosa]

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.

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

Autonomia estimada: [X] horas con baterias 18650 (2S, [X]mAh)

2025-12-31

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

└─ Pruebas y Resultados

└─ Resultados - Consumo Energetico

Resultados - Consumo Energetico

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

Autonomia estimada: [X] horas con baterias 18650 (2S, [X]mAh)

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

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]



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

Conclusiones

2025-12-31

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

└─ Conclusiones

Conclusiones

- ✓ Sistema completo de monitoreo con **hardware de bajo costo**
- ✓ Reduccion de tiempo de procesamiento: **dias → minutos**
- ✓ Red mesh funcional con **ESP-MESH**
- ✓ Integracion exitosa de **SpeciesNet/MegaDetector**
- ✓ Sistema de alertas en tiempo real via **Telegram**
- ✓ Carcasa imprimible en 3D
- ✓ **Codigo 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**
- ✓ Reduccion de tiempo de procesamiento: **dias → minutos**
- ✓ Red mesh funcional con **ESP-MESH**
- ✓ Integracion exitosa de **SpeciesNet/MegaDetector**
- ✓ Sistema de alertas en tiempo real via **Telegram**
- ✓ Carcasa imprimible en 3D
- ✓ **Codigo 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.

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

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

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.

Metrica	Objetivo	Resultado
Latencia de respuesta	<X min	[X] min
Precision de deteccion	>X %	[X] %
Autonomia	>X horas	[X] horas
Cobertura	>X m	[X] m

- 2025-12-31
- Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana basado en IA para Áreas Protegidas
- └─ Conclusiones
- └─ Comparacion con Objetivos

Comparacion con Objetivos

Metrica	Objetivo	Resultado
Latencia de respuesta	<X min	[X] min
Precision de deteccion	>X %	[X] %
Autonomia	>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.

- 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

2025-12-31

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

- └─ Conclusiones
- └─ Trabajos Futuros

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

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.

- 1. **Ubicaciones:** Considerar distancia entre nodos y obstaculos
- 2. **Proteccion:** Usar PETG/ASA para despliegues permanentes
- 3. **Baterias:** Dimensionar segun frecuencia de activaciones
- 4. **Sensor PIR:** Evaluar alternativas para fauna pequena
- 5. **Monitoreo:** Implementar seguimiento de estado de nodos

2025-12-31

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

└─ Conclusiones

└─ Recomendaciones

Recomendaciones

- 1. **Ubicaciones:** Considerar distancia entre nodos y obstaculos.
- 2. **Proteccion:** Usar PETG/ASA para despliegues permanentes
- 3. **Baterias:** Dimensionar segun frecuencia de activaciones
- 4. **Sensor PIR:** Evaluar alternativas para fauna pequena
- 5. **Monitoreo:** Implementar seguimiento de estado de nodos

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

- 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

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

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

- 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?

 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-Mc8kHJw3Rcgl0tf4Mq3MxNyqXW5>

 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


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-Mc8kHJw3Rcgl0tf4Mq3MxNyqXW5>


 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*.

 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 Yaguareté 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, Ş., 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


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 Yaguareté 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, Ş., 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*.

 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). *AiCatcher: 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.

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). *AiCatcher: 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>

 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

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>

 Whytock, R. C., Suijten, T., van Deursen, T., Świeżewski, J., Mermiaghe, 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>

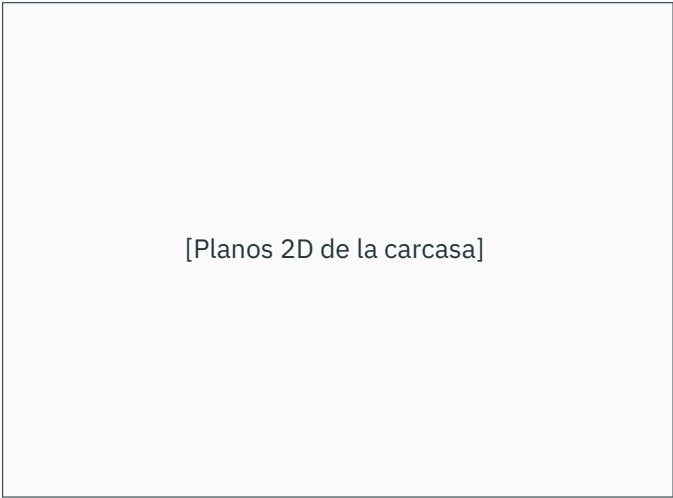
 World Wildlife Fund. (2024). *Atlantic Forest: The most threatened tropical forest*. Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde <https://www.worldwildlife.org/places/atlantic-forest>

Referencias vi	
D	Whytock, R. C., Suijten, T., van Deursen, T., Świeżewski, J., Mermiaghe, 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. <i>Methods in Ecology and Evolution</i> , 14(3), 867-874. https://doi.org/10.1111/2041-210X.14036
D	World Wildlife Fund. (2024). <i>Atlantic Forest: The most threatened tropical forest</i> . Consultado el 27 de diciembre de 2024, desde https://www.worldwildlife.org/places/atlantic-forest

[Esquemático KiCad del nodo]

[Esquemático KiCad del nodo]

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



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

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 **economicamente viable**

2025-12-31

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

Análisis Económico

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

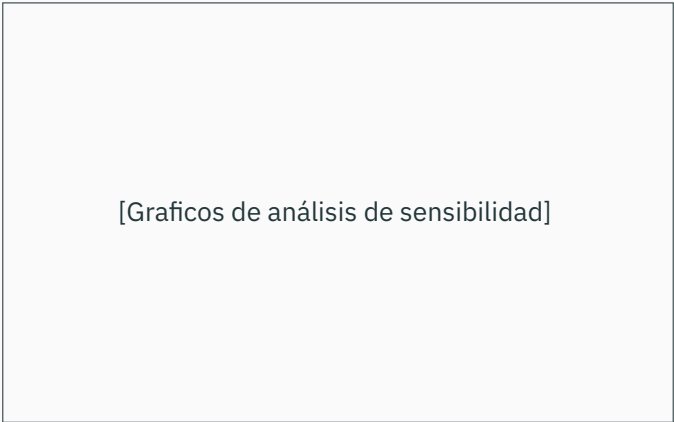
Indicadores:

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

Conclusion:

Proyecto **economicamente 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.



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



- Punto de equilibrio: 24 suscripciones/ano
- Precio minimo 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.