



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Tema:

Desarrollo de un sistema web y aplicación móvil para el apoyo a la gestión operativa de la recolección de residuos sólidos urbanos mediante análisis de incidencias ciudadanas georreferenciadas y Machine Learning en la ciudad de Quito

Autores:

Mena Pérez, James Steve y Ortiz Tomalo, Bryan Andrés

Tutor: Ing. Loza Herrera, Washington Eduardo Mgtr.

SANGOLQUÍ, 6 DE AGOSTO DE 2026



ÍNDICE

1 Problema

2 Antecedentes

3 Objetivos

4 Metodología

5 Desarrollo

6 Resultados

7 Conclusiones

8 Discusión

9 Trabajos Futuros



Planteamiento del Problema



- **Deterioro de la imagen urbana:**
acumulación visible de basura
en calles y espacios públicos.

- **Riesgo para la salud pública:**
focos de infección y proliferación de plagas
(roedores, insectos) por la basura acumulada.



- **Recursos desperdiciados:** personal y equipos
enviados a zonas que no lo requieren, mientras
puntos críticos quedan desatendidos.

Antecedentes

1 Crecimiento acelerado

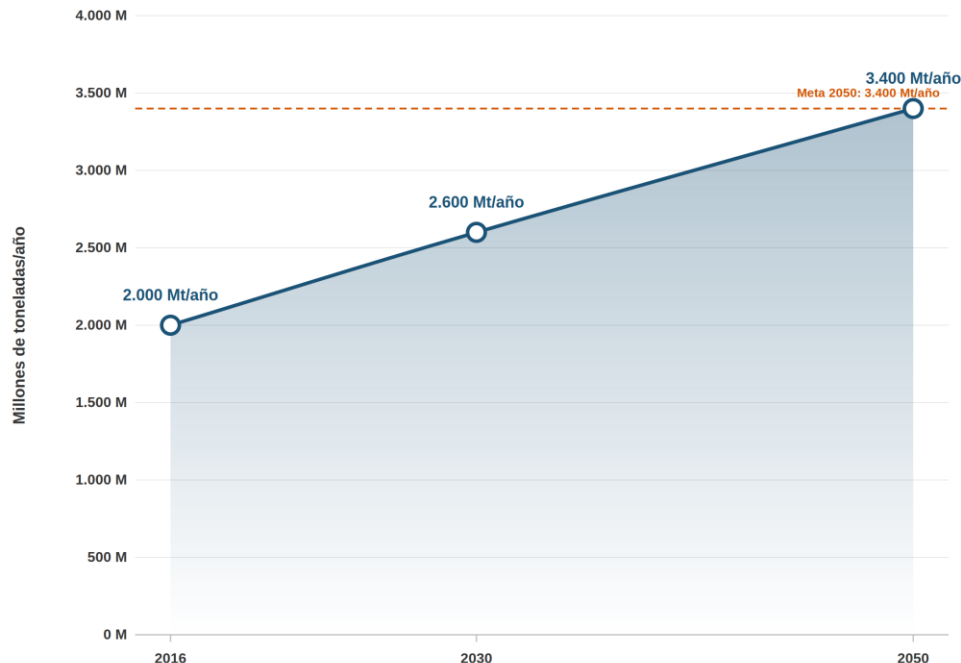
3.400 M ton de residuos sólidos proyectadas para el año 2050.
(Kaza et al., 2018)

2 Gestión rígida

Rutas y horarios fijos, sin ajuste a la demanda real.
(Pardini et al., 2020)

Proyección de generación de residuos a nivel global

Fuente: Kaza, S. et al. (2018). What a Waste 2.0. Banco Mundial.



Fuente: Kaza, S. et al. (2018)

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de sistema web como herramienta de apoyo a la gestión operativa de la recolección de residuos sólidos urbanos en la EMASEO EP, integrando un módulo de aplicación móvil para el registro de incidencias ciudadanas y técnicas de Machine Learning aplicadas al análisis de imágenes, con el fin de generar escalas de atención que apoyen la toma de decisiones operativas.



Objetivos

Objetivos específicos

- 1 Analizar los fundamentos tecnológicos y conceptuales de la administración de residuos sólidos urbanos.
- 2 Formular la lógica del prototipo, añadiendo servicios para incidencias georreferenciadas y un módulo de análisis por Machine Learning que clasifique imágenes según su acumulación estimada.
- 3 Prototipar un módulo de aplicación móvil ciudadana para registrar incidencias de residuos sólidos, incluyendo datos georreferenciados y evidencia gráfica.
- 4 Diseñar la interfaz web para supervisores operativos, orientada a la visualización, control y administración de usuarios.
- 5 Examinar la efectividad y desempeño del prototipo mediante pruebas funcionales, de rendimiento y de usabilidad.

Diseño Metodológico

Enfoque Mixto

Cuantitativo: métricas ML + análisis geoespacial.
Cualitativo: evaluación de usabilidad (SUS) y experiencia de usuario a través de entrevistas.



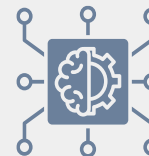
Metodología RAD

Prototipado rápido e iterativo con retroalimentación constante de EMASEO EP.



Tipo de investigación

Aplicada y tecnológica: construcción y validación de un prototipo de software funcional.



Requerimientos Funcionales del Sistema

Backend y ML

RF-07 a RF-13

- 07 Registro e inicio de sesión
- 08 Autenticación de usuarios
- 09 Control de acceso por roles
- 10 Almacenamiento de imágenes
- 11 Detección de volumen con ML
- 12 Estimación de severidad
- 13 Cálculo de volumen en m

Módulo móvil

RF-01 a RF-06

- 01 Registro e inicio de sesión
- 02 Captura fotografica de basura
- 03 Obtención automática de GPS
- 04 Envío de reporte al sistema
- 05 Historial de reportes
- 06 Almacenamiento sin conexión

Web y general

RF-14 a RF-16

- 14 Filtrado por severidad y estado
- 15 Estadística de recogida
- 16 Gestión de usuarios



Arquitectura General del Sistema

Diagrama de Contexto (C1 - Modelo C4)

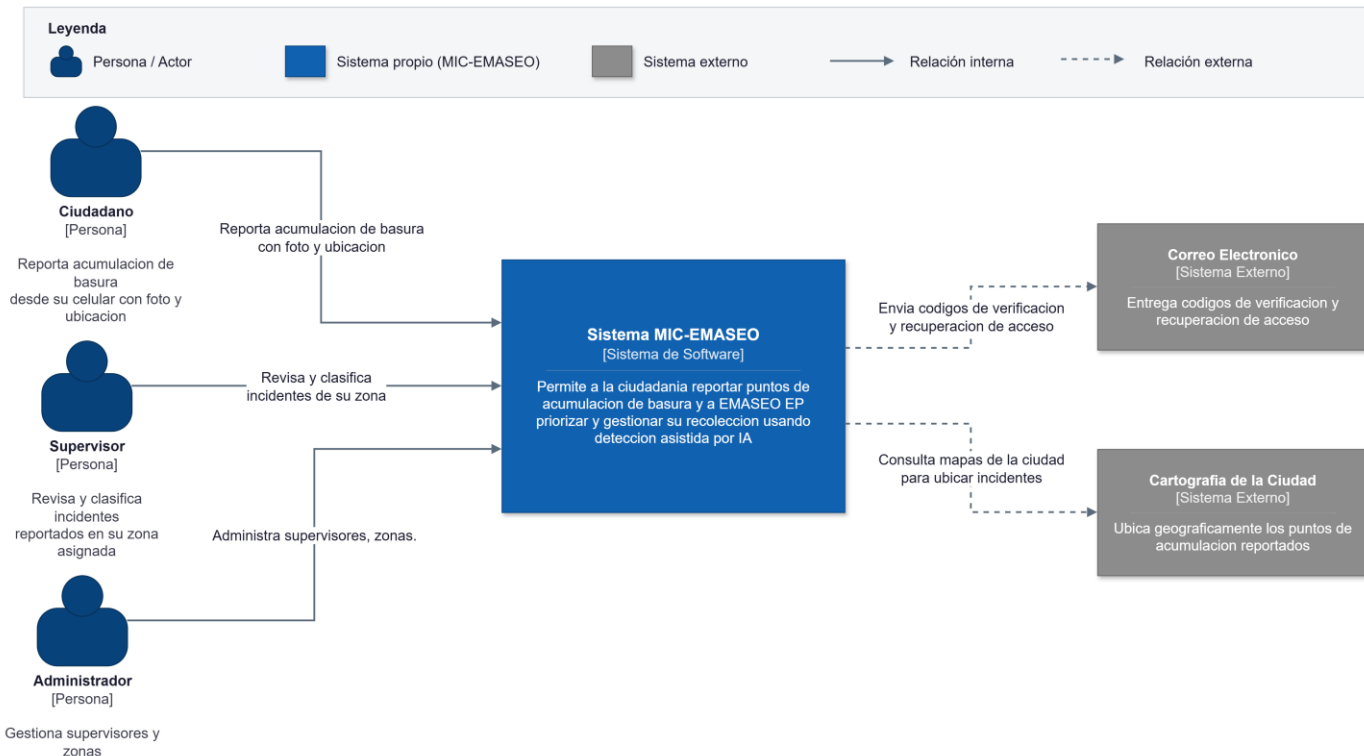


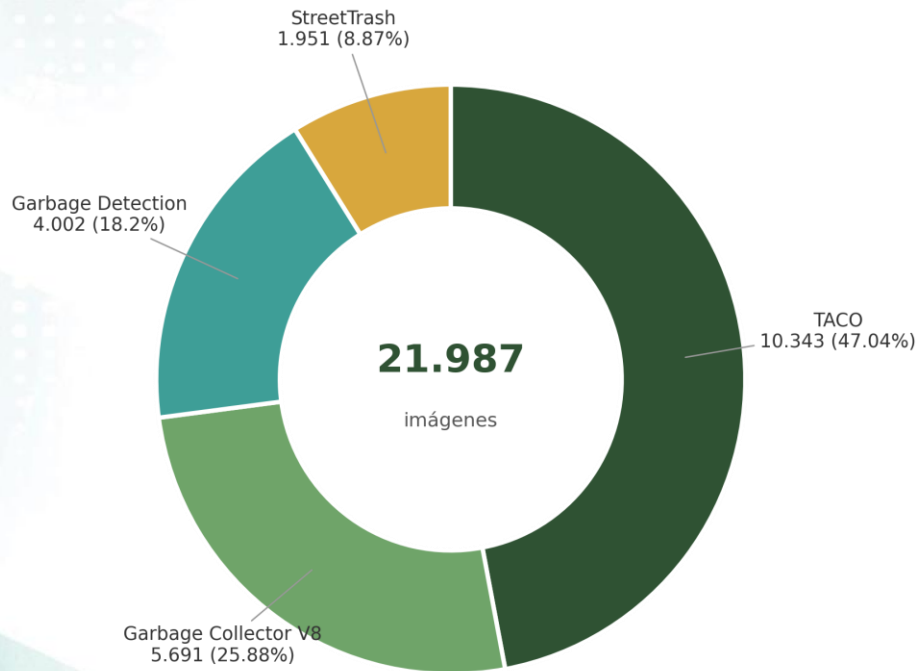
Diagrama de contexto

Se presenta el sistema como una caja donde se responde a las preguntas **¿qué hace el sistema?** y **¿con quién se relaciona?**

[Diagrama de contenedores \(modelo C4\)](#) →

Construcción del Dataset de Imágenes

Composición del dataset de imágenes



4 fuentes públicas unificadas

Todas las imágenes se combinaron en una sola clase de entrenamiento: "garbage".

El objetivo no es clasificar el tipo de residuo, sino detectar su presencia y estimar su severidad.

Configuración y Resultados del Entrenamiento

CONFIGURACIÓN

Datos

Tamaño de imagen
640 × 640 px

División
70 % / 20 % / 10 %

Entrenamiento

Épocas
100

Batch size
16

Optimizador
AdamW

Tasa de aprendizaje
0.0001

Programador de tasa
Cosine annealing

Aumentación:

HSV

Flip

Mosaic

Mixup

RESULTADOS

Mejor época: 64 de 100

0.8802

mAP@50

mAP@50:95
0.6124

Precisión
0.8934

Recall
0.8571

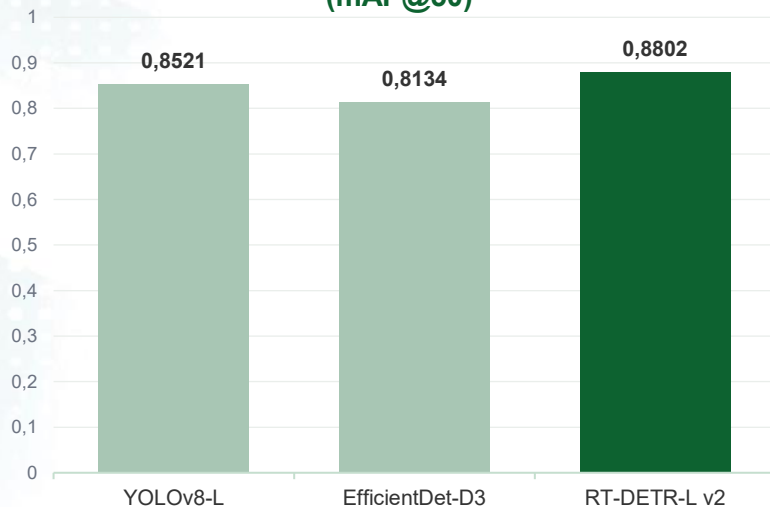
F1 score
0.8749

Modelo seleccionado: RT-DETR-L v2

Diseño del Módulo de Machine Learning

Selección del modelo de detección

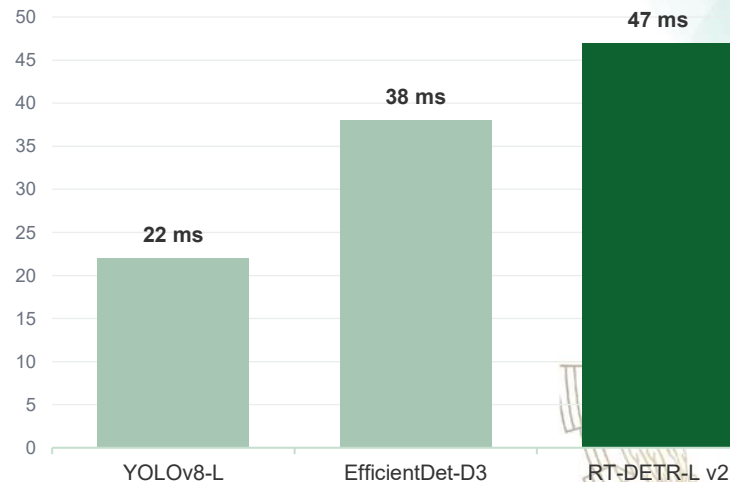
**Comparativa de arquitecturas de detección
(mAP@50)**



YOLOv8-L: 43.6 M par.

EfficientDet-D3: 12.0 M par.

Latencia de inferencia por modelo



RT-DETR-L v2: 32.9 M par.

Bandas de Severidad y Volumen

¿Qué tan grande es la acumulación? Clasificación automática según el modelo de ML

NIVEL	¿CÓMO SE VE?	VOLUMEN
BAJO	fundas pequeñas u objetos aislados	0.05 – 0.50 m ³
MEDIO	Varias fundas o un costal lleno	0.50 – 2,0 m ³
ALTO	Montón mediano, varios costales	1.30 – 5,0 m ³
CRÍTICO	Acumulación grande o escombros	> 5,0 m ³

Este nivel es el punto de partida: aporta el 50 % del puntaje con el que se decide qué incidencia se atiende primero.

BAJO



ALTO



MEDIO

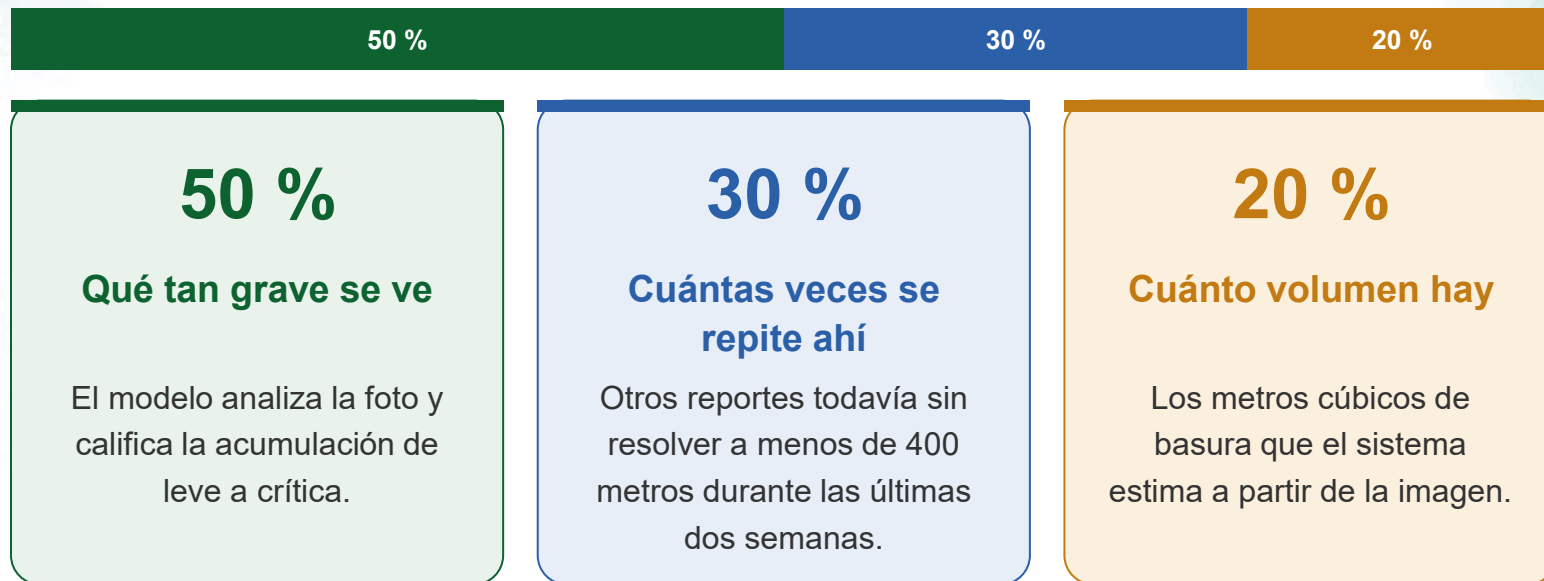


CRÍTICO



Función de Priorización

¿Cuál incidencia se atiende primero? El sistema no solo detecta basura: calcula qué tan urgente es atenderla



Función de Priorización

Resultado: un puntaje de 0 a 100 que ordena la bandeja del supervisor

0 – 24

Baja

25 – 49

Media

50 – 74

Alta

75 – 100

Crítica

Misma foto, distinta urgencia

Acumulación media de 3 m³,
primera vez en ese punto

35 / 100 Media

La misma acumulación, pero con 5
reportes sin resolver cerca

65 / 100 Alta



VIDEO FUNCIONAMIENTO



EMASEO **EMASEO EP IA**
Sistema Inteligente de Residuos

Bienvenido

Inicia sesión para continuar

Correo electrónico

✉ jsmena5@espe.edu.ec

Contraseña

🔒 🔍

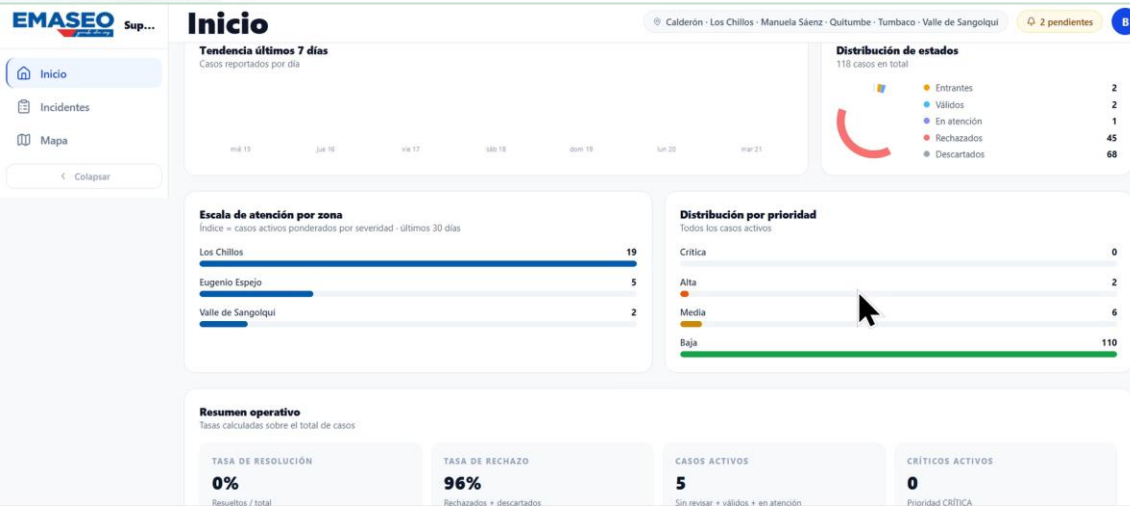
[¿Olvidaste tu contraseña?](#)

Ingresar

¿Aún no tienes cuenta? [Crear cuenta](#)



Diseño del Panel Web



Panel web: métricas de dashboard



Panel web: mapa de incidencias

Diseño de la App Móvil y el Panel Web

#9f8bcec9 **Pendiente** ● Media

Eugenio Espejo

Andres Ortiz · 19 jun 2026, 06:55 a. m.

[Rechazar](#) [Revisar](#)



CONFIANZA IA 81%	TIPO RESIDUO Mixto
ACUMULACIÓN Medio	VOLUMEN EST. 1.30 m³ (ref.)
DETECCIONES 2	CORREO andresweb1908@gmail.c...
ESCALA DE ATENCIÓN 29/100 · Media	REPORTES CERCANOS (14D) 0
DIRECCIÓN —	

- Contexto del reporte
- Diagnóstico IA
- Trazabilidad del caso

Ampliar

Panel web: Detalle del caso



Diseño de la App Móvil y el Panel Web



 Ampliar

CONFIANZA IA 95%	TIPO RESIDUO —
ACUMULACIÓN —	VOLUMEN EST. Sin dato
DETECCIONES 0	CORREO andresweb1908@gmail.c...
ESCALA DE ATENCIÓN 13/100 · Baja	REPORTES CERCANOS (14D) 0
DIRECCIÓN —	

▼ Contexto del reporte

CIUDADANO
Andres Ortiz

CORREO
andresweb1908@gmail.com

ZONA
Valle de Sangolquí

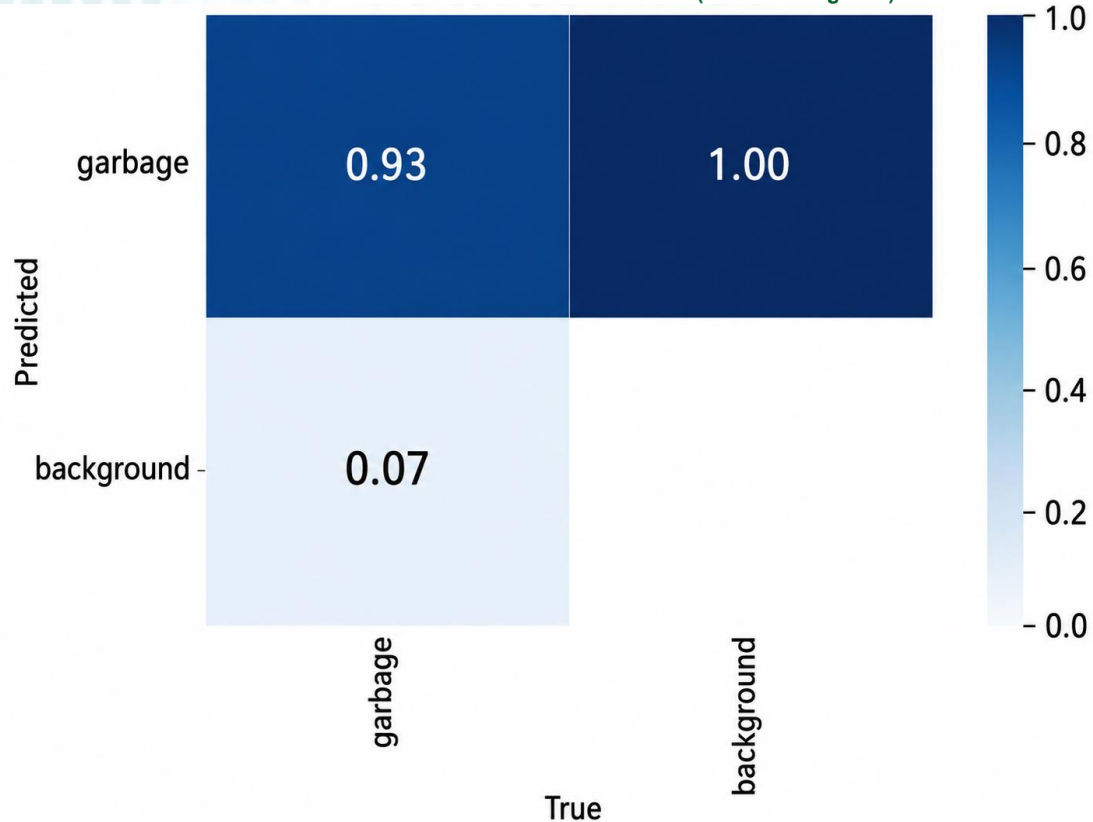
COORDENADAS GPS
-0.313033 | -78.445397 [Ver en mapa →](#)

**Panel web:
casos de
incidencias**



Evaluación de Resultados

Matriz de confusión normalizada (test 706 imágenes)

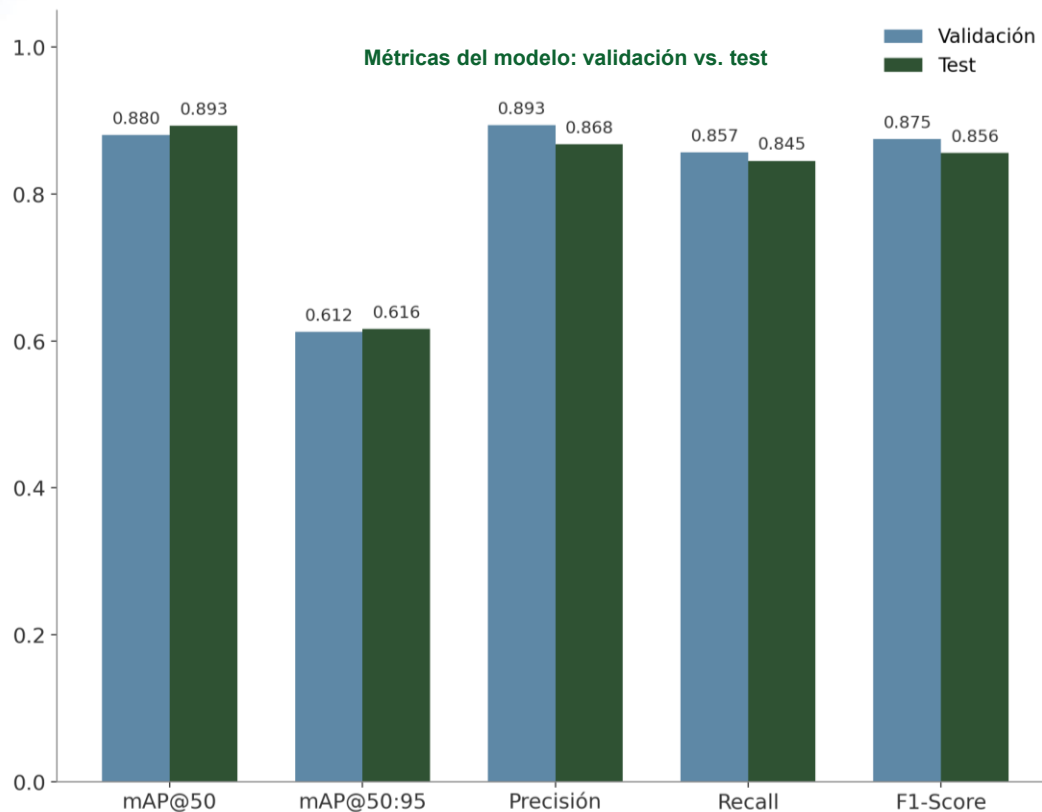


Verdaderos Positivos

Verdaderos Negativos

El modelo detectó correctamente el 93 % de las acumulaciones reales del conjunto de prueba

Evaluación de Resultados



mAP@50 mejora en test lo que da un buen desempeño

Modelo presenta condiciones óptimas para ser operado por EMASEO EP

Resultados de las Pruebas Funcionales

Se verificaron los 16 requerimientos mediante pruebas de caja negra. Todos exitosos.

Módulo móvil

RF-01 – RF-06

6/6

- ✓ Login válido e inválido
- ✓ Captura de fotografía
- ✓ Coordenadas GPS automáticas
- ✓ Envío de reporte
- ✓ Historial de reportes
- ✓ Almacenamiento offline

Backend y ML

RF-07 – RF-13

7/7

- ✓ API REST de reportes
- ✓ Autenticación de usuarios
- ✓ Control por roles (RBAC)
- ✓ Almacenamiento de imágenes
- ✓ Detección de residuos
- ✓ Clasificación por severidad
- ✓ Volumen estimado en m³

Web y general

RF-14 – RF-16

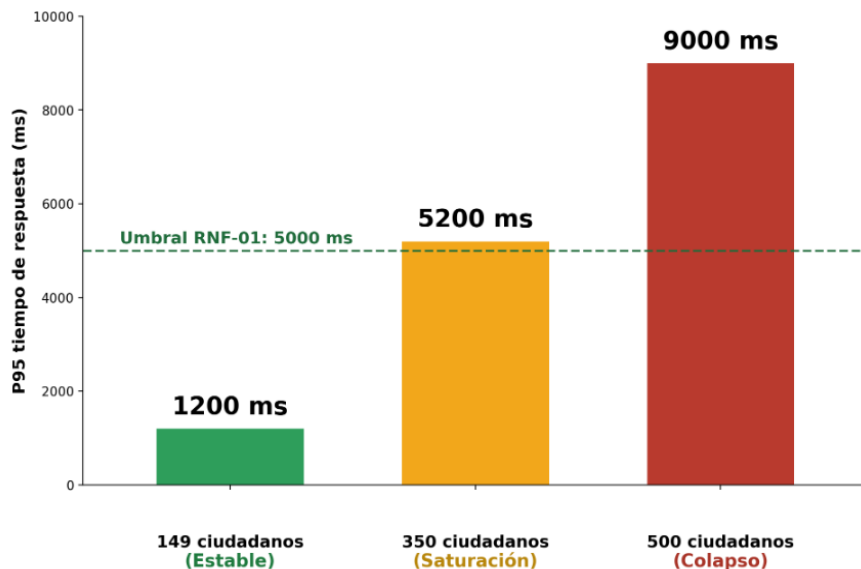
3/3

- ✓ Filtro por severidad y estado
- ✓ Estadísticas por sector
- ✓ Gestión de usuarios

16 / 16 casos de prueba exitosos

Pruebas de Rendimiento y Concurrencia

Resultados en la aplicación móvil



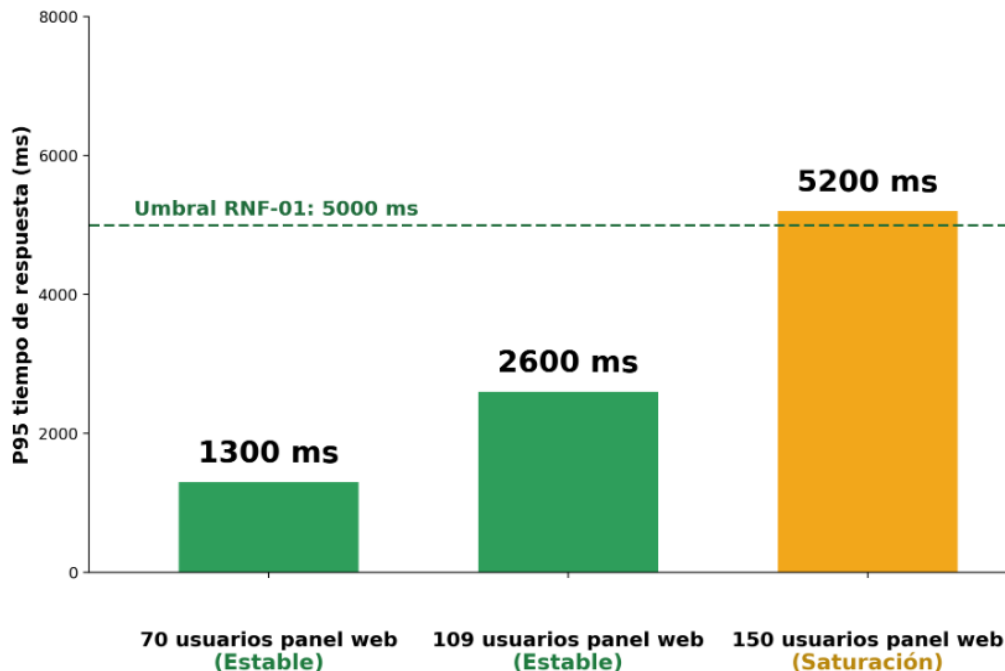
Herramienta aplicada: Locust



Peticiones por segundo: 10 peticiones

**Duración de la prueba: 60 segundos
para los tres casos**

Pruebas de Rendimiento y Concurrencia



Resultados en el panel web

Peticiones por segundo: 5 peticiones

Duración de la prueba: 60 segundos
para los tres casos

Evaluación de Usabilidad (SUS)

Muestra no probabilística intencional (n=50)

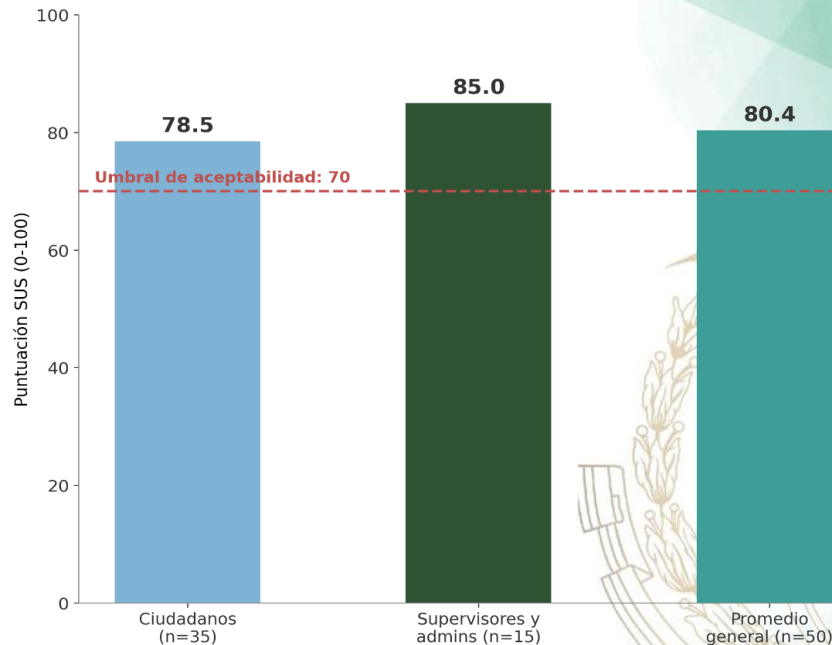


Composición de la muestra

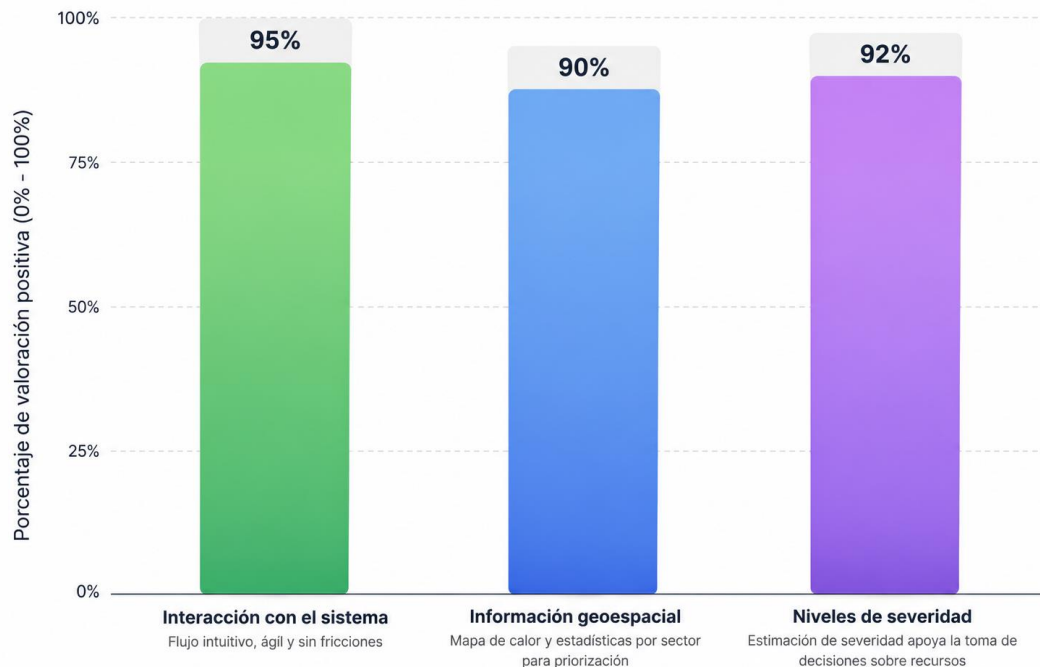
Perfiles específicos (ciudadanos y supervisores/administradores)



Resultados de la evaluación SUS



Evaluación Cualitativa de UX



Entrevista semiestructurada con un responsable operativo de EMASEO EP que interactuó con la app móvil y el panel web.



Conclusiones

- 1** La revisión sistemática confirmó que las soluciones existentes no integran estos enfoques de forma simultánea.
- 2** La lógica de negocio se formuló sobre una arquitectura de microservicios con un pipeline de Machine Learning que clasifica cada acumulación en cuatro niveles.
- 3** La aplicación móvil desarrollada permite registrar incidencias mediante fotografías georreferenciadas, superando así la totalidad de los requisitos del módulo de ciudadanía.
- 4** El panel web fue diseñado para la visualización, filtrado de incidencias y administración de usuarios, cumpliendo con los requisitos para la gestión operativa.
- 5** Las pruebas verificaron la estabilidad y el rendimiento del sistema: mAP@50 de 0.8931 y puntuación SUS de 80.4.



Recomendaciones

- 1 Escalabilidad del sistema**
Implementar la infraestructura de EMASEO EP al sistema para resolver los problemas de concurrencia y disponibilidad.

- 2 Validación humana periódica**
Revisión manual de los casos en la zona de incertidumbre antes de una decisión operativa automática.

- 3 Ampliar la evaluación de usabilidad**
Extender la prueba SUS a una muestra institucional más amplia y diversa dentro de EMASEO EP.



Trabajos Futuros

1 Optimización de rutas de recolección

Desarrollar un módulo que genere rutas dinámicas para los operarios de barrido.

2 Análisis Predictivo

Usar modelos que hagan uso del historial para retroalimentarse y mejorar su capacidad de clasificación de residuos sólidos.

3 IoT

Usar dispositivos IoT para complementar el ecosistema de reporte y que sensores brinden información valiosa.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

¡Muchas gracias!

Mena Pérez, James Steve · Ortiz Tomalo, Bryan Andrés

Tutor: Ing. Loza Herrera, Washington Eduardo Mgtr.

Sangolquí, 6 de agosto de 2026

