



Sistema de monitoreo de *Rhynchophorus ferrugineus* en palmeras de Montevideo

Autor:

Ing. Bruno Masoller

Director:

Ing. Juan Ignacio Cavalieri (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 15 de octubre de 2024 y el 03 de diciembre de 2024.*

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
2. Identificación y análisis de los interesados	7
3. Propósito del proyecto	7
4. Alcance del proyecto	8
5. Supuestos del proyecto.	8
6. Requerimientos	9
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	11
8. Entregables principales del proyecto	13
9. Desglose del trabajo en tareas	13
10. Diagrama de Activity On Node.	14
11. Diagrama de Gantt	16
12. Presupuesto detallado del proyecto	18
13. Gestión de riesgos	18
14. Gestión de la calidad	23
15. Procesos de cierre	26

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	15 de octubre de 2024
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	29 de octubre de 2024
2	Se corrige secciones 1, 2, 3, 4 y 5. Se completa hasta el punto 9 inclusive.	05 de noviembre de 2024
3	Se corrige secciones 1, 2, 6 y 9. Se completa hasta el punto 12 inclusive.	12 de noviembre de 2024
4	Se corrige secciones 1, 9 y 12. Se completa el plan.	19 de noviembre de 2024

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 15 de octubre de 2024

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Bruno Masoller que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Inteligencia Artificial se titulará “Sistema de monitoreo de *Rhynchophorus ferrugineus* en palmeras de Montevideo” y consistirá en la presentación de una prueba de concepto de un sistema de monitoreo de la plaga *Rhynchophorus ferrugineus* en palmeras de Montevideo. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de USD 30156, con fecha de inicio el 15 de octubre de 2024 y fecha de presentación pública en junio de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Ing. Agr. Alfonso Arcos
Intendencia de Montevideo

Ing. Juan Ignacio Cavalieri
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

En Montevideo, hay alrededor de 25.000 palmeras, que forman una parte esencial del paisaje urbano y contribuyen al equilibrio del ecosistema local. Desde 2010, la plaga del *Rhynchophorus ferrugineus*, conocido comúnmente como “picudo rojo” (ver figura 1), ha estado propagándose por América, llegando a Uruguay en 2022. Esta plaga supone una amenaza grave para las palmeras, ya que las larvas de este escarabajo se alimentan de su tejido interno, causando el colapso estructural de los árboles en un período de entre 8 y 10 meses.

La infestación del picudo rojo no solo tiene consecuencias ecológicas, sino también económicas. La caída de palmeras infectadas puede provocar daños a personas y propiedades, especialmente durante los fuertes vientos que afectan a Montevideo. Además, la eliminación de estos árboles infestados implica un costo aproximado de 1.000 dólares estadounidenses por unidad.



Figura 1. *Rhynchophorus ferrugineus*.

Actualmente, el método principal método de detección que utiliza la Intendencia de Montevideo (IM), consiste en la inspección visual presencial en lugares donde se sospecha la presencia de la plaga o se ha reportado por parte de particulares. La IM también tiene otros métodos de detección, como lo son trampas colocadas en puntos claves de la ciudad que permiten observar el desplazamiento de la plaga.

El servicio de Áreas Verdes es el principal encargado del tratamiento de la plaga del picudo rojo y gestiona sectores clave, como el de arbolado, que representa una de las primeras líneas de defensa. Este servicio proporciona diversos datos y colabora estrechamente con otras áreas importantes para la gestión de la plaga, como los servicios de Geomática e Informática. Entre los datos disponibles, se incluye la ubicación de todas las palmeras en el sistema de información geográfica de la IM. Además, el servicio de Geomática cuenta con drones que permiten obtener imágenes de ortomosaicos bajo demanda (ver figura 2), las cuales pueden ser solicitadas por el servicio de Áreas Verdes. Estos ortomosaicos alcanzan una resolución espacial de 3 cm por píxel en el rango espectral RGB. Adicionalmente, se realizan vuelos que cubren toda la ciudad de Montevideo, lo cual permite la generación de ortomosaicos de alta resolución en dicho rango espectral.



Figura 2. Fotografías ortorectificadas de un vuelo de avión y dron, respectivamente.

Se ha demostrado la viabilidad de detectar la plaga utilizando imágenes capturadas con Google Street View (a nivel de suelo) [1]. Además, existen datos que avalan la identificación de palmeras en imágenes obtenidas mediante drones, con resoluciones similares a las del servicio de Geomática de la IM. Sin embargo, la detección directa de la plaga en imágenes aéreas en el rango visible sigue siendo un desafío, aunque algunos estudios han explorado el uso del índice de vegetación e imágenes en la banda infrarroja para este fin [2].

Este proyecto propone un enfoque integral que conecta la información geoespacial gestionada por el servicio de Informática con los recursos de imágenes aéreas del servicio de Geomática. El objetivo es desarrollar una plataforma informática que mejore la eficiencia en el tratamiento de la plaga, especialmente en el proceso de inspección manual, mediante el uso de modelos de vanguardia en visión por computadora y aprendizaje profundo.

Como proyecto en general, se propone una plataforma como el de la siguiente figura 3.

Ecosistema interno

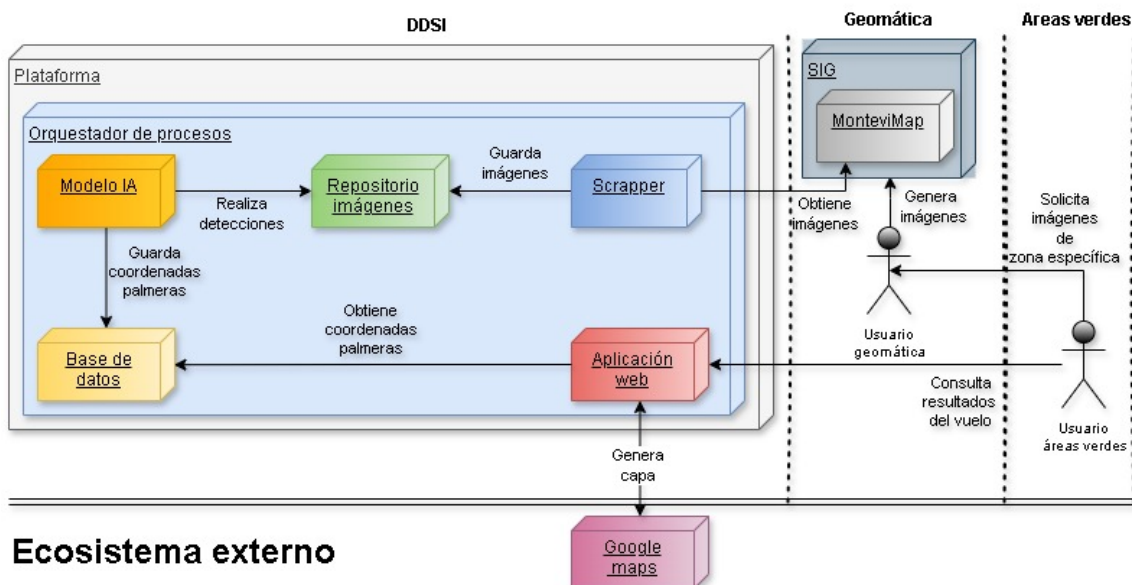


Figura 3. Diagrama de la solución.

La implementación de esta plataforma ofrece beneficios tanto económicos como ambientales para la IM. La detección temprana y tardía de la plaga puede reducir los costos de inspección presencial y optimizar el uso de drones, aprovechando su capacidad para cubrir grandes áreas. En particular, esta plataforma permitirá a la IM optimizar sus recursos en el manejo del picudo rojo, lo que reducirá los costos asociados a la remoción de palmeras, enfocará las inspecciones presenciales solo en casos excepcionales y permitirá la realización de vuelos programados de drones para maximizar su autonomía. Asimismo, validará un prototipo que puede extenderse a otros proyectos, que pueden contribuir a la preservación del entorno ecológico de la ciudad y a la seguridad de sus habitantes. Finalmente, se brinda la posibilidad de incorporar un módulo para la detección automática de palmeras en los vuelos aéreos.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Ing. Agr. Alfonso Arcos	Intendencia de Montevideo	Director sector arbolado
Impulsor	Msc. Ing. Juan Prada	Intendencia de Montevideo	Gerente ciudades inteligentes
Responsable	Ing. Bruno Masoller	Intendencia de Montevideo	Alumno
Orientador	Ing. Juan Ignacio Cavalieri	FIUBA	Director del trabajo final
Usuario final	Usuarios de áreas verdes	Intendencia de Montevideo	Administrativo

Descripción de los interesados:

- Cliente: es experto en la problemática del picudo rojo y posee habilidades en gestión e implementación de soluciones diversas. Es uno de los principales promotores del proyecto y tiene un alto interés en su éxito.
- Impulsor: el Gerente de Ciudades Inteligentes cuenta con conocimientos sólidos tanto en inteligencia artificial como en gestión de proyectos. Es un impulsor clave de estas iniciativas, que se alinean con la visión estratégica de la organización.
- Orientador: el Ing. Juan Ignacio Cavalieri tiene un conocimiento profundo en visión por computadora, particularmente en el contexto de esta problemática. Además, es profesor de FIUBA en la asignatura de Visión por Computadora II, lo que le permite brindar apoyo técnico y conceptual al proyecto.
- Usuario final: los usuarios finales son técnicos de áreas verdes capacitados para identificar visualmente la plaga en las palmeras. Realizan el análisis de datos, gestionan la georreferenciación de las palmeras y, cuando es necesario, llevan a cabo inspecciones de campo.

3. Propósito del proyecto

Proveer una prueba de concepto (POC) del componente de inteligencia artificial de una plataforma informática, alineada con la visión de la IM (*Montevideo más verde*), que permita

mejorar la eficiencia en la detección del *Rhynchophorus ferrugineus*, utilizando técnicas avanzadas de visión por computadora y aprendizaje profundo.

4. Alcance del proyecto

El alcance de la etapa inicial del proyecto incluye:

- Investigar la viabilidad de la detección del *Rhynchophorus ferrugineus* mediante técnicas de visión por computadora en dominios multispectrales.
- Desarrollar un modelo de visión por computadora que permita detectar el *Rhynchophorus ferrugineus* en palmeras de Montevideo.
- Gestionar el proceso de etiquetado de datos.
- Escribir una memoria con los resultados del proyecto.

En esta etapa, el proyecto no incluye:

- La detección de la plaga y palmeras mediante imágenes de vuelos por aviones.
- Identificación del grado de infección de las palmeras, sino su clasificación binaria en infectadas y no infectadas.
- Otros componentes de la arquitectura presentada que no sea el modelo de visión por computadora.
- Las posibles extensiones de la plataforma.
- La gestión del ciclo de vida del modelo de detección.
- La evolución del sistema.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se cuenta con disponibilidad horaria de al menos 20 horas semanales para realizar el proyecto.
- Se cuenta con imágenes de drones con resoluciones espaciales de al menos 3 cm/pixel.
- Se cuenta con voluntad del cliente para realizar el etiquetado de las imágenes.
- Se cuenta con la infraestructura necesaria para el despliegue de los componentes de software.
- Se cuenta con el apoyo de la IM para la ejecución del proyecto.
- Se cuenta con que se pueda detectar la plaga mediante imágenes RGB o infrarrojas (o combinación de ambas) obtenidas desde drones.
- Se cuenta con imágenes georeferenciadas.
- Se cuenta con mosaicos ortorectificados.

6. Requerimientos

Para una mejor organización los requisitos se expresan utilizando una metodología de rotulado contextual, donde cada uno se identifica según su nivel de afinidad y jerárquico.

La notación se realiza en lenguaje natural, siguiendo un formato estandarizado, donde se especifica el actor y luego la funcionalidad.

La organización jerárquica se toma del template de referencia de especificación de requisitos de software de la IEEE [3].

Finalmente, se priorizan utilizando el método *MoSCoW* [4].

1. Requisitos de interfaces internas:

1.1. Modelo de visión por computadora

[RII-ModeloVPC-1] (S) El modelo de visión por computadora debe proporcionar un servicio web que reciba una imagen y devuelva una estructura de datos con las detecciones y sus coordenadas.

1.2. Visualizador de detecciones

[RII-VisDetecciones-1] (S) El visualizador de detecciones debe aceptar una imagen y la estructura de datos de las detecciones, mostrando la imagen compuesta con las detecciones realizadas.

2. Requisitos de interfaces externas:

2.1. Gestor de datos

[RIF-GestorDatos-1] (S) El gestor de datos debe ser accesible desde internet por los usuarios de áreas verdes.

2.2. Visualizador de detecciones

[RIF-VisDetecciones-1] (S) El visualizador de detecciones debe ser accesible desde internet por los usuarios de áreas verdes.

3. Requisitos funcionales:

3.1. Modelo de visión por computadora

[RF-ModeloVPC-1] (M) El modelo de visión debe ser capaz de generar predicciones a partir de una imagen proporcionada.

[RF-ModeloVPC-2] (M) El modelo de visión debe identificar palmeras en imágenes aéreas de forma precisa.

[RF-ModeloVPC-3] (M) El modelo de visión debe clasificar automáticamente las palmeras en dos categorías: infectadas y no infectadas.

3.2. Visualizador de detecciones

[RF-VisDetecciones-1] (C) El visualizador de detecciones debe permitir la visualización de una imagen junto con sus detecciones.

3.3. Gestor de datos

[RF-GestorDatos-1] (S) El gestor de datos debe incluir una herramienta para el etiquetado de datos que permita al cliente etiquetar imágenes de drones.

[RF-GestorDatos-2] (C) El gestor de datos debe almacenar los datos etiquetados en el repositorio de la Intendencia Municipal (IMNube).

4. Requisitos del proceso:

4.1. Modelo de visión por computadora

[RP-ModeloVPC-1] (S) Se debe investigar el estado del arte en modelos de visión por computadora para la detección de la plaga.

[RP-ModeloVPC-2] (C) Se debe realizar una investigación sobre enfoques de detección de plagas mediante imágenes multiespectrales.

4.2. Gestor de datos

[RP-GestorDatos-1] (C) Se deben investigar herramientas adecuadas para el etiquetado de datos.

5. Requisitos de datos:

5.1. Gestor de datos

[RDATOS-GestorDatos-1] (C) El sistema debe permitir al cliente etiquetar al menos 100 imágenes, asegurando un equilibrio entre las clases de palmeras infectadas y no infectadas.

6. Requisitos de documentación:

6.1. Informe final

[RDOC-InformeFinal-1] (M) Se debe elaborar un informe final que incluya una presentación completa del proyecto y sus resultados.

[RDOC-InformeFinal-2] (C) Se debe elaborar un informe de avance a mitad del tiempo asignado para el proyecto, detallando los progresos realizados.

7. Requisitos de rendimiento:

7.1. Modelo de visión por computadora

[RR-ModeloVPC-1] (C) El modelo de visión por computadora debe mantener una precisión mínima del 90 % en la identificación de palmeras y un 80 % en la clasificación de infestación.

[RR-ModeloVPC-2] (C) El modelo de visión por computadora debe ser capaz de procesar imágenes capturadas en condiciones de iluminación variables.

8. Requisitos de interfaces gráficas:

8.1. Visualizador de detecciones

[RIG-VisDetecciones-1] (C) El visualizador de detecciones debe brindar un criterio de satisfacción de usabilidad mayor al 80 % para los usuarios.

9. Requisitos de seguridad (*security*):

9.1. Gestor de datos

[RS-GestorDatos-1] (S) El gestor de datos debe estar bajo un mecanismo de autorización de usuarios.

9.2. Visualizador de detecciones

[RS-VisDetecciones-1] (S) El visualizador de datos debe estar bajo un mecanismo de autorización de usuarios.

10. Requisitos de diseño:

10.1. Lenguaje

[RD-ModeloVPC-1] (C) El sistema debe ser implementado utilizando *Python 3* para el procesamiento backend.

[RD-ModeloVPC-2] (C) El sistema debe ser implementado utilizando *Angular* para el procesamiento frontend.

[RD-ModeloVPC-3] (C) El protocolo de comunicación de los servicios debe ser *REST*.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Las historias de usuario contienen sus criterios de aceptación, y se ponderan según la complejidad, dificultad e incertidumbre. El resultado final de puntos de historia, es el número de *Fibonacci* superior más cercano.

Los actores involucrados son:

Actor	Descripción
Usuario técnico de la IM	El usuario técnico de la IM es el responsable de realizar la implementación técnica del proyecto, lo que incluye todo lo relacionado con el ciclo de vida del software.
Usuario del servicio de áreas verdes	El usuario del servicio de áreas verdes es el encargado de interactuar con el software en modalidad de "usuario final".
Usuario responsable del proyecto	El usuario responsable del proyecto es el encargado en todas las disciplinas transversales del proyecto, como lo es la gestión, entre otros.

1. Como usuario técnico de la IM quiero identificar palmeras en imágenes de drones ortorectificadas para detectar posibles casos de estudio de infestación.

- *Story points*: 34 (complejidad: 8, dificultad: 8, incertidumbre: 13)
- Criterios de aceptación:
 - El sistema debe procesar imágenes y marcar las palmeras detectadas con sus respectivas coordenadas.
 - La detección debe mantener una precisión mínima del 90 %

2. Como usuario técnico de la IM quiero clasificar las palmeras en imágenes de drones ortorectificadas en infectadas y no infectadas para detectar posibles casos de infestación.

- *Story points*: 55 (complejidad: 13, dificultad: 13, incertidumbre: 13)
- Criterios de aceptación:
 - El sistema debe procesar imágenes con palmeras detectadas y marcar clasificarlas en infectadas o no infectadas.
 - El sistema debe mantener una precisión mínima del 80 % en el modelo de visión por computadora.

3. Como usuario técnico de la IM quiero acceder e investigar información sobre el estado del arte en detección de plagas en dominios multispectrales para asegurarme que el modelo de visión utilice los enfoques más efectivos.
 - *Story points*: 55 (complejidad: 21, dificultad: 13, incertidumbre: 8)
 - Criterios de aceptación:
 - Se debe documentar una revisión de modelos de visión por computadora avanzados para la detección de plagas en el informe final.
 - La revisión debe incluir métodos actuales para detección en imágenes multispectrales.
 - La revisión debe incluir casos de estudios de al menos dos modelos.
4. Como usuario del servicio de áreas verdes quiero, dada una imagen, visualizar las palmeras que están infectadas o no para aplicar posibles tratamientos de la plaga.
 - *Story points*: 21 (complejidad: 8, dificultad: 5, incertidumbre: 8)
 - Criterios de aceptación:
 - El sistema debe mostrar, dada una imagen proporcionada, cuales palmeras están infectadas y cuales no.
 - El sistema debe brindar una satisfacción de usabilidad mayor al 80 % en el visualizador de detecciones.
5. Como usuario del servicio de áreas verdes quiero etiquetar las imágenes de los drones para brindarle al modelo de visión por computadora una mejor capacidad de predicción.
 - *Story points*: 21 (complejidad: 8, dificultad: 5, incertidumbre: 8)
 - Criterios de aceptación:
 - El sistema debe proporcionar una herramienta que permita la selección y etiquetado de palmeras en imágenes de drones.
 - El sistema debe permitir el almacenamiento tanto de las imágenes sin etiquetar como las etiquetadas en la IMNube.
 - El sistema debe permitir que los usuarios accedan desde la internet al gestor de datos.
6. Como usuario responsable del proyecto quiero que el sistema cuente con imágenes etiquetadas para asegurarme la robustez del modelo.
 - *Story points*: 89 (complejidad: 34, dificultad: 5, incertidumbre: 21)
 - Criterios de aceptación:
 - Se debe etiquetar al menos 100 imágenes.
 - El etiquetado debe contener tanto la detección de la palmera como la clasificación en infectada y no infectada.
7. Como usuario responsable del proyecto quiero el modelo de visión por computadora brinde una interfaz que permita consumir una imagen y exponer un servicio con las detecciones de dicha imagen para asegurarme de que el sistema sea escalable en otras iteraciones.
 - *Story points*: 21 (complejidad: 5, dificultad: 8, incertidumbre: 5)
 - Criterios de aceptación:
 - El protocolo de comunicación debe ser *REST*.

8. Como usuario responsable del proyecto quiero acceder a un informe final con los resultados del proyecto para presentarlo ante los responsables de la IM y FIUBA.

- *Story points*: 55 (complejidad: 34, dificultad: 5, incertidumbre: 5)
- Criterios de aceptación:
 - El informe final debe incluir la presentación completa del proyecto, resultados obtenidos y conclusiones.
 - Debe estar estructurado y listo para presentación en el formato provisto por la FIUBA.
 - Se debe presentar un informe de avance a la mitad del proceso.

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables para esta etapa del proyecto son:

- Aplicación para el etiquetado de datos.
- Aplicación para visualizar las detecciones.
- Modelo de visión por computadora.
- Código fuente referente a las aplicaciones.
- Informe final.

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Análisis e investigación (100 h)
 - 1.1. Análisis de tecnologías para el gestor de datos (20 h).
 - 1.2. Análisis de tecnologías para el visualizador de detecciones (20 h).
 - 1.3. Investigación del estado del arte en modelos de visión por computadora (30 h).
 - 1.4. Investigación específica para detección en imágenes multiespectrales (30 h).
2. Diseño del sistema (50 h)
 - 2.1. Diseño de arquitectura en general (10 h)
 - 2.2. Diseño de pruebas (5 h)
 - 2.3. Diseño del gestor de datos (5 h)
 - 2.4. Diseño del visualizador de detecciones (10 h)
 - 2.5. Diseño del modelo de visión por computadora (20 h)
3. Construcción del sistema (180 h)
 - 3.1. Construcción del sistema en general (20 h)
 - 3.2. Construcción del gestor de datos (40 h)
 - 3.3. Construcción del visualizador de detecciones (20 h)

- 3.4. Construcción del modelo de visión por computadora (100 h)
 - 3.4.1. Construcción del modelo (40 h)
 - 3.4.2. Entrenamiento del modelo (40 h)
 - 3.4.3. Adaptación del modelo (20 h)
- 4. Validación y verificación del sistema (50 h)
 - 4.1. Validación y verificación del gestor de datos (5 h)
 - 4.2. Validación y verificación del visualizador de detecciones (5 h)
 - 4.3. Validación y verificación del modelo de visión por computadora (30 h)
 - 4.4. Validación y verificación de la integración de aplicaciones (10 h)
- 5. Implantación del sistema (50 h)
 - 5.1. Configuración inicial (10 h)
 - 5.2. Implantación del gestor de datos (10 h)
 - 5.3. Implantación del visualizador de detecciones (10 h)
 - 5.4. Implantación del modelo de visión por computadora (20 h)
- 6. Gestión del proyecto (50 h)
 - 6.1. Planificación (10 h)
 - 6.2. Refinar planes (10 h)
 - 6.3. Versionado de herramientas, código y datos (10 h)
 - 6.4. Reuniones (10 h)
 - 6.5. Gestión del etiquetado de datos (10 h)
- 7. Gestión de la documentación (120 h)
 - 7.1. Escritura del informe de avance (20 h)
 - 7.2. Escritura memoria en taller de trabajo final A (40 h)
 - 7.3. Escritura memoria en taller de trabajo final B (40 h)
 - 7.4. Preparación de presentación del proyecto (20 h)

Cantidad total de horas: 600 h

10. Diagrama de Activity On Node

En la figura 4 se muestra el diagrama de precedencia de actividades. En color rojo, se muestra el camino crítico, que está definido por las siguientes tareas secuenciales:

- 1.3. Investigación del estado del arte en modelos de visión por computadora (30 h).
- 1.4. Investigación específica para detección en imágenes multiespectrales (30 h).
- 2.1. Diseño de arquitectura en general (10 h).
- 2.5. Diseño del modelo de visión por computadora (20 h).
- 3.1. Construcción del sistema en general (20 h).
- 3.4.1. Construcción del modelo (40 h).
- 3.4.1. Entrenamiento del modelo (40 h).

- 3.4.1. Adaptación del modelo (20 h).
- 4.3. Validación y verificación del modelo de visión por computadora (30 h).
- 4.4. Validación y verificación de la integración de aplicaciones (10 h).
- 5.1. Configuración inicial (10 h).
- 5.4. Implantación del modelo de visión por computadora (20 h).
- 7.1. Escritura del informe de avance (20 h).
- 7.2. Escritura memoria en taller de trabajo final A (40 h).
- 7.3. Escritura memoria en taller de trabajo final B (40 h).
- 7.4. Preparación de presentación del proyecto (20 h).

El camino crítico indica que el proyecto puede hacerse en un mínimo de 400 horas.

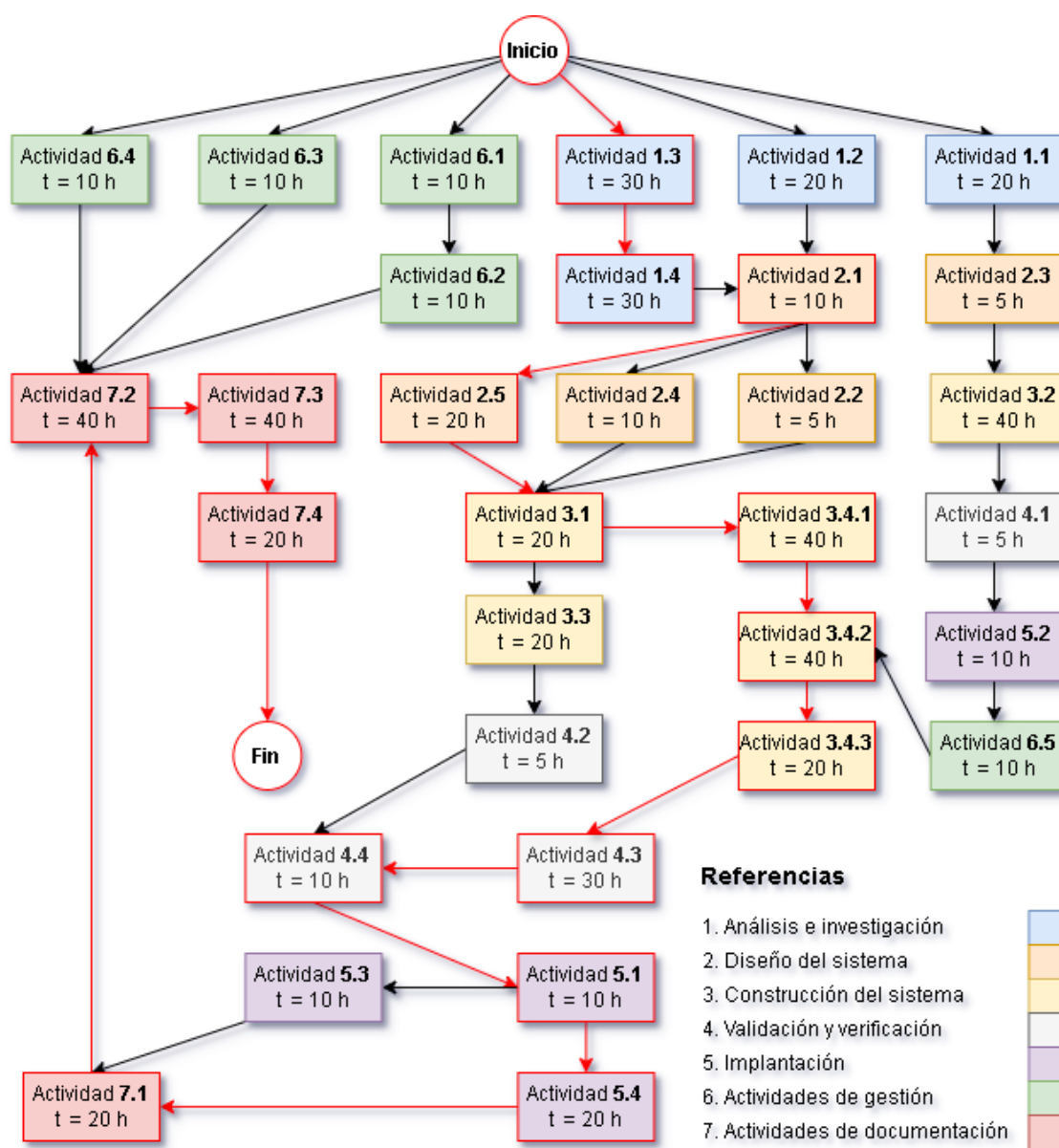


Figura 4. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

En la figura 5 se puede observar la lista de actividades, y en la figura 6 el diagrama Gantt asociado a dicha lista.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo
0	Sistema de monitoreo de Rhynchophorus ferrugineus en palmeras de Monetvide	600 horas	lun 3/3/25
1	1 Análisis e investigación	110 horas	lun 3/3/25
2	1.1 Análisis de tecnologías para el gestor de datos.	20 horas	mar 18/3/25
3	1.2 Análisis de tecnologías para el visualizador de detecciones.	20 horas	jue 6/3/25
4	1.3 Investigación del estado del arte en modelos de visión por computadora.	30 horas	lun 3/3/25
5	1.4 Investigación específica para detección en imágenes multiespectrales.	30 horas	mar 11/3/25
6	2 Diseño del sistema	70 horas	lun 17/3/25
7	2.1 Diseño de arquitectura en general.	10 horas	lun 17/3/25
8	2.2 Diseño de pruebas.	5 horas	jue 27/3/25
9	2.3 Diseño del gestor de datos.	5 horas	jue 20/3/25
10	2.4 Diseño del visualizador de detecciones.	10 horas	mar 25/3/25
11	2.5 Diseño del modelo de visión por computadora.	20 horas	vie 21/3/25
12	3 Construcción del sistema	205 horas	jue 27/3/25
13	3.1 Construcción del sistema en general.	20 horas	jue 27/3/25
14	3.2 Construcción del gestor de datos.	40 horas	mar 1/4/25
15	3.3 Construcción del visualizador de detecciones.	20 horas	mar 29/4/25
16	3.4 Construcción del modelo de visión por computadora.	100 horas	vie 11/4/25
17	3.4.1 Construcción del modelo.	40 horas	vie 11/4/25
18	3.4.2 Entrenamiento del modelo.	40 horas	vie 18/4/25
19	3.4.3 Adaptación del modelo.	20 horas	vie 25/4/25
20	4 Validación y verificación del sistema	190 horas	mar 8/4/25
21	4.1 Validación y verificación del gestor de datos.	5 horas	mar 8/4/25
22	4.2 Validación y verificación del visualizador de detecciones.	5 horas	vie 2/5/25
23	4.3 Validación y verificación del modelo de visión por computadora.	30 horas	lun 5/5/25
24	4.4 Validación y verificación de la integración de aplicaciones.	10 horas	jue 8/5/25
25	5 Implantación del sistema	225 horas	mar 8/4/25
26	5.1 Configuración inicial.	10 horas	lun 12/5/25
27	5.2 Implantación del gestor de datos.	10 horas	mar 8/4/25
28	5.3 Implantación del visualizador de detecciones.	10 horas	jue 15/5/25
29	5.4 Implantación del modelo de visión por computadora.	20 horas	mar 13/5/25
30	6 Gestión del proyecto	275 horas	jue 10/4/25
31	6.1 Planificación.	10 horas	mié 21/5/25
32	6.2 Refinar planes.	10 horas	mar 27/5/25
33	6.3 Versionado de herramientas, código y datos.	10 horas	jue 22/5/25
34	6.4 Reuniones.	10 horas	lun 26/5/25
35	6.5 Gestión del etiquetado de datos.	10 horas	jue 10/4/25
36	7 Gestión de la documentación	160 horas	lun 19/5/25
37	7.1 Escritura del informe de avance	20 horas	lun 19/5/25
38	7.2 Escritura de la memoria en taller de trabajo final A	40 horas	mié 28/5/25
39	7.3 Escritura de la memoria en taller de trabajo final B	40 horas	mié 4/6/25
40	7.4 Preparación de presentación del proyecto	20 horas	mié 11/6/25
41	8 HITO: Defensa del proyecto	0 horas	vie 13/6/25

Figura 5. Lista de tareas para el Diagrama Gantt.

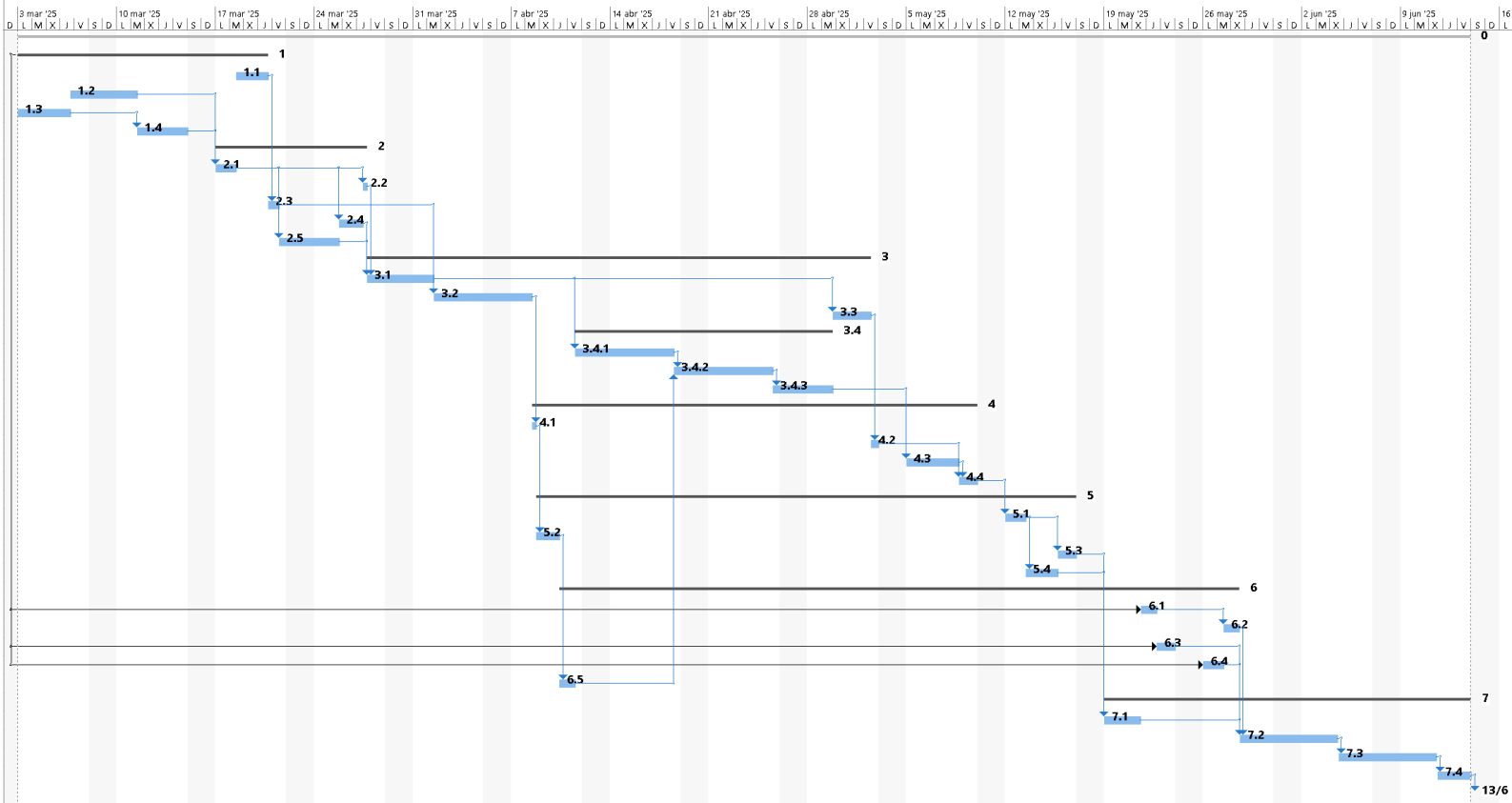


Figura 6. Diagrama de Gantt.

12. Presupuesto detallado del proyecto

Los principales costos asociados de este proyecto se encuentran en las horas de ingeniería dedicadas. Como costos secundarios, las horas de personal cualificado para la realización del etiquetado de los datos. Como punto final, los datos ya se encuentran disponibles, sin embargo, es posible solicitarlos a demanda, por lo que estos costos también son incluidos.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas de ingeniería	600 h	USD 30 / h	USD 18000
Horas de cómputo	100 h	USD 0.1	USD 10
Infraestructura y almacenamiento	300 h	USD 0.1	USD 30
Horas de etiquetado	40 h	USD 25	USD 1000
Vuelos de drones	5 U	USD 500	USD 2500
SUBTOTAL			USD 21540
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Imprevistos (40 % costos directos)	1 U	USD 8616	USD 8616
SUBTOTAL			USD 8616
TOTAL			USD 30156

13. Gestión de riesgos

En esta sección se identifican riesgos puntuales del proyecto, sus posibles mitigaciones y una matriz que permite observar los *RPN* resultantes.

a) Identificación de los riesgos y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: retrasos en el etiquetado de imágenes por parte del cliente.

- Severidad (*S*): 8. El etiquetado de las imágenes es esencial para entrenar los modelos de aprendizaje profundo. Un retraso significativo podría comprometer los plazos del proyecto y la calidad de los resultados.
- Probabilidad de ocurrencia (*O*): 6. Aunque el cliente muestra voluntad, la tarea de etiquetado puede ser más demandante de lo inicialmente previsto, afectando su disponibilidad.

Riesgo 2: limitaciones en la calidad de las imágenes capturadas por los drones.

- Severidad (*S*): 9. La calidad de las imágenes (resolución espacial, georreferenciación, ausencia de ruido) es crítica para la detección precisa de la plaga. Imágenes de baja calidad dificultarían el entrenamiento y la inferencia del modelo.
- Probabilidad de ocurrencia (*O*): 5. Aunque se cuenta con imágenes de alta resolución, factores como las condiciones climáticas o fallos técnicos en los drones podrían afectar su calidad.

Riesgo 3: limitaciones en la infraestructura para el procesamiento de datos.

- Severidad (S): 7. El procesamiento de imágenes y el entrenamiento de modelos requieren infraestructura computacional robusta. Limitaciones en esta área podrían generar cuellos de botella.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4. Se supone que la infraestructura necesaria está disponible, pero problemas de configuración o recursos insuficientes podrían surgir durante el proyecto.

Riesgo 4: dificultades para detectar la plaga mediante las imágenes disponibles.

- Severidad (S): 10. Si las imágenes (RGB, infrarrojas o combinadas) no permiten identificar de manera confiable la plaga, el objetivo principal del proyecto estaría en riesgo.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 5. Estudios previos sugieren que estas técnicas son viables, pero no se puede descartar que ciertas características de la plaga sean difíciles de detectar en las condiciones del entorno, principalmente aquellas características que permitan una detección temprana.

Riesgo 5: pérdida de apoyo por parte de la IM.

- Severidad (S): 8. La IM es un actor clave para el éxito del proyecto, tanto en términos de apoyo logístico como en la visión estratégica. Su pérdida implicaría una reestructuración importante.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 2. Hasta ahora, la IM ha mostrado disposición, pero eventos políticos o administrativos podrían modificar su nivel de apoyo.

Riesgo 6: errores en la georreferenciación de las imágenes.

- Severidad (S): 8. La georreferenciación precisa es esencial para analizar la distribución espacial de la plaga y para generar mapas de acción. Errores en esta etapa pueden comprometer la utilidad del sistema final.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 3. Aunque las imágenes se supone que están georreferenciadas, problemas técnicos durante la captura o el procesamiento pueden introducir errores. Sin embargo, la IM cuenta con infraestructura y *software* especial para trabajar con información geográfica.

Riesgo 7: falta de representatividad en el conjunto de datos.

- Severidad (S): 9. Si el conjunto de datos no incluye suficientes ejemplos de las condiciones reales del entorno (iluminación, vegetación, diferentes estados de infestación), el modelo podría tener un bajo desempeño en escenarios reales.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 6. La recopilación de datos representativos puede ser difícil debido a la variabilidad de las condiciones ambientales y la distribución de la plaga.

Riesgo 8: escalabilidad limitada del sistema.

- Severidad (S): 7. Si el sistema no puede manejar un volumen creciente de imágenes o áreas a analizar, su utilidad para el cliente será limitada.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4. Esto dependerá de la eficiencia de la implementación del sistema, así como de la infraestructura disponible en ese momento.

Riesgo 9: problemas legales o de privacidad relacionados con el uso de drones.

- Severidad (S): 8. Restricciones legales o preocupaciones de privacidad sobre el uso de drones pueden limitar las áreas en las que se permite la captura de imágenes.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 2. Aunque se supone que se cuenta con apoyo de la IM, los permisos específicos para ciertos vuelos podrían enfrentar retrasos o restricciones imprevistas.

Riesgo 10: sobreajuste del modelo a los datos de entrenamiento.

- Severidad (S): 6. Si el modelo se adapta demasiado a los datos de entrenamiento, su capacidad para generalizar a nuevas imágenes será limitada, afectando su utilidad en el campo.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 6. Es un riesgo inherente en proyectos de aprendizaje profundo, pero puede mitigarse con técnicas adecuadas de regularización y validación.

Riesgo 11: cambios en las prioridades del cliente.

- Severidad (S): 6. Si el cliente modifica las prioridades del proyecto, los objetivos iniciales podrían ser redefinidos, generando retrabajos o desviaciones en el cronograma.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 2. Aunque se cuenta con apoyo inicial del cliente, factores externos o cambios internos en su organización podrían alterar sus prioridades.

Riesgo 12: Insuficiencia de imágenes etiquetadas.

- Severidad (S): 8. Un número insuficiente de imágenes etiquetadas reduce la capacidad del modelo para generalizar, afectando su precisión y desempeño.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 6. El etiquetado es una tarea laboriosa y puede no completarse en el tiempo previsto.

b) Tabla de gestión de riesgos (el RPN se calcula como $RPN = S * O$):

Riesgo	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>RPN</i>	<i>S*</i>	<i>O*</i>	<i>RPN*</i>
1. Retrasos en el etiquetado de imágenes por parte del cliente	8	6	48	8	3	24
2. Limitaciones en la calidad de las imágenes capturadas por los drones	9	5	45	6	2	12
3. Limitaciones en la infraestructura para el procesamiento de datos	7	4	28	-	-	-
4. Dificultades para detectar la plaga mediante las imágenes disponibles	10	5	50	10	3	30
5. Pérdida de apoyo por parte de la IM	8	2	16	-	-	-
6. Errores en la georreferenciación de las imágenes	8	3	24	-	-	-
7. Falta de representatividad en el conjunto de datos	9	6	54	8	3	24
8. Escalabilidad limitada del sistema	7	4	28	-	-	-
9. Problemas legales o de privacidad relacionados con el uso de drones	8	2	16	-	-	-
10. Sobreajuste del modelo a los datos de entrenamiento	6	6	36	5	2	10
11. Cambios en las prioridades del cliente	6	2	12	-	-	-
12. Insuficiencia de imágenes etiquetadas	8	6	48	7	3	21

Cuadro 1. Matriz de riesgos del proyecto.

Como criterio adoptado para la mitigación de los riesgos, se tomarán medidas donde los números de *RPN* sean mayores a 30.

Nota: los valores marcados con (*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el *RPN* máximo establecido:

Riesgo 1: retrasos en el etiquetado de imágenes por parte del cliente.

- Plan de mitigación: implementar un sistema de etiquetado semiautomático utilizando algoritmos de visión por computadora para reducir la carga de trabajo manual, aprovechando la información geográfica disponible (es posible detectar palmeras mediante aprendizaje por transferencia y luego utilizando la ubicación clasificarlas como infectadas o no). Además, establecer hitos intermedios para monitorear el avance del etiquetado y ofrecer apoyo al cliente.
- Nueva asignación de *S* y *O* (*S**, *O**):
 - Severidad (*S**): 8. La severidad se mantiene, ya que el etiquetado sigue siendo esencial para el proyecto.
 - Probabilidad de ocurrencia (*O**): 3. Con el sistema semiautomático y la supervisión del progreso, la probabilidad de retrasos disminuye significativamente.

Riesgo 2: limitaciones en la calidad de las imágenes capturadas por los drones.

- Plan de mitigación: establecer protocolos para revisar la calidad de las imágenes inmediatamente después de la captura. En caso de problemas, se realizarán vuelos adicionales en las áreas afectadas. Además, preparar algoritmos que puedan manejar ciertas imperfecciones en las imágenes.

■ Nueva asignación de S^* y O^* :

- Severidad (S^*): 6. La severidad se reduce, ya que el impacto de imágenes de baja calidad puede ser mitigado parcialmente con algoritmos robustos, así como una buena comunicación con el Departamento de Geomática.
- Probabilidad de ocurrencia (O^*): 2. Con los protocolos de control de calidad y la posibilidad de vuelos adicionales, es menos probable que las imágenes finales sean inadecuadas.

Riesgo 4: dificultades para detectar la plaga mediante las imágenes disponibles.

■ Plan de mitigación: utilizar enfoques actuales del estado del arte, que incluyen modelos de última generación como *vision transformers*.

■ Nueva asignación de S^* y O^* :

- Severidad (S^*): 10. Se mantiene la severidad, ya que el objetivo del proyecto depende de una buena detección de la plaga.
- Probabilidad de ocurrencia (O^*): 3. Utilizando modelos y técnicas de última generación, aumenta la posibilidad de detectar la plaga.

Riesgo 7: falta de representatividad en el conjunto de datos.

■ Plan de mitigación: asegurar la diversidad del conjunto de datos recopilando imágenes de diferentes zonas, condiciones climáticas y estados de infestación. Además, utilizar técnicas de aumento de datos (*data augmentation*) para simular escenarios diversos.

■ Nueva asignación de S^* y O^* :

- Severidad (S^*): 8. Aunque el impacto sigue siendo alto, la representatividad se mejora significativamente con un conjunto de datos diverso y técnicas de aumento.
- Probabilidad de ocurrencia (O^*): 3. Con un enfoque proactivo en la recopilación de datos y el uso de *data augmentation*, se reduce la probabilidad de falta de representatividad.

Riesgo 10: sobreajuste del modelo a los datos de entrenamiento.

■ Plan de mitigación: aplicar regularización adecuada (*Dropout*, *L2*) y realizar una validación cruzada exhaustiva para garantizar la generalización del modelo. Incorporar nuevos datos en el entrenamiento si es posible.

■ Nueva asignación de S^* y O^* :

- Severidad (S^*): 5. Con una adecuada validación y regularización, el impacto del sobreajuste disminuye significativamente.
- Probabilidad de ocurrencia (O^*): 2. La probabilidad se reduce drásticamente con las técnicas mencionadas, asegurando un modelo más generalizable.

Riesgo 12: insuficiencia de imágenes etiquetadas.

- Plan de mitigación: ampliar el equipo encargado del etiquetado para incluir colaboradores adicionales en caso de necesidad. Además, priorizar el etiquetado de las áreas más críticas y utilizar técnicas de aprendizaje semisupervisado para trabajar con datos parcialmente etiquetados.
- Nueva asignación de S^* y O^* :
 - Severidad (S^*): 7. Aunque sigue siendo crítico, el impacto se reduce al priorizar áreas clave y utilizar técnicas semisupervisadas.
 - Probabilidad de ocurrencia (O^*): 3. Con un equipo ampliado y estrategias adicionales, la probabilidad de insuficiencia de datos etiquetados se reduce significativamente.

14. Gestión de la calidad

La gestión de la calidad de incluye actividades de conformidad y no conformidad con los diez requerimientos más importantes:

[RF-ModeloVPC-3] El modelo de visión debe clasificar automáticamente las palmeras en dos categorías: infectadas y no infectadas.

- Verificación:
 - Implementar un conjunto de pruebas unitarias con imágenes previamente etiquetadas para medir la precisión del modelo en la clasificación.
 - Realizar una prueba de estrés con al menos 100 imágenes con distintas condiciones de iluminación y perspectivas.
 - Revisar los resultados comparándolos con las etiquetas originales y asegurar que la tasa de clasificación correcta sea al menos 80 %.
- Validación:
 - Presentar un informe al cliente con las métricas de clasificación obtenidas, incluyendo precisión, *recall* y *F1-score*.
 - Organizar una demostración con el cliente donde pueda verificar los resultados usando imágenes propias.

[RII-ModeloVPC-1] El modelo de visión por computadora debe proporcionar un servicio web que reciba una imagen y devuelva una estructura de datos con las detecciones y sus coordenadas.

- Verificación:
 - Realizar pruebas unitarias con solicitudes HTTP simuladas para verificar que el servicio web responde correctamente.
 - Inspeccionar que la estructura de datos devuelta sea conforme al formato especificado (*JSON* con coordenadas precisas).
 - Revisar los logs del servidor para garantizar que no existen errores o tiempos de respuesta excesivos.
- Validación:
 - Proporcionar al cliente una herramienta que permita enviar imágenes y recibir resultados, verificando que los resultados son útiles y correctos según su criterio.
 - Realizar una sesión con el cliente para probar el servicio con casos reales.

[RF-VisDetecciones-1] El visualizador de detecciones debe permitir la visualización de una imagen junto con sus detecciones.

- Verificación:
 - Probar el sistema con diferentes conjuntos de imágenes para garantizar que las detecciones se muestran correctamente sobre las imágenes originales.
 - Evaluar que los *bounding boxes* son precisos y corresponden a las coordenadas devueltas por el modelo.
- Validación:
 - Realizar una sesión con el cliente para mostrar el funcionamiento del visualizador con imágenes reales y recibir retroalimentación sobre la presentación de los resultados.
 - Proveer una interfaz al cliente para probar el visualizador con sus propias imágenes.

[RR-ModeloVPC-1] El modelo de visión por computadora debe mantener una precisión mínima del 90 % en la identificación de palmeras y un 80 % en la clasificación de infestación.

- Verificación:
 - Entrenar el modelo utilizando un conjunto de validación y evaluar las métricas de desempeño (precisión y *recall*).
 - Documentar los resultados con gráficos *ROC* y matrices de confusión para cada categoría.
- Validación:
 - Presentar al cliente los resultados obtenidos y explicar las métricas en términos no técnicos.

[RDATOS-GestorDatos-1] El sistema debe permitir al cliente etiquetar al menos 100 imágenes, asegurando un equilibrio entre las clases de palmeras infectadas y no infectadas.

- Verificación:
 - Probar la herramienta de etiquetado asegurando que puede cargar, procesar y guardar imágenes etiquetadas sin errores.
 - Realizar pruebas con imágenes de cada clase para garantizar el equilibrio en los datos generados.
 - Ejecutar pruebas de integración entre la herramienta y la infraestructura (base de datos).
 - Realizar una prueba para verificar que la herramienta esté accesible desde internet.
- Validación:
 - Organizar una sesión con el cliente para utilizar la herramienta y verificar que puede etiquetar imágenes de forma intuitiva y eficiente.
 - Solicitar retroalimentación directa del cliente para ajustes.

[RP-ModeloVPC-1] Se debe investigar el estado del arte en modelos de visión por computadora para la detección de la plaga.

- Verificación:
 - Documentar los modelos investigados, incluyendo sus métricas de desempeño y posibles adaptaciones para el proyecto.

- Comparar los resultados obtenidos con los modelos seleccionados para justificar la elección final.
- Validación:
 - Revisar el documento de investigación con el cliente y explicar cómo las decisiones tomadas benefician al proyecto.
 - Confirmar que el cliente está de acuerdo con la elección del modelo.

[RF-GestorDatos-2] El gestor de datos debe almacenar los datos etiquetados en el repositorio de la Intendencia Municipal (IMNube).

- Verificación:
 - Realizar pruebas automatizadas para verificar la conexión al repositorio y la correcta subida de los datos etiquetados.
 - Revisar manualmente que los datos almacenados están completos y accesibles.
- Validación:
 - Confirmar que el cliente puede acceder a los datos según lo esperado.

[RD-ModeloVPC-1] El sistema debe ser implementado utilizando Python 3 para el procesamiento backend.

- Verificación:
 - Inspeccionar los archivos fuente para garantizar que cumplen con la especificación.
 - Realizar auditorías de código para verificar que las librerías utilizadas son compatibles con Python 3.
- Validación:
 - Proporcionar al cliente evidencia de que el sistema se ejecuta correctamente en entornos configurados con Python 3.

[RII-VisDetecciones-1] El visualizador de detecciones debe brindar un criterio de satisfacción de usabilidad mayor al 80 % para los usuarios.

- Verificación:
 - Realizar pruebas de usabilidad con un grupo piloto, registrando tiempos de interacción y número de errores.
 - Documentar las métricas obtenidas y compararlas contra el objetivo establecido.
- Validación:
 - Organizar una sesión de prueba con el cliente y usuarios finales para recibir retroalimentación sobre la usabilidad del sistema.
 - Ajustar el sistema si la satisfacción está por debajo del 80 %.

[RF-GestorDatos-1] El gestor de datos debe incluir una herramienta para el etiquetado de datos que permita al cliente etiquetar imágenes de drones.

- Verificación:
 - Probar exhaustivamente la herramienta asegurando que las funcionalidades básicas (carga de imágenes, etiquetado, guardado) funcionan correctamente.
 - Simular escenarios de uso para detectar posibles errores.
- Validación:

- Entrenar al cliente en el uso de la herramienta y recopilar retroalimentación después de una sesión práctica.
- Realizar ajustes según sea necesario para cumplir con las expectativas del cliente.

[RDOC-InformeFinal-1] Se debe elaborar un informe final que incluya una presentación completa del proyecto y sus resultados.

- Verificación:
 - Revisar el informe final asegurando que cumple con los siguientes aspectos:
 - ◊ Explicación detallada del objetivo del proyecto.
 - ◊ Descripción de la metodología utilizada, incluyendo los modelos seleccionados y su entrenamiento.
 - ◊ Análisis de los resultados obtenidos, con métricas claras y gráficos representativos.
 - ◊ Conclusiones y recomendaciones futuras.
 - ◊ Asegurar que la estructura sea la proporcionada por la FIUBA.
 - ◊ Verificar que el informe esté estructurado y redactado en un lenguaje claro y profesional.
- Validación:
 - Entregar el informe final a los interesados y realizar una presentación del contenido.

15. Procesos de cierre

Dentro de los procesos de cierre de este proyecto se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Realización de un análisis comparativo entre el plan inicial y la ejecución real, destacando desviaciones, logros y áreas de mejora.
- Evaluación de los procedimientos, técnicas aplicadas y los principales desafíos enfrentados durante el ciclo de vida del proyecto.
- Elaboración de propuestas concretas de mejora para futuros proyectos similares, basadas en las lecciones aprendidas.
- Presentación de los resultados y entregables del proyecto a los interesados de la Intendencia de Montevideo.
- Organización de una defensa formal del proyecto en el marco de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, con la participación de los principales interesados.
- Consolidación y archivo de toda la documentación relevante en los repositorios institucionales de la IM y de la FIUBA, garantizando su accesibilidad y conservación.

Referencias

- [1] Dima Kagan, Galit Alpert, and Michael Fire. Automatic large scale detection of red palm weevil infestation using aerial and street view images. 04 2021.

- [2] Stephanie Delalieux, Tom Hardy, Michel Ferry, Susi Gomez, Lammert Kooistra, Maria Culman, and Laurent Tits. Red palm weevil detection in date palm using temporal uav imagery. *Remote Sensing*, 15:1380, 02 2023.
- [3] Ieee guide for software requirements specifications. *IEEE Std 830-1984*, pages 1–26, 1984.
- [4] Dai Clegg and Richard Barker. *Case Method Fast-Track: A Rad Approach*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., USA, 1994.