



Detección de pozos y seguimiento de surcos en terrenos agropecuarios

Autor:

Agustín Lucas Baffo

Director:

Agustín Curcio (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 24 de Junio de 2021 y el 12 de Agosto de 2021.*

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>).	9
8. Entregables principales del proyecto	10
9. Desglose del trabajo en tareas (WBS)	11
10. Diagrama de Activity On Node.	12
11. Diagrama de Gantt	15
12. Presupuesto detallado del proyecto	17
13. Gestión de riesgos	17
14. Gestión de la calidad	19
15. Procesos de cierre	21

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	24 de Junio de 2021
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	08 de Julio de 2021
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	15 de Julio de 2021
3	Se modifican secciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 9 Se completa hasta el punto 12 inclusive	29 de Julio de 2021
4	Se completa hasta el punto 15 inclusive	05 de Agosto de 2021

Acta de constitución del proyecto

Rosario, 24 de Junio de 2021

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Agustín Lucas Baffo que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Inteligencia Artificial se titulará “Detección de pozos y seguimiento de surcos en terrenos agropecuarios”, consistirá esencialmente en el desarrollo de un algoritmo que permita la detección de obstáculos en tiempo real en terrenos agrícolas, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 610 hs de trabajo y \$1.378.000, con fecha de inicio 24 de Junio de 2021 y fecha de presentación pública 13 de Abril de 2022.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Ariel G. Moreno
Plantium S.A.

Agustín Curcio
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El sector agropecuario es uno de los principales sectores económicos de Argentina, potenciado por la creciente demanda de alimentos a nivel mundial. Las empresas dedicadas al desarrollo agropecuario han acompañado históricamente este crecimiento con importantes avances tecnológicos. Esto les ha permitido a los productores de alimentos satisfacer dicha demanda e incrementar en gran medida su capacidad productiva.

Plantium S.A. es una empresa especializada en agricultura de precisión que busca brindar soluciones tecnológicas al sector agropecuario. Actualmente, se encuentra en proceso de desarrollo un vehículo autónomo capaz de realizar pulverización selectiva de agroquímicos en los cultivos, con el objetivo de eliminar las malezas. Mediante el uso de cámaras y sensores, y la aplicación de técnicas de inteligencia artificial, logra diferenciar las malezas de los cultivos. Esto permite realizar la aplicación del producto de manera selectiva a través de la apertura y el cierre de las válvulas que controlan el flujo del producto, según se requiera. De esta forma, se logra un ahorro de hasta el 80 % del producto aplicado. Adicionalmente, esta forma de trabajo protege al medioambiente y evita aumentar la resistencia de las malezas.

Este proyecto fue denominado “Terran” y en la Figura 1 puede observarse un modelo 3D del prototipo.



Figura 1. Modelo 3D de Terran

Actualmente, existe construido un prototipo que cuenta con un sistema de navegación y control que le permite circular de manera autónoma sobre trayectorias predefinidas. Además, el módulo responsable de aplicación selectiva se encuentra en funcionamiento. Sin embargo, no hay implementado ningún mecanismo inteligente para detectar, reconocer y esquivar obstáculos y evitar así posibles colisiones.

Con este fin, Terran cuenta con un sensor LiDAR integrado en la placa de desarrollo que se comunica con los demás módulos del vehículo. Haciendo uso de este sensor, el vehículo es capaz de detectar objetos y detenerse para evitar la colisión. Si posteriormente el obstáculo es removido, se envía una señal de avance al módulo de control y continúa la circulación sobre la trayectoria definida.

Por otro lado, la lógica de detección de obstáculos actualmente implementada no se basa en un algoritmo inteligente. Para definir si un objeto es o no un obstáculo, la nube de puntos generada por el sensor LiDAR es procesada y dividida en dos partes mediante una línea horizontal

u “horizonte”. Todos los puntos que se encuentren en la parte inferior de esta división son descartados y no son tenidos en cuenta en la detección de objetos. Por el contrario, cualquier conjunto de puntos que se encuentre por encima de este horizonte es considerado un obstáculo, y obligará al vehículo a detenerse.

Es evidente que este sistema no cuenta con la robustez necesaria para realizar una navegación autónoma satisfactoria. Se ha comprobado que el vehículo no logra diferenciar correctamente entre personas, nubes de polvo o yuyos y malezas de gran altura. Además, será necesario realizar la detección de pozos y zanjones, haciendo uso de los puntos inferiores descartados o de los datos provenientes de nuevos sensores.

En este contexto surge la necesidad de dotar de inteligencia al sistema de navegación del vehículo, lo que plantea dos desafíos:

- El primero es la integración de sensores para poder lograr un mapeo completo del terreno en 360 grados y en diferentes condiciones climáticas. Esto implica embeber los sensores al hardware desarrollado y lograr la recolección de los datos. El conjunto de sensores propuesto está formado por:
 - LiDAR (ya instalado)
 - Cámaras
 - Radar
- La segunda etapa es la de procesar los datos obtenidos y aplicar técnicas de inteligencia artificial que permitan la correcta detección de obstáculos y la estimación de las condiciones del terreno para proceder con el cálculo de una nueva trayectoria. En este sentido, existen dos grandes conjuntos de tareas que deben ser implementadas:
 - El procesamiento de imágenes capturadas por las cámaras para poder realizar la detección de obstáculos y eventualmente de pozos y zanjones.
 - La fusión de los datos proveniente de los sensores, con el fin de utilizar esta información de manera conjunta y lograr mejores resultados al momento de tomar decisiones en la navegación.

Es dentro del marco de ejecución de esta segunda etapa en donde se desarrollará el proyecto propuesto en el actual documento. Particularmente, se realizarán las tareas relacionadas al procesamiento de las imágenes capturadas por las cámaras a partir de la aplicación de técnicas de visión artificial. En términos generales, el objetivo será lograr detectar pozos y charcos y localizar surcos, haciendo uso de las imágenes de las cámaras. Los resultados de este proceso, combinados con el procesamiento de datos de los demás sensores, permitirá mejorar la toma de decisiones en la navegación y calcular nuevas trayectorias para evitar posibles colisiones con obstáculos.

En la Figura 2 se presenta el diagrama de bloques del sistema. Se observa que los datos crudos obtenidos por el conjunto de sensores (cámaras, LiDAR y radar) son procesados de manera independiente con el objetivo de mejorar la calidad de los datos. En esta etapa se debe identificar y eliminar datos que pueden considerarse ruido, rellenar valores faltantes, resolver redundancia y corregir inconsistencias.

Los datos del LiDAR y radar son combinados en una segunda etapa donde se aplican técnicas de fusión de datos (*sensor fusion*). Los datos provenientes de las cámaras son procesados de

manera independiente para detectar los objetos mencionados. Los resultados son enviados a un sistema encargado de tomar decisiones basadas en los datos informados por los sensores. En base a esto, el módulo de navegación realiza el cálculo de las trayectorias y las envía al sistema de control responsable del movimiento del vehículo. Esta etapa de navegación y control se encuentra actualmente implementada.

La línea de trazos naranja en el diagrama de bloque muestra las etapas implicadas en el proyecto actual. Así, el siguiente proyecto se desarrollará sobre las etapas de recolección y procesamiento de datos de las cámaras.

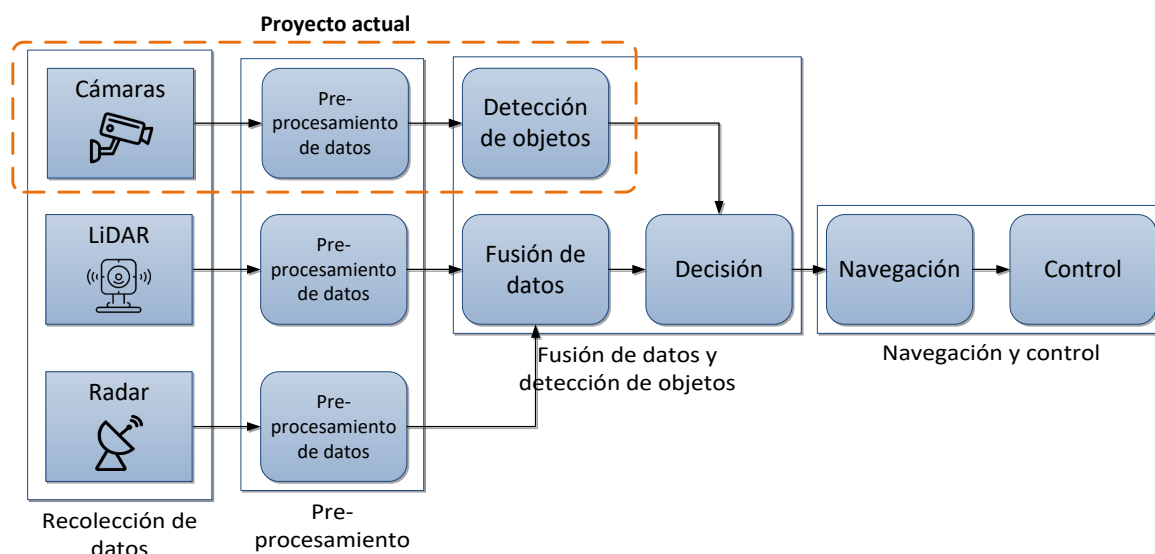


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Ariel G. Moreno	Plantium S.A.	Project manager
Responsable	Agustín Lucas Baffo	FIUBA	Alumno
Orientador	Agustín Curcio	FIUBA	Director trabajo final
Equipo	Andres Benso Mateo Cervilla	Plantium S.A. Plantium S.A.	Team Leader Software Developer
Opositores	Empresas competidoras orientadas a la robótica para el agro	-	-
Usuario final	Productores agropecuarios	-	-

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un sistema de visión artificial que formará parte de un sistema de navegación inteligente en parcelas agrícolas, destinado a detectar obstáculos

y estimar las condiciones del terreno. Estas estimaciones se utilizarán para mejorar la toma de decisiones en la navegación mediante el cálculo de nuevas trayectorias que eviten posibles colisiones con los distintos obstáculos. En una etapa posterior, el sistema inteligente se integrará con los módulos de navegación existentes con el objetivo de lograr un vehículo completamente autónomo capaz de realizar la pulverización selectiva en los terrenos.

4. Alcance del proyecto

Si bien la etapa de adquisición y procesamiento de datos del proyecto Terran incluye una gran cantidad de actividades, el alcance del presente proyecto se limita a cumplir los siguientes objetivos y tareas:

- Correcta detección en tiempo real de pozos y charcos, utilizando los datos de las cámaras.
- Correcta detección en tiempo real de surcos, utilizando los datos de las cámaras.
- Investigar metodologías y tecnologías a utilizar relacionadas al procesamiento de imágenes (algoritmos, bibliotecas, frameworks, etc.).
- Creación de datasets necesarios para entrenar y evaluar los modelos utilizados.

Por otra parte, no se consideran incluidas en este proyecto las tareas relacionadas con:

- Integración de sensores al hardware.
- Procesamiento de datos del LiDAR o radar.
- Integración de datos provenientes de los distintos sensores.
- Implementación de la comunicación de los sensores con el módulo de procesamiento de datos. Tampoco se incluirá la comunicación entre este último módulo y el sistema de navegación.
- Cálculo de nuevas trayectorias.
- Tareas relacionadas a la navegación, control y seguimiento de trayectoria.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- La etapa previa que incluye la integración de sensores al hardware se encuentra implementada y en correcto funcionamiento.
- Se cuenta con el hardware necesario para la realización del proyecto. Esto incluye:
 - Servidor para almacenar y procesar datos.
 - Cámaras.
- Tanto el hardware como las licencias de software que se necesiten serán adquiridos sin inconvenientes, siendo la empresa quien cubra los gastos que surjan en esos casos.

6. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales

- 1.1. El sistema debe poder detectar pozos y charcos con un error menor al 10 %, en buenas condiciones de iluminación.
- 1.2. El sistema debe poder detectar surcos con un error menor al 10 %, en buenas condiciones de iluminación.
- 1.3. La salida 1 del sistema debe ser una variable que informe si existe o no un pozo en el camino.
- 1.4. La salida 2 del sistema debe ser una variable que indique la posición relativa en la imagen de los surcos detectados.
- 1.5. El sistema debe poder operar en tiempo real (prioridad menor).

2. Requerimientos de documentación

- 2.1. Los códigos desarrollados deben estar documentados según buenas prácticas sugeridas por el cliente. Esta documentación debe permitir que el código pueda ser entendido y utilizado por cualquier otro miembro de la empresa, con los conocimientos técnicos necesarios.
- 2.2. Confección de una memoria técnica.
- 2.3. Confección de un manual de uso.

3. Requerimientos de testeo

- 3.1. Debe probarse la efectividad del sistema en terrenos agropecuarios y en distintas condiciones ambientales y de iluminación.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Los criterios para el cálculo de las ponderaciones (*history points*) de las historias de usuarios son los siguientes:

- Dificultad: es la cantidad de trabajo a realizar. Involucra el total de horas y recursos empleados en la tarea.
- Complejidad: es el nivel de sofisticación del trabajo. Hace referencia al nivel de conocimientos o habilidades requeridos para realizar la tarea.
- Riesgo: es el nivel de incertidumbre que involucra realizar la tarea.

A cada criterio se le asigna un peso que se corresponden con los números del 1 al 13 de la serie de Fibonacci (1, 2, 3, 5, 8, 13). El peso total de la historia de usuario será el número de la serie de Fibonacci más cercano a la suma de los pesos de cada criterio.

Historia 1: "Como usuario final quiero que el vehículo pueda funcionar de noche para poder trabajar el terreno las 24hs."

- Dificultad: 5. Se requieren horas de investigación para mejorar la calidad de los datos de noche.
- Complejidad: 13. La confiabilidad de las cámaras es baja a la noche. Su utilidad depende completamente de la iluminación provista por el vehículo.
- Riesgo: 1. No existen mayores riesgos a excepción de la pérdida de precisión en la clasificación de obstáculos en estas condiciones.

Peso total: 21

Historia 2: "Como gerente técnico quiero que el sistema sea fácilmente reentrenable para poder mejorar la precisión con datos futuros."

- Dificultad: 5. No afecta demasiado al diseño pero se requiere asignar tiempo para documentación en manuales y códigos.
- Complejidad: 2. La complejidad es baja y radica en diseñar las entradas del modelo de manera amigable.
- Riesgo: 3. Modificar el modelo podría llegar a impactar en la precisión de manera negativa. Sin embargo, es fácil volver a modelos previos en caso de que ocurra este inconveniente.

Peso total: 8

Historia 3: "Como empresa me interesa que el sistema pueda reconocer también vehículos para futuras aplicaciones"

- Dificultad: 13. Se deberá dedicar mucho tiempo al armado de datasets que contengan distintos vehículos.
- Complejidad: 2. El proceso de entrenamiento y el modelo a utilizar no se afectan demasiado.
- Riesgo: 3. Agregar nuevas clases puede afectar a la eficiencia del modelo sobre las predicciones de las clases originales.

Peso total: 21

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Código fuente
- Dataset con datos originales
- Dataset con datos pre-procesados.
- Memoria técnica.
- Documentación de uso del modelo.

9. Desglose del trabajo en tareas (WBS)

1. Gestión de proyecto (20hs)

- 1.1. Desarrollo de plan de trabajo (20hs)

2. Investigación previa (80hs)

- 2.1. Investigación sobre trabajos similares (20hs)
- 2.2. Investigación de técnicas para preprocesado de imágenes (20hs)
- 2.3. Investigación sobre modelos existentes y pre-entrenados (20hs)
- 2.4. Investigación sobre tecnicas de seguimiento sobre imágenes (20hs)

3. Generación de dataset (90hs)

- 3.1. Búsqueda de datasets existentes (10hs)
- 3.2. Definición de buenas prácticas para la generación de datasets (10hs)
- 3.3. Recolección de datos con las cámaras (40hs)
- 3.4. Etiquetado de datos (30hs)

4. Preprocesado (40hs)

- 4.1. Diseño e implementación de pipeline para preprocesado de imágenes (40hs)

5. Generación del modelo (190hs)

- 5.1. Creación de diferentes prototipos de modelos (30hs)
- 5.2. Evaluación de desempeño de prototipos y selección de modelo a utilizar (15hs)
- 5.3. Perfeccionamiento del modelo utilizando dataset original (40hs)
- 5.4. Diseño e implementación de pipeline para seguimiento de surcos (30hs)
- 5.5. Ajuste de modelo posterior a las pruebas en simulación (30hs)
- 5.6. Ajuste de modelo posterior a las pruebas en campo (30hs)
- 5.7. Documentación del código (15hs)

6. Testeo y evaluación (120hs)

- 6.1. Investigación y definición de criterios de evaluación del modelo (10hs)
- 6.2. Diseño de casos de prueba y tests a realizar (10hs)
- 6.3. Preparación de entorno de simulación (20hs)
- 6.4. Testeo de modelo en entorno de simulación (25hs)
- 6.5. Testeo de modelo en campo (30hs)
- 6.6. Pruebas finales del modelo (15hs)
- 6.7. Documentación de pruebas (10hs)

7. Documentos finales (70hs)

- 7.1. Confección de manual de uso de modelo (15hs)
- 7.2. Confección del informe de avance (10hs)
- 7.3. Confección de la memoria del trabajo (30hs)
- 7.4. Preparación de la presentación final (15hs)

Cantidad total de horas: 610hs

10. Diagrama de Activity On Node

En la figura 3 se muestra el diagrama en Activity on Node (AoN) del proyecto. Los períodos de tiempo (t) están expresados en días. Para el cálculo, se establecieron 12hs de trabajo semanales, divididas en 4 días de 3hs cada uno. Los bloques color salmón ▲ indican la ruta crítica.

Con el fin de mantener una lógica sencilla en el diagrama AoN, las tareas del WBS fueron agrupadas en diferentes bloques, tal como se indica en la siguiente lista:

- **Planificación (t=7):**
 - 1.1. Desarrollo de plan de trabajo
- **Investigación previa (t=20):**
 - 2.1. Investigación sobre trabajos similares
 - 2.2. Investigación de técnicas para preprocesado de imágenes
 - 2.3. Investigación sobre modelos existentes y pre-entrenados
- **Armado de dataset (t=30):**
 - 3.1. Búsqueda de datasets existentes
 - 3.2. Definición de buenas prácticas para la generación de datasets
 - 3.3. Recolección de datos con las cámaras
 - 3.4. Etiquetado de datos
- **Investigación sobre técnicas de seguimiento (t=7):**
 - 2.4. Investigación sobre técnicas de seguimiento sobre imágenes
- **Pipeline para preprocesado de imágenes (t=13):**
 - 4.1. Diseño e implementación de pipeline para preprocesado de imágenes
- **Pipeline para seguimiento de surcos (t=10):**
 - 5.4. Diseño e implementación de pipeline para seguimiento de surcos
- **Selección de modelo a preeliminar (t=28):**
 - 5.1. Creación de diferentes prototipos de modelos
 - 5.2. Evaluación de desempeño de prototipos y selección de modelo a utilizar
 - 5.3. Perfeccionamiento del modelo utilizando dataset original
- **Investigación y diseño de tests (t=7):**
 - 6.1. Investigación y definición de criterios de evaluación del modelo
 - 6.2. Diseño de casos de prueba y tests a realizar
- **Testeo y ajuste del modelo en simulación (t=25):**
 - 6.3. Preparación de entorno de simulación
 - 6.4. Testeo de modelo en entorno de simulación
 - 5.5. Ajuste de modelo posterior a las pruebas en simulación

- **Confección de informe de avance (t=3):**
 - 7.2. Confección del informe de avance
- **Testeo y ajuste del modelo en campo (t=20):**
 - 6.5. Testeo de modelo en campo
 - 5.6. Ajuste de modelo posterior a las pruebas en campo
- **Pruebas finales (t=5):**
 - 6.6. Pruebas finales del modelo
- **Documentación de código (t=5):**
 - 5.7. Documentación del código
- **Documentación de pruebas (t=3):**
 - 6.7. Documentación de pruebas
- **Documentación final (t=20):**
 - 7.1. Confección de manual de uso de modelo
 - 7.3. Confección de la memoria del trabajo
 - 7.4. Preparación de la presentación final

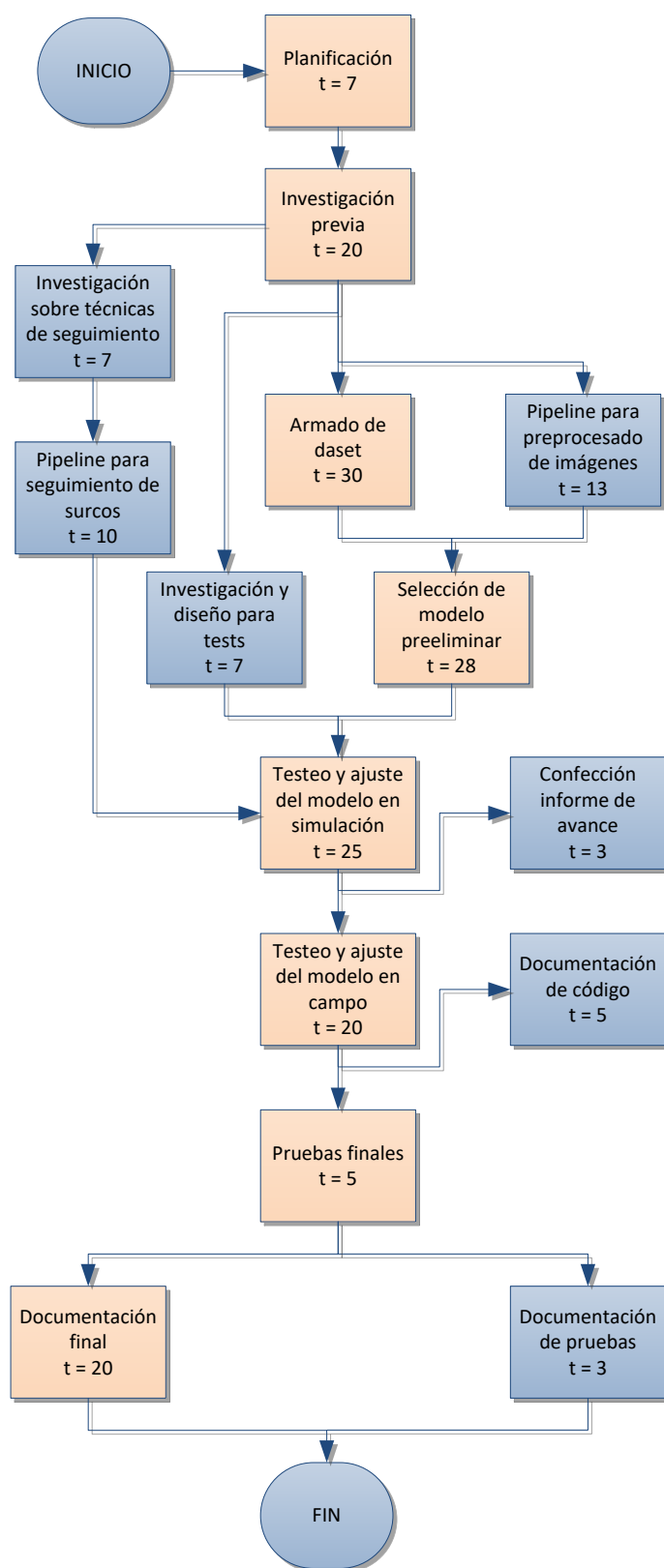


Figura 3. Diagrama en *Activity on Node*

11. Diagrama de Gantt

La figura 4 muestra la tabla con las tareas representadas en el diagrama de Gantt, en donde se incluyen los códigos del WBS. En la figura 5 se muestra el diagrama de Gantt. El camino crítico está representado por las tareas rayadas en color más oscuro.

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
1.1 Desarrollo de plan de trabajo	2/8/21	10/8/21
Planificación	11/8/21	11/8/21
2.1 Investigación sobre trabajos similares	6/9/21	14/9/21
2.2 Investigación de técnicas para preprocesado de imágenes	15/9/21	23/9/21
2.3 Investigación sobre modelos existentes y pre-entrenados	15/9/21	23/9/21
2.4 Investigación sobre técnicas de seguimiento sobre imágenes	24/9/21	4/10/21
3.1 Búsqueda de datasets existentes	24/9/21	28/9/21
3.2 Definición de buenas prácticas para la generación de datasets	29/9/21	1/10/21
3.3 Recolección de datos con las cámaras	4/10/21	20/10/21
3.4 Etiquetado de datos	21/10/21	3/11/21
Dataset	4/11/21	4/11/21
4.1 Diseño e implementación de pipeline para preprocesado de imágenes	4/11/21	22/11/21
5.1 Creación de diferentes prototipos de modelos	4/11/21	17/11/21
6.1 Investigación y definición de criterios de evaluación del modelo	4/11/21	8/11/21
6.2 Diseño de casos de prueba y tests a realizar	9/11/21	11/11/21
5.2 Evaluación de desempeño de prototipos y selección de modelo a utilizar	23/11/21	29/11/21
5.3 Perfeccionamiento del modelo utilizando dataset original	30/11/21	17/12/21
Diseño de modelo	20/12/21	20/12/21
5.4 Diseño e implementación de pipeline para seguimiento de surcos	20/12/21	31/12/21
6.3 Preparación de entorno de simulación	3/1/22	11/1/22
6.4 Testeo de modelo en entorno de simulación	12/1/22	21/1/22
5.5 Ajuste de modelo posterior a las pruebas en simulación	24/1/22	4/2/22
6.5 Testeo de modelo en campo	7/2/22	18/2/22
5.6 Ajuste de modelo posterior a las pruebas en campo	21/2/22	4/3/22
6.6 Pruebas finales del modelo	7/3/22	11/3/22
5.7 Documentación del código	7/3/22	11/3/22
Testeo	14/3/22	14/3/22
6.7 Documentación de pruebas	14/3/22	16/3/22
7.1 Confección de manual de uso de modelo	17/3/22	23/3/22
7.2 Confección del informe de avance	17/3/22	21/3/22
7.3 Confección de la memoria del trabajo	22/3/22	5/4/22
Documentación finalizada	6/4/22	6/4/22
7.4 Preparación de la presentación final	6/4/22	12/4/22
Proyecto Finalizado	13/4/22	13/4/22

Figura 4. Tabla de WBS

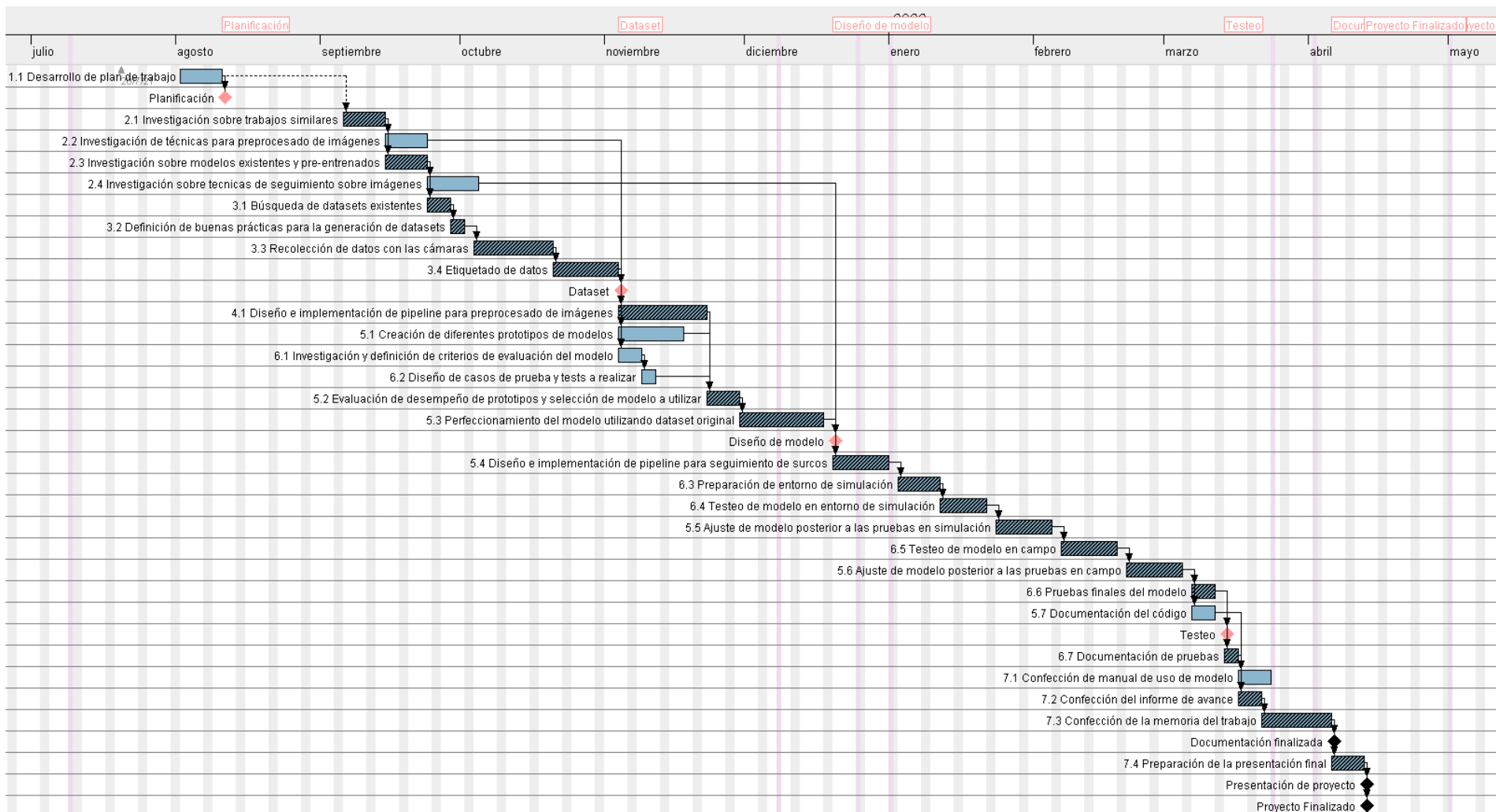


Figura 5. Diagrama de Gantt

12. Presupuesto detallado del proyecto

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario [\$]	Valor total [\$]
Horas del responsable	610	1.100	671.000
Notebook	1	350.000	350.000
Licencia Simulador	1	200.000	200.000
Cámaras Estéreo	1	10.000	10.000
SUBTOTAL			1.231.000
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario [\$]	Valor total [\$]
Pago mensual de servicios de internet y energía	9	8.000	72.000
Transporte para pruebas en campo	1	30.000	30.000
Gastos mensuales de oficina	9	5.000	45.000
SUBTOTAL			147.000
TOTAL			1.378.000 [\$]

13. Gestión de riesgos

Los riesgos identificados en esta sección son cuantificados mediante los siguientes indicadores:

- Severidad (S): índice de severidad. Será mayor cuanto más grande sea el impacto sobre el proyecto.
- Ocurrencia (O): probabilidad de ocurrencia del riesgo.

A cada uno de estos índices se le asigna un valor del 1 al 10. El número que resulta del producto de ambos es la prioridad del riesgo ($RPN = S \cdot O$).

Los riesgos identificados asociados al proyecto son:

- Riesgo 1: la etapa previa de incorporación de las cámaras al hardware toma más tiempo del estimado.
 - Severidad (7): atrasaría el inicio del proyecto y alteraría la gestión de tiempo.
 - Ocurrencia (5): dado que las cámaras a utilizar aún no están definidas, podían surgir inconveniente por compatibilidades que produzcan la extensión de los plazos de esta etapa.
- Riesgo 2: escasez de información sobre temas a investigar.
 - Severidad (6): complicaría el desarrollo general del proyecto. Podría producir un gasto adicional de tiempo para pruebas de diferentes técnicas y enfoques que sean poco eficientes.
 - Ocurrencia (3): si bien es probable que no haya demasiada información sobre trabajos idénticos al que se desarrollará en este proyecto, existe mucha información sobre trabajos similares de navegación autónoma que pueden ser adaptados al entorno agropecuario.

- Riesgo 3: la capacidad del hardware actual no es suficiente para realizar el procesamiento de imágenes en tiempo real.
 - Severidad (6): no se podrá realizar la detección en tiempo real.
 - Ocurrencia (5): no se ha probado el hardware en aplicaciones de procesamiento de imágenes.
- Riesgo 4: que exista mucha discrepancia entre los resultados de las pruebas de simulación y su uso en el campo.
 - Severidad (3): se ha considerado esta dificultad dentro de las horas asignadas a las tareas correspondientes.
 - Ocurrencia (8): dado que la cantidad de simuladores para terrenos agropecuarios es limitada, será difícil encontrar un simulador con una alta fidelidad en los datos proporcionados.
- Riesgo 5: licencias más caras de lo planificado.
 - Severidad (6): podría producir que los costos del proyecto superen a lo planificado.
 - Ocurrencia (3): se han verificado precios de posibles licencias antes de realizar la gestión de costos.
- Riesgo 6: falla en base de datos donde se almacena el dataset creado.
 - Severidad (10): el rearmado del dataset produciría un gran retraso en el proyecto.
 - Ocurrencia (4): está contemplado realizar backups del dataset.

La siguiente tabla muestra los riesgos listados anteriormente, con sus correspondientes prioridades (RPN). Los valores marcados con (*) indican los resultados luego de haber aplicado la mitigación.

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1.- Retrasos en etapa previa	7	5	35	2	5	10
2.- Falta de información	6	3	18			
3.- Hardware limitado	6	5	30	1	5	5
4.- Simulación poco eficiente	3	8	24			
5.- Licencias caras	6	3	18			
6.- Pérdida de dataset	10	4	40	2	1	2

Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 25. El plan de mitigación de riesgo, se detalla a continuación:

- Riesgo 1: en el AON puede verse que en la primer parte del proyecto la mayoría de las tareas tienen holgura, a excepción de las que forman parte del camino crítico. Particularmente este riesgo podría afectar en la demora del armado del dataset. Por este lado, se plantea que la recolección de datos se realice con otro juego de cámaras, similares a las integradas al hardware. La siguiente tarea del camino crítico que podría afectarse son las pruebas del modelo en campo. Sin embargo, en base al el diagrama de Gannt, esta tarea forma parte de una de las últimas del proyecto, por lo que es muy poco probable que sea afectada por el riesgo en cuestión.
 - Severidad (2): al usar otro juego de cámaras, la primer parte del proyecto no se verá afectada por posibles demoras en la etapa previa.

- Ocurrencia (5): no se ha modificado al probabilidad de ocurrencia.
- Riesgo 3: dado que el alcance y los requisitos del proyecto propuestos consisten en la entrega de un algoritmo, no es necesario realizar las pruebas sobre el hardware final. Por lo tanto, en caso que ocurra este riesgo, las pruebas en campo serán realizadas utilizando las cámaras montadas sobre el vehículo, conectadas a la notebook de desarrollo que realizará el procesamiento de imágenes.
 - Severidad (1): utilizando otro hardware alternativo, el proyecto no se verá afectado por limitaciones en el hardware.
 - Ocurrencia (5): no se ha modificado al probabilidad de ocurrencia.
- Riesgo 6: se realizará un backup periódico en la nube del estado actual del dataset.
 - Severidad (2): como los backups son realizados de manera periódica, cualquier problema que ocurra en la base de datos sólo afectara el trabajo de un día.
 - Ocurrencia (1): es muy poco probable perder los datos en los servidores locales y en la nube al mismo tiempo.

14. Gestión de la calidad

- Req 1.1: el sistema debe poder detectar pozos y charcos con un error menor al 10 %, en buenas condiciones de iluminación.
 - Verificación: en el entorno de simulación, debe simularse el vehículo y una cantidad no menor a 30 pozos y/o charcos en un día soleado. El vehículo debe ser capaz de detectar al menos un 10 % de esos pozos y charcos.
 - Validación: se procesarán videos grabados por el vehículo en el campo en un día soleado, en donde deben aparecer una cantidad no menor a 20 pozos y/o charcos. Procesando las imágenes de los videos, deben poder detectarse al menos el 10 % de esos pozos.
- Req 1.2: el sistema debe poder detectar surcos con un error menor al 10 %, en buenas condiciones de iluminación.
 - Verificación: en el entorno de simulación, debe simularse el vehículo conduciendo sobre diferentes surcos en un día soleado. La prueba total debe durar al menos 20 minutos. Durante toda la prueba, el vehículo debe ser capaz de detectar el surco por el que conduce por más del 10 % del tiempo.
 - Validación: se procesarán videos grabados por el vehículo conduciendo sobre diferentes surcos en un día soleado. La duración total de los videos, debe ser de al menos 20 minutos. Procesando las imágenes de las grabaciones, deben poder detectarse los surcos por los que se esté conduciendo al menos el 10 % del tiempo.
- Req 1.3: la salida 1 del sistema debe ser una variable que informe si existe o no un pozo en el camino.
 - Verificación: se graficará la salida binaria del sistema en función del tiempo y se evaluará la correlación entre sus valores con las grabaciones de la simulación. La gráfica debe mostrar un valor igual a 1 en los momentos en que en las grabaciones se visualicen pozos o charcos.

- Validación: se graficará la salida binaria del sistema en función del tiempo y se evaluará la correlación entre sus valores con las grabaciones en el campo. La gráfica debe mostrar un valor igual a 1 en los momentos en que en las grabaciones se visualicen pozos o charcos.
- Req 1.4: la salida 2 del sistema debe ser una variable que indique la posición relativa en la imagen de los surcos detectados.
 - Verificación: en las grabaciones de las simulaciones, se debe marcar con una máscara de cuatro vértices la posición del surco en la imagen. Además, debe generarse un archivo de log que indique las posiciones en píxeles de los cuatro vértices de la máscara en cada frame.
 - Validación: en las grabaciones realizadas en campo, se debe marcar con una máscara de cuatro vértices la posición del surco en la imagen. Además, debe generarse un archivo de log que indique las posiciones en píxeles de los cuatro vértices de la máscara en cada frame.
- Req 1.5: el sistema debe poder operar en tiempo real (prioridad menor).
 - Verificación: debe probarse en entorno de simulación. La variable binaria de salida que indica la detección de pozos y charcos debe poder visualizarse y activarse correctamente en tiempo real, mientras se conduce en simulación. De igual manera, las imágenes capturadas por las cámaras en la simulación, deben ser mostradas en tiempo real, con la máscara de cuatro vértices aplicada sobre los surcos.
 - Validación: debe probarse con el vehículo en campo. La variable binaria de salida que indica la detección de pozos y charcos debe poder visualizarse y activarse correctamente en tiempo real. De igual manera, las imágenes capturadas por las cámaras, deben ser mostradas en tiempo real, con la máscara de cuatro vértices aplicada sobre los surcos.
- Req 2.1: los códigos desarrollados deben estar documentados según buenas prácticas sugeridas por el cliente. Esta documentación debe permitir que el código pueda ser entendido y utilizado por cualquier otro miembro de la empresa, con los conocimientos técnicos necesarios.
 - Verificación: el team leader revisará los códigos desarrollados y verificará su correcta documentación. Debe ser capaz de entender en detalle cada proceso o función desarrollada.
 - Validación: un miembro de la empresa con los conocimientos técnicos necesarios, ajeno a los integrantes del proyecto, revisará los códigos desarrollados y verificará su correcta documentación. Debe ser capaz de comprender cuáles son las entradas y salidas de los distintos módulos del sistema.
- Req 2.2: confección de una memoria técnica.
 - Verificación: La memoria técnica debe ser aprobada por el director y el project manager del proyecto, que definirán sus propios criterios de validación.
 - Validación: La memoria técnica debe ser aprobada por los docentes y jurados de la FIUBA, que definirán sus propios criterios de validación.
- Req 2.3: confección de un manual de uso.

- Verificación: el team leader verificará que todos los submódulos del sistema se encuentren documentados, explicitando su función y sus entradas y salidas. Por otro lado, debe estar documentado el proceso de instalación y puesta en marcha. El team leader deberá ser capaz de poner en marcha y utilizar el sistema completo, a partir del manual de usuario.
 - Validación: el project manager deberá verificar y aprobar la calidad del manual de usuario.
- Req 2.1: debe probarse la efectividad del sistema en terrenos agropecuarios y en distintas condiciones ambientales y de iluminación.
- Verificación: se realizará la misma verificación que en los requerimientos 1.1 y 1.2 con un entorno de simulación de un día nublado. La precisión lograda en ambos casos, debe ser superior al 75 %.
 - Validación: se realizará la misma validación que en los requerimientos 1.1 y 1.2, con grabaciones en campo de días nublados. La precisión lograda en ambos casos, debe ser superior al 75 %.

15. Procesos de cierre

El proceso de cierre consiste en las siguientes actividades:

- Verificación del cumplimiento de objetivos: deberá comprobarse que todos los objetivos fueron alcanzados. Para esto se debe demostrar que todos los requerimientos cumplieron con los criterios de verificación y validación escritos en el apartado "14. Gestión de la calidad" del plan de trabajo. Además, deberá verificarse la correcta recepción de todos los entregables.

Responsable: Ariel G. Moreno (project manager)

- Análisis del grado de cumplimiento del plan de proyecto:
- Gestión de tiempo: identificar discrepancias entre las tareas planteadas en el WBS y su estimación de tiempo en el diagrama de Gannt con las tareas y los tiempos de ejecución reales.
 - Gestión de costos: verificar si existe diferencia entre el costo del proyecto estimado con el real.

Responsable: Agustín Baffo (responsable del proyecto)

- Memoria de problemas encontrados y técnicas utilizadas: deberán identificarse y documentarse los problemas que hayan surgido, así como también las soluciones planteadas incluyendo tanto las finales como las que hayan fracasado.

Responsable: Agustín Baffo (responsable del proyecto)

- Memoria de técnicas y enfoques utilizados: se identificarán y documentarán técnicas y enfoques que hayan sido exitosos para asegurarse que su uso será considerado en el futuro. De igual forma, se documentarán técnicas y enfoques que hayan fracasado para asegurarse que serán descartados en el futuro.

Responsable: Agustín Baffo (responsable del proyecto)

- Acto de agradecimiento a todos los interesados: deberá organizarse una reunión de manera presencial o virtual con los interesados, el equipo de trabajo y los colaboradores, para agradecer e informar públicamente la finalización del proyecto. De existir gastos, serán financiados por Plantium S.A.

▲ Responsable: Agustín Baffo (responsable del proyecto)

- Tareas post-proyecto:

- Obtener la aceptación formal del cliente, mediante la firma de los documentos de cierre.
- Archivar adecuadamente toda la documentación, según indique el cliente.

Reponsable: Agustín Baffo (responsable del proyecto)

- Finalizar todos los contratos de bienes y servicios.
- Mover a los miembros del equipo a nuevos proyectos.

Reponsable: Ariel G. Moreno (project manager)