

Maestría en

OPTIMIZACIÓN EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR

Tesis previa a la obtención del título de Magister en
Administración de Empresas, con mención en Dirección
Ágil de Proyectos

AUTORES:

Ing. Francisco Xavier Calderon Cobo

Ing. Dennis Alexander Gordillo Villamar

Arq. Verónica Nicole Pozo Álvarez

MVZ. Ana María Ramos Acosta

Ing. Melissa Alejandra Salazar Haro

TUTOR: PhD. Miguel Ángel Vera Mellado.

OPTIMIZACIÓN EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR

**PROYECTO DE TITULACIÓN – FIN DE MASTER
BUSINESS ADMINISTRATION MBA**

Por

Ing. Francisco Xavier Calderon Cobo
Ing. Dennis Alexander Gordillo Villamar
Arq. Verónica Nicole Pozo Álvarez
MVZ. Ana María Ramos Acosta
Ing. Melissa Alejandra Salazar Haro

Febrero 2026

Aprobado



Cristian Melo

Presidente(a) del Tribunal
Universidad Internacional del Ecuador

Yo, Cristian Javier Melo González e Ignacio Maroto, declaramos que, personalmente conocemos que los graduandos: Ing. Calderon Cobo Francisco Xavier, Ing. Gordillo Villamar Dennis Alexander, Arq. Pozo Álvarez Verónica Nicole, MVZ. Ramos Acosta Ana María, Ing. Salazar Haro Melissa Alejandra, son los autores exclusivos de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal de ellos.



Cristian Melo
Coordinador MBA UIDE



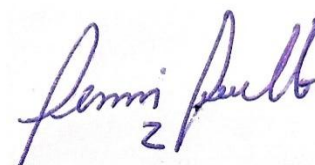
Ignacio Maroto
Provost WBS

Autoría del Trabajo de Titulación

Nosotros, Ing. Calderon Cobo Francisco Xavier, Ing. Gordillo Villamar Dennis Alexander, Arq. Pozo Álvarez Verónica Nicole, MVZ. Ramos Acosta Ana María, Ing. Salazar Haro Melissa Alejandra, declaramos bajo juramento que el trabajo de titulación titulado Optimización En Planta De Tratamiento De Aguas Residuales PTAR es de nuestra autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, habiéndose citado las fuentes correspondientes y respetando las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



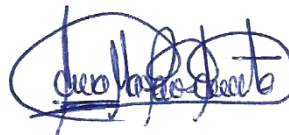
Ing. Francisco Xavier Calderon Cobo
francisco_calderon0480@hotmail.com



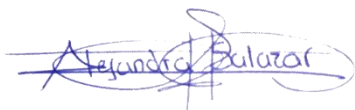
Ing. Dennis Alexander Gordillo Villamar
dennisgordillo@hotmail.com



Arq. Verónica Nicole Pozo Álvarez
niicolepozo@gmail.com



MVZ. Ana María Ramos Acosta
any2388@hotmail.com



Ing. Melissa Alejandra Salazar Haro
melissasalazarharo@hotmail.com

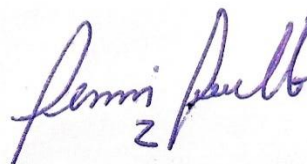
Autorización de Derechos de Propiedad Intelectual

Nosotros, Ing. Calderon Cobo Francisco Xavier, Ing. Gordillo Villamar Dennis Alexander, Arq. Pozo Álvarez Verónica Nicole, MVZ. Ramos Acosta Ana María, Ing. Salazar Haro Melissa Alejandra, en calidad de autores del trabajo de investigación titulado Título del trabajo de investigación Optimización En Planta De Tratamiento De Aguas Residuales PTAR, autorizo a la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) para hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autor me corresponden, lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento en Ecuador.

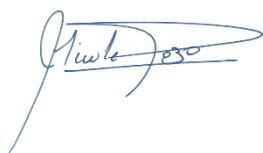
D. M. Quito, Febrero 2026



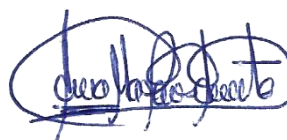
Ing. Francisco Xavier Calderon Cobo
francisco_calderon0480@hotmail.com



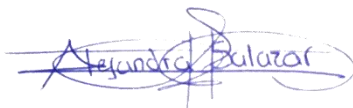
Ing. Dennis Alexander Gordillo Villamar
dennisgordillo@hotmail.com



Arq. Verónica Nicole Pozo Álvarez
niicolepozo@gmail.com



MVZ. Ana María Ramos Acosta
any2388@hotmail.com



Ing. Melissa Alejandra Salazar Haro
melissasalazarharo@hotmail.com

Dedicatorias y Agradecimientos

A Dios, porque en el todo lo puedo y me fortalece, a Henry, por tu paciencia, amor y apoyo, a Victoria y Arturo, por ser mis pilares y motivación diaria, y a mis padres y hermanas, por su amor y apoyo incondicional. Gracias a todos

Anita

Dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios, por sostenerme en los días difíciles, por darme fuerza cuando sentía que no podía más y por recordarme que después de la tormenta siempre llegan días llenos de luz. Su guía ha sido mi refugio y mi esperanza en cada paso de este camino. A mi familia, mi mayor bendición, gracias por ser mi apoyo incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba y por abrazarme en los momentos de cansancio y frustración. Cada sacrificio, cada palabra de ánimo y cada gesto de amor fueron la energía que necesitaba para continuar. Este logro es tan mío como suyo.

A la vida, por enseñarme que los retos no son obstáculos, sino oportunidades para crecer; por demostrarme que los días duros fortalecen el alma y preparan el corazón para recibir grandes bendiciones. Hoy entrego este proyecto con gratitud, fe y la certeza de que todo esfuerzo tiene su recompensa.

Melissa

"Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, por su respaldo, guía y bendición constante, sin los cuales no habría sido posible subir este escalón y alcanzar esta meta propuesta importante en mi vida.

A mis padres, mis pilares y mayor motivación, por su amor, apoyo incondicional, valores y confianza permanente en mí.

Y a mis hermanos, compañeros incondicionales, por impulsarme siempre a ser mejor y recordarme que cada logro se construye con esfuerzo y unión."

Nicole

*Deseo expresar mi profunda gratitud a **Dios**, por ser mi soporte en todo momento.*

*A **Fernanda**, mi compañera de vida, por su paciencia y su apoyo constante en cada paso que hemos dado juntos. A **Natalia y Daniela**, mis hijas, por ser la inspiración que me impulsa a superar nuevos retos.*

*Con especial amor, a mis padres **Patricio y Cecilia (+)**, por la educación y los principios de vida que me permitieron llegar hasta aquí. Su ejemplo de perseverancia, han sido, para mí y mis hermanos el Norte en todo camino que hemos tomado.*

*Asimismo, agradezco a mis colegas de **PBL**, por las jornadas de trabajo compartido y el apoyo técnico y humano brindado a lo largo de este proceso académico.*

Francisco.

Quiero dedicar el trabajo y esfuerzo presentados en este proyecto a Dios, porque sin su bendición nada de esto hubiera sido posible. Agradezco profundamente a mi familia, en especial a mi madre y a mi abuelita, por su sacrificio y por acompañarme en largas noches mientras cumplía con mis obligaciones como estudiante.

A mis amigos, tanto a los que conocí antes de la maestría como a los que conocí durante este proceso académico, gracias por su apoyo constante y a esa persona especial que apareció en este camino, por ayudarme a ser mejor.

Dedico este logro a quienes creyeron en mí y, de manera especial, también a quienes no lo hicieron, porque su duda se convirtió en impulso para seguir adelante y mejorar cada día.

Agradezco a los docentes por compartir sus conocimientos y experiencias, de los cuales pude aprender y crecer profesionalmente.

Por último, y no menos importante, cierro con una frase que me motivó durante este proyecto tan significativo:

"Como no estás experimentado en las cosas del mundo, todas las cosas que tienen algo de dificultad te parecen imposibles. Confía en el tiempo, que suele dar dulces salidas a muchas amargas dificultades." Cervantes

Dennis

INDICE DEL DOCUMENTO

INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO	11
CAPITULO 1	12
Comparación y Contraste	14
CAPITULO 2	15
PLANIFICACIÓN INICIAL DE PROYECTO OPTIMIZACIÓN DE PTAR.....	15
Objetivos del Proyecto (SMART)	15
Datos Clave	15
Recopilación y Uso:.....	16
Alcance del Proyecto Dentro del Alcance:.....	16
Fuera del Alcance:	16
Entregables Principales:	16
Metodología de Gestión de Proyectos	16
Cronograma Inicial.....	17
Presupuesto Inicial.....	17
CAPITULO 3	18
OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES.....	18
1. Enunciado del Alcance	18
2. Descomposición del Trabajo (WBS).....	20
3. Ingeniería Mecánica	20
4. Ingeniería Eléctrica	21
5. Ingeniería Química.....	21
6. Pruebas, Arranque y Cierre	21
CRONOGRAMA DEL PROYECTO	21
IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	22
Riesgos Operativos	22
Riesgos de Cronograma	22

Riesgos Financieros.....	22
Riesgos de Calidad	23
Riesgos de Seguridad Industrial.....	23
PLANEAMIENTO Y CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PTAR.....	23
1. Desarrollo del Plan de Monitoreo y Control del Progreso.....	23
2. Establecimiento de Métricas de Rendimiento y Puntos de Control.....	24
CAPITULO 4	27
BACKLOG DEL PROYECTO	27
CAPITULO 5	30
TIPOS DE ROADMAPS PARA EL PROYECTO	30
PARTE II	33
CAPITULO 1	33
MAPA DE PRODUCTOS MÍNIMOS VIABLES	33
CAPITULO 2	37
DEFINICIÓN DE HECHO SEGÚN EL MAPA DE PRODUCTOS MINIMOS VIABLES	37
CAPITULO 3	39
TABLERO KANBAN	39
CAPITULO 4	40
REPORTES PARA IMPLEMENTAR EN EL PROYECTO.....	40
CAPITULO 5	42
ACTIVIDADES GAMIFICADAS Y RADIADORES	42
CONCLUSIONES Y APLICACIONES.....	47
REFERENCIAS.....	49

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Tabla 1	
<i>Métricas De Rendimiento (Key Performance Indicators - Kpis)</i>	25
Tabla 2	
<i>Hitos De Valor</i>	26
Tabla 3	
<i>Backlog Del Proyecto</i>	27
Tabla 4	
<i>Mapa De Productos Mínimos Viables</i>	33
Tabla 5	
<i>Mapa de Productos Mínimos Viables</i>	36
Tabla 6	
<i>Definición De Hecho Según El Mapa De Productos Mínimos Viables</i>	37
Ilustración 1.	
RADAR DEL PROYECTO TOMANDO EN CUENTA LOS ITEMS MÁS IMPORTANTES	44
Ilustración 2.	
PLAN DE MEJORA DE PRESUPUESTO	45
Ilustración 3.	
PLAN DE MEJORA DE INFORMES	45
Ilustración 4.	
LÍNEA DE TIEMPO EN DIAGRAMA DE BARRAS QUE REPRESENTA EN NÚMERO DE MESES PLANIFICADOS VS LOS REALES POR HITOS DEL PROYECTO	46

INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO

El presente proyecto se desarrolla mediante la integración de fundamentos técnicos y metodológicos orientados a fortalecer la gestión estratégica de proyectos en entornos industriales. La propuesta parte del reconocimiento de desafíos relacionados con la planificación, el control de avances, la coordinación interdisciplinaria y la toma oportuna de decisiones, aspectos críticos para asegurar el cumplimiento de objetivos en términos de alcance, tiempo y recursos.

En primer lugar, se expone el planteamiento del problema, contextualizando la situación actual y evidenciando las principales brechas en los procesos de gestión y seguimiento. A partir de este diagnóstico, se establecen los objetivos generales y específicos del proyecto, sustentando su relevancia técnica y organizacional. Asimismo, se argumenta la necesidad de incorporar herramientas estructuradas de monitoreo y mecanismos de mejora continua que permitan reducir incertidumbre, optimizar la asignación de recursos y aumentar la transparencia en la ejecución.

Posterior a ello, se desarrolla el marco teórico y metodológico que respalda la propuesta, integrando principios de metodologías ágiles, gestión iterativa y uso de radiadores de información como instrumentos estratégicos de visualización y control. Este enfoque no solo busca garantizar el cumplimiento de los entregables técnicos, sino también fortalecer la gobernanza del proyecto, promover una cultura de colaboración y facilitar la adaptación ante escenarios dinámicos.

En conjunto, los capítulos del presente trabajo establecen una base conceptual sólida para una gestión de proyectos orientada a resultados, donde la combinación de estructura metodológica y agilidad operativa se convierte en un factor clave para la generación de valor sostenible.

PARTE I:

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

Con base en las lecturas y en las tendencias revisadas durante la semana, se puede señalar que, tanto la gestión en cascada y la gestión ágil, persiguen un mismo fin: alcanzar los objetivos del proyecto y generar valor. Sin embargo, la principal diferencia, visto desde la perspectiva del valor, radica en cómo y cuándo dicho valor es generado, validado y entregado al cliente o a la organización.

Por un lado, la gestión de Cascada busca asegurar el valor a través de la planificación y el control, donde cada fase debe completarse antes de iniciar la siguiente. Entre sus principales fortalezas destacan la trazabilidad, la estabilidad y el control de calidad, lo que la hace especialmente útil en proyectos con requisitos bien definidos desde el inicio.

Por otro lado, la gestión ágil concibe el valor como un flujo evolutivo, priorizando la adaptabilidad, la colaboración y la entrega temprana de resultados funcionales. En este, el valor se genera de forma incremental e iterativa, permitiendo validar supuestos, ajustar el rumbo y maximizar el retorno sobre el esfuerzo invertido a lo largo del proceso.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es analizar los resultados e impactos derivados de la implementación del enfoque ágil durante la ejecución de un proyecto.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para identificar y analizar el caso de estudio, se aplicará la metodología propuesta por Robert Yin (2018), utilizando un enfoque cualitativo-descriptivo. En el mismo se considerará un proyecto que se ha desarrollado en una industria de procesamiento de lácteos en Ecuador. Para seleccionarlo se considera que el proyecto se encuentra implementado, que se ha realizado con el enfoque ágil y también se considera que ha sido un caso de éxito del cual se tiene resultados.

ESTUDIO DEL CASO DE GESTIÓN ÁGIL BASADA EN EL VALOR

Descripción:

El proyecto se desarrolla en una planta láctea, en sus instalaciones de Tratamiento de Aguas Residuales. Como toda industria, la organización debía cumplir con los parámetros normativos de descarga establecidos para el vertimiento al alcantarillado público.

Años atrás, la operación de la PTAR había funcionado de modo tercerizado; sin embargo, en 2024 se inició un análisis exhaustivo de los consumos operativos, los procesos internos y las condiciones de los equipos instalados. Como resultado de este estudio, se evaluaron distintos proveedores y se decidió internalizar la operación de la planta, buscando un mayor control técnico, operativo y económico.

Luego de recompilar datos, se tomó la decisión de cambiar el modo de servicio pasando de la tercerización a una operación propia de la planta, para ello, inicialmente, el proyecto fue concebido bajo una metodología en cascada, planteando una implementación progresiva de equipos con el objetivo de ahorrar 90 000 USD anuales, mediante una inversión de 50 000 USD, y manteniendo el cumplimiento normativo vigente.

Se evidenció la necesidad de atender varios puntos críticos en paralelo, lo que motivó un cambio hacia un enfoque de gestión ágil, que permitiera flexibilidad, priorización y adaptabilidad frente a los hallazgos del proceso. Sin embargo, una vez arrancado el proyecto, salió a la luz varios problemas estructurales y operativos que impedían seguir una secuencia lineal. Se evidenció la necesidad de atender varios puntos críticos en paralelo, lo que motivó un cambio hacia un enfoque de gestión ágil, que permitiera flexibilidad, priorización y adaptabilidad frente a los hallazgos del proceso.

En ese sentido, los objetivos cambiaron y fueron:

- Garantizar el cumplimiento normativo en la descarga de aguas residuales.
- Optimizar los procesos operativos de la PTAR mediante acciones iterativas y de rápida implementación.
- Reducir costos operativos, priorizando intervenciones con mayor retorno económico y ambiental.

Debido a la complejidad de los problemas encontrados, la inversión total se ajustó a 360.000 USD, y tuvo que dividirse en fases de ejecución. La primera fase, con un

presupuesto de 130.000 USD, se estructuró en subactividades priorizadas según su impacto y beneficio esperado.

El cambio de metodología permitió gestionar múltiples frentes simultáneamente, aplicando ciclos cortos de planificación, implementación y evaluación de resultados. Cada mejora se trató como una iteración independiente, con entregables funcionales y medibles, lo que posibilitó ajustar el rumbo del proyecto en tiempo real y maximizar el valor entregado en cada fase.

La primera fase del proyecto inició en septiembre de 2025 y tenía como fecha estimada de finalización Febrero de 2026. Gracias al enfoque ágil y al trabajo iterativo, se lograron avances medibles desde los primeros meses:

- A los dos meses de ejecución, se evidenciaron ahorros del 48% gracias a la optimización en el uso de productos químicos.
- Se mejoraron los indicadores de cumplimiento ambiental, obteniendo valores de descarga inferiores a los alcanzados por la empresa tercerizada.
- El enfoque incremental permitió la culminación anticipada del proyecto en enero de 2026, un mes antes del plazo previsto.
- Tras tres meses de ejecución, los ahorros acumulados ascendieron a 52.000 USD

Evaluación de calidad, tiempo y satisfacción del cliente:

- **Calidad:** Se logró reducir el valor de parámetros Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos que quedaron dentro de los límites normativos exigidos.
- **Tiempo:** La aplicación de la gestión ágil permitió acortar la duración total del proyecto, gracias a la priorización continua y la toma de decisiones oportuna.
- **Satisfacción del cliente interno:** La Gerencia General expresó satisfacción por la reducción de costos y la mejora en la sostenibilidad del proceso.

Comparación y Contraste

- Análisis comparativo de los dos enfoques en términos de calidad, tiempo y satisfacción del cliente.
- Identificación de similitudes y diferencias en la implementación y los resultados.

CAPITULO 2

PLANIFICACIÓN INICIAL DE PROYECTO OPTIMIZACIÓN DE PTAR

Objetivos del Proyecto (SMART)

Los objetivos originales del proyecto fueron redefinidos al adoptar el enfoque ágil. Los estructuramos de la siguiente manera:

I. Cumplimiento de la Normativa vigente en el País:

- **Específico:** Garantizar el cumplimiento normativo en la descarga de aguas residuales, reduciendo los parámetros DBO, DQO y sólidos suspendidos a niveles dentro de los límites exigidos.
- **Medible:** Obtener valores de descarga inferiores a los logrados por la operación tercerizada y mantenerlos consistentemente dentro de la norma.
- **Alcanzable:** Sí, mediante la internalización de la operación y la implementación de mejoras técnicas iterativas.
- **Relevante:** Es crítico para la sostenibilidad ambiental y la legalidad operativa de la planta.
- **Temporal:** El cumplimiento debe ser inmediato y sostenible desde el inicio de la operación interna (Septiembre 2025).

II. Optimización del proceso de tratamiento:

- **Específico:** Optimizar los procesos operativos de la PTAR, enfocándose en la optimización del uso de productos químicos y priorizando intervenciones con el mayor retorno económico y ambiental.
- **Medible:** Lograr ahorros medibles mayores o iguales a 40% a partir de los primeros 2 meses de ejecución.
- **Alcanzable:** Sí, mediante ciclos cortos de implementación y evaluación de mejoras.
- **Relevante:** La optimización reduce costos directos y mejora la eficiencia, lo que justifica la inversión y el cambio de modelo operativo.
- **Temporal:** Hito mayores o iguales a 40% en reducción de costo a los dos meses (Noviembre 2025).

Datos Clave

- **Datos Necesarios:** Para la ejecución y el seguimiento ágil del proyecto, se identificaron los siguientes datos clave:
- **Datos Operativos y financieros:** Consumos operativos actuales (especialmente productos químicos).

- **Datos de Equipos:** Condiciones y estado de los equipos instalados en la PTAR.
- **Datos de Cumplimiento:** Parámetros normativos de descarga (DBO, DQO, sólidos suspendidos) y los valores históricos de la operación tercerizada.

Recopilación y Uso:

Los datos se recopilaban mediante recopilación de datos otorgados por el centro de costo y análisis financiero de la empresa láctea. Durante la ejecución ágil, los datos se utilizaron en ciclos cortos de evaluación para medir el impacto de cada iteración (ej. ahorros a los dos meses), ajustar el rumbo del proyecto en tiempo real y maximizar el valor entregado.

Alcance del Proyecto Dentro del Alcance:

- Internalización completa de la operación de la PTAR, asumiendo el control técnico y operativo.
- Ejecución de la Fase 1 del proyecto con un presupuesto de 130.000 USD.
- Implementación de subactividades priorizadas según su impacto y beneficio (ej. optimización de químicos).
- Gestión y reporte de los indicadores de cumplimiento ambiental (DBO, DQO, sólidos).

Fuera del Alcance:

- El proyecto tiene una inversión total de 360.000 USD, pero por temas económicos se dividieron por fases. En este caso, solo la Fase 1 de 130.000 USD está en el alcance de esta planificación inicial.

Entregables Principales:

- PTAR operando bajo control interno de la empresa.
- Reporte de ahorros mes a mes.
- Reportes de cumplimiento ambiental con parámetros dentro de la normativa vigente.
- Informes en caso de desvíos.

Metodología de Gestión de Proyectos

La metodología seleccionada es la **Gestión Ágil Basada en el Valor**.

Aunque el proyecto se concibió inicialmente en Cascada, se pivotó a un enfoque Ágil debido a la aparición de problemas estructurales y operativos que impedían seguir una secuencia lineal.

Este enfoque ágil fue seleccionado porque permitía:

- **Flexibilidad y Adaptabilidad:** Para manejar los hallazgos e imprevistos del proceso.
- **Priorización:** Enfocarse en intervenciones con mayor retorno económico y ambiental.
- **Gestión Simultánea:** Atender varios puntos críticos en paralelo en lugar de una secuencia lineal.
- **Entrega de Valor Temprana:** Aplicar ciclos cortos de planificación, implementación y evaluación, tratando cada mejora como una iteración independiente, lo que permitió evidenciar ahorros desde los primeros meses.

Cronograma Inicial

El cronograma se centra en la Fase 1 del proyecto.

- **Inicio del Proyecto:** Septiembre 2025.
- **Hito 1 (2 meses):** Noviembre 2025 - Evidenciar los primeros ahorros y mejorar de indicadores ambientales.
- **Finalización (Planificada):** Febrero 2026 y reporte de culminación del proyecto.

Presupuesto Inicial

- **Presupuesto (Plan Cascada Inicial):** 50 000 USD.
- **Presupuesto (Ajustado a Metodología Ágil):** 400 000 USD (dividido en fases).
- **Presupuesto (Fase 1):** 130 000 USD.
- **Meta de Ahorro (Original):** 90 000 USD anuales.

CAPITULO 3

OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

La optimización de procesos industriales en entornos de alta exigencia regulatoria requiere de una gestión de proyectos estructurada, basada en planificación integral, control iterativo y una clara alineación con los objetivos estratégicos de la organización. En la industria láctea, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) constituye un componente esencial para asegurar la continuidad operacional, el cumplimiento ambiental y la sostenibilidad corporativa.

El análisis desarrollado en el entregable previo se evidenció que, tras la transición de un modelo de operación tercerizado a uno gestionado internamente, la PTAR presentó múltiples limitaciones técnicas y operativas. Entre las problemáticas identificadas destacan fallas estructurales en los equipos existentes, ineficiencias en los sistemas de dosificación química, dificultades para mantener los parámetros normativos (DQO, DBO, SST), costos operativos elevados y un control insuficiente del proceso. Esta situación generó la necesidad de ejecutar un proyecto de modernización profunda que permitiera recuperar la estabilidad operativa y fortalecer la capacidad de tratamiento.

En respuesta a ello, la organización definió el Proyecto de Optimización de Funcionamiento de la PTAR, El proyecto contempla actividades críticas como el análisis de factibilidad, selección de proveedores, adquisición de equipos especializados, mejoras en ingeniería mecánica, eléctrica y química, así como pruebas, arranque y capacitación técnica.

1. Enunciado del Alcance

1.1. Objetivo General

Optimizar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) mediante la modernización integral de su equipamiento mecánico, eléctrico e hidráulico, la optimización de la dosificación química y la implementación de pruebas y comisionado que garanticen eficiencia operativa, cumplimiento normativo y reducción de costos.

1.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de factibilidad técnica y económica del proyecto.
- Seleccionar proveedores mediante una matriz de selección.
- Cambio del sistema actual de deshidratación de lodos por un equipo Prensa

Tornillo.

- Implementar mejoras mecánicas: instalación de flujómetros, by-pass y servicios complementarios.
- Ejecutar mejoras eléctricas: Reorganización del tablero eléctrico, tendido de cableado, instalación de sonda de pH y HMI.
- Realizar pruebas químicas durante toda la intervención para optimizar dosificación y consumo.
- Desarrollar pruebas integrales, arranque del sistema, entrega de documentación.

1.3. Entregables del Proyecto

- Informe de factibilidad técnica.
- Matriz de evaluación de proveedores.
- Contratos firmados y anticipo procesado.
- Prensa Tornillo importada y operando a conformidad.
- Componentes electrónicos e hidráulicos instalados.
- Ingeniería mecánica implementada (flujómetros, by-pass).
- Ingeniería eléctrica ejecutada (tablero, cableado, HMI, sonda pH).
- Pruebas químicas documentadas.
- Prueba final de lazo de control de pH a satisfacción.
- Documentación técnica del sistema entregada.

1.4. Exclusiones

- No incluye rediseño total de infraestructura de la PTAR.
- No contempla automatización completa de la planta.
- No se intervienen otras líneas industriales diferentes a tratamiento.
- No incluye costos operativos posteriores al cierre.

1.5. Restricciones

- Presupuesto limitado a 130.000 USD.
- Cronograma definido (abril–octubre 2025).
- Dependencia de proveedores especializados e importaciones.
- Operación de la PTAR debemantenerse activa durante la obra.

1.6. Supuestos Validados

- Disponibilidad temprana de equipos importados.
- Condiciones operativas adecuadas para pruebas.
- Capacidad del personal interno para recibir capacitación técnica.

1.7. Stakeholders Clave

- Gerencia General
- Asesores ambientales
- Departamento de Mantenimiento
- Proveedores especializados
- Departamento de Seguridad y Salud Ocupacional

1.8. Criterios de Aceptación

- Parámetros normativos dentro de límites exigidos.
- Reducción de costos en el tratamiento de agua residual.
- Funcionamiento adecuado y continuo del Prensa Tornillo.
- Componentes mecánicos y eléctricos operativos sin fallas.
- Prueba del lazo de control de pH a conformidad.
- Documentación entregadas y aprobadas.

2. Descomposición del Trabajo (WBS)

1. Inicio del Proyecto

- 1.1 Análisis de factibilidad
- 1.2 Reunión con proveedores
- 1.3 Recepción de cotizaciones
- 1.4 Evaluación de propuestas
- 1.5 Aprobación y firma de contratos
- 1.6 Pago de anticipo

2. Adquisiciones

- 2.1. Importación de Prensa Tornillo
- 2.2. Adquisición de componentes electrónicos
- 2.3. Compra de accesorios hidráulicos
- 2.4. Logística y recepción de equipos

3. Ingeniería Mecánica

- 3.1. Dosificación de ácido en línea
- 3.2. Montaje de flujómetros

- 3.3. Delimitación de espacio y flujo
- 3.4. Instalación de by-pass y difusores
- 3.5. Montaje de servicios para Prensa Tornillo
- 3.6. Desmontaje de tubería hidráulica del Filtro Prensa
- 3.7. Instalación mecánica de la Prensa Tornillo

4. Ingeniería Eléctrica

- 4.1. Reorganización del tablero eléctrico
- 4.2. Tendido de cableado y canaletas
- 4.3. Desmontaje y reconexión eléctrica del Filtro Prensa
- 4.4. Instalación de sonda de pH
- 4.5. Instalación del HMI para verificación del proceso

5. Ingeniería Química

- 5.1. Pruebas de concentración de químicos
- 5.2. Pruebas de dosificación y ajustes operativos

6. Pruebas, Arranque y Cierre

- 6.1. Pruebas mecánicas, eléctricas e hidráulicas
- 6.2. Prueba de control de pH
- 6.3. Arranque de la Prensa Tornillo
- 6.4. Entrega de documentos finales
- 6.5. Capacitación técnica
- 6.6. Cierre del proyecto

CRONOGRAMA DEL PROYECTO

A continuación, se explica cada hito y su importancia.

- **Pago de Anticipo a proveedor ganador:** A partir de ahí inicia las inversiones para comprar equipos por parte del proveedor y poder desarrollar el proyecto.
- **Dosificación de ácido en línea:** Marca un paso importante para el proyecto ya que antes se dosificaba directamente en la cisterna. El cambio en el modo de operación ayudó a generar ahorros antes de que se finalice el proyecto.
- **Montaje Flujómetro:** Brinda un dato directo de que caudal ingresa al sistema, con ello se puede calibrar las distintas bombas dosificadoras del proyecto.
- **Instalación mecánica de Prensa Tornillo:** La deshidratación de lodos es un proceso extremadamente importante debido a que, al estar compuesto de materia orgánica, en el lapso de 4 horas en reposo tiende a generar fuerte olor

a descomposición.

- **Instalación y configuración de sonda de pH:** Brinda la toma de datos en tiempo real e intervalo de tiempo configurable con el fin de tener un control adecuado de proceso y no incurrir en sobredosificación de insumos químicos.
- **Pruebas de lazo de control de pH y Prensa Tornillo:** Proceso importante donde se hace seguimiento al equipo durante una semana para determinar si satisface los requerimientos iniciales.

Asignación de Recursos

- Analista de Calidad / Ingeniería Química: Alejandra Salazar
- Desarrollador Electrónico y Software: Ana Ramos
- Instalador Mecánico: Francisco Calderón
- Planos de procesos y documentación: Nicole Pozo
- Gerente de Proyecto: Dennis Gordillo

IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Riesgos Técnicos

- Error al dimensionar el espacio para Prensa Tornillo.
- Error en dimensionar el rango de operación de la sonda de pH.
- Error en dimensionar el rango de operación de Flujómetros.
- Error al dimensionar componentes eléctricos.
- Error al seleccionar el material adecuado para tramos de tubería.

Riesgos Operativos

- Capacitación insuficiente del personal para operar los equipos nuevos.
- Retraso operativo por mal manejo del sistema Prensa Tornillo.
- Errores en la limpieza de maquinaria al final del día.

Riesgos de Cronograma

- Retrasos en importaciones.
- Demora por disponibilidad de proveedores o repuestos.

Riesgos Financieros

- Retraso en pago de anticipos.
- Incremento del costo por re-trabajos o correcciones.
- Necesidad de repuestos no contemplados.

Riesgos de Calidad

- Mala calidad de insumos químicos usados en proceso.
- Mala calidad de materiales implementados en tuberías.

Riesgos de Seguridad Industrial

- Exposición del personal al ácido nítrico.
- Riesgos por carga de insumos pesados.
- Riesgo por ruido de maquinaria.

PLAN DE SEGUIMIENTO Y CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PTAR

Se centrará en la inspección y adaptación constante, que son pilares del enfoque ágil. El progreso se monitoreará en ciclos cortos (iteraciones) para asegurar que el proyecto se ajuste a los hallazgos operativos y maximice el retorno económico y ambiental.

1. Desarrollo del Plan de Monitoreo y Control del Progreso

A. Mecanismos de Seguimiento (Inspección)

- **Reuniones Diarias (Daily Stand-ups):**
 - **Propósito:** Sincronización rápida y detección temprana de impedimentos.
 - **Frecuencia/Duración:** Reunión diaria de 15 minutos.
 - **Contenido:** Cada miembro del equipo responde: ¿Qué haré hoy para ayudar a la iteración?
- **Revisiones de la Iteración (Sprint Reviews):**
 - **Propósito:** Demostrar y validar los entregables funcionales y medibles de la iteración con los *stakeholders* (como la Gerencia General y el área de Calidad).
 - **Frecuencia/Duración:** Al final de cada ciclo de implementación.
 - **Contenido:** Revisión de los resultados obtenidos (ej. ahorros en químicos, mejora en indicadores ambientales).

- **Entregables Clave:** Reporte de ahorros mes a mes y Reportes de cumplimiento ambiental.
- **Tableros Visuales de Tareas (Kanban/Scrum Board):**
 - **Propósito:** Proporcionar una visión transparente y en tiempo real del trabajo en curso, pendiente y completado.
 - **Métricas Monitoreadas:** Flujo de trabajo, cuellos de botella (impedimentos) y tiempo de ciclo de las tareas.

B. Mecanismos de Control (Adaptación)

- **Retrospectivas de la Iteración (Sprint Retrospectives):**
 - **Propósito:** Reflexionar sobre el proceso de la iteración y definir acciones de mejora para el equipo.
 - **Frecuencia/Duración:** Posterior a cada Revisión.
 - **Contenido:** ¿Qué funcionó bien? ¿Qué no funcionó? ¿Qué podemos mejorar en la próxima iteración? (Adaptación del proceso interno).
- **Gestión del Backlog de Producto:**
 - **Propósito:** Priorización continua y ajuste del plan de trabajo de la Fase 1 en función del valor (retorno económico/ambiental) y de los hallazgos operativos.
 - **Control:** Si un problema estructural inesperado surge (como ocurrió al inicio del proyecto), las tareas planificadas pueden ser re-priorizadas para atender el nuevo punto crítico de mayor valor.
- **Gestión de Desviaciones y Riesgos:**
 - **Control:** Uso de los Reportes en caso de desvíos para la toma de decisiones oportuna, como fue el ajuste de la inversión y la división en fases. Si una iteración no logra su hito de ahorro o cumplimiento ambiental, se detiene, se analiza y se adapta el rumbo inmediatamente.

2. Establecimiento de Métricas de Rendimiento y Puntos de Control

El control de un proyecto ágil se basa en la entrega de valor medible, que en este caso son los ahorros y el cumplimiento normativo.

TABLA 1
MÉTRICAS DE RENDIMIENTO (KEY PERFORMANCE INDICATORS - KPIs)

Criterio	Métrica de Rendimiento (KPI)	Objetivo/Meta (Fase 1)	Observaciones
Cumplimiento Normativo (Calidad)	Parámetros de Descarga	Mantener DBO, DQO y Sólidos Suspendidos dentro de los límites normativos exigidos.	Debe ser mantenido consistentemente desde el inicio de la operación interna (Septiembre 2025).
	Indicador de Cumplimiento	Obtener valores de descarga inferiores a los alcanzados por la operación tercerizada.	Mide la mejora de la calidad y sostenibilidad en la PTAR.
Retorno Económico (Valor)	Reducción de Costos Operativos	Lograr ahorros medibles del 60% a partir de los primeros 2 meses de ejecución (Noviembre 2025).	Monitoreado mediante la optimización del uso de productos químicos.

Puntos de Control (Hitos de Valor)

Los puntos de control son momentos específicos donde se evalúa el progreso contra los objetivos para tomar decisiones de adaptación (*pivot*). A continuación, en la siguiente tabla, se muestran los hitos de valor.

TABLA 2
HITOS DE VALOR

Hito	Fecha (Control)	Resultado Esperado (Valor)	Acción de Control
Hito 1: Ahorros Temprano	Noviembre 2025 (2 meses de ejecución)	Evidenciar ahorros mayores o iguales a 40% (por químicos) y mejora en indicadores ambientales.	Decisión: Validar el enfoque actual. Si no se logra, el equipo deberá adaptar inmediatamente la prioridad de las subactividades.
Revisión de Cumplimiento	Mensual	PTAR operando bajo control interno y con parámetros dentro de la normativa vigente.	Control: Si hay desvíos, el equipo prioriza correcciones de alto impacto y reporta inmediatamente a la Gerencia.
Cierre de Fase 1 (Término)	Febrero 2025	Acumular ahorros superando la meta inicial y confirmar cumplimiento normativo sostenible.	Decisión: Evaluar los resultados de la Fase 1 para la planificación e inicio de la Fase 2 (el resto de los \$400,000 USD\$ de inversión).

El Plan de Seguimiento y Control se fundamenta en la inspección continua y la adaptación constante. Herramientas como las retrospectivas y la gestión del backlog permiten ajustar el rumbo del proyecto mediante la adaptación de los procesos internos o re-priorizar tareas cuando surgen problemas estructurales inesperados.

Por otro lado, la complejidad del proyecto radica en las restricciones propias de una PTAR, ya que debe mantenerse operativa durante toda la ejecución de la obra. Esto exige que cada iteración (Sprint) sea planificada con especial cuidado para interrumpir lo menos posible el flujo de agua residual y lodos generados.

CAPITULO 4

BACKLOG DEL PROYECTO

Con el propósito de traducir la planificación estratégica del proyecto en acciones concretas y priorizadas, se estructuró un Backlog del Proyecto que consolida los requisitos identificados en el alcance y los organiza según su nivel de criticidad. Esta herramienta permite visualizar de manera clara las actividades necesarias para la optimización de la PTAR, facilitando la toma de decisiones y la gestión iterativa del trabajo. Para la priorización se utilizó la técnica MoSCoW (Must, Should, Could, Won't), lo que asegura que los esfuerzos del equipo se enfoquen primero en aquellos entregables que generan mayor valor operativo, económico y ambiental.

TABLA 3
BACKLOG DEL PROYECTO

Item	Requisitos	MoSCoW
1.0	INICIO DE PROYECTO	
1.1	Análisis de factibilidad técnica y económica	M
1.2	Reunión con proveedores especializados.	C
1.3	Recepción de cotizaciones y evaluación de las propuestas	S
1.4	Aprobación y firma de contratos	M
1.5	Pago de Anticipo al Proveedor ganador	M
2.0	ADQUISICIONES	
2.1	Importación de Prensa Tornillo.	C
2.2	Adquisición de componentes electrónicos (sonda, HMI, etc.).	C
2.3	Compra de accesorios hidráulicos (flujómetros, by-pass, etc.)	M
2.4	Logística y recepción de equipos importados.	W
3.0	INGENIERÍA MECÁNICA	

3.1	Dosificación de ácido en línea.	M
3.2	Montaje de Flujómetros	M
3.3	Delimitación de espacio y flujo para la Prensa Tornillo.	S
3.4	Instalación de by-pass y difusores	M
3.5	Montaje de servicios para Prensa Tornillo.	C
3.6	Desmontaje de tubería hidráulica del Filtro Prensa.	S
3.7	Instalación mecánica de la Prensa Tornillo.	C
4.0	INGENIERÍA ELECTRICA	
4.1	Reorganización del tablero eléctrico.	S
4.2	Tendido de cableado y canaletas.	S
4.3	Desmontaje y desconexión eléctrica del Filtro Prensa	C
4.4	Instalación y configuración de sonda de pH	S
4.5	Instalación del HMI para verificación del proceso.	S
5.0	INGENIERÍA QUIMICA	
5.1	Pruebas de concentración de químicos en Agua Tratada.	M
5.2	Pruebas de concentración de químicos en Sólidos.	M
5.3	Pruebas de dosificación y ajustes operativos.	M
6.0	PRUEBAS ARRANQUE Y CIERRE	
6.1	Pruebas mecánicas, eléctricas e hidráulicas	S
6.2	Prueba de lazo de control de pH.	M

6.3	Arranque de la Prensa Tornillo.	M
6.4	Entrega de documentos finales y documentación técnica.	W
6.5	Capacitación técnica al personal interno.	M
6.6	Cierre del Proyecto	W

CAPITULO 5

TIPOS DE ROADMAPS PARA EL PROYECTO

Una vez definido el backlog del proyecto y establecida la metodología de gestión ágil basada en el valor, resulta necesario determinar la hoja de ruta más adecuada para organizar y comunicar la ejecución del trabajo. La selección del roadmap no solo influye en la planificación operativa, también influye en la forma en que se visualiza el avance, se gestionan las dependencias técnicas y se comunica el valor entregado a los stakeholders.

Para determinar el roadmap más adecuado para el proyecto de Optimización de la PTAR, partimos de dos elementos clave:

1. La estructura del proyecto y su backlog, donde las actividades están organizadas por fases y áreas técnicas (Inicio, Adquisiciones, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Química, Pruebas, Arranque y Cierre), priorizadas con la técnica MoSCoW.
2. Los tipos de roadmap elegidos son especialmente aquellos asociados a marcos de trabajo ágiles como Scrum y Kanban.

A partir de esto, se identifican los siguientes roadmaps candidatos:

A) Kanban Roadmap (roadmap basado en flujo de trabajo)

Este tipo de roadmap representa el trabajo como un flujo continuo en columnas (por ejemplo: “Pendiente”, “En curso”, “En pruebas”, “Completado”). Es afín a entornos ágiles como una forma de roadmap alineada con el framework Kanban.

Por qué podría aplicar al proyecto:

- El proyecto dispone de un backlog detallado, con tareas técnicas (mecánicas, eléctricas, químicas, de adquisiciones y pruebas) que podrían visualizarse en un tablero de avance.
- La priorización MoSCoW facilita decidir qué tareas entran primero al flujo (Must, Should, Could, Won't).

Limitación principal:

Aunque es útil para gestionar el flujo diario de trabajo y detectar cuellos de botella, no comunica de forma tan clara los incrementos de valor por iteraciones ni la estructura por sprints que requiere un proyecto que se está abordando bajo el enfoque de Dirección Ágil de Proyectos.

B) Goal-Oriented Roadmap (roadmap orientado a objetivos)

Este tipo de roadmap se centra en objetivos de negocio o de producto, y las iniciativas se organizan alrededor de esos objetivos en lugar de solo listar tareas o funcionalidades.

Por qué podría aplicar:

- En el proyecto pueden identificarse objetivos claros, como por ejemplo:
 - Optimizar la gestión de lodos mediante la instalación de la Prensa Tornillo.
 - Asegurar el control de calidad del agua y sólidos mediante pruebas químicas.
 - Garantizar la operatividad de la PTAR a través de pruebas mecánicas, eléctricas e hidráulicas.

Limitación principal:

Es muy útil para un nivel estratégico alto, pero resulta poco granular para coordinar un conjunto de actividades técnicas tan interdependientes (montajes, cableados, configuraciones, pruebas, arranques), donde es fundamental ver con claridad qué se hace en cada ciclo de trabajo y en qué orden.

C) Scrum / Sprint Roadmap (roadmap basado en sprints)

Dentro de los roadmaps ágiles, se distingue explícitamente los Scrum roadmaps, en los cuales el plan se organiza en sprints, mostrando qué entregables se abordan en cada iteración.

Este tipo de roadmap es especialmente relevante para nuestro proyecto porque:

- El proyecto ya cuenta con un backlog estructurado y priorizado (MoSCoW), que es precisamente el insumo típico que se usa para poblar los sprints en Scrum.
- Las actividades están agrupadas por dominio técnico (Adquisiciones, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Química, Pruebas y Arranque), lo que facilita agruparlas por iteraciones incrementales.

Elección para este proyecto

Consideramos que la hoja de ruta basada en el framework Scrum es la opción más adecuada para nuestro proyecto, ya que nos permite organizar y priorizar las actividades de manera secuencial, facilitando la coordinación entre las áreas mecánica, eléctrica y química. Esta estructura nos ayuda a gestionar de forma eficiente las dependencias entre tareas y a mantener un control claro sobre el avance de cada fase del proyecto.

El principal beneficio de adoptar este enfoque es la capacidad de adaptación que ofrece frente a posibles cambios o imprevistos, como retrasos en adquisiciones, ajustes técnicos o variaciones en tiempos de instalación. Además, al trabajar con entregas parciales y

revisiones continuas, podemos identificar desviaciones tempranas y aplicar correcciones de manera oportuna. En conjunto, consideramos que esta hoja de ruta nos brinda un desarrollo más ordenado, flexible y orientado a asegurar la calidad en cada etapa del proyecto.

PARTE II

CAPITULO 1

MAPA DE PRODUCTOS MÍNIMOS VIABLES

Con el fin de priorizar de manera más objetiva los entregables del proyecto y estructurar las iteraciones bajo un enfoque incremental, se desarrolló el presente Mapa de Productos Mínimos Viables (MVP). A diferencia del backlog general, esta matriz incorpora una ponderación cuantitativa que permite identificar el impacto relativo de cada requisito dentro del conjunto total del proyecto. A continuación, se presenta la tabla correspondiente

TABLA 4

MAPA DE PRODUCTOS MÍNIMOS VIABLES

Item	Requisitos	MoSCoW	Pesos
1.0	INICIO DE PROYECTO		
1.1	Análisis de factibilidad técnica y económica	M	3
1.2	Reunión con proveedores especializados.	C	2
1.3	Recepción de cotizaciones y evaluación de las propuestas	S	2
1.4	Aprobación y firma de contratos	M	5
1.5	Pago de Anticipo al Proveedor ganador	M	3
2.0	ADQUISICIONES		
2.1	Importación de Prensa Tornillo.	C	3
2.2	Adquisición de componentes electrónicos (sonda, HMI, etc.).	C	2
2.3	Compra de accesorios hidráulicos (flujómetros, by-pass, etc.)	M	3
2.4	Logística y recepción de equipos importados.	W	1

3.0	INGENIERÍA MECÁNICA		
3.1	Dosificación de ácido en línea.	M	5
3.2	Montaje de Flujómetros	M	4
3.3	Delimitación de espacio y flujo para la Prensa Tornillo.	S	2
3.4	Instalación de by-pass y difusores	M	4
3.5	Montaje de servicios para Prensa Tornillo.	C	3
3.6	Desmontaje de tubería hidráulica del Filtro Prensa.	S	2
3.7	Instalación mecánica de la Prensa Tornillo.	C	2
4.0	INGENIERÍA ELECTRICA		
4.1	Reorganización del tablero eléctrico.	S	2
4.2	Tendido de cableado y canaletas.	S	2
4.3	Desmontaje y desconexión eléctrica del Filtro Prensa	C	2
4.4	Instalación y configuración de sonda de pH	S	3
4.5	Instalación del HMI para verificación del proceso.	S	2
5.0	INGENIERÍA QUIMICA		
5.1	Pruebas de concentración de químicos en Agua Tratada.	M	5
5.2	Pruebas de concentración de químicos en Sólidos.	M	5
5.3	Pruebas de dosificación y ajustes operativos.	M	5
6.0	PRUEBAS ARRANQUE Y CIERRE		
6.1	Pruebas mecánicas, eléctricas e hidráulicas	S	3

6.2	Prueba de lazo de control de pH.	M	4
6.3	Arranque de la Prensa Tornillo.	M	5
6.4	Entrega de documentos finales y documentación técnica.	W	1
6.5	Capacitación técnica al personal interno.	M	5
6.6	Cierre del Proyecto	W	1
TOTAL			91

Tabla 5
Mapa de Productos Mínimos Viables

IT1	IT2	IT3	IT4	IT5
20	20	20	20	20
18	19	19	17	18
Analisis de factibilidad	Dosificación de ácido	Pruebas de dosificación	Servicio Prensa Tornillo	Arranque Prensa Tornillo
Reunión con proveedores	Montaje de Flujómetros	Pruebas de químico en solido	Compra componentes electrónicos	Reorganización del tablero
Recepción de cotizaciones	Instalación de by-pass	Instalación sonda pH	Importación de Prensa Tornillo.	Tendido de cableado
Firma de contratos	Pruebas de químico en agua	Prueba de control pH	Desmontaje Mecánico Filtro Prensa	Instalación del HMI
Pago de Anticipo	Logística de equipo importado	Delimitación Prensa Tornillo	Desconexión Filtro Prensa	Entrega de documentos finales
Compra de accesorios			Instalación Prensa Tornillo	Capacitación técnica
			Prueba Mecánicas y Eléctricas	Cierre del Proyecto

CAPITULO 2

DEFINICIÓN DE HECHO SEGÚN EL MAPA DE PRODUCTOS MINIMOS VIABLES

Con el fin de garantizar que cada iteración entregue resultados completos, verificables y alineados con los criterios de calidad definidos, se estableció la Definición de Hecho (Definition of Done) para los elementos priorizados en el Mapa de Productos Mínimos Viables. A continuación, se presenta el detalle de la iteración y su estructura de horas estimadas:

TABLA 6

DEFINICIÓN DE HECHO SEGÚN EL MAPA DE PRODUCTOS MÍNIMOS VIABLES

IT 1 PESO: 18						Horas [h]		382			
Analisis de factibilidad	127	Reunión con proveedores	46	Recepción de cotizaciones	92	Firma de contratos	53	Pago de Anticipo	8	Compra de accesorios	56
Datos	88	Datos	4	Datos	18	Datos	3	Datos	2	Datos	4
Criterio de aceptación	6	Criterio de aceptación	3	Criterio de aceptación	3	Criterio de aceptación	2	Interacción con el usuario	2	Criterio de aceptación	4
Consultas	6	Consultas	5	Consultas	6	Interacción con el usuario	2	Documentos	2	Consultas	8
Formulas	3	Interacción con el usuario	3	Documentos	40	Documentos	4	Informe	2	Interacción con el usuario	3
Interacción con el usuario	3	Funcionalidad	24	Funcionalidad	18	Seguridad Jurídica	40			Documentos	8
Documentos	8	Seguridad	3	Seguridad	3	Informe	2			Funcionalidad	24
Rendimiento	3	Informe	4	Informe	4					Seguridad	3
Funcionalidad	3									Informe	2
Seguridad	3										
Informe	4										

En base al trabajo realizado en la sesión síncrona y conociendo que las interacciones planteadas para el proyecto tienen similitud en los pesos del roadmap, se determinó que una de ellas tiene la duración de **382 horas**. Como se puede ver en el cuadro las tareas que generan más horas son:

- La obtención de Datos para el requisito de Análisis de factibilidad debido a que se obtienen a partir de muestras realizadas en laboratorio y esos estudios tardan algunos días.
- Documentos en el requisito de Recepción de cotizaciones debido a que por lo general se reciben 3 cotizaciones para hacer una licitación donde interviene una fuerte cantidad de dinero.
- Seguridad Jurídica en el requisito de Firma de contratos, ya que el despacho jurídico que lo revisa suele hacerlo a fondo para que no haya vacíos en el contrato del proyecto.

Las tareas fueron planificadas para ser ejecutadas por las cinco personas que conforman el equipo de trabajo. Al tratarse de un equipo multidisciplinario, la participación y la integración de conocimientos técnicos diversos resultan fundamentales para garantizar la calidad de los entregables y el éxito del proyecto. Bajo esta estructura colaborativa, se definieron 5 iteraciones con una duración total estimada de 5 meses, periodo en el cual se contempla alcanzar la fase de cierre y entrega formal del proyecto.

CAPITULO 3

TABLERO KANBAN

EN EL ANEXO 1 SE ENCUENTRA EL TABLERO KANBAN.

CAPITULO 4

REPORTES PARA IMPLEMENTAR EN EL PROYECTO

Basado en los conceptos de los reportes de seguimiento Burndown y Burnup, se ha decidido combinar ambos y emplearlos tanto a nivel de proyecto como a nivel de iteración.

En primer lugar, se ha optado por implementar **Burndown** a nivel de iteraciones o *sprints*, ya que permite al equipo de trabajo visualizar cuánto esfuerzo resta por completar dentro de un periodo de tiempo determinado. Este reporte facilita responder preguntas como: ¿vamos a terminar el trabajo comprometido a tiempo? y ¿estamos adelantados o atrasados respecto al plan del sprint? Entre sus principales ventajas se encuentra la posibilidad de reaccionar de forma temprana y correctiva en caso de que una iteración presente estancamientos o desviaciones.

Sin embargo, una de las principales limitaciones de **Burndown** es que no permite visualizar los cambios en el alcance ni el valor entregado, ya que únicamente refleja el trabajo pendiente. Por esta razón, se ha decidido complementar su uso con un Burnup a nivel de proyecto. Este reporte permite responder preguntas estratégicas como: ¿cuánto valor se ha entregado hasta el momento? y ¿el alcance del proyecto ha sufrido modificaciones? Una de sus principales ventajas es que facilita la elaboración de pronósticos sobre el comportamiento del proyecto, lo que permite anticipar desviaciones y corregir el rumbo en caso de errores en la ejecución.

La implementación conjunta de ambos reportes permite ejercer un control operativo efectivo a nivel de iteración y, al mismo tiempo, un control estratégico a nivel de proyecto, favoreciendo una ejecución más comunicativa y alineada con los objetivos del proyecto.

Debido a la naturaleza del proyecto, se ha considerado la implementación de distintos reportes de seguimiento a lo largo de sus diferentes fases, con el objetivo de asegurar una gestión efectiva y una adecuada comunicación con los stakeholders y el usuario final que, en este caso es Gerencia General:

1. **Reporte de progreso o planificación:** Considerando que el usuario final no cuenta con formación técnica, se ha definido el roadmap del Proyecto como la herramienta principal de seguimiento. Este reporte es útil para comunicar de

forma clara y visual los principales hitos del proyecto, tales como la instalación de equipos, la ejecución de pruebas y el arranque del sistema.

2. **Reporte de flujo:** Con el fin de visualizar oportunamente la aparición de cuellos de botella y monitorear el flujo real del trabajo en un entorno complejo, donde múltiples disciplinas operan en paralelo y la planta debe mantenerse en funcionamiento continuo, se ha decidido implementar el Cumulative Flow Diagram (CFD). Este reporte permite identificar acumulaciones de trabajo, controlar el trabajo en curso y apoyar la toma de decisiones operativas.
3. **Reporte de Valor:** Se planea implementar KPI Dashboard donde se tenga parámetros como “% cumplimiento normativo”, “ahorro mensual en químicos y operación”. Este enfoque permite alinear la ejecución del proyecto con los objetivos económicos y ambientales definidos.

CAPITULO 5

ACTIVIDADES GAMIFICADAS Y RADIADORES

La retrospectiva no solo serviría como espacio reflexivo, sino como herramienta de mejora continua estructurada, incorporando dinámicas gamificadas que permitan visibilizar cuellos de botella, optimizar estimaciones de carga horaria y fortalecer la coordinación de todo el equipo. Por ello sea escogido las siguientes actividades:

1. **Semáforo de Funcionamiento:** Se planea ilustrar un semáforo con sus 3 zonas características: Verde para denotar que algo funcionó bien, Amarillo para denotar alertas y Rojo para representar los problemas críticos. Durante la actividad cada miembro del equipo colocará post-its relacionadas con el flujo de trabajo, la calidad técnica de los entregables y el cumplimiento de las horas planificadas. Esta dinámica busca fomentar la comunicación abierta, facilitar la identificación temprana de cuellos de botella, retrasos documentales o problemas técnicos, y promover acciones correctivas oportunas.
2. **Pausas Activas:** Las pausas activas se implementan como una estrategia para contrarrestar la fatiga física y mental. Se ha comprobado que, al incorporar estas pausas, se reduce la tensión muscular, se mejora la concentración y se incrementa la motivación del equipo. Además, al incluir momentos de gratitud y conexión entre compañeros, se refuerza el ambiente colaborativo, creando un espacio de trabajo más saludable y equilibrado.
 - a. Instructores y Responsables: Se asignará un responsable por cada grupo (uno para operativos y uno para oficina) o se utilizarán videos pregrabados.
 - b. Pausas de Operativos: Cada 60 minutos de trabajo, los operativos harán una pausa guiada de 5 minutos. Las actividades serán:
 - i. Estiramiento de cuello: inclinar cabeza adelante, lateral y rotación (1 minuto)
 - ii. Estiramiento de espalda: de pie, manos en cadera, girar torso lentamente (1 minuto).
 - iii. Caminata breve: recorrer 2 minutos en el área asignada.
 - iv. Respiración profunda: inhalar 4 segundos, exhalar 4 segundos, repetir (1 minuto).
 - v. Las pausas serán a la hora en punto o al finalizar cada bloque de 60 minutos. El responsable verificará el cumplimiento con recordatorios.
 - c. Pausas de Oficina: A las 11:30 y a las 14:30, se detendrá el trabajo. La pausa constará de:

- i. Caminata de 3 minutos por los pasillos.
- ii. Estiramiento de hombros: cruzar brazos al frente, rotar hombros (2 minutos).
- iii. Ejercicio de respiración: inhalar/exhalar guiados, visualización positiva (5 minutos).
- iv. Las pausas serán lideradas por el responsable de oficina o mediante un video proyectado en una pantalla compartida. Se colocarán recordatorios en la agenda compartida para que todos sepan el horario.

- d. Evaluación: Se hará un seguimiento semanal de la participación y se recogerán comentarios del equipo. Ajustes se harán según necesidades.

Con la implementación de estas pausas, buscamos un incremento del 15% en la percepción de bienestar de los colaboradores, una reducción de las pausas no programadas por malestar y un aumento en la productividad, ya que las pausas estratégicas permiten mantener la energía y reducir errores. En el largo plazo, esperamos un ambiente de trabajo más positivo, con mejor comunicación y un equipo más motivado y comprometido con los objetivos del proyecto.

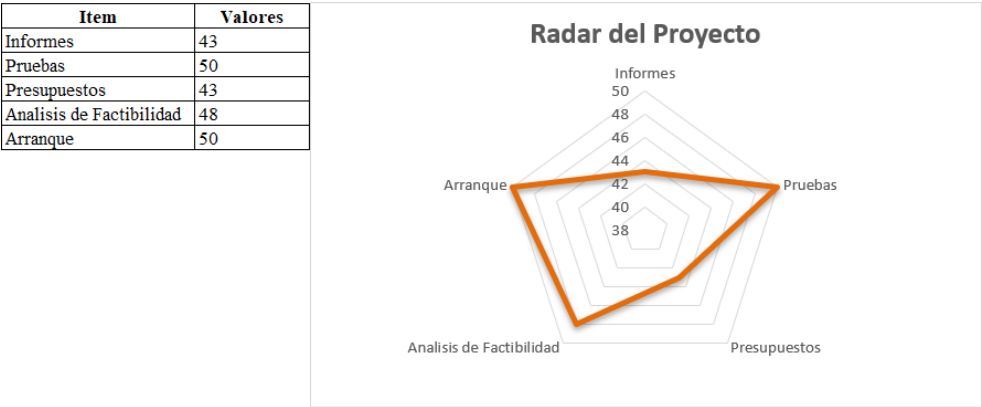
- 3. **Categorizar el impacto de un sprint:** En esta dinámica, cada integrante dispondrá de tres votos para asignarlos a las siguientes categorías: mejor decisión técnica del sprint, mayor desperdicio identificado y acción que debería repetirse o mejorarse. La actividad requiere una actitud abierta a la retroalimentación y respeto mutuo, promoviendo la priorización colectiva y evitando discusiones improductivas. De esta manera, se fortalece la toma de decisiones basada en consenso y aprendizaje compartido.

Por otro lado, Como equipo, se ha decidido implementar 3 radiadores, los mismos que se describen a continuación:

1. Radar

ILUSTRACIÓN 1.

RADAR DEL PROYECTO TOMANDO EN CUENTA LOS ITEMS MÁS IMPORTANTES



El radar mostrado en la imagen anterior permitirá al equipo visualizar balance entre áreas, desviaciones, áreas críticas, distribución de desempeño y con ello se podrá ver desequilibrios de avance, comparar las iteraciones y aprender de los errores cometidos.

2. Plan de mejora accionable a corto plazo

ILUSTRACIÓN 2.

PLAN DE MEJORA DE PRESUPUESTO

Presupuesto

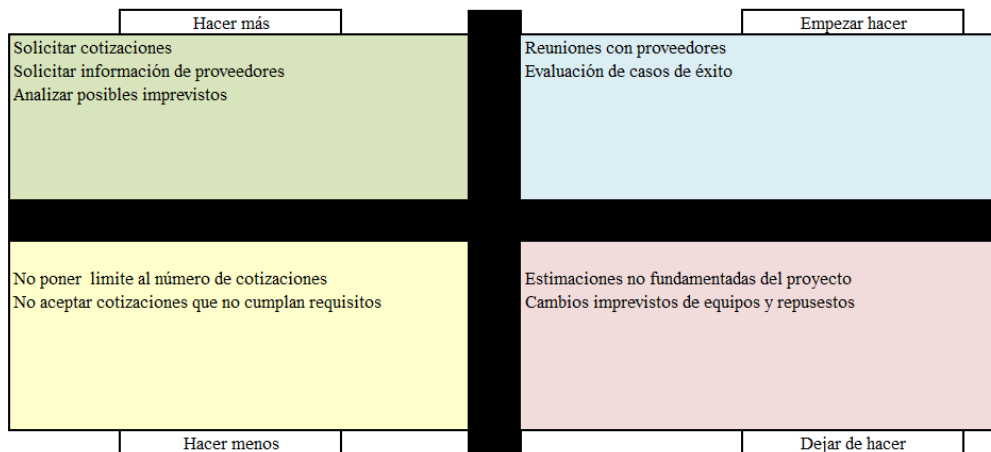


ILUSTRACIÓN 3.

PLAN DE MEJORA DE INFORMES

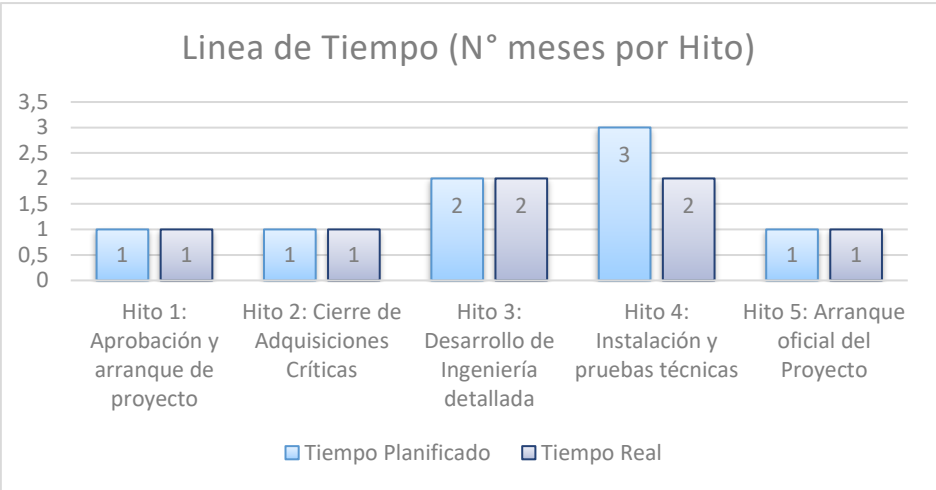
Informes



Debido a que en el proyecto puede haber alta interacción con proveedores, gestión documental, riesgo de sobrecostos y dependencias externas se ha decidido emplear el radiador “Plan de mejora accionable a corto plazo”, esta herramienta nos permitirá: tomar decisiones rápidas, ajustar prácticas sin rediseñar el plan completo, corregir desviaciones en presupuesto y estandarizar reportes.

3. Línea de tiempo

ILUSTRACIÓN 4.
LÍNEA DE TIEMPO EN DIAGRAMA DE BARRAS QUE REPRESENTA EN NÚMERO DE MESES PLANIFICADOS VS LOS REALES POR HITOS DEL PROYECTO



Se implementa un gráfico comparativo entre tiempo planificado y tiempo real por hito, permitiendo visualizar desviaciones temporales y evaluar el desempeño de cada iteración. El uso de meses como unidad de medida responde a la naturaleza estratégica de los hitos definidos, sin embargo, el detalle operativo y técnico de cada fase se encuentra desarrollado en el roadmap del proyecto y en el mapa de Producto Mínimo Viable, donde se desglosan las actividades específicas, criterios de aceptación y entregables asociados a cada iteración.

CONCLUSIONES Y APLICACIONES

1. El proyecto demostró que la implementación de la metodología ágil en entornos industriales complejos es altamente efectiva para gestionar problemas estructurales y operativos. La flexibilidad y adaptabilidad del enfoque ágil permitieron maximizar el valor entregado, optimizar recursos y garantizar el cumplimiento normativo. Además, se evidenció que la colaboración multidisciplinaria y el uso de herramientas como roadmaps, tableros Kanban y reportes de seguimiento (Burndown y Burnup) son esenciales para el éxito de proyectos de esta naturaleza. La adopción de la gestión ágil permitió manejar problemas estructurales imprevistos que habrían paralizado un enfoque tradicional de cascada. La priorización mediante el Backlog y la técnica MoSCoW aseguró que las intervenciones mecánicas y químicas generaran valor financiero desde el primer trimestre.
2. El proyecto de optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) demuestra que la aplicación de enfoques de dirección ágil de proyectos en entornos operativos e industriales permite mejorar significativamente la eficiencia, sostenibilidad y el desempeño organizacional, mediante la identificación de brechas en los procesos, la implementación de mejoras técnicas y la incorporación de metodologías ágiles para la gestión y seguimiento, lo que fortaleció la capacidad operativa de la planta, redujo ineficiencias y optimizó el uso de recursos además, la integración de prácticas ágiles facilitó una mayor adaptabilidad ante cambios regulatorios y técnicos, promoviendo la toma de decisiones basada en datos y la mejora continua, generando un impacto positivo tanto en los indicadores ambientales y financieros como en el cumplimiento normativo y la responsabilidad social empresarial.
3. El desarrollo del proyecto Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) representó un desafío técnico y organizacional muy importante. La complejidad del proyecto radicó no solo en la naturaleza operativa de la planta, sino también, en la necesidad de adaptar la gestión a un entorno dinámico y de alta criticidad. Bajo un enfoque tradicional, estas condiciones habrían incrementado considerablemente los riesgos y tiempos de ejecución. Se considera la implementación de metodologías ágiles, como el Design Sprint, el cual permitió estructurar soluciones en ciclos cortos de validación, destacando el rediseño del sistema de dosificación de químicos como un caso representativo de mejora efectiva. Este desarrollo evidenció que la combinación de análisis técnico, experimentación controlada y toma de decisiones iterativa puede generar resultados medibles sin comprometer la continuidad operativa.

4. La implementación de una Gestión Ágil Basada en el Valor en la PTAR de esta industria láctea demostró ser una decisión estratégica superior al enfoque tradicional en cascada. El proyecto no solo garantizó el cumplimiento normativo ambiental (DBO, DQO y SST), sino que generó una eficiencia financiera notable con una reducción del 48% en costos operativos y ahorros de USD 52.000 en apenas tres meses.

Las claves del éxito radicarón en la modernización técnica, la internalización operativa y el uso de herramientas como Kanban y priorización MoSCoW, permitiendo una entrega de valor temprana y la finalización anticipada del proyecto. En conclusión, la flexibilidad metodológica permitió adaptar el proyecto ante incertidumbres técnicas, fortaleciendo la sostenibilidad organizacional y demostrando que la agilidad es altamente efectiva en entornos industriales regulados y de alta complejidad.

5. El desarrollo del proyecto de optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales evidenció que la integración de la Dirección Ágil de Proyectos en entornos industriales complejos permite gestionar de manera efectiva la incertidumbre, priorizar intervenciones de alto impacto y generar valor progresivo sin comprometer la operación crítica del sistema. La aplicación de herramientas ágiles como backlog priorizado, iteraciones incrementales, métricas de desempeño y mecanismos de inspección y adaptación fortaleció la toma de decisiones basada en datos, la coordinación multidisciplinaria y el control del proyecto, traducándose en mejoras operativas, económicas y de cumplimiento normativo. Estos resultados demuestran que la agilidad no solo optimiza la ejecución técnica, sino que constituye un modelo replicable en otros contextos profesionales donde existan múltiples variables y restricciones, como proyectos de ingeniería, construcción o gestión organizacional, aportando flexibilidad estructurada, eficiencia en el uso de recursos y una orientación constante hacia la generación de valor sostenible.

REFERENCIAS

1. Casucian, I. (04 de 2024). Agile vs Waterfall: What's the Difference? Obtenido de TechnologyAdvice.com: <https://technologyadvice.com/blog/project-management/agile-vs-waterfall/>
2. López, J. (2018) Gestión de proyectos ágiles en entornos de incertidumbre. Universitat Oberta de Catalunya.
3. Digital Talent Agency (2018) Metodologías de gestión de proyectos.
4. Abrahamsson, P.; Warsta, J.; Siponen, M.; Ronkainen, J. (2003) New Directions on Agile Methods: A Comparative Analysis. Proceedings 25th International Conference on Software Engineering.
5. Quitian Monroy, J. S., Martínez Padua, J. V., & Castiblanco Jiménez, I. A. (2022). Caracterización y comparación de metodologías ágiles y tradicionales de desarrollo de producto. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 32(2), 9–26. <https://doi.org/10.18359/rcin.5168>
6. Medina, L. (2024). Gestión de proyectos híbridos: Tendencias y desafíos en 2024. PMO Solution. <https://pmosolution.net/2024/05/28/gestion-de-proyectos-hibridos-tendencias-y-desafios-en-2024/>
7. Project Management Institute (PMI). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) - Séptima Edición*. Newtown Square, PA: Project Management Institute. (Estándar global que ahora integra principios ágiles y adaptativos).
8. Sutherland, J., y Sutherland, J. J. (2014). *Scrum: The Art of Doing Twice the Work in Half the Time*. Currency. (Texto fundamental del cocreador de Scrum).
9. Ries, E. (2011). *The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses*. Crown Business.

10. Cohn, M. (2005). *Agile Estimating and Planning*. Prentice Hall.
11. Beck, K., et al. (2001). *Manifiesto for Agile Software Development (Manifiesto Ágil)*. Obtenido de agilemanifesto.org
12. Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *La guía de Scrum: Las reglas del juego*. Scrum.org.
13. Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., ... & Thomas, D. (2001). *Manifiesto for agile software development*.
14. Highsmith, J. (2009). *Agile project management: Creating innovative products*. Addison-Wesley Professional.
15. Cohn, M. (2005). *Agile estimating and planning*. Prentice Hall. (Sustenta tu análisis sobre la reducción de tiempos de ejecución).
16. Larson, E. W., & Gray, C. F. (2021). *Project management: The managerial process* (8va ed.). McGraw-Hill.
17. Serrador, P., & Pinto, J. K. (2015). Does Agile work? — A quantitative analysis of agile project success. *International Journal of Project Management*, 33(5), 1040-1051.
18. Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5ta ed.). McGraw-Hill Education.
19. Vetan, D. (2025). Design sprints in 2025: The questions enterprise teams are really asking. <https://www.designsprint.academy/blog/design-sprints-in-2025-the-questions-enterprise-teams-are-really-asking>
20. Parra Ortega, O. J. (2013). Panorama, 2(6). sistemas de producción tipo kanban: Descripción, componentes, diseño del sistema, y bibliografía relacionada. <https://doi.org/10.15765/pnrm.v2i6.219>
21. Arango Serna, M. D., Campuzano Zapata, L. F., & Zapata Cortes, J. A. (2015). Manufacturing process improvement using the Kanban. *Revista Ingenierías Universidad De Medellín*, 14(27), 221–233. <https://doi.org/10.22395/rium.v14n27a13>

22. Juárez Núñez, H. (2002). Los sistemas just-in-time/Kanban, un paradigma productivo.
23. Arango Serna, M. D., Campuzano Zapata, L. F., & Zapata Cortes, J. A. (2015). *Manufacturing process improvement using the Kanban*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 14(27), 221–233. <https://doi.org/10.22395/rium.v14n27a13>
24. Parra Ortega, O. J. (2013). Sistemas de producción tipo Kanban: descripción, componentes, diseño del sistema y bibliografía relacionada. *Panorama*, 2(6). <https://doi.org/10.15765/pnrm.v2i6.219>
25. Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *La guía de Scrum: Las reglas del juego*. Scrum.org.
26. Cohn, M. (2005). *Agile estimating and planning*. Prentice Hall.
27. Highsmith, J. (2009). *Agile project management: Creating innovative products*. Addison-Wesley Professional.

ANEXO 1. TABLERO KANBAN

Requisito	MIEMBROS DEL EQUIPO / TERCERAS PARTES	TRABAJO PENDIENTE	ACTIVO	DESARROLLO			PRUEBAS			IMPLEMENTACIÓN	COMPLETADO	PRESUPUESTO		ERRORES	OBSERVACIÓN	MEJORAS		
				ACTIVO	COMPLETADO	VERIFICADO	ACTIVO	COMPLETADO	VERIFICADO			ESTIMADO	INCURRIDO			ACTIVO	COMPLETADO	VERIFICADO
Análisis de factibilidad	 	Datos Factibilidad										\$	390,00					
		Criterio de aceptación																
		Consultas																
		Formulas																
		Interacción con el usuario																
		Documentos																
		Informe																
Revisión con proveedores		Datos para Proveedores																
		Criterio de aceptación																
	 	Consultas																
		Interacción con el usuario																
		Funcionalidad																
		Seguridad																
		Informe																
Recepción de cotizaciones	 	Datos Cotizaciones																
		Criterio de aceptación																
	 	Consultas																
	 	Documentos																
		Funcionalidad																
		Seguridad																
		Informe																
Firma de contratos		Datos para contrato																
		Criterio de aceptación																
		Interacción con el usuario																
		Documentos																
	 	Seguridad Jurídica																
		Informe																
Pago de Anticipo	  	Datos para anticipo																
		Interacción con el usuario																
	 	Documentos																
		Informe																
Cargos de accesorios	 	Datos accesorios										\$	4.000,00					
		Criterio de aceptación																
		Consultas																
		Interacción con el usuario																
		Documentos																
		Funcionalidad																
		Seguridad																
		Informe																

PERSONAL	
	FRANCISCO CALDERON - Instalador Mecánico
	ANA RAMOS - Desarrollador Electrónico y Software
	MELISSA SALAZAR - Analista de Calidad / Ingeniería Química
	NICOLE POZO - Planos de procesos y documentación
	DENNIS GORDILLO - Gerente de Proyecto
	PROVEEDORES
	DEPARTAMENTO JURIDICO
	DEPARTAMENTO FINANCIERO
	LABORATORIO EXTERNO