



**UNIVERSIDAD PERUANA  
CAYETANO HEREDIA**

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PREPARADOR DE MEDIOS AUTOMATIZADO  
EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE UNA EMPRESA DE  
ALIMENTOS DEL PERÚ**

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Licenciado en  
Biología

**AUTOR:**

ISAIAS LEONEL CHAVEZ MARINA

**ASESOR:**

WILFREDO ANTONIO GONZALES LOZADA

**LIMA – PERÚ**

**2025**

## **Revisores**

**Revisor 1:** Dra. Cecilia Yanet Alfaro Flores

**Revisor 2:** Dr. Arcadio Ivan Lozada Requena

### DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	CHAVEZ MARINA ISAIAS LEONEL

Pertenecientes al programa de la CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA, autores del trabajo titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN PREPARADOR DE MEDIOS AUTOMATIZADO EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE UNA EMPRESA DE ALIMENTOS DEL PERÚ, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA bajo la modalidad de TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL.

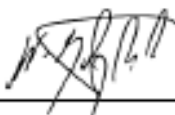
En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	GONZALES LOZADA WILFREDO ANTONIO	FACI	ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de 7%, según el reporte emitido por el software Turnitin® (identificador de entrega: 3340581197; fecha de entrega: 15/09/2025).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: Lima, 15 de septiembre de 2025



Firma del asesor

N° DNI: 07643805

ORCID: 0000-0002-8885-5972

## ÍNDICE

Resumen .....	1
Abstract.....	2
I. Introducción.....	3
II. Problema.....	5
III. Objetivo general.....	5
3.1. Objetivos específicos .....	5
IV. Metodología .....	6
4.1 Diseño del estudio.....	6
4.2 Métodos y herramientas utilizadas.....	6
4.3 Alcance y limitaciones .....	7
V. Resultados.....	8
5.1 Descripción del proceso actual de preparación de medios de cultivo .....	8
5.2 Análisis técnico del equipo RAYPA AE-MP y su aplicabilidad en el laboratorio .	10
5.2.1 Funcionamiento técnico del equipo .....	11
5.2.2 Aplicabilidad en el contexto operativo del laboratorio .....	12
5.2.3 Consideraciones complementarias .....	13
5.3 Comparación del proceso manual vs. automatizado mediante análisis MTM .....	13
5.3.1 Desglose del proceso manual mediante MTM.....	14
5.3.2 Proceso automatizado con el equipo RAYPA AE-MP.....	14
5.3.3 Comparación del tiempo técnico ocupado .....	14

5.4 Evaluación técnico-económica de la propuesta: análisis costo-beneficio y ROI ..15	
5.4.1 Costos del proceso manual actual .....15	
5.4.2 Inversión requerida y costos del equipo AE-MP.....15	
5.4.3 Ahorros económicos proyectados.....16	
5.4.4 ROI y periodo de recuperación (Payback).....16	
5.4.5 Beneficios no monetarios y estratégicos.....16	
VI. Discusión .....17	
6.1 Estandarización del proceso .....20	
6.2 Trazabilidad técnica como herramienta clave para la gestión de calidad .....20	
VII. Conclusiones .....22	
VIII. Recomendaciones .....23	
IX. Referencias .....25	
Anexos.....28	

## **Resumen**

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la viabilidad y el impacto de implementar un sistema automatizado para la preparación de medios de cultivo en el laboratorio de microbiología de una empresa de alimentos del Perú, utilizando el equipo RAYPA AE-MP. Actualmente, este proceso se realiza de forma manual, lo que genera variabilidad, riesgos de contaminación cruzada, carga operativa elevada y tiempos prolongados en la preparación.

La automatización se propone como una solución estratégica que permitirá estandarizar los procesos, mejorar la trazabilidad, optimizar el tiempo de preparación y reforzar las condiciones de asepsia, lo cual es esencial para garantizar la confiabilidad de los ensayos microbiológicos. Para ello, se analiza el funcionamiento técnico del equipo AE-MP, se aplica un análisis de tiempos mediante el método MTM, y se elabora una simulación de retorno de inversión basado en datos técnicos y operativos del laboratorio.

Los resultados esperados incluyen una reducción significativa del tiempo de preparación por lote, una mejora en la reproducibilidad entre lotes, y un entorno más controlado que contribuya al aseguramiento de la calidad analítica. Además, se espera demostrar la pertinencia de esta mejora tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Este trabajo no solo busca proponer una solución concreta para el laboratorio, sino también generar un precedente para la implementación de tecnologías de automatización en laboratorios microbiológicos de la industria alimentaria en el país.

Palabras clave: automatización, microbiología, medios de cultivo, eficiencia operativa, asepsia, control de calidad.

## **Abstract**

The purpose of this study is to evaluate the feasibility and impact of implementing an automated system for preparing culture media in the laboratory, using RAYPA AE-MP equipment. Currently, this process is performed manually, which generates variability, risks of cross-contamination, high operational load, and long preparation times.

Automation is proposed as a strategic solution that will standardize processes, improve traceability, optimize preparation time, and reinforce aseptic conditions, which are essential to ensure the reliability of microbiological tests. To this end, the technical operation of the AE-MP equipment is analyzed, a time analysis using the MTM method is applied, and a return on investment simulation is developed based on the laboratory's technical and operational data.

The expected results include a significant reduction in batch preparation time, improved batch-to-batch reproducibility, and a more controlled environment that contributes to analytical quality assurance. Furthermore, it is hoped to demonstrate the relevance of this improvement from both a technical and economic perspective.

This work not only seeks to propose a concrete solution for the laboratory in Peru, but also to set a precedent for the implementation of automation technologies in microbiological laboratories in the food industry in the country.

Keywords: automation, microbiology, culture media, operational efficiency, asepsis, quality control.

## I. Introducción

La microbiología es una disciplina clave dentro del control de calidad en la industria alimentaria, ya que permite evaluar la inocuidad de los productos mediante la detección, recuento y monitoreo de microorganismos patógenos, indicadores o alterantes [1]. Entre los patógenos más relevantes que se pueden encontrar en alimentos destacan *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* y *Clostridium perfringens*, todos ellos responsables de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos [2]. Asimismo, se monitorean microorganismos indicadores como coliformes totales, *Enterobacteriaceae*, mohos y levaduras, los cuales, si bien no siempre implican un riesgo directo para el consumidor, pueden evidenciar deficiencias en el proceso de producción, manipulación o higiene de las instalaciones [3]. En este contexto, la preparación de medios de cultivo constituye una etapa esencial, pues estos proporcionan el ambiente necesario para el crecimiento y posterior análisis de los microorganismos presentes en muestras alimentarias, ambientales o de superficie.

La adecuada preparación de medios no solo garantiza que los microorganismos se desarrollen bajo condiciones óptimas, sino que también es un factor determinante para la validación de los ensayos microbiológicos [4]. Para asegurar la validez de los resultados, los medios deben prepararse siguiendo estándares estrictos: con proporciones exactas, bajo condiciones asépticas, y asegurando la esterilidad del producto final [5, 6]. Una variación mínima en la concentración de nutrientes, el pH, el tiempo de esterilización o la temperatura de enfriamiento puede afectar significativamente la calidad del medio y, por tanto, el comportamiento del microorganismo en estudio [7].

En industrias de alimentos que producen condimentos, ingredientes funcionales y otros productos alimenticios, los análisis microbiológicos son determinantes para la toma de decisiones en la liberación de productos, el control de procesos y el cumplimiento de normativas sanitarias nacionales e internacionales [6, 8]. Por tanto, la preparación de medios de cultivo no debe considerarse solo como una actividad previa al análisis, sino como un pilar del sistema de aseguramiento de la calidad microbiológica [4, 9]. Cualquier deficiencia en esta etapa puede generar resultados erróneos, reprocesos, bloqueos de lotes e incluso alertas sanitarias si un producto no conforme llega al mercado [10].

El presente trabajo tiene como propósito analizar la viabilidad técnica y económica de implementar el sistema AE-MP en el área de microbiología de un laboratorio de control de calidad de alimentos. Para ello, se realizará un análisis comparativo entre el proceso actual y el automatizado, considerando variables como tiempo, errores de medición, condiciones de asepsia y costos operativos. De este modo, se busca contribuir al fortalecimiento de los procesos microbiológicos en la empresa y demostrar cómo la automatización puede integrarse de manera efectiva en el ámbito del aseguramiento de la calidad alimentario.

## **II. Problema**

El proceso manual de preparación de medios de cultivo en el laboratorio microbiológico de una empresa de alimentos del Perú presenta limitaciones en eficiencia operativa, trazabilidad de parámetros críticos y aseguramiento de la asepsia, lo que puede afectar la confiabilidad de los resultados analíticos y el cumplimiento de estándares de calidad.

## **III. Objetivo general**

Automatizar la preparación de medios de cultivo en el laboratorio microbiológico de una empresa alimentaria peruana mediante el equipo RAYPA AE-MP, con el objetivo de optimizar la eficiencia operativa, estandarizar el proceso y reforzar la trazabilidad de los análisis microbiológicos.

### **3.1. Objetivos específicos**

- Caracterizar el proceso actual de preparación de medios de cultivo y su impacto en la carga operativa del laboratorio.
- Evaluar las características técnicas y el desempeño del equipo RAYPA AE-MP para determinar su adecuación al contexto operativo del laboratorio.
- Comparar, mediante la metodología MTM, los tiempos y recursos requeridos por el proceso manual frente al automatizado.
- Determinar la viabilidad técnico-económica de la automatización mediante un análisis de costo-beneficio y el cálculo del retorno de inversión (ROI).
- Identificar los beneficios en términos de estandarización, trazabilidad y condiciones laborales derivados de la implementación del equipo.

## **IV. Metodología**

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque descriptivo y analítico, con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema automatizado de preparación de medios de cultivo (RAYPA AE-MP) en el laboratorio microbiológico del área de control de calidad de una empresa alimentaria del Perú.

### **4.1 Diseño del estudio**

Se aplicó un diseño de tipo estudio de caso, centrado específicamente en las condiciones operativas actuales del laboratorio, y en la comparación proyectada frente a la implementación del equipo automatizado. El estudio se estructuró en función del cumplimiento de cinco objetivos específicos, desarrollados en el cuerpo del trabajo.

### **4.2 Métodos y herramientas utilizadas**

Para cumplir con los objetivos, se utilizaron las siguientes técnicas:

- Observación presencial de las actividades rutinarias de preparación de medios en el laboratorio, incluyendo tiempos y etapas del proceso manual.
- Análisis MTM (Methods-Time Measurement), aplicado de forma adaptada para estimar los tiempos efectivos del proceso manual y el proyectado con el equipo AE-MP. Para respaldar el uso de un enfoque adaptado del método MTM, se tomó como referencia un estudio multicéntrico realizado en laboratorios de diagnóstico de tuberculosis en Europa. En ese trabajo se aplicó una herramienta de time-and-motion, similar en estructura al MTM, con el propósito de registrar objetivamente el tiempo real invertido en ensayos de laboratorio [11].
- Cálculo del ROI (Return on Investment) y payback, para evaluar la viabilidad económica de la inversión, incorporando costos directos (tiempo técnico) e

indirectos (eventos de contaminación). Para calcular el Retorno de Inversión (ROI) y el periodo de recuperación (payback), se emplearon las fórmulas estándar ampliamente utilizadas en estudios técnicos y económicos del ámbito de la microbiología y métodos microbiológicos rápidos:

$$ROI (\%) = \frac{\text{Ahorro anual neto}}{\text{Inversión inicial}} \times 100$$

$$\text{Payback (años)} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ahorro anual neto}}$$

Donde el ahorro anual neto incluye tanto reducción en costo de mano de obra como acopio indirecto en confirmaciones por contaminación. Estas fórmulas están basadas en metodologías validadas para análisis de métodos microbiológicos automatizados [12].

- Análisis documental de la ficha técnica del equipo, incluida como Anexo 1, y revisión de normativa relacionada [13,14].
- Revisión de literatura técnica y referencias sobre automatización en microbiología, estandarización de procesos y trazabilidad.

#### **4.3 Alcance y limitaciones**

El análisis se centra en una propuesta de mejora que no ha sido aún implementada. Por tanto, los tiempos y beneficios estimados para el escenario automatizado fueron proyectados con base en:

- Información técnica del fabricante
- Comparación con procesos observados
- Supuestos razonables validados con el personal del área

No se incluye, en esta etapa, una validación experimental en planta, debido a que la empresa no adquirirá el equipo en el corto plazo. Sin embargo, se ha construido una

propuesta técnico-económica sustentada, que puede servir como base para una futura toma de decisiones estratégicas.

## **V. Resultados**

### **5.1 Descripción del proceso actual de preparación de medios de cultivo**

En el laboratorio microbiológico la preparación de medios de cultivo es una actividad esencial que forma parte del flujo de trabajo diario. Esta tarea es ejecutada manualmente por un solo técnico, y constituye una de las etapas más operativamente demandantes del área.

El procedimiento inicia con la revisión del cronograma de análisis y la verificación de las solicitudes de medios requeridos para el día. A partir de esta información, el técnico determina las cantidades necesarias y selecciona los tipos de medios a preparar. Los medios más comúnmente elaborados incluyen:

- Agua peptonada (utilizada como diluyente), en volúmenes de 3 a 5 litros.
- Agar para recuento en placa (TPC) y PDA, en frascos de 500 mL (de 2 a 4 frascos por tipo).
- Caldo Lauril, dispensado en 50 a 100 tubos de ensayo de 10 mL.

El proceso de preparación se lleva a cabo siguiendo las siguientes etapas:

1. Pesado de componentes: En el proceso de preparación de medios de cultivo, el pesaje de los componentes se realiza utilizando balanzas analíticas con un rango operativo de 0,01 g a 6000 g, dependiendo del tipo de medio y del volumen requerido. De acuerdo con lo establecido en la norma ISO/IEC 17025:2017, las balanzas utilizadas deben contar con un error máximo permitido inferior al 0,1 %

del peso medido, el cual es verificado periódicamente mediante masas patrón certificadas.

Asimismo, estos equipos se encuentran dentro del programa de mantenimiento preventivo y calibración interna y/o externa del laboratorio, siendo calibrados al menos una vez al año por proveedores acreditados. Los certificados de calibración incluyen la incertidumbre de medición y se mantienen archivados para fines de auditoría y trazabilidad, conforme a los requisitos del numeral 6.4 y 6.5 de la ISO/IEC 17025:2017 [6, 14].

2. Disolución y mezcla: El polvo es disuelto en agua destilada, generalmente en frascos de vidrio, mediante agitación manual o calentamiento controlado sobre placas calefactoras.
3. Ajuste de pH y volumen: En caso necesario, se ajusta el pH con soluciones tampón o hidróxidos, y se completa el volumen requerido. Para el ajuste de pH durante la preparación de medios de cultivo, se utiliza un pH-metro calibrado con soluciones buffer trazables, siguiendo procedimientos internos validados y conforme a los lineamientos establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2017. La verificación del equipo se realiza con frecuencia diaria (antes de cada jornada de trabajo), utilizando soluciones patrón de pH 4.00, 7.00 y 10.00, y es calibrado periódicamente mediante servicios externos de calibración acreditados.
4. Rotulado y distribución: Los medios líquidos se distribuyen en tubos o frascos previamente identificados con etiquetas manuales, que incluyen nombre del medio, fecha y técnico responsable.
5. Esterilización: Todos los medios preparados son esterilizados en autoclave convencional, a 121 °C durante 15 minutos.

6. Enfriamiento y almacenamiento: Tras la esterilización, los medios se enfrían en un banco de trabajo, y luego son almacenados hasta su uso.

Este proceso toma entre 2 a 3.5 horas por jornada, dependiendo del número de medios requeridos y del volumen a preparar. Aunque el tiempo de esterilización puede coincidir con otras actividades del laboratorio, el resto del proceso requiere la presencia constante y activa del técnico, lo que representa una carga operativa significativa.

Cada paso es registrado manualmente en formatos de control, en los que se anotan datos como el lote del medio, fecha de preparación, volumen, tipo de envase, y responsable. No obstante, la trazabilidad de parámetros críticos como el tiempo exacto de esterilización, el valor  $F_0$  alcanzado, o la temperatura final, depende de la atención y constancia del operador, lo que introduce un riesgo de variabilidad y errores involuntarios en el proceso.

En general, si bien el proceso actual cumple con los requerimientos funcionales para la producción diaria de medios, presenta limitaciones importantes en cuanto a estandarización, eficiencia y trazabilidad digital, especialmente considerando la carga analítica del laboratorio y las exigencias de cumplimiento normativo.

## **5.2 Análisis técnico del equipo RAYPA AE-MP y su aplicabilidad en el laboratorio**

El equipo RAYPA AE-MP es un sistema automatizado diseñado para la preparación de medios de cultivo líquidos y caldos utilizados en análisis microbiológicos. Está concebido para mejorar la eficiencia, reproducibilidad y trazabilidad de este proceso, al integrar en una sola unidad las funciones de mezcla, calentamiento, esterilización, enfriamiento y dispensado, todo dentro de un circuito cerrado.

### 5.2.1 Funcionamiento técnico del equipo

El AE-MP está compuesto por una unidad principal de acero inoxidable con sistema de agitación, resistencia eléctrica, bomba de vacío y bomba peristáltica. Cuenta con un panel de control digital programable mediante pantalla táctil, desde el cual el operador puede seleccionar parámetros como:

- Temperatura de esterilización (hasta 125 °C)
- Tiempo de mantenimiento térmico
- Valor  $F_0$  objetivo
- Velocidad de agitación
- Enfriamiento automático
- Volumen y destino del dispensado

Entre sus principales características técnicas destacan:

- Capacidad del tanque: 8 a 12 litros.
- Precisión en temperatura:  $121 \pm 0,5$  °C.
- Control de valor  $F_0$ : el sistema calcula y regula automáticamente el valor  $F_0$  alcanzado durante cada ciclo, garantizando una esterilización eficaz.
- Enfriamiento rápido: mediante sistema integrado que permite pasar de la temperatura de esterilización a temperatura de dispensado en menos tiempo que en procesos convencionales.
- Sistema de dispensado automático: para frascos, tubos o botellas, sin necesidad de reesterilizar trasvasados.
- Memoria y trazabilidad: guarda el historial completo de cada ciclo, con posibilidad de exportar los datos a un PC o servidor.

Una descripción detallada de estas especificaciones puede consultarse en manual del equipo, incluida como Anexo 1 de este informe.

### **5.2.2 Aplicabilidad en el contexto operativo del laboratorio**

Como ya se ha mencionado, el laboratorio realiza de forma manual la preparación de varios tipos de medios de cultivo de manera diaria, con volúmenes que varían entre 5 y 7 litros de diluyentes, caldos o agar, además de la distribución en tubos o frascos. Esta actividad implica una dedicación operativa de 2 a 3.5 horas al día de un único técnico, además de una atención constante para evitar errores o desviaciones en los parámetros críticos.

- En este contexto, el equipo AE-MP presenta una alta aplicabilidad, ya que:
- Permite cubrir los volúmenes requeridos en una sola operación diaria (hasta 12–15 litros por ciclo, dependiendo del modelo).
- Automatiza la mayoría de las tareas manuales, reduciendo la carga del personal técnico y permitiendo que el operario se dedique simultáneamente a otras actividades del laboratorio.
- Elimina la necesidad de utilizar autoclave externa, ya que la esterilización se realiza dentro del mismo sistema, bajo control electrónico.
- Asegura la estandarización del proceso, reduciendo la variabilidad entre operadores o días de preparación.
- Refuerza la trazabilidad, dado que cada ciclo queda automáticamente registrado con sus parámetros técnicos, facilitando las auditorías internas o externas y el seguimiento de resultados.

Además, su diseño compacto, materiales compatibles con el trabajo en laboratorio y facilidad de limpieza lo hacen adecuado para la infraestructura y carga operativa actual del laboratorio.

### **5.2.3 Consideraciones complementarias**

Aunque su adquisición representa una inversión inicial importante, el equipo puede convertirse en una solución a largo plazo para mejorar no solo la eficiencia operativa, sino también el cumplimiento normativo y la calidad de los resultados microbiológicos. Su implementación podría integrarse fácilmente al flujo de trabajo del laboratorio, ya que el personal ya posee los conocimientos sobre las condiciones requeridas para cada tipo de medio, y el sistema ofrece una interfaz amigable para programar ciclos estándar.

Asimismo, se alinea con los principios de mejora continua y optimización de recursos que forman parte de las estrategias de calidad adoptadas por empresas con sistemas de aseguramiento de calidad.

### **5.3 Comparación del proceso manual vs. automatizado mediante análisis MTM**

La herramienta Methods-Time Measurement (MTM) es un sistema estandarizado de análisis que permite descomponer y cuantificar el tiempo requerido para ejecutar tareas manuales, con el objetivo de optimizar procesos y detectar oportunidades de mejora [11]. A través del MTM, es posible identificar con precisión cuánto tiempo consume cada microactividad dentro de un proceso, permitiendo una estimación más realista del tiempo total de trabajo. Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en estudios de ingeniería industrial, ergonomía y productividad operativa, incluyendo su aplicación en laboratorios de microbiología [11,12].

En el presente trabajo, se aplicó una adaptación del análisis MTM para comparar el tiempo total estimado que demanda la preparación de medios de cultivo en el laboratorio microbiológico de la empresa Ajinomoto del Perú, bajo dos escenarios: el método manual actualmente empleado y el proceso proyectado utilizando el equipo automatizado RAYPA AE-MP [15].

### **5.3.1 Desglose del proceso manual mediante MTM**

Tal como se detalla en el Anexo 2, el proceso manual de preparación involucra múltiples etapas: pesado, rotulado, dilución, ajuste de pH, distribución, esterilización y enfriamiento. Aunque la etapa de esterilización no exige supervisión constante, sí requiere presencia intermitente del técnico. Por otro lado, tareas como el rotulado, la preparación térmica y el manejo de frascos o tubos demandan concentración sostenida y son susceptibles a errores operativos [7].

### **5.3.2 Proceso automatizado con el equipo RAYPA AE-MP**

El proceso automatizado (ver Anexos 3 y 4) reduce en más del 60–70 % el tiempo de presencia activa del técnico, gracias a la programación y monitoreo digital de parámetros como temperatura, presión y valor  $F_0$ . Esto permite que el personal pueda redirigir ese tiempo a tareas de análisis microbiológico, validaciones, limpieza de áreas o registros documentarios, elevando así la productividad global del laboratorio [9, 12, 20].

### **5.3.3 Comparación del tiempo técnico ocupado**

La reducción del tiempo técnico efectivo tiene implicancias directas para el funcionamiento del laboratorio:

- Mayor capacidad de análisis sin necesidad de ampliar personal.
- Disminución del riesgo de errores humanos por fatiga o sobrecarga operativa [7].

- Mejora en la eficiencia general y en la calidad del servicio.
- Alineación con criterios de optimización de recursos y competitividad [10, 20].

Este análisis MTM permite concluir que el proceso automatizado no solo reduce el tiempo total del procedimiento, sino que también libera horas técnicas valiosas, con un impacto medible en la eficiencia operativa y la sostenibilidad del sistema de gestión de calidad microbiológica.

#### **5.4 Evaluación técnico-económica de la propuesta: análisis costo-beneficio y ROI**

La automatización del proceso de preparación de medios de cultivo mediante el equipo RAYPA AE-MP representa no solo una mejora operativa, sino también una propuesta viable desde el punto de vista económico. En esta sección se presenta un análisis comparativo entre el método manual actual y el proceso proyectado con automatización, considerando tanto aspectos cuantitativos como beneficios estratégicos no monetarios [10].

##### **5.4.1 Costos del proceso manual actual**

Actualmente, la preparación de medios es realizada por un solo técnico, quien dedica una parte significativa de su jornada a esta actividad (Anexo 7). Este proceso se realiza seis días a la semana, durante la mayoría de las semanas del año. El costo total asociado a esta tarea incluye el tiempo técnico dedicado, insumos y posibles reprocesos. Los detalles del cálculo de costos laborales directos pueden revisarse en el Anexo 5, Tabla A.

##### **5.4.2 Inversión requerida y costos del equipo AE-MP**

El costo estimado del equipo AE-MP es de S/ 100,000, según la ficha técnica proporcionada por el proveedor [15]. A este se suma un mantenimiento anual proyectado

y una vida útil estimada entre 8 y 10 años. Todos los costos de inversión inicial, mantenimiento y amortización están especificados en el Anexo 5, Tabla B.

#### **5.4.3 Ahorros económicos proyectados**

La automatización permitiría reducir significativamente la intervención activa del técnico, con una estimación de ahorro de más del 70 % del tiempo actual. Además, podrían evitarse reprocesos derivados de contaminaciones dudosas, las cuales actualmente se presentan entre 2 y 3 veces al mes, generando un uso adicional de insumos y tiempo. El detalle de estos ahorros y la estimación de los beneficios anuales se presenta en el Anexo 5, Tabla C.

#### **5.4.4 ROI y periodo de recuperación (Payback)**

Con base en los costos y ahorros previamente descritos, se ha calculado el retorno de inversión (ROI) y el período de recuperación de la inversión (payback simple). Estos indicadores financieros son frecuentemente empleados en estudios de viabilidad económica para proyectos de automatización [10]. Los cálculos detallados se encuentran en el Anexo 6.

#### **5.4.5 Beneficios no monetarios y estratégicos**

Aunque el ROI y el ahorro directo son indicadores relevantes, la decisión de implementar un sistema automatizado también debe considerar factores de valor estratégico:

- Trazabilidad digital robusta del proceso, alineada con normativas como ISO 11133 [5], ISO/IEC 17025 [6] e ISO 7218 [18].
- Reducción del riesgo humano, al eliminar tareas repetitivas y propensas a error [7,9].

- Mejora de la eficiencia operativa, al liberar tiempo técnico para tareas analíticas de mayor valor [10].
- Fortalecimiento del sistema de gestión de calidad, facilitando auditorías internas y externas [4,16].
- Mejora del entorno laboral y ergonómico, especialmente en actividades repetitivas y prolongadas [20].

En conclusión, el análisis demuestra que la implementación del equipo RAYPA AE-MP es económicamente viable, con un retorno estimado a mediano plazo y beneficios sostenibles a nivel operativo, técnico y de cumplimiento normativo.

## **VI. Discusión**

Los medios de cultivo son mezclas nutritivas utilizadas para favorecer el crecimiento, aislamiento y/o recuento de microorganismos en muestras de alimentos, superficies, agua o aire [1]. Su correcta preparación es esencial para garantizar resultados confiables en los análisis microbiológicos, ya que cualquier variación en su composición, pH, esterilidad o temperatura puede influir directamente en la recuperación de los microorganismos objetivo [4].

En laboratorios de control de calidad microbiológica, como los que operan en la industria alimentaria, se utilizan medios líquidos y sólidos (agar), preparados a partir de polvos deshidratados que requieren disolución, esterilización y en algunos casos, dispensado en tubos o placas [7]. La calidad del medio debe validarse mediante controles físico-químicos y ensayos de desempeño, como lo establece la norma ISO 11133:2014 [13].

Equipos como el RAYPA AE-MP automatizan completamente la preparación de medios líquidos y caldos: permiten controlar y registrar digitalmente el tiempo, temperatura,

presión, valor  $F_0$  y la esterilidad del producto final, reduciendo el margen de error humano y el tiempo operativo del personal técnico [15].

Además, estos sistemas minimizan el riesgo de contaminación cruzada al mantener un circuito cerrado de preparación y dispensación, lo cual es especialmente útil en laboratorios con alta carga de trabajo o limitación de personal [12].

La trazabilidad microbiológica implica la capacidad de rastrear cada paso de la preparación del medio, desde el lote del insumo utilizado hasta los parámetros aplicados en su procesamiento. Esto incluye el registro de temperatura de esterilización, tiempo de exposición, valor  $F_0$  alcanzado y fecha de uso, incluyendo los reportes de mantenimiento y calibración [16]. Este tipo de control es exigido por normativas internacionales, tanto para garantizar la calidad analítica como para responder ante auditorías de calidad o investigaciones de incidentes sanitarios [14, 17, 18].

Los sistemas automatizados como el AE-MP permiten guardar digitalmente estos registros, mejorando la documentación técnica y facilitando el cumplimiento de estándares como ISO 7218, ISO 11133 e ISO/IEC 17025 [6, 13, 14].

El laboratorio microbiológico de una empresa alimentaria debe cumplir con una serie de normas técnicas internacionales que establecen buenas prácticas, procedimientos y requisitos para los ensayos de control microbiológico. Las principales normas aplicables al proceso de preparación de medios de cultivo incluyen:

ISO 11133:2014: especifica los requisitos para la preparación, producción, almacenamiento y pruebas de desempeño de medios de cultivo utilizados en microbiología de alimentos, agua y piensos [13].

ISO 7218:2007: proporciona directrices generales para los análisis microbiológicos, incluyendo control de calidad y criterios de aceptabilidad [18].

ISO/IEC 17025:2017: establece los requisitos para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración, incluyendo trazabilidad, validación de métodos y control de registros [6].

En el contexto del laboratorio microbiológico de esta empresa, este equipo se presenta como una alternativa viable debido a que permitiría reemplazar la preparación manual de al menos 4 medios diarios, automatizando completamente entre el 70 y el 80% del proceso operativo [15]. La capacidad del AE-MP es suficiente para cubrir los volúmenes requeridos en la rutina diaria, y su programación permite iniciar ciclos sin requerir la presencia constante del técnico, lo que genera una optimización del tiempo disponible [12].

Además, al operar con trazabilidad digital de los parámetros de cada ciclo, el AE-MP facilitaría el cumplimiento con normativas como ISO 11133, reforzando el aseguramiento de la calidad del proceso y reduciendo la dependencia de registros manuales, que son más propensos a errores o pérdidas de información [13, 16].

La comparación evidencia que el uso del equipo AE-MP representa una mejora significativa en cuanto a la estandarización, el control de calidad del medio y la eficiencia en el uso del tiempo técnico [12, 15]. Además, la automatización reduce los errores humanos asociados a la variabilidad del operador, especialmente en condiciones de alta carga operativa o fatiga [9].

Más allá del ahorro de tiempo y recursos, la implementación del equipo RAYPA AE-MP generaría beneficios estratégicos para el laboratorio, alineados con las exigencias del

sistema de gestión de calidad y las normas internacionales que regulan la microbiología de alimentos [14, 17].

### **6.1 Estandarización del proceso**

La automatización garantiza que cada lote de medio sea preparado bajo las mismas condiciones de mezcla, temperatura y esterilización, reduciendo la variabilidad y mejorando la confiabilidad de los resultados [15]. Esto es especialmente importante cuando los resultados microbiológicos son utilizados para liberar productos o validar procesos [6, 17].

### **6.2 Trazabilidad técnica como herramienta clave para la gestión de calidad**

La trazabilidad es un componente esencial del sistema de gestión de calidad [16]. Cuando se presenta un resultado de no conformidad, es práctica habitual realizar una revisión detallada de todo el proceso asociado: se verifica el lote de muestra analizado, el tipo de medio utilizado, la fecha de preparación, el registro de esterilización, así como la persona responsable de su elaboración [19]. Este enfoque garantiza que cualquier desviación pueda ser rastreada a su origen y corregida oportunamente, evitando consecuencias en la liberación de productos o en la reputación de la marca [8, 17].

No obstante, cuando los medios se preparan de forma manual, este nivel de trazabilidad depende completamente de los registros físicos (hojas o formatos Excel) mantenidos por el técnico. Si bien este método puede ser funcional, está expuesto a errores de transcripción, omisiones, formatos incompletos o pérdidas de información [3, 19]. Además, la carga operativa del laboratorio puede dificultar el mantenimiento riguroso de estos registros cuando la prioridad está centrada en el cumplimiento de los análisis microbiológicos dentro del plazo establecido [9].

La implementación de un equipo automatizado como el RAYPA AE-MP permite superar estas limitaciones al integrar un sistema de registro electrónico automático de los parámetros críticos del proceso: temperatura de esterilización, duración del ciclo, valor  $F_0$ , fecha, hora y nombre del ciclo o del operador [15, 16]. Estos datos pueden almacenarse en el equipo y exportarse digitalmente, lo que facilita su resguardo, análisis y presentación ante auditorías [13, 14].

Este nivel de trazabilidad no solo facilita la detección de fallos, sino que también fortalece la defensa técnica del laboratorio frente a observaciones internas o externas, asegurando que los resultados analíticos estén respaldados por condiciones de preparación validadas y verificables [16, 20]. En ese sentido, el equipo AE-MP no es simplemente una herramienta de eficiencia, sino un recurso estratégico para garantizar la integridad del sistema de calidad microbiológica y reducir los riesgos asociados a decisiones analíticas incorrectas o falta de evidencia documental [20].

Por tanto, el valor agregado de la trazabilidad digital que ofrece el equipo AE-MP se alinea plenamente con las políticas internas de calidad de la empresa, y representa una mejora sustancial respecto al modelo actual, donde el control de este tipo de información depende de la disciplina del operario y de sistemas manuales más vulnerables [6, 20].

La trazabilidad que ofrecen los equipos automatizados, como el RAYPA AE-MP, constituye un avance importante en el aseguramiento de la calidad microbiológica. Sin embargo, esta trazabilidad digital no es suficiente por sí sola, ya que debe complementarse con un sistema de calibración y mantenimiento documentado que garantice la confiabilidad continua del equipo.

Aunque estos equipos cuentan con funciones de autoverificación o autocalibración interna, los lineamientos de la norma ISO/IEC 17025:2017 establecen que los

instrumentos que afecten la validez de los resultados deben ser calibrados por laboratorios competentes y trazables a patrones internacionales, en la medida de lo posible. Esto incluye no solo sensores de temperatura y presión, sino también válvulas, sistemas de agitación y sensores de nivel, cuya precisión puede deteriorarse con el uso o el paso del tiempo.

Por tanto, la implementación del equipo AE-MP debe contemplar un programa de mantenimiento preventivo y calibración externa periódica, el cual asegure que los registros generados automáticamente por el sistema sean técnicamente válidos, verificables y auditables. Esta práctica es indispensable para sostener un sistema de gestión de calidad robusto y alineado con las normas internacionales aplicables [6, 13, 14].

## **VII. Conclusiones**

- La preparación manual de medios de cultivo representa una actividad de alta demanda operativa en el laboratorio, absorbiendo hasta 3.5 horas diarias de un técnico especializado. Si bien actualmente no se presentan grandes problemas de contaminación, el proceso conlleva carga física, riesgo de errores y dificultades para asegurar la estandarización y trazabilidad.
- El equipo RAYPA AE-MP permite automatizar completamente el proceso de preparación, esterilización, enfriamiento y dispensado de medios, integrando funciones de monitoreo de valor  $F_0$ , programación digital, memoria de ciclos y registro automático de parámetros críticos. Su funcionamiento se adapta a las necesidades actuales del laboratorio tanto en volumen como en frecuencia.

- A través de un análisis MTM, se evidenció una reducción proyectada de hasta 1.5 horas diarias de tiempo técnico efectivo. Esto, junto con una estimación de eventos evitables de contaminación (2 a 3 veces por mes), permite calcular un ahorro anual total operativo aproximado de 8,676.00 soles.
- El retorno de inversión (ROI) proyectado oscila entre el 8% con un periodo de recuperación de entre 11 y 12 años, lo cual valida la viabilidad económica de la propuesta, incluso sin considerar todos los beneficios cualitativos.
- La automatización también fortalece la trazabilidad, lo cual es clave para el sistema de gestión de calidad de la empresa, ya que permite rastrear con precisión quién preparó el medio, en qué condiciones y con qué parámetros. Esta capacidad es crítica en la investigación de no conformidades.
- Aunque el equipo no será adquirido en el corto plazo, el estudio demuestra que su implementación aportaría mejoras estructurales al laboratorio, alineándose con tendencias modernas en control de calidad microbiológico, reducción de errores humanos y cumplimiento normativo internacional (ISO 11133 e ISO/IEC 17025).

### **VIII. Recomendaciones**

- Considerar la implementación del equipo RAYPA AE-MP en un escenario futuro, como parte de una estrategia de inversión en infraestructura tecnológica del laboratorio, priorizando áreas con alto impacto operativo.
- Documentar en registros internos los tiempos y costos asociados a reprocesos por sospechas de contaminación de medios, como respaldo objetivo ante futuras evaluaciones de inversión.

- Capacitar al personal técnico en metodologías de análisis de eficiencia (como MTM) y herramientas de trazabilidad digital, para facilitar la transición hacia procesos automatizados.
- Evaluar, en paralelo, alternativas intermedias de mejora, como la estandarización parcial del proceso (por ejemplo, adquisición de medios listos para usar, automatización del dispensado), si la compra del equipo completo no es posible a corto plazo.
- Continuar fortaleciendo el sistema de aseguramiento de la calidad microbiológica, incluyendo la documentación de cada etapa del proceso, auditorías internas más frecuentes, y validaciones cruzadas, reforzando el valor de la trazabilidad para la empresa.

## IX. Referencias

1. Jay JM, Loessner MJ, Golden DA. Modern Food Microbiology [Internet]. 7a ed. Springer Science+Business Media; 2005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/b100840>
2. Prevention and control of microbiological hazards in fresh fruits and vegetables: part 4: specific commodities: meeting report [Internet]. Who.int. World Health Organization; 2023. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240077959>
3. Cabral VH, Valbuena O, Rodríguez N, Márquez E, Altuve O. Utilización de microorganismos marcadores para la evaluación de las condiciones higiénico-sanitarias en la producción primaria de leche. Rev Cient FCV-LUZ. 2008;18(2):173-80. Disponible en: [https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-22592008000200013&script=sci\\_arttext](https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-22592008000200013&script=sci_arttext)
4. Lazarte IS, Hernández MC, Ruíz OP, Alvarez DR, Hunt Trujillo MC. Control de la calidad de los medios de cultivos en microbiología sanitaria. Mediciego [Internet]. 2001;7(1). Disponible en: <https://revmediciego.sld.cu/index.php/mediciego/article/view/2629/0>
5. [International Organization for Standardization. ISO 11133:2014. Microbiology of food, animal feed and water — Preparation, production, storage and performance testing of culture media. Geneva: ISO; 2014.](#)
6. [International Organization for Standardization. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: ISO; 2017.](#)
7. Carrillo, Leonor, and M. Carina Audisio. Manual de Microbiología de Los Alimentos. Vol. 10, Jujuy, 2007, pp. 102–116.

8. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Quality assurance for microbiology in feed analysis laboratories. Manual. Rome: FAO; 2013. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/items/edbb2a15-89d8-45f2-96ce-547aae5cbaa6>
9. Bourbeau PP, Ledebor NA. Automation in clinical microbiology. J Clin Microbiol [Internet]. 2013;51(6):1658–65. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1128/JCM.00301-13>
10. Antonios K, Croxatto A, Culbreath K. Current state of laboratory automation in clinical microbiology laboratory. Clin Chem. 2022;68(1):99–114. Disponible en: <https://academic.oup.com/clinchem/article/68/1/99/6490228>
11. Mathys V, Roycroft E, Raftery P, Groenheit R, Folkvardsen DB, Homorodean D, et al. Time-and-motion tool for the assessment of working time in tuberculosis laboratories: a multicentre study. Int J Tuberc Lung Dis [Internet]. 2018;22(4):444–51. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5588/ijtld.17.0564>
12. Culbreath K, Piwonka H, Korver J, Noorbakhsh M. Benefits derived from full laboratory automation in microbiology: A tale of four laboratories. J Clin Microbiol [Internet]. 2021;59(3). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1128/JCM.01969-20>
13. [International Organization for Standardization. ISO 11133:2014. Microbiology of food, animal feed and water — Preparation, production, storage and performance testing of culture media. Geneva: ISO; 2014. Confirmada en 2019; Amd 1:2018; Amd 2:2020.](#)
14. [International Organization for Standardization. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: ISO; 2017. Confirmada en 2023.](#)
15. R. Espinar S.L.U. RAYPA AE-MP – Advanced Media Preparators [Internet]. Barcelona: RAYPA; 2023. Disponible en: <https://www.raypa.com/es/productos/ae-mp>

16. Ropero M, García-Sánchez A. Sistemas de trazabilidad en laboratorios de microbiología: herramientas para garantizar la calidad. Rev Anal Clin. 2021;57(2):91–98.
17. Codex Alimentarius Commission. General Principles of Food Hygiene: CXC 1-1969 (Rev. 2020). Rome: FAO/WHO; 2020. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6866dc55-d2c0-48dd-a528-a4d634f1b0b4/content>
18. International Organization for Standardization. ISO 7218:2024. Microbiology of food and animal feeding stuffs – General requirements and guidance for microbiological examinations. Geneva: ISO; 2024.
19. Carey RB, Bhattacharyya S, Kehl SC, Matukas LM, Pentella MA, Salfinger M, et al. Practical guidance for Clinical microbiology laboratories: Implementing a quality management system in the medical microbiology laboratory. Clin Microbiol Rev [Internet]. 2018;31(3). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1128/CMR.00062-1720>.
20. Possas A, Luque OMB, Rabasco Vílchez L, Jiménez Jiménez F, Pérez Rodríguez F, Valero Matas JA. Estrategias digitales para la mejora de la calidad y seguridad microbiológica de productos del Mediterráneo. En: XXIII Congreso Nacional de Microbiología de los Alimentos: Cartagena, 9-12 de septiembre de 2024. Universidad Politécnica de Cartagena; 2024. p. 20–4. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10254482>

## Anexos

### Anexo 1. Ficha técnica resumida del equipo RAYPA AE-MP

Característica	Descripción
Nombre del equipo	RAYPA AE-MP – Advanced Media Preparator
Fabricante	R. Espinar S.L.U. (RAYPA), Barcelona, España
Aplicación	Preparación automática de medios de cultivo líquidos y caldos
Capacidades disponibles	Modelos de 10, 20 y 30 litros
Control de temperatura	Hasta 121 °C con precisión $\pm 0.5$ °C
Presión de operación	Hasta 1.2 bar (dependiendo del modelo)
Sistema de agitación	Agitación continua con control de velocidad variable (rpm ajustables)
Control de esterilización	Control por valor $F_0$ programable y monitoreo en tiempo real
Pantalla y controles	Pantalla táctil de 7 pulgadas, interfaz gráfica intuitiva, múltiples idiomas
Software integrado	Permite la configuración de ciclos, registro de datos, almacenamiento en USB
Dispensado automático	Compatible con bombas peristálticas y dispensadores opcionales
Trazabilidad	Registro automático de cada ciclo: temperatura, tiempo, presión, operador, etc.
Seguridad	Sistema de cierre con sensor de tapa, alarmas por presión y temperatura
Calibración y mantenimiento	Compatible con planes de calibración y verificación externos según ISO 17025
Certificaciones	CE, ISO 9001, compatible con ISO 11133 y GMP
Requiere conexión eléctrica	230 V, 50/60 Hz (modelo estándar)
Accesorios opcionales	Kit de dispensado, impresora térmica, conexión a red para monitoreo remoto

## Anexo 2. Desglose del proceso manual de preparación de medios de cultivo

### mediante análisis MTM

Actividad	Tiempo estimado (min)	Observaciones
Revisión del cronograma	5	Planificación de medios a preparar
Pesado de medios deshidratados	15	Uso de balanza y lectura de etiquetas
Disolución y mezcla	20	Agitación y calentamiento en placa
Ajuste de pH y volumen	10	Aplicable a ciertos medios
Distribución en frascos/tubos	25	Etiquetado manual y llenado
Carga y operación del autoclave	10	Preparación del ciclo y monitoreo inicial
Ciclo de esterilización	90	Tiempo de ciclo (el técnico realiza otras tareas en paralelo)
Enfriamiento y almacenamiento	15	Manipulación post-autoclave
<b>Tiempo total</b>	<b>190</b>	

## Anexo 3. Desglose del proceso automatizado con el equipo RAYPA AE-MP mediante

### análisis MTM

Actividad (automatizada)	Tiempo estimado (min)	Observaciones
Programación del ciclo	5	Selección de parámetros y volumen
Carga de insumos al equipo	10	Añadir agua destilada y medio deshidratado
Operación del ciclo completo	90	Mezcla, esterilización, enfriamiento (sin supervisión)
Limpieza y mantenimiento	10	Post-uso
<b>Tiempo total</b>	<b>115</b>	

**Anexo 4. Comparación técnica entre el proceso manual y el proceso automatizado en la preparación de medios**

Parámetro	Proceso manual	Proceso automatizado	Diferencia
Tiempo total de proceso	2.5 – 3.5 h/día	0.5 – 1.5 h/día	Ahorro de 2–2.5 h/día
Tiempo efectivo del técnico	1.7 – 2 h/día	0.5 – 0.75 h/día	Ahorro de ~1.2–1.5 h
Dedicación de un solo técnico	Alta	Baja	Redistribución de carga
Supervisión continua requerida	Sí	No	El sistema es autónomo

**Anexo 5. Estimación de costos: método manual vs. automatización con RAYPA AE-MP**

Ítem	Concepto	Unidad	Cantidad estimada	Costo unitario (S/)	Costo anual (S/)	Observaciones
<b>A. COSTOS OPERATIVOS ACTUALES (PROCESO MANUAL)</b>						
A1	Tiempo de preparación de medios (horas-hombre)	h/mes	30 × 12	12.00	4320.00	1.5 h/día × 6 días/sem
A2	Tiempo de esterilización (presencia operativa parcial)	h/mes	10 × 12	12.00	1440.00	Supervisión de autoclave
A3	Tiempo en documentación manual	h/mes	5 × 12	12.00	720.00	Registro de parámetros en Excel
A4	Reprocesos por dudas de esterilidad/contaminación	eventos	2.5 × 12	100.00	3000.00	Insumos + tiempo técnico extra

A5	Materiales reprocesados o descartados	frascos/tubos	100/año	2.00	200.00	Pérdidas ocasionales
A6	Consumo de energía (manual)	S/ por mes	12	100.00	1200.00	Estimado promedio
	<b>Total costos actuales (método manual)</b>				<b>10880.00</b>	
<b>B. COSTOS POR IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPO RAYPA AE-MP</b>						
B1	Inversión inicial del equipo	Único	1	100000.00	100000.00	Costo del AE-MP
B2	Calibración externa anual	servicio	1	1500.00	1500.00	Por empresa certificada
B3	Mantenimiento preventivo anual	servicio	1	1200.00	1200.00	Incluye revisión técnica
B4	Capacitación inicial del personal	jornada	2	300.00	600.00	Interna o por el proveedor
B5	Consumo de energía del equipo	S/ por mes	12	120.00	1440.00	Mayor consumo estimado
	<b>Total inversión + costos primer año</b>				<b>104740.00</b>	
<b>C. AHORRO ESTIMADO POR AÑO (respecto al proceso manual)</b>						
C1	Ahorro de tiempo en preparación (80 % del ítem A1)	h/mes	24 × 12	12.00	3456.00	80 % de A1
C2	Reducción de reprocesos (evitados con trazabilidad y esterilidad)	eventos	2.5 × 12	100.00	3000.00	Asume eliminación total
C3	Eliminación de documentación manual	h/mes	5 × 12	12.00	720.00	Por digitalización automática

C4	Mejor uso del tiempo técnico disponible	valor agregado	-	-	1500.00 (est.)	Estimación conservadora
	<b>Total ahorro operativo anual estimado</b>				8,676.00	

### Anexo 6. Cálculo del ROI y Periodo de Recuperación (Payback)

Indicador	Fórmula	Valor	Observaciones
Inversión total (primer año)	-	S/ 104,740.00	Incluye equipo, calibración, mantenimiento, capacitación y energía
Beneficio económico anual proyectado	-	S/ 8,676.00	Ahorro por tiempo técnico, reprocesos evitados y digitalización
ROI (%)	$(\text{Beneficio} / \text{Inversión}) \times 100$	8.28 %	Retorno de inversión anual
Payback (años)	$\text{Inversión} / \text{Beneficio anual}$	12.07 años	Tiempo estimado de recuperación de la inversión

### Anexo 7. Cronograma de actividades diarias dentro del laboratorio

N°	Actividad	Descripción breve	Frecuencia	Responsable	Duración estimada	Observaciones
1	Preparación de medios de cultivo	Pesado, mezcla, esterilización, rotulado	Diaria (L-S)	1 persona	2-3 h	A veces se preparan medios adicionales
2	Siembra de muestras	Aplicación de muestras en medios según protocolo	Diaria (L-S)	1 persona	1-3h	Producto terminado, insumos, etc.
3	Lectura de placas	Contaje e interpretación de colonias	Diaria	1 persona	1-2 h	
4	Reporte de resultados	Registro en formato Excel o SAP	Diaria	1 persona	0.5-1 h	Según tipo de muestra
5	Limpieza de cabinas/incubadoras	Desinfección interna y externa	2 veces / semana	1 persona	30-45 min	Puede variar según necesidad
6	Monitoreo ambiental	Muestreo de ambiente, personal y superficies	Semanal / mensual	1 persona	1-2 h	Según cronograma
7	Control de stock de medios y reactivos	Revisión de insumos y verificación de fechas	Semanal	1 persona	20-30 min	Según disponibilidad de materiales
8	Verificación de equipos (temperatura)	Revisión de incubadoras, autoclaves, etc.	Diaria / semanal	1 persona	10-20 min	Según protocolo interno