

Universidad Hispanoamericana

Ingeniería Industrial

Proyecto de graduación para optar por Licenciatura en
Ingeniería Industrial.

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN
EL PROCESO DE ORDEÑO MEDIANTE LA
REINGENIERÍA OPERATIVA EN HACIENDA
LA CONCEPCIÓN, SARAPIQUÍ, COSTA RICA,
DURANTE EL PRIMER TRIMESTRE DEL AÑO
2025

Estudiante: Javier Wong Víquez

Tutor: Ing. Freddy Monge Calvo. MBA

San José, 2025

ACTA DE APROBACIÓN

DECLARACION JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo, **Javier Wong Víquez**, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número **401600451**, egresado de la carrera de **Ingeniería Industrial** de la **Universidad Hispanoamericana**, hago constar por medio de este acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de **Licenciatura en Ingeniería Industrial**, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado:

“Optimización de la productividad en el proceso de ordeño mediante la reingeniería operativa en Hacienda La Concepción, Sarapiquí, Costa Rica, durante el primer trimestre del año 2025”

es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derechos Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en La Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte:

Artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original.

Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los **13** días del mes de **abril** del año dos mil **veintiséis**.



Firma del estudiante

Cédula: **401600451**

CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR

Heredia, 22 de Abril de 2026

*Destinatario: Dirección de Carrera de Ingeniería Industrial
Carrera: Ingeniería Industrial
Universidad Hispanoamericana*

Estimado señor:

El estudiante **Javier Wong Víquez**, cédula de identidad número 401600451, me ha presentado para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE ORDEÑO MEDIANTE LA REINGENIERÍA OPERATIVA EN HACIENDA LA CONCEPCIÓN, SARAPIQUÍ, COSTA RICA, DURANTE EL PRIMER TRIMESTRE DEL AÑO 2025**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de **LICENCIATURA EN INGENIERIA INDUSTRIAL**.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

| | | | |
|----|---|-----|-----|
| a) | ORIGINAL DEL TEMA | 10% | 10% |
| b) | CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES | 20% | 20% |
| c) | COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION | 30% | 28% |
| d) | RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 20% | 18% |
| e) | CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO | 20% | 20% |
| | TOTAL | | 94% |

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

FREDDY MONGE Digitally signed by FREDDY MONGE CALVO (FIRMA)
CALVO (FIRMA) Date: 2026.04.22 22:05:53 -0500

ING. FREDDY MONGE CALVO, MBA
Cédula identidad N 303260154

CARTA DE APROBACIÓN DEL LECTOR

San José, 16 de mayo de 2026

*Señores
Registro
Universidad Hispanoamericana*

Estimados señores:

El estudiante WONG VÍQUEZ JAVIER, cédula de identidad 4-0160-0451 me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: "OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE ORDEÑO MEDIANTE LA REINGENIERÍA OPERATIVA EN HACIENDA LA CONCEPCIÓN, SARAPIQUÍ, COSTA RICA, DURANTE EL PRIMER TRIMESTRE DEL AÑO 2025", el cual ha elaborado para optar por el grado de Licenciatura.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente, lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y el análisis de datos; la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre estos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

FEDERICO ANTONIO SALAZAR JIMENEZ
Firma(FIRMA).....
Firmado digitalmente por
FEDERICO ANTONIO SALAZAR
JIMENEZ (FIRMA)
Fecha: 2026.05.16 09:55:21 -06'00'

Nombre del profesor...Federico Salazar Jiménez.

Cédula...1-0914-0803

CARTA DE APROBACIÓN DEL CENIT

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LOS
TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN

San José, Costa Rica, 6 de abril de 2026

Señores:

Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

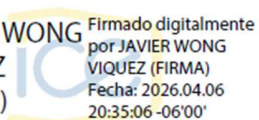
Estimados Señores:

El suscrito, **Javier Wong Víquez**, con número de identificación 401600451, autor del proyecto de graduación titulado “**Optimización de la productividad en el proceso de ordeño mediante la reingeniería operativa en Hacienda La Concepción, Sarapiquí, Costa Rica, durante el primer trimestre del año 2025**”, presentado para optar por el grado de **Licenciatura en Ingeniería Industrial** en el año 2025, por medio de la presente autorizo al **Centro de Información Tecnológico (CENIT)** para que, con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N.º 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

JAVIER WONG
VIQUEZ
(FIRMA)

A digital signature stamp featuring a yellow circular graphic with the letters 'IC' inside. To the right of the graphic, the text reads: 'Firmado digitalmente por JAVIER WONG VIQUEZ (FIRMA) Fecha: 2026.04.06 20:35:06 -06'00'.

Javier Wong Víquez

DEDICATORIA

A mi familia, a mi esposa y mi hijo, por su constante apoyo, amor incondicional y motivación a lo largo de este proceso.

Javier Wong Viquez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la gerencia de Hacienda La Concepción por permitir la realización de este estudio en sus instalaciones y por la colaboración de su equipo de trabajo. A mi tutor académico por su orientación constante y a la Universidad Hispanoamericana por brindar las herramientas necesarias para culminar este proceso académico.

Javier Wong Víquez

EPÍGRAFE

"La productividad nunca es un accidente. Siempre es el resultado de un compromiso con la excelencia, planificación inteligente y esfuerzo enfocado."

- Paul J. Meyer

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| ACTA DE APROBACIÓN..... | 2 |
| DECLARACION JURADA | 3 |
| CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR..... | 4 |
| CARTA DE APROBACIÓN DEL LECTOR | 5 |
| CARTA DE APROBACIÓN DEL CENIT | 6 |
| DEDICATORIA | 7 |
| AGRADECIMIENTOS..... | 8 |
| EPÍGRAFE..... | 9 |
| INDICE DE CONTENIDO | 10 |
| INDICE DE FIGURAS | 15 |
| INDICE DE TABLAS | 17 |
| ACRÓNIMOS Y SIGLAS | 18 |
| RESUMEN | 19 |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO | 20 |
| 1.1 Descripción general del proyecto | 21 |
| 1.2 Identificación de la organización donde se realiza el proyecto | 22 |
| 1.2.1 Descripción general de la organización | 22 |
| 1.2.2 Antecedentes del contexto de la empresa o institución | 28 |
| 1.3 Planteamiento del problema | 31 |
| 1.3.1 Definición y medición del problema | 31 |
| 1.3.2 Justificación del proyecto | 33 |
| 1.4 Objetivos del proyecto | 35 |
| 1.4.1 Objetivo general | 35 |
| 1.4.2 Objetivos específicos | 35 |
| 1.5 Alcances y limitaciones | 36 |
| 1.5.1 Alcances | 36 |
| 1.5.2 Limitaciones | 38 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO..... | 40 |

| | |
|--|----|
| 2.1 Marco conceptual general relativo a la carrera | 41 |
| 2.1.1 Producción y operaciones | 41 |
| 2.1.2 Estudio de Tiempos | 43 |
| 2.1.3 Calidad y mejora continua | 45 |
| 2.1.4 Técnicas de estandarización | 49 |
| 2.2 Marco conceptual atinente a la gestión del proyecto | 52 |
| 2.2.1 DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)..... | 52 |
| 2.2.2 Gestión de proyectos bajo enfoque ingenieril: PMBOK..... | 54 |
| 2.2.3 Análisis de riesgos operacionales | 55 |
| 2.2.4 Diseño no experimental, transeccional y estudio de caso como fundamento metodológico | 56 |
| 2.3 Marco conceptual referente al impacto del proyecto..... | 58 |
| 2.3.1 Impacto técnico-operativo | 58 |
| 2.3.2 Impacto económico..... | 60 |
| 2.3.3 Impacto estratégico y organizacional | 62 |
| 2.3.4 Impacto social y ambiental..... | 63 |
| 2.4 Antecedentes de proyectos..... | 66 |
| 2.4.1 Internacionales | 66 |
| 2.4.2 Nacionales | 67 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE TRABAJO | 69 |
| 3.1 Enfoque y Tipo de Investigación..... | 70 |
| 3.2 Fases Metodológicas bajo el ciclo DMAIC..... | 72 |
| 3.3 Metodología para la definición del problema | 72 |
| 3.4 Metodología para la medición y cuantificación de ineficiencias | 74 |
| 3.5 Metodología para el Análisis y la Propuesta de Mejora (Analyze y Improve) | 76 |
| 3.6 Metodología para la implementación del proyecto | 79 |
| 3.7 Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento | 82 |
| 3.8 Instrumentos para la Recolección de la Información | 86 |
| 3.8.1 Matriz de Validación por Juicio de Expertos | 86 |
| 3.8.2 Hoja de Registro de Tiempos (Estudio de Tiempos) | 86 |
| 3.8.3 Análisis documental | 87 |
| 3.8.4 Matriz de Priorización (Diagrama de Pareto) | 87 |
| 3.9 Variables y Categorías | 87 |

| | |
|---|-----|
| 3.9.1 Variables Cuantitativas | 87 |
| 3.9.2 Categorías Cualitativas..... | 88 |
| 3.10 Estrategia de Análisis de los Datos | 88 |
| CAPÍTULO IV: ANALISIS CAUSA RAÍZ | 90 |
| 4.1 Situación actual de la empresa | 91 |
| 4.2 Diagrama SIPOC del proceso de ordeño | 93 |
| 4.3 Análisis de debilidades del proceso mediante Ishikawa..... | 95 |
| 4.4 Consolidación de causas para el análisis de priorización | 99 |
| 4.5 Clasificación de las causas mediante Pareto | 103 |
| 4.6 Medición del proceso de ordeño mediante medición de tiempos | 107 |
| 4.7 Análisis estadístico de los datos recopilados de entregas de leche | 111 |
| CAPÍTULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA SOLUCION | 116 |
| 5.1 Objetivo de la propuesta de mejora..... | 118 |
| 5.1.1 Objetivo general | 118 |
| 5.1.2 Objetivos específicos | 118 |
| 5.2 Alcance y consideraciones de la propuesta de mejora | 119 |
| 5.3 Diseño del procedimiento operativo estándar de ordeño..... | 120 |
| 5.3.1 POE del proceso de limpieza e higienización del sistema de ordeño | 121 |
| 5.3.2 POE de la rutina de ordeño | 128 |
| 5.3.3 POE del proceso de alimentación y medicación durante el ordeño..... | 133 |
| 5.4 Enfoque de control y verificación de la estandarización del proceso | 135 |
| 5.4.1 Síntesis del enfoque propuesto | 135 |
| 5.4.2 Estandarización orientada al control de resultados del proceso..... | 136 |
| 5.4.3 Identificación visual de vacas con tratamiento o con altos niveles de células somáticas | 137 |
| 5.4.4 Impacto esperado de la estandarización del proceso | 138 |
| 5.5 Propuesta para la reducción de la variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo | 138 |
| 5.5.1 Ordenamiento operativo de los grupos de ordeño | 138 |
| 5.5.2 Agrupación funcional y comunicación de resultados al personal | 140 |
| 5.5.3 Control básico de tiempos de ordeño por grupo..... | 141 |
| 5.5.4 Impacto esperado en la estabilidad del proceso..... | 141 |
| 5.6 Propuesta para el uso consistente de equipos y materiales..... | 142 |
| 5.6.1 Control simplificado en el uso de detergentes y productos químicos | 143 |

| | |
|---|-----|
| 5.6.2 Señalización visual de límites operativos del equipo | 143 |
| 5.6.3 Capacitación práctica y refuerzo operativo | 144 |
| 5.6.4 Enfoque preventivo y sostenibilidad de la propuesta..... | 144 |
| 5.7 Indicadores de seguimiento y control del proceso de ordeño | 145 |
| 5.7.1 Seguimiento de la duración del ordeño mediante registros de video..... | 145 |
| 5.7.2 Evaluación de la estandarización del proceso a partir de resultados mensuales..... | 146 |
| 5.7.3 Seguimiento del uso de equipos y materiales a través de resultados de laboratorio ... | 147 |
| 5.7.4 Integración del sistema de seguimiento propuesto | 148 |
| 5.8 Análisis Económico | 148 |
| 5.8.1 Objetivo del análisis económico | 148 |
| 5.8.2 Valor económico de la leche entregada | 149 |
| 5.8.2.1 Valor diario de la leche – últimos 40 días analizados..... | 149 |
| 5.8.2.2 Valor diario de la leche – todo el período analizado | 150 |
| 5.8.2.3 Relación entre el valor de la leche y la propuesta de mejora | 151 |
| 5.8.3 Análisis de ajustes por calidad sanitaria | 152 |
| 5.8.3.1 Ajuste por conteo bacteriano..... | 152 |
| 5.8.3.2 Ajuste por células somáticas..... | 153 |
| 5.8.4 Estimación del ingreso no capturado por calidad | 154 |
| 5.8.5 Evaluación económica de la propuesta de mejora | 156 |
| 5.8.5.1 Costos de implementación de la propuesta | 157 |
| 5.8.5.2 Escenarios de recuperación económica por mejora en el ajuste por células somáticas | 158 |
| 5.8.5.3 Análisis comparativo y viabilidad económica de la propuesta..... | 161 |
| 5.9 Síntesis de la propuesta de mejora..... | 163 |
| CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 166 |
| 7.1 Conclusiones generales | 167 |
| 7.2 Recomendaciones | 169 |
| 7.3 Recomendaciones para investigaciones futuras..... | 170 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 171 |
| ANEXOS | 176 |
| ANEXO 1. Guía de Validación por Juicio de Expertos | 176 |
| ANEXO 2. Formato de Recolección de Tiempos de Ordeño..... | 178 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Organigrama de estructura organizacional..... | 23 |
| Figura 2. Producción diaria de leche en Hacienda La Concepción (2010-2023) | 29 |
| Figura 3. Antecedentes operativos | 30 |
| Figura 4. Distribución de planta y flujo operativo en sala de ordeño tipo doble ocho..... | 92 |
| Figura 6. Diagrama de flujo operativo (Flowchart) de las macro-operaciones de ordeño | 95 |
| Figura 7. Diagrama de Causa-Efecto (Ishikawa) para la variabilidad en el pago por calidad de leche .. | 96 |
| Figura 8. Evidencia de depósitos y residuos en las tuberías del sistema de ordeño | 98 |
| Figura 9. Análisis de Pareto de los factores consolidados del proceso de ordeño | 106 |
| Figura 10. Variabilidad de los tiempos individuales de ordeño por animal | 108 |
| Figura 11. Comportamiento y tendencia del tiempo total de proceso..... | 110 |
| Figura 12. Impacto económico por ajustes de calidad en las entregas de leche..... | 112 |
| Figura 13. Análisis histórico de variabilidad en Células Somáticas (RCS)..... | 113 |
| Figura 14. Variabilidad y cumplimiento del Conteo Bacteriano Total (CBT)..... | 114 |
| Figura 15. Diagrama de flujo (AS-IS) proceso de limpieza..... | 122 |
| Figura 16. Diagrama de flujo (TO-BE) proceso de limpieza | 123 |
| Figura 17. Lista de Verificación Visual para Limpieza de Equipo..... | 124 |
| Figura 18. Limpieza del tanque de Enfriamiento | 126 |
| Figura 19. Limpieza final del equipo de Ordeño | 127 |
| Figura 20. Diagrama de flujo (AS-IS) Proceso de ordeño | 129 |
| Figura 21. Diagrama de flujo (TO-BE) Proceso de ordeño | 130 |
| Figura 22. Estándar Operativo de la Rutina de Ordeño | 132 |
| Figura 22. Diseño de Pizarra de Control para Alimentación y Medicación..... | 135 |
| Figura 23. Comparativa de tiempos de ordeño: Escenario Aleatorio vs. Escenario Ordenado | 139 |
| Figura 24. Diagrama de caja de la variabilidad intragrupo por escenario | 140 |
| Figura 25. Impacto proyectado en el tiempo total de la jornada de ordeño..... | 142 |
| Figura 26. Sistema de video con grabación audio y video en proceso de implementación | 146 |
| Figura 27. Variabilidad del valor diario de la leche (¢/kg) en los últimos 40 días (abril-julio 2025) | 150 |
| Figura 28. Comportamiento histórico del valor diario de la leche (¢/kg) durante el período agosto 2024 - julio 2025..... | 151 |
| Figura 29. Distribución del ajuste unitario por Conteo Bacteriano (¢/kg) durante el período analizado. | 153 |

| | |
|---|-----|
| Figura 31. Variabilidad y presencia de castigos en el ajuste por Células Somáticas ($\$/\text{kg}$) | 154 |
| Figura 31. Análisis de brecha económica: Ingreso real vs. Ingreso potencial por calidad de leche. ... | 156 |
| Figura 32. Evolución del VAN en diferentes escenarios..... | 163 |
| ANEXO 3. Tabla Multivoto de causas raíz de Reducción del pago por calidad de Leche | 179 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Criterios pedidos por la Cooperativa Dos Pinos | 25 |
| Tabla 2. Clasificación por Conteo Bacteriano..... | 26 |
| Tabla 3. Clasificación por Conteo de Células Somáticas | 27 |
| Tabla 4. Variables críticas..... | 33 |
| A continuación, se presenta la Tabla 5 Aporte de los fundamentos de Ingeniería Industrial al rediseño del proceso de ordeño, que consolida la relación entre los fundamentos teóricos y su aplicación práctica en el proyecto..... | |
| | 50 |
| Tabla 5. Aporte de los fundamentos de Ingeniería Industrial al rediseño del proceso de ordeño..... | 50 |
| Tabla 6. Aportes de cada tipo de impacto al valor global del proyecto..... | 64 |
| Figura 5. Diagrama SIPOC: Caracterización sistémica del proceso de ordeño de leche cruda | 93 |
| Tabla 7. Matriz de ponderación y jerarquización de causas raíz según impacto en el proceso | 97 |
| Tabla 8. Tiempos totales de ordeño por tanda operativa..... | 109 |
| Tabla 9. Flujo Incremental de proyecto | 162 |

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar

KPI: Key Performance Indicator (Indicador clave de desempeño)

POE: Procedimiento Operativo Estándar

RESUMEN

Esta tesis presenta una propuesta para optimizar la productividad del proceso de ordeño en Hacienda La Concepción, ubicada en Sarapiquí, mediante la aplicación de herramientas de ingeniería industrial. A partir del análisis de indicadores clave como el rendimiento por vaca, tiempo de ciclo y eficiencia por operario, se propone la estandarización del procedimiento de ordeño, la implementación de sistemas de control operativo y la capacitación del personal.

Se utilizarán herramientas como el ciclo DMAIC, diagramas causa-efecto y análisis de tiempos y movimientos, con el objetivo de reducir ineficiencias, eliminar tiempos improductivos y maximizar la producción de leche por unidad de recurso. Esta propuesta, fundamentada en Faya Lazo (2020), destaca que más del 50% de la mano de obra en una finca lechera se dedica al ordeño, y que una mejora metodológica puede elevar la productividad en más del 70%, al integrar criterios de gestión de calidad como soporte a la eficiencia operativa. Además, se incorporan criterios técnicos descritos por Hernández (2020), quien señala que la correcta elección e instalación de sistemas de ordeño influye directamente en la reducción de esfuerzos, mejora de la calidad de la leche y aumento del rendimiento operativo.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1 Descripción general del proyecto

La presente investigación se enmarca en la línea de productividad y eficiencia operativa de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana. Su propósito es desarrollar una propuesta de intervención técnica centrada en el rediseño y mejora del proceso de ordeño bovino en Hacienda La Concepción, una finca ubicada en el distrito de Puerto Viejo, cantón de Sarapiquí, Costa Rica.

El proyecto surge como respuesta a los retos identificados en el proceso operativo de ordeño, el cual presenta desviaciones significativas en los indicadores de calidad de la leche, pérdidas económicas por entregas no aptas y una falta de estandarización de las tareas críticas. Actualmente, el procedimiento de ordeño carece de una estructura formal que permita garantizar consistencia, trazabilidad y control de las condiciones bajo las cuales se realiza la extracción, manipulación y almacenamiento del producto.

Bajo este contexto, el estudio tiene como objetivo optimizar la productividad del proceso de ordeño mediante la aplicación de un enfoque de reingeniería operativa, entendido como una revisión profunda del flujo de trabajo, recursos involucrados, secuencias de tareas y sistemas de control asociados al proceso productivo. La reingeniería se desarrollará a través de la metodología DMAIC, correspondiente al enfoque Six Sigma, que permite definir con claridad el problema, medir el desempeño actual, analizar las causas raíz, mejorar los procedimientos y establecer mecanismos de control sostenibles.

La propuesta se estructura con base en un análisis técnico de variables como el tiempo de ordeño por unidad, la eficiencia por operario, el porcentaje de cumplimiento de estándares de calidad (tales como conteo bacteriano y células somáticas), y los costos asociados a las

fallas del sistema. Se utilizarán herramientas propias de la ingeniería industrial como diagramas causa-efecto, mapeo del flujo de valor, análisis de tiempos y movimientos, protocolos de estandarización, y sistemas de monitoreo de desempeño (KPI).

El proyecto será ejecutado durante el primer trimestre del año 2025, con foco exclusivo en el proceso de ordeño mecánico, excluyendo otros procesos productivos de la finca como alimentación, salud animal o manejo de inventarios. El estudio busca generar una solución técnica viable, que incremente la eficiencia operativa, reduzca pérdidas económicas y garantice el cumplimiento riguroso de los parámetros establecidos por la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L., única y exclusiva receptora de la leche producida en la finca.

1.2 Identificación de la organización donde se realiza el proyecto

1.2.1 Descripción general de la organización

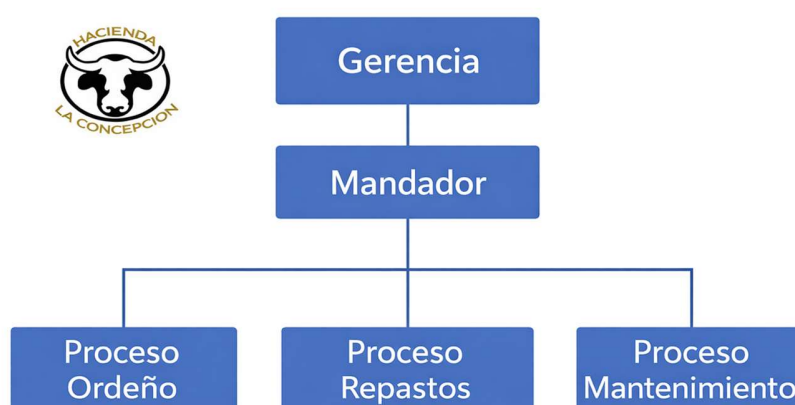
Hacienda La Concepción es una empresa agropecuaria costarricense ubicada en Puerto Viejo de Sarapiquí, provincia de Heredia, cuya actividad principal se centra en la producción de leche bovina y el engorde de ganado. La organización opera bajo un modelo mixto que armoniza las prácticas tradicionales con iniciativas estratégicas de reconversión tecnológica y sostenibilidad ambiental. Con una extensión total de 450 hectáreas de las cuales 190 están dedicadas a pastizales productivos y el resto se conserva como bosque primario y secundario, la finca se posiciona como un actor relevante en el sector lácteo de la región norte del país.

Actualmente, la finca gestiona un hato de aproximadamente 500 animales, que incluye vacas en ordeño, terneros, novillos, toros y reemplazos. El núcleo operativo consiste en el

ordeño diario de un promedio de 100 vacas, distribuido en dos jornadas (mañana y tarde). La producción obtenida se almacena en tanques de enfriamiento para su posterior recolección por parte de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. Esta relación comercial, vigente desde el año 2006, se fundamenta en la adquisición de certificados de aportación que garantizan la entrega continua y estabilidad del mercado para el producto.

En cuanto a su estructura humana, la empresa cuenta con una planilla operativa de 11 colaboradores que desempeñan funciones clave en ordeño, alimentación, mantenimiento y apoyo logístico, recurriendo a personal subcontratado únicamente para proyectos especiales. Aunque la organización ha operado históricamente de forma empírica, este proyecto de graduación ha permitido formalizar su identidad corporativa. A continuación, se presenta la estructura organizacional diseñada para facilitar la comprensión de las líneas de mando, seguida de la declaración formal de su misión y visión:

Figura 1. Organigrama de estructura organizacional



Nota. Hacienda La Concepción (2025)

Con respecto al perfil de la empresa cuenta con la siguiente misión y visión:

Misión

Producir leche y carne de mayor calidad del área, bajo criterios de eficiencia, sanidad, tecnología, responsabilidad social y conciencia ambiental.

Visión

Llegar a ser el mejor productor de leche, carne y ganado bovino de la región de Sarapiquí, con la más alta eficiencia, manteniendo el sentido social y el compromiso con el ambiente

El proceso productivo consta de dos ordeños uno en la mañana y otro por la tarde que se realizan los 7 días de la semana, los 365 días del año, la leche se almacena en tanques de enfriamiento y es recolectada por los dos pinos de día por medio. Está sujeto a estrictos estándares de calidad definidos por Dos Pinos, entre los cuales se incluyen parámetros como el conteo bacteriano, células somáticas, acidez, gravedad específica y ausencia de residuos químicos o antibióticos. El cumplimiento riguroso de estos indicadores es esencial para acceder a bonificaciones por leche premium o evitar penalizaciones que afectan directamente la rentabilidad del negocio.

La leche producida por Hacienda La Concepción debe cumplir con los estándares establecidos por la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L., los cuales buscan asegurar la inocuidad, calidad y aptitud del producto para el consumo humano y la industria láctea. Estos requisitos están claramente definidos en el Reglamento de Recibo y Recolección de Leche de la cooperativa, y se estructuran en torno a parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sanitarios.

A continuación, se resumen los principales criterios exigidos:

Tabla 1. Criterios pedidos por la Cooperativa Dos Pinos

| Parámetro | Requisito / Rango | Observación / Bonificación |
|-----------------------------|--|--|
| | Aceptable | |
| Acidez | 0,130% – 0,170% de ácido láctico titulable | Fuera de rango indica fermentación o deterioro del producto. |
| Gravedad específica | 1,029 – 1,035 g/ml a 15,5 °C | Indica ausencia de adulteración con agua u otras sustancias. |
| Sedimento | < 1 mg/l | La leche debe ser filtrada inmediatamente después del ordeño. |
| Punto crioscópico | -0.525 a -0.560 °Horvet | Mide la pureza; valores alterados indican posible adulteración. |
| Adulterantes | Ausencia total | Prohíbe agua, detergentes, jabones, etc. |
| Inhibidores bacterianos | Ausencia total | Implica estar libre de antibióticos y agentes antimicrobianos. |
| Agroquímicos y veterinarios | Ausencia total | Incluye pesticidas y hormonas como recombinant Bovine Somatotropin o somatotropina bovina recombinante |

Nota. Elaboración propia (2025)

La Tabla 1 detalla los límites críticos de control que determinan la aceptabilidad del producto en Hacienda La Concepción, donde parámetros como la acidez y el punto crioscópico funcionan como indicadores técnicos de la estabilidad del proceso y la eficacia de la cadena de frío. Desde la ingeniería industrial, cualquier desviación de estos rangos representa una "muda" o desperdicio por defectos que impacta la rentabilidad; por ello, el Conteo Bacteriano (UFC/ml) se establece como el KPI maestro del proyecto, cuya optimización mediante el rediseño operativo en el Capítulo V permitirá reducir la

variabilidad del método y asegurar las bonificaciones por calidad higiénica exigidas por la cooperativa. La clasificación y sus respectivos incentivos económicos se presentan en la Tabla 2 Clasificación por Conteo Bacteriano:

Tabla 2. Clasificación por Conteo Bacteriano

| Conteo (UFC/ml) | Bonificación aplicada |
|------------------------|------------------------------|
| < 100.000 | 4,00% |
| 100.001 – 125.000 | 3,75% |
| 125.001 – 150.000 | 3,50% |
| 150.001 – 175.000 | 3,25% |
| 175.001 – 200.000 | 3,00% |

Nota. Elaboración propia (2025)

La Tabla 2 Clasificación por Conteo Bacteriano evidencia la estructura de incentivos vinculada al desempeño higiénico, donde el Conteo Bacteriano (UFC/ml) actúa como el principal indicador de eficiencia sanitaria y operativa. Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, pasar de un rango intermedio a la bonificación máxima del 4% representa una optimización del margen de contribución sin incrementar los costos fijos. Este sistema de escalas valida que la reducción de la variabilidad en la rutina de ordeño y el control riguroso del sistema de enfriamiento no son solo metas de calidad, sino estrategias de rentabilidad directa, donde el control de las células somáticas se vuelve el diagnóstico preventivo para evitar el deterioro del rendimiento industrial y asegurar la sostenibilidad económica del proceso. Los rangos de bonificación para este parámetro son los siguientes:

Tabla 3. Clasificación por Conteo de Células Somáticas

| Conteo (células/ml) | Bonificación aplicada |
|----------------------------|------------------------------|
| < 100.000 | 4,00% |
| 100.001 – 125.000 | 3,75% |
| 125.001 – 150.000 | 3,50% |
| 150.001 – 175.000 | 3,25% |
| 175.001 – 200.000 | 3,00% |

Nota. Elaboración propia (2025)

La Tabla 3 Clasificación por Conteo de Células Somáticas establece la métrica de salud glandular del hato como un determinante directo del rendimiento industrial de la leche y la viabilidad financiera de la Hacienda. Desde el enfoque de la ingeniería de procesos, un conteo elevado de células somáticas actúa como un indicador de fallas en la ejecución técnica de la rutina de ordeño o en el mantenimiento preventivo del equipo, lo que genera una variabilidad negativa en los ingresos. Al integrar este parámetro en la propuesta de reingeniería, se busca transformar el cumplimiento pasivo en una gestión proactiva de la calidad, donde la estandarización de las tareas críticas no solo mitigue el riesgo de penalizaciones por mastitis subclínica, sino que asegure la captura del 4% de bonificación, optimizando así el costo total de calidad y fortaleciendo la sostenibilidad económica del modelo operativo propuesto.

Por tanto, asegurar la estabilidad y control de estos parámetros se vuelve un aspecto estratégico y crítico para la rentabilidad de la operación lechera. La presente investigación

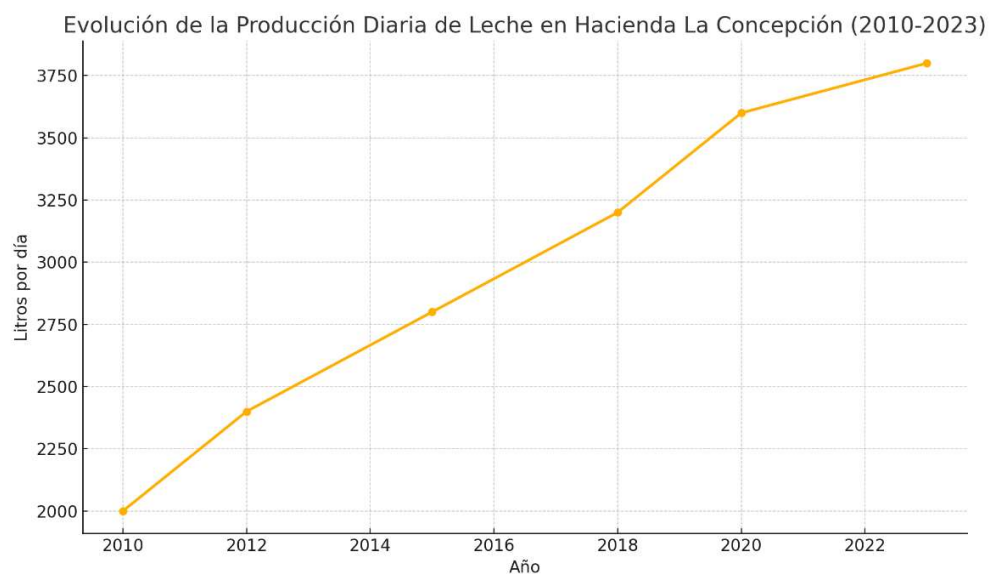
aborda precisamente esa necesidad: diseñar e implementar mejoras operativas en el proceso de ordeño que garanticen la consistencia y la excelencia en los estándares requeridos.

1.2.2 Antecedentes del contexto de la empresa o institución

Hacienda La Concepción ha demostrado una notable evolución productiva desde su afiliación a la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos en el año 2006. La incorporación al sistema cooperativo marcó un punto de inflexión en su modelo operativo, pasando de una estructura tradicional a una basada en parámetros técnicos de calidad, trazabilidad y sostenibilidad.

Durante más de una década, la empresa ha apostado por el mejoramiento genético del hato bovino, la rotación eficiente de potreros y la modernización parcial de su infraestructura de ordeño. Como resultado, la producción diaria de leche ha pasado de 2.000 litros en 2010 a más de 3.800 litros en 2023, tal como se evidencia en la Figura 1 Organigrama de estructura organizacional. Este crecimiento ha sido posible gracias al aumento progresivo del número de vacas en ordeño, la capacitación técnica del personal y la optimización de los pastizales.

Figura 2. Producción diaria de leche en Hacienda La Concepción (2010-2023)



Nota. Elaboración propia (2025)

A pesar de estos avances, durante el primer semestre del año 2024 se identificaron retrocesos operativos significativos. Entre ellos destacan el incremento en los tiempos del ciclo de ordeño, la inestabilidad en los parámetros de calidad de la leche y una productividad por vaca inferior al promedio histórico. Esta situación ha encendido alertas sobre la necesidad de replantear el proceso de ordeño bajo un enfoque de reingeniería operativa.

Los datos históricos demuestran que, aunque el crecimiento ha sido constante, el ritmo acelerado de expansión no ha estado acompañado de una planificación estructurada de los procesos. Esto ha generado cuellos de botella en la eficiencia operativa y en la gestión de la calidad, afectando tanto los márgenes económicos como el cumplimiento de los estándares técnicos requeridos por Dos Pinos.

Este contexto refuerza la necesidad de una intervención estratégica que permita estabilizar y optimizar el proceso de ordeño mediante herramientas propias de la ingeniería industrial, garantizando así la sostenibilidad técnica y económica del sistema productivo.

La siguiente figura sintetiza la trayectoria operativa de Hacienda La Concepción en su proceso de producción lechera, desde su crecimiento sostenido tras la afiliación a la Cooperativa Dos Pinos, hasta la manifestación reciente de ineficiencias críticas. Se ilustra el contraste entre el aumento en la capacidad de producción y los desafíos técnicos que han surgido como consecuencia de dicho crecimiento, especialmente en la gestión del ordeño.

Figura 3. Antecedentes operativos



Nota. Elaboración propia (2025)

La figura evidencia tres momentos clave:

1. Crecimiento histórico (2010–2023): Muestra el incremento progresivo en el volumen diario de leche entregada, pasando de 2.000 a más de 3.800 litros.
2. Punto de inflexión (2024): Representa el momento en que comienzan a observarse retrocesos significativos en productividad individual por vaca y un aumento en los tiempos de ordeño.
3. Identificación del problema: Se destacan factores como la falta de estandarización en los procedimientos, la variabilidad en los controles de calidad y la ausencia de indicadores de gestión en tiempo real.

Esta representación gráfica resalta la necesidad urgente de aplicar una reingeniería operativa al proceso de ordeño, con el fin de corregir desviaciones, optimizar los recursos existentes y asegurar la sostenibilidad del crecimiento alcanzado.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Definición y medición del problema

El proceso de ordeño en Hacienda La Concepción, ubicado en Puerto Viejo de Sarapiquí, se ha convertido en un foco de disconformidad operativa y económica dentro de la organización. Este problema se desarrolla de manera recurrente en el corral y la fosa de ordeño, especialmente en las rutinas de la mañana y la tarde, donde se evidencian fallos estructurales que impactan negativamente la eficiencia del proceso.

Uno de los principales síntomas es el tiempo promedio por unidad, que alcanza los 8,4 minutos por vaca, excediendo los estándares técnicos recomendados en sistemas tecnificados de ordeño. Este retraso se traduce en un uso ineficiente del recurso humano,

acumulación de tiempos ociosos, y una ejecución de tareas que carece de fluidez. De acuerdo con mediciones internas, más del 35% del tiempo total del ciclo de ordeño corresponde a actividades que no agregan valor, tales como espera, desplazamientos innecesarios, coordinación deficiente entre operarios y manipulación redundante de los equipos.

El problema no se limita a la duración del proceso, sino que involucra una ausencia de estandarización, tanto en la secuencia de pasos como en la distribución de responsabilidades entre los colaboradores. Esta falta de sistematización impide establecer rutinas confiables, evaluar el rendimiento del personal, y aplicar planes de mejora continua. A esto se suma la inexistencia de indicadores clave de desempeño (KPI) como kg/vaca/día, eficiencia por turno o porcentaje de cumplimiento de estándares, lo cual obstaculiza el monitoreo objetivo del proceso y la detección temprana de desviaciones.

La situación ha derivado en pérdidas económicas recurrentes, incluyendo la entrega de leche contaminada con antibióticos evento que ha generado sanciones económicas superiores a 7 millones de colones en un solo caso, además de la incapacidad de acceder de manera sostenida a las bonificaciones por leche premium ofrecidas por la Cooperativa Dos Pinos. Estos efectos no solo comprometen la rentabilidad del negocio, sino también su reputación y sostenibilidad a largo plazo.

Para dimensionar con mayor precisión el impacto de esta problemática, se ha identificado la siguiente variable crítica:

Tabla 4. Variables críticas

| Variable Operativa | Valor Actual (promedio) | Valor Óptimo Esperado | Brecha (%) |
|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Tiempo de ordeño por vaca | 8,4 minutos | 5,5 minutos | 35,0% |
| Actividades sin valor agregado | 35% del ciclo | <15% | +20,0% |
| Entregas rechazadas por antibióticos | 2 en el último año | — | — |

Nota: Elaboración propia (2025)

La Tabla 4 Variables críticas cuantifica la brecha de eficiencia que sustenta la necesidad de la reingeniería operativa, destacando un exceso del 35% en el tiempo de ciclo por unidad y un nivel crítico de actividades sin valor agregado (35%). Desde la ingeniería de métodos, estas cifras confirman que el proceso actual opera bajo un estado de "descontrol estadístico", donde el desperdicio de tiempo y el riesgo latente de rechazos por antibióticos comprometen la capacidad instalada. La reducción de la brecha proyectada no solo busca la optimización del recurso tiempo, sino la estabilización del flujo productivo mediante la eliminación de cuellos de botella y errores de manipulación, transformando la ineficiencia estructural en una ventaja competitiva que asegure el cumplimiento del "cero defectos" en las entregas a la cooperativa.

1.3.2 Justificación del proyecto

La presente investigación se fundamenta en la necesidad imperativa de optimizar la productividad, rentabilidad y sostenibilidad operativa de Hacienda La Concepción. Ante un escenario de ineficiencias estructurales en el proceso de ordeño, este proyecto se

posiciona como una intervención estratégica desde la Ingeniería Industrial, diseñada para transformar un sistema actualmente empírico y variable en un modelo de gestión basado en datos, control estadístico y estandarización de procesos.

En el ámbito económico, la problemática ha trascendido la ineficiencia operativa para convertirse en una fuente crítica de pérdidas financieras. La incapacidad de cumplir consistentemente con los estándares de la Cooperativa Dos Pinos impide el acceso a las bonificaciones por "leche premium", lo que representa un lucro cesante anual superior a los dos millones de colones. A esto se suman eventos críticos de contaminación por residuos de antibióticos, cuyas sanciones han superado los siete millones de colones en una sola incidencia. Por consiguiente, la implementación de soluciones de ingeniería no es solo una mejora técnica, sino una medida de urgencia para detener la fuga constante de valor y asegurar la viabilidad financiera de la organización.

Desde el punto de vista técnico-operativo, el proyecto introduce herramientas de reingeniería tales como el análisis de tiempos, la definición de indicadores clave de desempeño (KPI) y la creación de protocolos estandarizados (SOP) que permiten maximizar el aprovechamiento de los recursos humanos y tecnológicos disponibles. Esta base técnica no solo facilita la toma de decisiones informadas, sino que dota a la finca de mecanismos de control preventivo, fortaleciendo su posición competitiva frente a otros proveedores de la cooperativa.

La relevancia de esta intervención se ve respaldada por la literatura técnica del sector. Según destaca Faya (citado en el marco teórico), más del 50% de la carga laboral en una explotación lechera se concentra en la rutina de ordeño; por tanto, una mejora metodológica integral puede elevar la productividad significativamente al integrar criterios de gestión de

calidad. En concordancia, Hernández (2020) subraya que la correcta estandarización de los sistemas de ordeño influye directamente en la reducción del esfuerzo físico, la mejora de la inocuidad del producto y el aumento del rendimiento operativo global.

Finalmente, los beneficios del proyecto se extienden de manera multidimensional. Los propietarios y el personal operativo obtendrán una estructura de trabajo más organizada y rentable; la cooperativa recibirá un producto con mayor estabilidad higiénico-sanitaria; y, a nivel académico, la investigación aporta un modelo replicable para la gestión agroindustrial en Costa Rica. En síntesis, esta propuesta responde a una prioridad estratégica de la alta dirección, alineando la eficiencia productiva con los principios de producción responsable y gestión óptima de recursos en el contexto rural nacional.

1.4 Objetivos del proyecto

1.4.1 Objetivo general

Optimizar la productividad del proceso de ordeño en Hacienda La Concepción, ubicada en Sarapiquí, Costa Rica, mediante la aplicación de una propuesta de reingeniería operativa basada en el ciclo DMAIC, con el fin de reducir pérdidas económicas, mejorar la calidad de la leche y elevar la eficiencia operativa durante el tercer trimestre del año 2025.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el desempeño actual del proceso de ordeño mediante la recolección y análisis de datos operativos (tiempos, calidad, desperdicios) para identificar los factores críticos que afectan la productividad y calidad del producto.
- Diseñar una propuesta de reingeniería operativa enfocada en la estandarización del procedimiento de ordeño, control de puntos críticos y asignación eficiente de recursos

humanos, en cumplimiento con los estándares de calidad exigidos por la Cooperativa Dos Pinos.

- Implementar indicadores clave de desempeño (KPI) como tiempo de ciclo, recuento de células somáticas y tasa de rechazo, que permitan monitorear en la eficiencia y calidad del proceso.
- Capacitar al personal de la finca en los nuevos procedimientos operativos mediante talleres prácticos, guías técnicas y acompañamiento, para asegurar la correcta adopción de la propuesta de mejora.
- Establecer un sistema de seguimiento y control del proceso de ordeño, que permita verificar el cumplimiento sostenido del procedimiento optimizado y mantener una cultura de mejora continua en la operación diaria.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

El proyecto se desarrollará en Hacienda La Concepción, ubicada en Puerto Viejo de Sarapiquí, provincia de Heredia, Costa Rica, durante el tercer trimestre del año 2025. El alcance físico del estudio estará delimitado al área de ordeño mecánico, comprendida desde la entrada del ganado a la fosa de ordeño, la ejecución del proceso operativo y la etapa de almacenamiento inicial de la leche, sin intervenir en otros procesos productivos como alimentación, reproducción, salud animal o logística de distribución.

El enfoque se centrará en el análisis técnico-operativo del proceso de ordeño, mediante la recolección de datos de desempeño, evaluación de tareas y rediseño del procedimiento bajo

los principios de la ingeniería industrial, particularmente con herramientas del ciclo DMAIC y metodologías de reingeniería de procesos.

Los principales entregables del proyecto incluirán:

- Una propuesta de protocolo estandarizado de ordeño.
- Diseño e implementación de un sistema de monitoreo operativo e indicadores clave (KPIs).
- Estrategias de capacitación y sensibilización del personal operativo.
- Identificación de variables críticas y su comportamiento histórico y proyectado.

Se beneficiarán de este proyecto, de forma directa, los propietarios y trabajadores de Hacienda La Concepción, al contar con un proceso más eficiente, trazable y rentable. A mediano plazo, también se beneficiará la Cooperativa Dos Pinos, al recibir un producto de mayor calidad y menor variabilidad.

Las variables de investigación asociadas al alcance son:

- Tiempo promedio de ordeño por unidad animal.
- Porcentaje de leche descartada por antibióticos o fallas sanitarias.
- Conteo bacteriano y de células somáticas.
- Costos por litro producido.

Este proyecto, al estar alineado con la línea de investigación de productividad y eficiencia operativa de la Escuela de Ingeniería Industrial, busca aportar no solo a la organización

estudiada, sino también a la generación de conocimiento técnico replicable en otros entornos agroindustriales.

1.5.2 Limitaciones

El proyecto presenta algunas limitaciones metodológicas y operativas que, si bien no imposibilitan su ejecución, sí podrían condicionar el ritmo o el alcance de algunos resultados esperados durante su desarrollo en Hacienda La Concepción. Entre las principales limitaciones previstas se encuentran:

- Falta de documentación formal del proceso actual de ordeño. La empresa no cuenta con procedimientos escritos ni registros sistemáticos históricos sobre la ejecución del proceso de ordeño, lo cual dificulta el análisis comparativo inicial y obliga a realizar un levantamiento desde cero.
- Baja disponibilidad tecnológica para mediciones automatizadas. No existen sensores o sistemas digitales que permitan registrar automáticamente variables como tiempo de ordeño por vaca o volumen de leche por sesión, por lo que se recurrirá a instrumentos manuales y observación directa, aumentando el margen de error humano.
- Rotación de personal y turnos diferenciados. La existencia de dos turnos de trabajo y la ocasional rotación de trabajadores podría afectar la consistencia de los datos obtenidos y la estabilidad de las mejoras implementadas en etapas tempranas.
- Resistencia al cambio por parte del personal operativo. La alta experiencia práctica del personal, junto con bajos niveles de escolaridad, podría dificultar la adopción

de nuevos protocolos o prácticas estandarizadas sin un acompañamiento pedagógico intenso y continuo.

- Condiciones climáticas variables. Las variaciones estacionales del clima en Sarapiquí podrían alterar los tiempos, la frecuencia y la logística de ordeño, influyendo indirectamente en los datos recogidos y los resultados de implementación de mejoras.
- Dependencia del marco regulatorio de la Cooperativa Dos Pinos. Algunas acciones o cambios propuestos deberán respetar las normativas y restricciones impuestas por la cooperativa, lo cual limita el rango de autonomía para implementar transformaciones en el proceso.

Estas limitaciones serán debidamente consideradas y documentadas en el análisis metodológico y en la fase de implementación, a fin de garantizar que el proyecto mantenga su viabilidad técnica y logre sus objetivos dentro del marco de realidad operativo de Hacienda La Concepción.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco conceptual general relativo a la carrera

La Ingeniería Industrial se define como una disciplina técnica, científica y administrativa enfocada en el diseño, mejora e implementación de sistemas integrados de personas, materiales, información, equipos y energía. En el contexto de la optimización del proceso de ordeño bovino, esta disciplina permite abordar problemas técnico-operativos mediante un enfoque sistémico, buscando siempre la eficiencia global del sistema productivo.

Según Flores et al. (2020), la ingeniería industrial moderna se fundamenta en la aplicación de técnicas para el incremento de la productividad y la mejora continua, permitiendo que las organizaciones eliminen desperdicios y optimicen sus recursos disponibles. En este sentido, el proyecto se alinea con la visión de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana (2024), la cual enfatiza la capacidad del profesional para diagnosticar situaciones complejas y proponer soluciones basadas en el rigor metodológico.

Para efectos de esta investigación, centrada en la reingeniería operativa de la Hacienda La Concepción, se recurre a los siguientes fundamentos esenciales de la carrera:

2.1.1 Producción y operaciones

Esta área se refiere al núcleo de cualquier sistema productivo, ya que comprende el conjunto de actividades involucradas en la transformación de insumos en productos terminados. La gestión de operaciones busca alcanzar niveles óptimos de eficiencia, calidad y productividad, lo que resulta esencial en contextos agroindustriales como el ordeño de vacas. Estos aspectos de acuerdo con Murga et al. (2020) son:

Proceso productivo: Se define como una serie estructurada de actividades que convierten insumos (vacuno, operarios, equipo, instalaciones, energía) en productos con valor agregado (leche apta para consumo o procesamiento industrial). En Hacienda La Concepción, el proceso inicia con la preparación del animal, sigue con el ordeño mecánico y finaliza con el almacenamiento en tanques de enfriamiento. Cada una de estas etapas debe ser controlada para asegurar la trazabilidad y la inocuidad del producto. (p.1)

La trazabilidad y control del proceso productivo: son esenciales para garantizar la inocuidad de la leche y cumplir con normativas internacionales, especialmente en cadenas de valor certificadas como la láctea (Álvarez Herrera & Ríos Yabur, 2021).

Valor agregado: Se refiere al aumento del valor percibido del producto mediante la incorporación de prácticas eficientes y seguras. En este caso, el valor agregado no solo proviene de la extracción de leche, sino de lograr parámetros de calidad exigidos por la Cooperativa Dos Pinos, que se traducen en bonificaciones económicas y mayor competitividad. Como también señalan Monge-Arias et al. (2023) “la leche que cumple altos estándares sanitarios, de enfriamiento y análisis microbiológico no solo evita rechazos, sino que fortalece la competitividad del productor” (párr. 8).

Eficiencia técnica: Es la relación entre los insumos utilizados y los resultados obtenidos. Un proceso de ordeño eficiente implica maximizar la cantidad y calidad de leche obtenida por unidad de tiempo y recurso humano, reduciendo las pérdidas por contaminación, fallos mecánicos o errores humanos. Además, factores como la alimentación del ganado, su genética y el tipo de sistema de ordeño implementado también influyen directamente en la eficiencia técnica (Calvo Hernández, 2021).

En la actualidad, la gestión de operaciones en la industria láctea se ve confrontada con desafíos crecientes relacionados con la trazabilidad, la seguridad alimentaria y la eficiencia energética. La integración de tecnologías avanzadas y prácticas de gestión de la calidad no solo optimiza el rendimiento, sino que también genera una ventaja competitiva significativa (Cruz Morales et al., 2023)

Murga et al. (2020) ya destacaban la esencialidad de la eficiencia, calidad y productividad en el ordeño. A ello se suma la imperante necesidad de adoptar un enfoque proactivo en la minimización de riesgos de contaminación y la optimización del uso de recursos, lo cual requiere una comprensión profunda del ciclo de vida del producto y sus impactos (Blanco Acuña & Quirós Salas, 2024).

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, se busca rediseñar el sistema productivo del ordeño para eliminar tareas redundantes, reducir tiempos ociosos, mejorar la organización del trabajo y garantizar la calidad del producto con el menor consumo de recursos.

2.1.2 Estudio de Tiempos

La ingeniería de tiempos es una de las áreas fundamentales de la Ingeniería Industrial para el análisis y mejora de procesos productivos repetitivos. Su aplicación permite medir, evaluar y estandarizar la duración de las actividades, resultando especialmente relevante en operaciones como el ordeño mecánico, donde la variabilidad en los tiempos de ejecución afecta directamente la productividad y la calidad del producto final.

De acuerdo con Melo (2024), el estudio de tiempos consiste en la medición sistemática de la duración de las actividades que realiza un operario, con el fin de establecer tiempos de

referencia, identificar cuellos de botella y detectar pérdidas asociadas a esperas o fallas operativas. En el presente proyecto, este análisis aporta información objetiva para diagnosticar el desempeño del proceso en Hacienda La Concepción, permitiendo determinar el tiempo promedio por unidad y la variabilidad existente entre turnos u operarios.

Desde una perspectiva de reingeniería, el análisis de la secuencia operativa permite comprender la organización de las tareas y su impacto sobre el tiempo total de ciclo. Como menciona Fajardo (2025), la medición precisa del tiempo de ejecución es el primer paso para rediseñar procesos y eliminar actividades que no agregan valor, asegurando una transición hacia operaciones más ágiles y controladas.

Metodológicamente, el estudio de tiempos se vincula con la fase de Medición (Measure) del enfoque DMAIC, al proporcionar una cuantificación objetiva del desempeño actual (León, 2020). La recolección sistemática de datos sobre tiempos de ciclo y demoras permite establecer una línea base confiable para identificar las oportunidades de mejora crítica. Al respecto, Pinzón (2024) destaca que la optimización de la sala de ordeño depende estrictamente de la capacidad de estandarizar rutinas, lo que reduce el estrés tanto en el personal como en el animal.

En este contexto, la industria láctea costarricense enfrenta retos significativos de competitividad que refuerzan la necesidad de optimizar los procesos internos mediante el uso eficiente del tiempo (Monge et al., 2023). Por tanto, la aplicación de esta técnica en el proyecto tiene como finalidad sustentar técnicamente el rediseño operativo, aportando datos que permitan reducir la variabilidad y mejorar la productividad bajo los estándares de calidad exigidos por el sector.

2.1.3 Calidad y mejora continua

La búsqueda de la calidad en la Ingeniería Industrial trasciende el cumplimiento de estándares, orientándose hacia la generación de valor y la estabilidad operativa. En el sector lácteo, la gestión de la calidad no solo persigue la conformidad del producto, sino la capacidad de adaptación ante exigencias sanitarias estrictas (Cadenas et al., 2021). Bajo esta premisa, la mejora continua promueve la revisión sistemática de los procesos para corregir desviaciones que afecten el desempeño.

En el contexto del ordeño mecánico, Faya (2020) señala que la implementación de prácticas de mejora permite optimizar la producción sin comprometer la salud animal ni los estándares higiénicos. Para efectos de esta investigación, se consideran los siguientes fundamentos y herramientas:

- **Ciclo PHVA (Planificar–Hacer–Verificar–Actuar):** Este ciclo, desarrollado por Deming, constituye el marco lógico para estructurar procesos de mejora de forma iterativa. En el presente estudio, funciona como un referente conceptual para la planificación y ajuste de las acciones propuestas, permitiendo que el rediseño operativo mantenga una coherencia sistémica con los objetivos de la Hacienda (Alcaldía de Palmira, 2023).
- **Control Estadístico del Proceso (CEP):** Es una herramienta cuantitativa utilizada para analizar la variabilidad. Aunque en la industria láctea se asocia a parámetros fisicoquímicos, en este proyecto el fundamento del CEP se aplica al análisis descriptivo de la variabilidad temporal y operativa (Guzmán, 2024). Esto permite

comprender si el proceso se encuentra bajo condiciones estables o si presenta causas especiales de variación que requieren intervención.

- **Diagrama de caja y bigotes:** También conocido como boxplot, es una herramienta gráfica utilizada para representar la distribución de un conjunto de datos y analizar su variabilidad, dispersión y posibles valores atípicos. Esta representación resume visualmente medidas estadísticas como la mediana, los cuartiles y los valores extremos, permitiendo identificar de manera rápida la amplitud de los datos y el grado de heterogeneidad presente en un proceso.

Desde la perspectiva del análisis de procesos, el diagrama de caja resulta especialmente útil cuando se requiere comparar el comportamiento de una variable entre distintos grupos o escenarios operativos. Según Montgomery (2020), este tipo de gráfico facilita la interpretación de la variación de los datos y permite detectar diferencias en la dispersión y en la tendencia central, aspectos fundamentales para el control y mejoramiento de los procesos.

En el ámbito de la ingeniería industrial, su utilidad radica en que permite visualizar de manera clara la estabilidad relativa de un proceso y evaluar si una intervención propuesta contribuye a reducir la variabilidad. En procesos productivos como el ordeño, donde existen diferencias en los tiempos de ejecución entre grupos de animales o entre rutinas operativas, el diagrama de caja constituye una herramienta pertinente para comparar escenarios y valorar si una reorganización del proceso genera una distribución más homogénea y controlada.

- **Diagrama Causa–Efecto (Ishikawa):** Esta herramienta gráfica facilita la identificación sistemática de las causas raíz de un problema mediante la clasificación en categorías (mano de obra, maquinaria, métodos, materiales, medio ambiente y medición). Según el Kaizen Institute (2022), el Ishikawa favorece un análisis integral que evita soluciones superficiales. En esta investigación, representa el insumo técnico principal para diagnosticar la variabilidad del tiempo de ordeño, sirviendo como base para la posterior priorización y selección de las soluciones desarrolladas en los capítulos finales.
- **Consolidación y jerarquización de causas raíz para análisis de priorización:** En procesos complejos con alta interacción entre factores operativos, como los sistemas agroindustriales de ordeño, la identificación inicial de causas mediante el diagrama de Ishikawa suele generar un número elevado de variables que, si bien describen adecuadamente el problema, presentan altos niveles de correlación entre sí. En estos casos, la literatura en mejora continua y análisis causa–raíz recomienda realizar una consolidación previa de causas antes de aplicar herramientas de priorización como el Diagrama de Pareto, con el fin de evitar una fragmentación artificial del análisis y facilitar la toma de decisiones estratégicas.

Según Juran y Godfrey (1999), el principio de Pareto debe aplicarse sobre causas estructurales, no sobre síntomas individuales, ya que la priorización efectiva busca identificar aquellos factores dominantes cuya intervención genera efectos sistémicos sobre el desempeño del proceso. De manera similar, Montgomery (2020) señala que, en análisis de calidad, las causas altamente correlacionadas

deben agruparse en categorías operativas comunes para evitar distorsiones en la interpretación del impacto relativo de cada factor.

El Kaizen Institute (2022) enfatiza que el diagrama de Ishikawa constituye una herramienta exploratoria, cuyo propósito es visualizar la totalidad de factores que influyen en un problema, mientras que el Pareto cumple una función decisional, orientada a seleccionar los pocos factores críticos que concentran la mayor parte del impacto. Por esta razón, resulta metodológicamente válido consolidar causas de primer nivel en causas estructurales de segundo nivel, siempre que dicha consolidación responda a criterios técnicos claros como similitud funcional, dependencia operativa o efecto común sobre el resultado del proceso.

En el contexto del ciclo DMAIC, esta práctica se enmarca en la fase de Análisis (Analyze), donde el objetivo no es enumerar exhaustivamente las causas, sino identificar aquellas variables críticas de entrada (X's vitales) que explican la mayor proporción de la variabilidad observada en la salida del proceso (Y). La consolidación de causas permite, por tanto, alinear el diagnóstico con el diseño de acciones de mejora focalizadas, evitando dispersar esfuerzos en intervenciones de bajo impacto.

En consecuencia, la agrupación de causas identificadas en el diagrama de Ishikawa en factores estructurales consolidados constituye una práctica metodológicamente válida y ampliamente aceptada en la ingeniería industrial, especialmente cuando el análisis tiene como finalidad la priorización de acciones de mejora y la optimización del desempeño operativo del proceso.

Desde una perspectiva sistémica, la calidad se desarrolla a lo largo de toda la cadena. Como destacan Cadenas et al. (2021), la gestión adecuada de las interrelaciones entre los factores humanos y técnicos incide directamente en el cumplimiento de las expectativas del cliente. Así, la mejora continua se concibe como un principio que orienta la toma de decisiones y el fortalecimiento del desempeño operativo en la Hacienda La Concepción.

2.1.4 Técnicas de estandarización

La estandarización de procesos es una de las estrategias más eficaces para asegurar la calidad, reducir la variabilidad operativa y aumentar la productividad. Consiste en formalizar las mejores prácticas mediante documentos y rutinas reproducibles que orienten el actuar del personal en condiciones controladas. Según Novoa (2021), la estandarización no es un fin estático, sino una base que debe actualizarse constantemente ante cambios tecnológicos o ambientales para mantener la competitividad.

- **Manuales de Procedimiento y Protocolos Operativos Estándar (POE):** Son documentos técnicos que definen sistemáticamente el qué, cómo, cuándo y quién debe ejecutar cada actividad (Establecimiento Público Ambiental, 2023). En Hacienda La Concepción, la implementación de POE permite uniformar tareas críticas como la preparación de la ubre, el sellado y el manejo del equipo, reduciendo la improvisación y el error humano.
- **Reducción de variabilidad operativa:** Al definir tiempos estándar y puntos de control, se disminuyen las brechas de desempeño entre operarios. Esto facilita la repetibilidad del proceso y asegura que los resultados cumplan consistentemente con los parámetros exigidos por la Cooperativa Dos Pinos (Fajardo, 2025).

- **Soporte a la capacitación y mejora:** Los protocolos sirven como herramientas de inducción para nuevos operarios y como línea base para auditorías internas. Como señalan Blanco & Quirós (2024), la estandarización debe alimentarse de una retroalimentación activa para evitar que las prácticas queden obsoletas ante nuevas regulaciones sanitarias.

A continuación, se presenta la Tabla 5 Aporte de los fundamentos de Ingeniería Industrial al rediseño del proceso de ordeño, que consolida la relación entre los fundamentos teóricos y su aplicación práctica en el proyecto.

Tabla 5. Aporte de los fundamentos de Ingeniería Industrial al rediseño del proceso de ordeño

| Área temática | Concepto clave | Aporte al proyecto de graduación |
|--------------------------|--------------------|---|
| Producción y operaciones | Proceso productivo | Permite comprender y controlar el flujo general del proceso de ordeño para identificar etapas críticas y fuentes de ineficiencia. |
| | Valor agregado | Facilita la identificación de actividades que aportan directamente a la calidad y rentabilidad del producto final. |
| Métodos y tiempos | Eficiencia técnica | Optimiza el uso de recursos humanos y tecnológicos mediante la reducción de tiempos improductivos. |
| | Estudio de métodos | Permite analizar de forma general la secuencia de actividades del ordeño para comprender su organización operativa. |

| | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--|
| | Estudio de tiempos | Proporciona información objetiva para establecer tiempos de referencia y analizar la variabilidad del proceso. |
| Calidad y mejora continua | Ciclo PHVA | Funciona como marco conceptual de referencia para la comprensión de la lógica de mejora continua. |
| | Diagrama causa-efecto | Apoya la identificación estructurada de causas raíz asociadas a problemas de tiempo y calidad del proceso. |
| Estandarización de procesos | Protocolos operativos (POE) | Asegura la uniformidad del proceso entre turnos, reduce errores y facilita la capacitación del personal. |
| | Reducción de variabilidad | Contribuye a la consistencia del proceso y a la estabilidad de los resultados operativos. |

Nota. Elaboración propia (2025)

La Tabla 5 Aporte de los fundamentos de Ingeniería Industrial al rediseño del proceso de ordeño sistematiza el soporte científico del proyecto, integrando las áreas de métodos, tiempos y calidad como un engranaje único para la optimización de Hacienda La Concepción. El aporte trasciende la mejora aislada, pues utiliza el Estudio de Tiempos y los Protocolos Operativos Estándar (POE) como herramientas de estabilización del proceso, permitiendo migrar de una gestión basada en la intuición a una basada en datos objetivos. Al aplicar el Ciclo PHVA y el Diagrama Causa-Efecto, la investigación garantiza que la reingeniería no sea solo correctiva, sino preventiva, atacando la variabilidad intrínseca del ordeño y asegurando que cada actividad ejecutada genere valor agregado tangible tanto en la calidad del producto como en la rentabilidad del sistema productivo.

2.2 Marco conceptual atinente a la gestión del proyecto

La Ingeniería Industrial integra principios de eficiencia, sostenibilidad y resiliencia en los sistemas productivos. En el entorno agroindustrial, es imperativo un enfoque sistémico que busque no solo la mejora técnica, sino también la viabilidad económica y operativa a largo plazo (González & Pérez, 2021). Según González & Armas (2022), la gestión moderna debe migrar hacia esquemas que promuevan el uso eficiente de los recursos desde cada etapa del proceso, garantizando la competitividad en mercados dinámicos.

El rediseño operativo de la Hacienda La Concepción requiere una gestión estructurada que abarque desde el diagnóstico hasta la propuesta de soluciones. Para ello, se incorporan dos marcos de referencia fundamentales: el enfoque DMAIC, para la estructuración lógica del análisis, y las áreas de conocimiento del PMBOK, para garantizar la pertinencia estratégica de la propuesta.

2.2.1 DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)

El enfoque DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), originado en la metodología Six Sigma, es ampliamente reconocido en la Ingeniería Industrial como un modelo estructurado para el análisis y mejora de procesos. Su objetivo principal es comprender el desempeño de un proceso, identificar las causas de la variabilidad y orientar la toma de decisiones basada en datos (León, 2020).

En el presente proyecto, el enfoque DMAIC no se aplica como una metodología formal e integral, sino que se utiliza como un marco conceptual de referencia para estructurar el diagnóstico y el análisis del proceso de ordeño. Este uso permite ordenar de manera lógica

las actividades desarrolladas, sin que ello implique la implementación completa de todas sus fases ni la adopción de sistemas avanzados de control propios de proyectos Six Sigma.

Desde esta perspectiva, el proyecto se apoya principalmente en las fases de Definición, Medición y Análisis, las cuales resultan coherentes con las actividades efectivamente realizadas y documentadas.

- **Definir (Define):** Se orienta a la delimitación del problema y al establecimiento del alcance. En este estudio, comprende la identificación de la variabilidad en el tiempo de ordeño y su impacto en la productividad, permitiendo establecer objetivos claros y focalizar el análisis en las áreas críticas de la Hacienda (Becerra, 2021).

- **Medir (Measure):** Se centra en la recolección de datos que describen el desempeño actual. En esta investigación, la medición se enfocó en el registro sistemático de tiempos de ordeño para establecer una línea base de comparación entre turnos. Como indica Guzmán (2024), esta fase proporciona la cuantificación necesaria para dimensionar la magnitud de las ineficiencias antes de proponer cambios.

- **Analizar (Analyze):** Su finalidad es identificar las causas raíz de las ineficiencias detectadas. Para ello, el uso del Diagrama de Ishikawa es fundamental, permitiendo visualizar de manera estructurada las causas bajo las dimensiones de las 6M (Kaizen Institute, 2022). Este análisis es el eje que permite seleccionar las causas críticas (Tipo A) mediante el Diagrama de Pareto, asegurando que las soluciones ataquen el origen real del problema.

Las etapas de Mejora (Improve) y Control (Control) se abordan en este trabajo a través del diseño de propuestas de estandarización (POE) y recomendaciones operativas. Estas fases

se orientan a fortalecer la consistencia del proceso y reducir la variabilidad identificada, garantizando que el rediseño sea sostenible en el tiempo (Fajardo, 2025).

En síntesis, el enfoque DMAIC actúa como la columna vertebral del proyecto, asegurando que el diagnóstico y las propuestas de mejora sigan una secuencia lógica y basada en evidencia técnica, alineada con la realidad operativa de la unidad productiva.

2.2.2 Gestión de proyectos bajo enfoque ingenieril: PMBOK

La gestión de proyectos es un campo de conocimiento esencial en la Ingeniería Industrial, orientado a la planificación y organización de actividades para alcanzar objetivos específicos de mejora. El *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) se reconoce como el estándar internacional para estructurar estas iniciativas, asegurando que las soluciones propuestas sean técnicamente viables y estratégicamente pertinentes (Becerra, 2021).

En el presente trabajo, el PMBOK se utiliza como un referente conceptual de apoyo para contextualizar la optimización del proceso de ordeño como una iniciativa organizada. Este enfoque permite que el rediseño operativo no sea visto solo como un cambio técnico, sino como un proyecto de mejora que considera los siguientes aspectos fundamentales:

- **Alcance y Pertinencia:** Asegura que las propuestas de estandarización y reingeniería se mantengan alineadas con el objetivo de reducir la variabilidad en Hacienda La Concepción, evitando desviaciones hacia áreas fuera del diagnóstico inicial.
- **Viabilidad de la Solución:** El enfoque ingenieril del PMBOK permite estructurar las recomendaciones de los capítulos finales de manera que sean ejecutables dentro

de la realidad operativa de la hacienda, considerando la interrelación entre los recursos humanos, técnicos y económicos (Becerra, 2021).

- **Sostenibilidad de los Resultados:** Al abordar la mejora desde una perspectiva de proyecto, se facilita la creación de una solución que pueda ser monitoreada y controlada en el tiempo, garantizando que el rediseño operativo genere beneficios sostenidos para la productividad y la calidad de la leche.

De esta manera, el proyecto integra el rigor técnico del análisis de tiempos con una estructura organizativa coherente, asegurando que el rediseño del proceso de ordeño cumpla con los estándares de calidad y eficiencia exigidos por la disciplina.

2.2.3 Análisis de riesgos operacionales

Todo proceso productivo está expuesto a eventos que pueden afectar su desempeño, calidad o continuidad. En la Ingeniería Industrial, el análisis de riesgos permite comprender las vulnerabilidades de los sistemas y apoyar la toma de decisiones preventivas. En el sector agroindustrial, este análisis debe considerar tanto los fallos internos del proceso como factores externos que impactan la sostenibilidad del sistema (Pérez & Vega, 2021).

Dentro de este marco, la gestión de riesgos en Hacienda La Concepción se aborda desde una perspectiva de resiliencia operativa. Según Blanco & Quirós (2024), la capacidad de adaptación frente a eventos como variaciones climáticas severas o fallas energéticas debe ser un criterio estratégico en la gestión del ordeño, ya que estas interrupciones afectan directamente la estabilidad del hato y la calidad de la leche recolectada.

Para efectos de este proyecto, la identificación de riesgos se integra de manera práctica en el **análisis causa-raíz**, donde se evalúan factores críticos como:

- **Riesgos Técnicos:** Fallos en los sistemas de vacío o líneas de leche que incrementan el tiempo de ordeño.
- **Riesgos de Calidad:** Desviaciones en los protocolos de higiene que pueden derivar en penalizaciones económicas (Otero et al., 2024).
- **Riesgos Humanos:** Variabilidad en la técnica operativa por falta de estandarización, lo que genera inconsistencia en los resultados de los turnos.

Aunque existen herramientas diagnósticas avanzadas como el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) para priorizar riesgos mediante índices de severidad y detección (Ortega et al., 2024), el presente estudio se centra en la priorización de causas críticas mediante el Diagrama de Pareto. Este enfoque permite identificar los eventos de mayor impacto operativo, asegurando que las propuestas de estandarización actúen como mecanismos preventivos que fortalecen la continuidad y eficiencia del proceso de ordeño.

2.2.4 Diseño no experimental, transeccional y estudio de caso como fundamento metodológico

En investigación aplicada, la selección del diseño metodológico constituye un elemento fundamental para asegurar la coherencia entre el problema planteado, los objetivos del estudio y las técnicas utilizadas para la recolección y análisis de la información. Dentro de esta lógica, los diseños no experimentales, transeccionales y de estudio de caso resultan particularmente pertinentes cuando se busca comprender procesos reales en su contexto natural, sin intervenir deliberadamente sobre las variables que los componen.

El diseño no experimental se caracteriza por el análisis de los fenómenos tal y como ocurren en la realidad, sin manipulación intencional de las variables independientes. Según

Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), en este tipo de estudios el investigador observa las situaciones existentes y analiza sus relaciones y efectos sin introducir tratamientos o condiciones controladas. Esta característica resulta especialmente relevante en contextos productivos y organizacionales, donde el interés se centra en comprender el comportamiento real de los procesos y no en reproducir condiciones artificiales de laboratorio.

Por su parte, el diseño transeccional, también denominado transversal, se distingue porque la recolección de datos se realiza en un solo momento o en un periodo único delimitado, con el propósito de describir variables y analizar su comportamiento en un contexto específico. Hernández Sampieri et al. (2014) señalan que los diseños transeccionales recolectan información en un tiempo único, permitiendo obtener una caracterización diagnóstica del fenómeno estudiado sin dar seguimiento a su evolución a través del tiempo. Desde esta perspectiva, el carácter transeccional resulta adecuado cuando se busca construir una “fotografía analítica” de un proceso, identificando sus condiciones operativas, sus patrones de comportamiento y las principales relaciones entre sus variables en un momento determinado.

En complemento, el estudio de caso constituye una estrategia de investigación orientada al análisis intensivo y contextualizado de una unidad específica, con el fin de comprender en profundidad sus particularidades, interacciones y dinámicas internas. De acuerdo con Yin (2018), el estudio de caso permite investigar fenómenos contemporáneos dentro de su contexto real, especialmente cuando los límites entre el fenómeno y el contexto no se encuentran claramente definidos. Esta aproximación resulta de gran utilidad en investigaciones de ingeniería aplicada, ya que facilita adaptar herramientas analíticas y

propuestas de mejora a las condiciones concretas de una organización o proceso determinado.

La articulación de estos tres elementos no experimental, transeccional y estudio de caso proporciona una base metodológica sólida para investigaciones orientadas al diagnóstico y rediseño de procesos. Su valor radica en que permiten comprender una realidad operativa específica desde una perspectiva técnica, contextual y sistemática, favoreciendo la formulación de propuestas de mejora viables y ajustadas a las características del entorno en que se desarrollan.

2.3 Marco conceptual referente al impacto del proyecto

Todo proyecto de mejora operativa debe ser evaluado por el impacto real que genera en el sistema intervenido. Desde el enfoque de la Ingeniería Industrial, estos impactos se clasifican en dimensiones técnicas, económicas y organizacionales. En este apartado se detallan los fundamentos que sustentan los beneficios esperados del rediseño del proceso de ordeño en Hacienda La Concepción.

2.3.1 Impacto técnico-operativo

El impacto técnico-operativo hace referencia a las mejoras que se pueden lograr en los indicadores clave del proceso gracias a la aplicación de herramientas de reingeniería, análisis de métodos y control estadístico (Flores et al., 2020). En el caso específico del ordeño, este impacto se traduce en eficiencia, estabilidad del proceso y reducción de la variabilidad operativa (Fajardo, 2025).

Según Blanco y Quirós (2024), la estabilización de procesos agroindustriales mediante rediseños operativos bien estructurados permite lograr mejoras sostenidas en la calidad del producto y la productividad, al tiempo que reduce el margen de error humano. Bajo este enfoque, se consideran los siguientes pilares de impacto:

Mejora en el indicador kg/hombre/hora: La estandarización permite que los operarios realicen sus tareas con mayor precisión y menor fatiga, aumentando la producción por jornada (Fajardo, 2025). Experiencias documentadas por Cruz et al. (2023) muestran incrementos de hasta un 18% en la productividad tras ajustes en el layout operacional. En experiencias similares, Cruz et al. (2023) documentaron incrementos de hasta un 18% en la productividad laboral tras aplicar mejoras metodológicas y ajustes en el layout operacional.

Reducción de tiempos improductivos: Una de las principales debilidades del sistema actual es la presencia de actividades que no agregan valor, como desplazamientos innecesarios, tiempos de espera entre animales, coordinación deficiente entre operarios y manipulaciones redundantes. El rediseño operativo abordará estas ineficiencias mediante la redistribución de tareas, la mejora del layout del área de ordeño y la capacitación específica del personal en procedimientos eficientes. Se espera una reducción significativa del porcentaje de tiempo no productivo (actualmente estimado en un 35%), lo cual impactará positivamente la capacidad instalada del sistema.

Estabilización de parámetros de calidad: El rediseño busca disminuir la variabilidad entre turnos y operarios, lo cual permitirá estabilizar parámetros técnicos críticos como el recuento bacteriano, la acidez de la leche, la limpieza de los equipos y el tiempo estándar por vaca. Esto se logrará mediante el control riguroso de puntos críticos y el uso de

indicadores de desempeño (KPI) integrados al proceso. Al respecto, Guzmán (2024) enfatiza que: “El monitoreo de variables como células somáticas, acidez y temperatura mediante indicadores de desempeño permite anticipar desviaciones y fortalecer el control del proceso en tiempo real” (p. 6).

En conjunto, el impacto técnico-operativo permitirá transformar un sistema empírico y variable en un proceso controlado, repetible y alineado con los estándares de calidad exigidos por la industria láctea costarricense.

2.3.2 Impacto económico

La productividad técnica en un entorno industrial debe traducirse necesariamente en resultados financieros tangibles para que un proyecto de mejora sea considerado exitoso. Bajo esta premisa, el rediseño operativo del proceso de ordeño en Hacienda La Concepción no solo busca la eficiencia en tiempos, sino la maximización de los ingresos mediante la mitigación de riesgos y la optimización de los recursos existentes a través de cuatro ejes económicos fundamentales.

En primera instancia, la disminución de pérdidas por leche penalizada o descartada representa el impacto más inmediato. Los fallos operativos actuales, que han derivado en entregas con presencia de inhibidores o parámetros fuera de rango, han generado sanciones críticas superiores a los ₡7.000.000 en un solo evento, poniendo en riesgo la sostenibilidad financiera del negocio. Al respecto, Ortega et al. (2024) sostienen que la estandarización de protocolos en actividades agroindustriales es la herramienta más eficaz para reducir el riesgo de productos no conformes y evitar sanciones por el incumplimiento de requisitos técnicos.

Aunado a lo anterior, la captura de bonificaciones por calidad constituye una oportunidad de ingresos adicionales. Dado que la Cooperativa Dos Pinos ofrece incentivos económicos de hasta un 4% por el cumplimiento de parámetros microbiológicos, la estandarización de la rutina de ordeño permite estabilizar los resultados y asegurar que la hacienda acceda de forma constante a estos beneficios, mejorando sustancialmente el margen neto por litro producido.

Complementariamente, el proyecto aborda la reducción de costos ocultos e ineficiencias invisibles. Como destacan Cadenas et al. (2021), los mayores costos de una operación agropecuaria suelen provenir de fugas de valor ligadas a la falta de control sistemático, tales como el uso ineficiente del tiempo de la planilla y el desgaste prematuro de los equipos por manipulación incorrecta. La implementación de indicadores clave de desempeño (KPI) propuestos en esta investigación permitirá identificar y eliminar estas mermas operativas.

Finalmente, este enfoque promueve la optimización de la infraestructura existente, permitiendo incrementar la productividad sin la necesidad de incurrir en nuevas inversiones de capital (CAPEX) o aumentos en la planilla. Este aprovechamiento de la capacidad instalada mejora directamente el retorno sobre la inversión (ROI) de los activos actuales, siendo una estrategia fundamental para que fincas de mediana escala fortalezcan su competitividad comercial dentro del sistema cooperativo nacional. En resumen, el impacto económico esperado es una transición hacia una rentabilidad operativa robusta y una gestión financiera basada en la excelencia técnica.

En resumen, el impacto económico esperado es una mejora integral en la rentabilidad operativa y la competitividad comercial de la Hacienda dentro del sistema cooperativo nacional.

2.3.3 Impacto estratégico y organizacional

Además de los efectos directos sobre la productividad y las finanzas, el rediseño operativo genera un impacto profundo en el posicionamiento estratégico de Hacienda La Concepción dentro del ecosistema agroindustrial. La transición hacia protocolos estandarizados y sistemas de control robustos no solo optimiza los procesos internos, sino que eleva la credibilidad y reputación de la unidad productiva ante los actores clave del sector lácteo.

En este sentido, el fortalecimiento de la posición ante la Cooperativa Dos Pinos es un resultado estratégico fundamental. Dado que la cooperativa actúa como un ente regulador de la calidad y trazabilidad para sus afiliados, el cumplimiento sistemático de parámetros técnicos como el recuento bacteriano, la gravedad específica y el nivel de células somáticas posiciona a la hacienda como un proveedor de alta confiabilidad. Según Monge et al. (2023), el cumplimiento riguroso de estos estándares microbiológicos constituye el principal diferenciador competitivo en la industria láctea nacional. Esta solvencia técnica asegura beneficios críticos, tales como la garantía en el volumen de recepción, la estabilidad comercial a largo plazo y un acceso preferencial a programas de incentivo técnico o financiamiento, asegurando que la finca cumpla con las normativas internacionales de inocuidad alimentaria.

Por otro lado, el impacto organizacional más relevante reside en la construcción de una cultura orientada a la calidad y la mejora continua. Este proceso implica la transición de una gestión basada en el conocimiento empírico hacia un marco técnico formal, donde la introducción de estándares y la medición de indicadores clave (KPI) transforma la percepción del rol del colaborador. El objetivo es que el personal adopte una "disciplina operativa" bajo la cual la identificación de fallas y la retroalimentación técnica se integren

orgánicamente en la rutina diaria, siguiendo los principios de mejora continua (Kaizen Institute, 2022).

Este cambio cultural, sustentado en un entrenamiento estructurado, reduce drásticamente la dependencia de la subjetividad del operario. Al formalizar el conocimiento técnico en protocolos reproducibles, la organización fortalece su resiliencia ante contingencias externas o rotación de personal. En última instancia, esta madurez organizacional asegura que las mejoras alcanzadas mediante la reingeniería no sean temporales, sino que se conviertan en la base de la sostenibilidad operativa de la hacienda a largo plazo.

2.3.4 Impacto social y ambiental

Un rediseño operativo con enfoque de ingeniería industrial trasciende la eficiencia técnica, generando beneficios directos en el bienestar del personal y en la gestión responsable de los recursos naturales. En el contexto de Sarapiquí, donde las condiciones climáticas y la naturaleza de las jornadas laborales son particularmente exigentes, estos impactos se consideran parte integral del valor estratégico generado por el proyecto.

Desde la perspectiva del bienestar laboral, el proceso de ordeño se caracteriza por su alta repetitividad, lo que demanda una gestión de operaciones que mitigue activamente el agotamiento de los colaboradores. La implementación de una distribución más racional del trabajo y la formalización de protocolos claros permiten optimizar los flujos operativos, eliminando desplazamientos innecesarios y reduciendo significativamente la fatiga física. Asimismo, la claridad en las tareas disminuye la incidencia de errores derivados de la ambigüedad, lo que se traduce en un aumento de la motivación del personal al contar con estándares técnicos que facilitan tanto su desempeño diario como su evaluación objetiva.

Paralelamente, la optimización de recursos y la sostenibilidad ambiental se ven favorecidas mediante la estandarización de los procedimientos de limpieza y desinfección. Este control sistemático permite racionalizar el consumo de agua, energía eléctrica y productos químicos, tales como detergentes y soluciones de post-dipping. Al respecto, Pérez y Vega (2021) destacan que las iniciativas que logran reducir el consumo de estos insumos en procesos agroindustriales permiten avanzar hacia modelos productivos resilientes, los cuales son compatibles con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). De esta manera, el proyecto no solo mejora la rentabilidad, sino que alinea la operación de la Hacienda con las tendencias globales de producción responsable.

Como síntesis de los diversos efectos analizados en esta sección, se presenta la Tabla 6 Aportes de cada tipo de impacto al valor global del proyecto, que consolida las dimensiones del impacto integral del proyecto:

Tabla 6. Aportes de cada tipo de impacto al valor global del proyecto

| Dimensión del impacto | Elemento específico | Aporte directo al proyecto de rediseño operativo |
|------------------------------|---|--|
| Técnico-operativo | Aumento en kg/hombre/hora | Mejora la eficiencia laboral y la productividad del sistema sin necesidad de más personal. |
| | Reducción de tiempos improductivos | Elimina actividades sin valor y optimiza el flujo de trabajo. |
| | Estabilización de parámetros de calidad | Controla la variabilidad técnica entre turnos y mejora la calidad del producto. |

| | | |
|------------------------------|--|--|
| Económico | Disminución de pérdidas por leche penalizada | Evita sanciones económicas por calidad deficiente. |
| | Acceso a bonificaciones por calidad | Incrementa los ingresos mediante incentivos del comprador principal. |
| | Reducción de costos ocultos y mejor uso de infraestructura | Mejora el ROI con el mismo equipamiento y personal existente. |
| Estratégico y organizacional | Fortalecimiento ante la Cooperativa Dos Pinos | Mejora la posición comercial y reputacional de la finca. |
| | Desarrollo de una cultura de calidad | Promueve un cambio organizacional hacia la mejora continua y la estandarización. |
| Social | Mejora en condiciones del personal | Reduce riesgos ergonómicos y aumenta la motivación del equipo. |
| Ambiental | Uso racional del agua y recursos | Reduce el impacto ecológico y mejora la sostenibilidad del proceso productivo. |

Nota. Elaboración propia (2025)

La Tabla 6 Aportes de cada tipo de impacto al valor global del proyecto sintetiza la propuesta de valor del proyecto bajo un enfoque sistémico, demostrando que la reingeniería operativa trasciende la simple corrección de tiempos para convertirse en un motor de sostenibilidad integral. Desde la dimensión técnica, la estabilización de parámetros y la reducción de actividades sin valor agregado actúan como catalizadores de la productividad laboral (kg/hombre/hora), lo cual impacta directamente la estructura de costos al mejorar

el ROI sin requerir inversiones de capital adicionales. Este equilibrio entre el beneficio económico derivado de la captura de bonificaciones y el impacto social y ambiental, posiciona a Hacienda La Concepción en un nivel superior de madurez organizacional, donde la estandarización no solo garantiza la calidad ante la Cooperativa Dos Pinos, sino que institucionaliza una cultura de mejora continua alineada con la responsabilidad social agroindustrial.

2.4 Antecedentes de proyectos

Por medio de los antecedentes es posible establecer contexto de investigaciones anteriores relacionadas con el tema de investigación, el cual demuestra la relevancia del estudio.

2.4.1 Internacionales

Los antecedentes internacionales permiten conocer investigaciones anteriores relacionadas con el tema de estudio que se han realizado fuera de Costa Rica.

Pinzón (2024) en su investigación titulada “Estrategias para optimizar su sala de ordeño” analiza en el artículo sobre el estado del arte de las prácticas actuales en la optimización de las salas de ordeño, sin ahondar en la base teórica o académica que las sustenta. En decir, se centra en la aplicación de principios conocidos en la industria lechera, como la importancia de crear un ambiente tranquilo para las vacas, la necesidad de un personal bien capacitado y la implementación de una rutina de ordeño consistente. Estos elementos son presentados como pilares para mejorar la eficiencia y el bienestar animal, lo cual se traduce en una mayor productividad y rentabilidad del negocio.

A pesar de la relevancia de las recomendaciones prácticas, el texto carece de un marco teórico formal o de la mención de teorías académicas específicas que respalden las

estrategias propuestas. Por lo tanto, no se puede identificar qué teorías, más allá de principios generales de bienestar animal y eficiencia de producción, sustentan la información. De igual manera, no se citan opiniones o conclusiones de otros autores e investigadores, ni se identifica a quienes están trabajando en investigaciones similares, lo que limita la posibilidad de contrastar la información o de conocer el panorama de la investigación en el campo.

Finalmente, el artículo presenta una perspectiva general y no ofrece información sobre la investigación o experiencias relacionadas con el tema en Costa Rica, otros países o a nivel local. Su enfoque es universal, lo que hace que sus recomendaciones sean aplicables en cualquier contexto geográfico, pero a su vez, no permite contextualizar el "estado del arte" a nivel nacional o regional, ni conocer la existencia de proyectos o estudios específicos en esas áreas.

2.4.2 Nacionales

Los antecedentes nacionales permiten conocer investigaciones anteriores relacionadas con el tema de estudio que se han realizado en Costa Rica.

Blanco y Quirós (2024) en su investigación titulada “Diseño de un modelo de gestión de mejora continua para la optimización de producción de leche en condiciones de estrés calórico, a través del análisis y monitoreo de variables ambientales en Ganadera Norflo S.A.” menciona que el proyecto se centró en mitigar el problema del estrés calórico en el ganado lechero, que provoca una notable disminución en la producción de leche. La metodología se basa en los principios de Lean Manufacturing para crear un modelo de gestión enfocado en la mejora continua. Además, se utiliza el Índice de Temperatura y Humedad Relativa (ITH) como una métrica crucial para monitorear y evaluar el impacto

del calor en los animales, respaldando la teoría de que las condiciones ambientales tienen un efecto directo en la productividad del hato.

Para respaldar sus hallazgos, el estudio se apoya en investigaciones y datos de terceros. Aunque no se mencionan autores específicos de manera extensa, se citan estudios como el de Temple para cuantificar la pérdida de producción de leche por cada punto de ITH. Adicionalmente, se utilizan datos de software especializado como Vampp Bovino y reportes de la cooperativa Dos Pinos, lo que demuestra la integración de información existente para validar el problema y la solución propuesta.

El análisis realizado en el proyecto arrojó resultados significativos que demuestran la efectividad del modelo de gestión. Se encontró una correlación negativa entre un ITH severo y la producción de leche, confirmando el impacto perjudicial del estrés calórico. Los resultados más importantes revelan una pérdida diaria de ₡65,514.38 debido al estrés calórico y la posibilidad de recuperar 0.84 kg de leche por vaca con la implementación del modelo. Financieramente, la propuesta tiene un retorno de inversión rápido, con un período de recuperación de poco más de 9 meses y un VAN positivo, lo que la convierte en una solución viable y rentable.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El presente capítulo tiene como objetivo fundamental diseñar y describir la ruta metodológica, sistemática y rigurosa, que sustenta la ejecución del proyecto de investigación. Se establece un marco de trabajo reproducible orientado a la "Optimización de la productividad del proceso de ordeño mediante la reingeniería operativa en Hacienda La Concepción", asegurando que cada intervención técnica esté alineada con los objetivos estratégicos de la organización.

Para lograrlo, esta sección detalla de forma exhaustiva el diseño de investigación adoptado y el enfoque que subyace a la aproximación del estudio, estructurándose operativamente a través de las fases del ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implantar y Controlar). Este método, pilar de la filosofía Six Sigma y la Ingeniería Industrial moderna, proporciona el orden lógico necesario para abordar la variabilidad del proceso de ordeño de manera científica.

3.1 Enfoque y Tipo de Investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto con predominancia cuantitativa. La vertiente cuantitativa es fundamental, ya que el estudio se basa en la medición objetiva de los tiempos de proceso y la valoración numérica de las causas raíz mediante una matriz de validación. Este enfoque permite una toma de decisiones sustentada en datos estadísticos, utilizando métricas operativas como tiempos de ciclo, indicadores de calidad (RCS y CBT) y tasas de rechazo de producto. La interpretación de estos valores numéricos es crucial para el diagnóstico preciso de la situación actual y para el monitoreo objetivo de las mejoras proyectadas.

Por otro lado, el componente cualitativo se integra de forma complementaria mediante la observación directa no intrusiva y la consulta técnica a personal clave. Este aporte cualitativo permite una comprensión profunda de la dinámica operativa y el conocimiento tácito de los involucrados, facilitando la identificación de factores culturales y ergonómicos que no siempre son capturados por el cronómetro. La integración de ambos enfoques proporciona una visión holística y robusta, asegurando que la reingeniería propuesta sea técnica y operativamente viable.

En cuanto al alcance, la investigación se clasifica como aplicada y descriptiva-explicativa. Es de carácter aplicado porque su propósito no es meramente teórico, sino la resolución de un problema práctico y tangible: la optimización de la productividad en un entorno real. Es descriptiva en su fase inicial, al caracterizar exhaustivamente el estado actual del flujo de ordeño, y se torna explicativa al profundizar en el análisis de las causas raíz que originan las ineficiencias detectadas.

El diseño de la investigación es no experimental, transeccional y se configura como un estudio de caso. Es no experimental y transeccional debido a que se analiza el proceso de ordeño en su estado natural, sin manipular variables intencionalmente y recolectando la información en un periodo de tiempo único y definido (el primer trimestre de 2025). Al centrarse intensivamente en Hacienda La Concepción como unidad de análisis, el estudio permite una exploración contextualizada que facilita la adaptación de metodologías de Ingeniería Industrial a las particularidades del sector agroindustrial, sirviendo como un modelo de intervención para operaciones de escala similar en la región.

3.2 Fases Metodológicas bajo el ciclo DMAIC

La columna vertebral metodológica que estructura este proyecto de reingeniería operativa es el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Esta metodología, fundamentada en los principios de *Six Sigma*, se distingue por su enfoque sistemático y riguroso, priorizando el análisis basado en datos para la resolución de problemas complejos y la optimización continua de procesos industriales.

La elección del DMAIC se justifica plenamente debido a la naturaleza dinámica del proceso de ordeño y la necesidad de una intervención técnica que trascienda las mejoras empíricas, garantizando la sostenibilidad de los resultados a largo plazo. Este modelo proporciona una ruta lógica que guía la investigación desde la delimitación precisa de la problemática hasta la implementación de soluciones validadas y el establecimiento de mecanismos de control efectivos. De esta manera, se asegura que cada intervención operativa esté fundamentada en evidencia empírica y alineada con los estándares de calidad requeridos por la organización.

A continuación, se detalla la articulación de cada una de estas fases dentro del contexto específico de Hacienda La Concepción:

3.3 Metodología para la definición del problema

La fase de Definición constituye el punto de partida crítico del ciclo DMAIC, estableciendo las bases diagnósticas sobre las cuales se sustenta el proyecto. Su propósito primordial es precisar, de manera estructurada y basada en evidencia, el problema operativo que afecta la productividad y la calidad de la leche en Hacienda La Concepción. En esta etapa, se

interpreta la "Voz del Cliente" (VOC), considerando tanto las metas de eficiencia de la administración de la finca como las exigencias normativas de la Cooperativa Dos Pinos.

Para asegurar un diagnóstico robusto, se emplean las siguientes herramientas y actividades técnicas:

Herramientas y actividades claves

Iniciando con una visión sistémica, se utiliza el Diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers). Esta herramienta de alto nivel permite identificar a los proveedores de insumos (como alimento y servicios veterinarios), las entradas requeridas para el ordeño, las etapas macro del proceso, las salidas obtenidas y los clientes finales. La construcción del SIPOC facilita la delimitación del sistema, asegurando que los esfuerzos de mejora se concentren en las áreas de mayor impacto y viabilidad.

Posteriormente, se formaliza el Project Charter, documento que actúa como la hoja de ruta estratégica del proyecto. Este incluye la justificación económica, los objetivos generales y específicos, y los criterios de éxito medibles. Según Becerra (2021), este documento es esencial para garantizar el alineamiento de expectativas entre el investigador y la organización, proporcionando la autorización oficial para la movilización de recursos en las fases subsiguientes.

Técnicas de recolección y modelado

Para capturar la realidad operativa sin sesgos, se emplea la observación directa no participante en campo. Esta técnica permite identificar visualmente los flujos de trabajo, los movimientos del personal y el ganado, y las fuentes visibles de desperdicio (Muda) en la fosa. La observación se complementa con el Mapeo de Procesos Actual (BPMN 2.0),

una representación gráfica detallada que utiliza la notación estándar para diagramar las actividades, compuertas lógicas y roles involucrados desde la preparación de las vacas hasta el almacenamiento del producto. Este mapeo es fundamental para visualizar redundancias, cuellos de botella y actividades que no agregan valor, sirviendo como la línea base para el rediseño optimizado.

Actividades clave de la fase Definir

La culminación de esta fase se logra a través de las siguientes actividades estratégicas:

- 1. Levantamiento detallado del flujo actual:** Documentación precisa de la secuencia operativa, los responsables y los puntos de decisión críticos.
- 2. Identificación preliminar de ineficiencias:** Basado en la observación técnica, se señalan los puntos donde el flujo se ralentiza o donde ocurren desviaciones en los protocolos de higiene.
- 3. Formulación de la declaración del problema:** Consolidación de los hallazgos en un enunciado claro que vincula la ineficiencia técnica con el impacto económico, validando esta prioridad con la administración para asegurar el compromiso organizacional con la propuesta de reingeniería.

3.4 Metodología para la medición y cuantificación de ineficiencias

La fase de Medición (*Measure*) tiene como objetivo central cuantificar de forma objetiva el desempeño actual del proceso de ordeño y validar la magnitud de las brechas identificadas. Esta etapa es fundamental para el cumplimiento del primer objetivo específico, al permitir la recolección sistemática de datos operativos y de calidad que

transformen las percepciones de ineficiencia en métricas concretas. La rigurosidad en esta fase asegura una línea base de desempeño confiable, permitiendo que el impacto de las mejoras propuestas sea medible y auditable.

Para alcanzar esta precisión, se articulan las siguientes herramientas y variables técnicas:

Herramientas y Variables a Medir:

El pilar técnico de esta fase es el estudio de tiempos, herramienta esencial de la Ingeniería Industrial. Mediante cronometrajes detallados de las tareas críticas como la preparación de la ubre, el tiempo de flujo y la duración total del ciclo por tanda se busca identificar la variabilidad operativa y detectar con exactitud los cuellos de botella que limitan la productividad. Este análisis permite calcular tiempos estándar y cuantificar el tiempo no productivo, factores que impactan directamente en la eficiencia del recurso humano y la capacidad de la fosa (Melo, 2024).

Complementariamente, se aplica la Matriz de Validación de Causas Raíz. Este instrumento fue diseñado para cuantificar el impacto y la recurrencia de los problemas identificados previamente en el Diagrama de Ishikawa. La matriz consiste en una evaluación técnica dirigida a un panel de cinco expertos (administración de la finca y asesores técnicos), quienes valoran cada causa bajo una escala de Likert de 1 a 5. Esta valoración numérica es el insumo indispensable para el Diagrama de Pareto, herramienta que permite jerarquizar las ineficiencias bajo el principio 80/20, identificando las "pocas causas vitales" que generan el mayor perjuicio económico y operativo en Hacienda La Concepción.

Variables críticas de medición

El análisis se profundiza mediante el monitoreo de variables clave que condicionan la rentabilidad y la calidad higiénico-sanitaria:

- **Indicadores de Calidad (RCS y CBT):** Se recolectan los datos de Recuento de Células Somáticas y Conteo Bacteriano Total para analizar las desviaciones respecto a los estándares de la Cooperativa Dos Pinos.
- **Tiempo de Ciclo Total:** Medición del tiempo transcurrido desde el inicio hasta la finalización de cada sesión de ordeño por grupo de animales.
- **Variabilidad Operativa:** Cuantificación de las diferencias en los tiempos de ejecución entre distintos operarios y turnos, evidenciando el impacto de la ausencia de procesos documentados.

Finalmente, el uso del Diagrama de Ishikawa (Espina de Pescado) permite organizar estas causas bajo las categorías de Mano de Obra, Maquinaria, Materiales, Método, Medio Ambiente y Medición (Kaizen Institute, 2022). Esta estructura asegura que la identificación de problemas sea sistémica, permitiendo que las soluciones de reingeniería posteriores ataquen la raíz de la ineficiencia y no solo sus síntomas visibles.

3.5 Metodología para el Análisis y la Propuesta de Mejora (Analyze y Improve)

Las fases de Análisis y Mejora se abordan de manera intrínseca en esta metodología, reconociendo que la comprensión profunda de las causas raíz es la condición indispensable para el diseño de soluciones de reingeniería efectivas. Esta sección se alinea con el segundo

objetivo específico de la tesis, enfocado en el diseño de una propuesta de estandarización, control de puntos críticos y asignación eficiente de recursos, bajo los estándares de la Cooperativa Dos Pinos.

Durante el Análisis, se interpretan los datos cuantitativos obtenidos en la fase de Medición para identificar los factores subyacentes que afectan la productividad. Una vez validados, la fase de Mejora se centra en el diseño sistemático y la selección de soluciones óptimas mediante las siguientes herramientas:

Herramientas para el diagnóstico profundo y diseño

Para identificar y eliminar ineficiencias, se aplican los Principios de Lean Manufacturing, centrados en la erradicación de las "mudas" o desperdicios. Se realiza un análisis de los siete tipos de desperdicio: sobreproducción, esperas, transporte, sobreprocesamiento, inventario, movimientos ineficientes y defectos (Melo, 2024). Esta base permite utilizar la técnica de los 5 Porqués, un método iterativo que profundiza más allá de los síntomas superficiales para llegar a la causa fundamental de las disfunciones operativas en la fosa.

Complementariamente, se desarrolla el Mapa de la Cadena de Valor (VSM), visualizando tanto el "estado actual" como el "estado futuro" del proceso. El VSM funciona como una hoja de ruta estratégica que resalta los flujos de materiales e información, facilitando la detección de actividades que no agregan valor y cuantificando las oportunidades de mejora en los tiempos de ciclo.

Metodología de diseño y selección de soluciones

Con el diagnóstico validado, se procede al diseño del Diagrama de Flujo Optimizado bajo la notación BPMN 2.0. Este modelo representa el estado futuro del proceso de ordeño,

integrando la eliminación de pasos redundantes y la asignación eficiente de recursos. Para la generación de alternativas innovadoras, se emplean técnicas de pensamiento creativo como SCAMPER (Sustituir, Combinar, Adaptar, Modificar, Poner en otros usos, Eliminar, Reorganizar), fomentando la participación del personal clave en la construcción de soluciones factibles (Flores et al., 2025).

Finalmente, se utiliza una Matriz de Decisión para evaluar las propuestas. Esta matriz pondera criterios objetivos como la factibilidad técnica, el costo de implementación y el impacto proyectado en los KPIs de calidad (RCS y CBT) y productividad (tiempo por tanda). Este proceso garantiza la selección de la solución óptima y su alineación con los estándares exigidos por la Cooperativa Dos Pinos.

Resultados esperados de la intervención

La ejecución de estas fases metodológicas culmina en tres productos fundamentales:

1. **Documentación de Procesos Estandarizados:** Creación de Procedimientos Operativos Estándar (POEs) que uniforman la operación desde la preparación de la ubre hasta el almacenamiento.
2. **Protocolo Técnico de Operaciones:** Especificaciones para el uso eficiente del equipo y mejores prácticas de higiene.
3. **Optimización de KPIs:** Proyección de mejoras medibles en indicadores como litros/vaca/hora y reducción del tiempo de ciclo total.

3.6 Metodología para la implementación del proyecto

La fase de Implementación es el momento en que las soluciones diseñadas se materializan en la operación diaria de Hacienda La Concepción. Su propósito es establecer los mecanismos, recursos y responsables necesarios para la puesta en marcha efectiva de la propuesta de reingeniería operativa, lo cual es esencial para el cuarto objetivo específico que busca la capacitación del personal y la correcta adopción de las mejoras.

Esta etapa es intensiva en gestión de proyectos y gestión del cambio, requiriendo una planificación meticulosa de las actividades, una asignación clara de responsabilidades, la provisión adecuada de recursos y la ejecución de programas de capacitación robustos. El éxito de esta fase dependerá crucialmente de una comunicación efectiva, un liderazgo proactivo y la capacidad de la organización para superar posibles resistencias y asegurar la apropiación de los nuevos procedimientos por parte del equipo.

Herramientas y Estrategias Clave para la Implementación:

- **Cronograma detallado:** Se elaborará un cronograma de proyecto exhaustivo utilizando un diagrama de Gantt. Este diagrama visualizará todas las tareas específicas de la implementación del rediseño, sus duraciones estimadas, las dependencias entre ellas y los hitos clave del proyecto. El cronograma será una herramienta de control indispensable para monitorear el progreso, identificar posibles retrasos, gestionar eficientemente los tiempos y asegurar que la implementación se realice dentro del plazo establecido para el primer trimestre del año 2025.

- **Plan de acción por fases:** Se desarrollará un plan de acción estructurado que desglose la propuesta de reingeniería en pasos manejables y secuenciales. Para cada fase de implementación, el plan detallará las actividades específicas a realizar, los responsables de cada tarea, los recursos requeridos (humanos, materiales, financieros) y los plazos límite. Este plan facilitará una ejecución sistemática y coordinada de la reingeniería.
- **Matriz RAC:** Para asegurar una asignación clara y una rendición de cuentas efectiva, se construirá una Matriz RACI. Esta matriz detallará los roles y responsabilidades de cada miembro del equipo de la finca y los investigadores en relación con las tareas clave de la implementación. La RACI evitará duplicidades de esfuerzos, confusiones sobre quién hace qué, y asegurará que todas las actividades necesarias tengan un "dueño" claro, promoviendo la eficiencia y la colaboración.
- **Análisis de stakeholders y estrategia de comunicación:** Se realizará un análisis profundo de los stakeholders (actores clave) que serán afectados o que pueden influir en la implementación de la reingeniería (ej. operarios de ordeño, capataces, administración de la finca, veterinarios, representantes de la Cooperativa Dos Pinos).

A partir de este análisis, se diseñará una estrategia de comunicación proactiva y multidireccional, informando sobre los objetivos, beneficios y cambios, y estableciendo canales para la retroalimentación y la gestión de inquietudes. Una comunicación efectiva es vital para la aceptación del cambio (PMBOK, 2021).

- **Análisis de Campo de Fuerzas:** Basado en la teoría de Kurt Lewin, se utilizará la técnica del Campo de Fuerzas para identificar y visualizar las fuerzas impulsoras (factores que favorecen el cambio, ej. necesidad de mejorar la rentabilidad, beneficios para el personal) y las fuerzas restrictivas (factores que se oponen al cambio, ej. resistencia a nuevas rutinas, temor a lo desconocido, falta de habilidades). Este análisis permitirá desarrollar estrategias específicas para potenciar las fuerzas impulsoras y mitigar o eliminar las resistencias, facilitando la adopción de los nuevos procedimientos y la transición hacia el proceso optimizado.

Fases Específicas Sugeridas dentro de la Implementación:

- **Capacitación integral del personal:** Se diseñará e implementará un programa de capacitación robusto para todo el personal involucrado en el proceso de ordeño. Este programa incluirá talleres prácticos, demostraciones en sitio y la provisión de guías técnicas y manuales de procedimientos claros.

La capacitación se enfocará no solo en el "qué" de los nuevos procedimientos, sino también en el "porqué" de las mejoras, incluyendo aspectos de calidad, ergonomía y bienestar animal. El objetivo es asegurar una comprensión profunda, el desarrollo de nuevas competencias y la correcta aplicación de las mejoras (Fajardo et al., 2025).

- **Implementación piloto:** Si la escala del proceso lo permite, la propuesta de reingeniería se implementará inicialmente en un área controlada o durante un turno específico como proyecto piloto.

Esta fase permitirá probar los nuevos procedimientos en un entorno real, identificar y corregir posibles fallas, ajustar la metodología y refinar los protocolos antes de una

implementación a gran escala. La implementación piloto minimiza los riesgos asociados a un cambio completo y optimiza el proceso de ajuste.

- **Evaluación de desempeño inicial post-implementación:** Inmediatamente después de la implementación de los nuevos procedimientos (o de la fase piloto), se realizará una evaluación inicial del desempeño. Se recolectarán datos preliminares de los KPI clave para verificar la correcta aplicación de los nuevos procedimientos y la comprensión por parte del personal, asegurando que el proceso se esté comportando según lo esperado antes de establecer un monitoreo a largo plazo.
- **Ajustes y Mejoras Progresivas:** La implementación será un proceso inherentemente iterativo. Se establecerá un mecanismo para la retroalimentación continua del personal y la recopilación de datos de desempeño iniciales. Basado en esta información, se realizarán ajustes y mejoras progresivas en los procedimientos, la capacitación o incluso en el diseño si es necesario. Esta flexibilidad permitirá optimizar la adopción de las nuevas prácticas y asegurar que la reingeniería sea lo más efectiva y adaptativa posible en el entorno dinámico de la finca.

3.7 Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento

La fase de Controlar es de vital importancia para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las mejoras implementadas y para consolidar una cultura de mejora continua en Hacienda La Concepción. Su propósito fundamental es establecer un sistema robusto de seguimiento y control del proceso de ordeño optimizado, que permita verificar el

cumplimiento sostenido de los procedimientos rediseñados y mantener la eficiencia y calidad alcanzadas.

Esta fase se alinea directamente con el quinto objetivo específico de la tesis, al buscar la instauración de mecanismos que permitan la verificación continua del desempeño, la prevención de la recurrencia de problemas y la adaptación a futuras variaciones del entorno. Implica la implementación de un sistema de indicadores clave de desempeño (KPI) para la toma de decisiones basada en datos, así como la instauración de auditorías periódicas y un ciclo de retroalimentación constante.

Herramientas e Indicadores Clave para el Monitoreo y Sostenibilidad:

- **Cuadro de mando de indicadores:** Se diseñará e implementará un Cuadro de Mando integral que consolidará visualmente los KPI clave del proceso de ordeño. Este dashboard incluirá métricas como litros/vaca/hora, tiempo de ciclo por vaca/tanda, Recuento de Células Somáticas (RCS), Conteo Bacteriano Total (CBT), tasa de rechazo de leche, y el seguimiento de costos ocultos y bonificaciones por calidad. La visualización de estos indicadores permitirá una visión integral y en tiempo real del desempeño del proceso, facilitando la toma de decisiones rápidas, la identificación temprana de desviaciones y la gestión proactiva de la operación (López & García, 2024).
- **Checklists de Cumplimiento Operativo:** Se desarrollarán checklists o listas de verificación detalladas para cada etapa crítica y procedimiento clave del proceso de ordeño estandarizado. Estas listas serán utilizadas diariamente por los operarios y supervisores para asegurar la adherencia estricta a los nuevos procedimientos

optimizados. El uso de checklists garantiza la consistencia en la ejecución de las tareas, minimiza la variabilidad introducida por el error humano y sirve como un mecanismo de autocontrol y aseguramiento de la calidad (Novoa, 2021).

- **Auditorías internas de procedimientos:** Se establecerá un programa de auditorías internas periódicas para verificar la correcta aplicación de los procedimientos operativos estandarizados y la adherencia a los estándares de calidad internos y los exigidos por la Cooperativa Dos Pinos. Estas auditorías, realizadas por personal capacitado (interno o externo), identificarán áreas de no cumplimiento, oportunidades adicionales de mejora y asegurarán la disciplina operativa. Los hallazgos de las auditorías servirán como insumo para el ciclo de mejora continua y la revisión de los procedimientos (Cadenas Anaya et al. (2021).

Indicadores Clave para el Monitoreo Continuo:

- **Tiempo promedio por vaca:** Para monitorear la eficiencia individual de ordeño.
- **Cumplimiento del ciclo estándar:** Porcentaje de veces que el proceso de ordeño se completa dentro del tiempo y los procedimientos definidos.
- **Reducción de variabilidad:** Medición de la dispersión de datos en KPIs críticos (ej. desviación estándar del RCS, del tiempo de ordeño), para asegurar la estabilidad del proceso.
- **Costos ocultos vs. visibles:** Seguimiento de la reducción de costos asociados a desperdicios, reprocesos, penalizaciones por calidad, y el incremento de ingresos por bonificaciones.

- **Litros/Vaca/Hora:** Indicador de productividad crucial para el monitoreo continuo de la eficiencia de la mano de obra y el sistema.
- **Recuento de células somáticas (RCS) y conteo bacteriano total (CBT):** Monitoreo constante de estos indicadores de calidad para asegurar el cumplimiento de los estándares de la Cooperativa Dos Pinos.
- **Tasa de rechazo de leche:** Seguimiento del porcentaje de leche que no cumple con los estándares.
- **Satisfacción del personal (cualitativo):** A través de encuestas periódicas o reuniones de retroalimentación, se monitoreará el nivel de aceptación y motivación del personal hacia los nuevos procedimientos y la cultura de mejora.

Actividades Clave para el Control y Sostenibilidad:

- **Seguimiento semanal de indicadores:** Revisión y análisis semanal de los datos de los KPI clave para detectar tendencias, anomalías o desviaciones del desempeño esperado de forma temprana.
- **Informes quincenales de desempeño:** Generación de informes periódicos que sintetizen el desempeño del proceso, resalten los logros, identifiquen los desafíos y propongan acciones correctivas o preventivas.
- **Validación del impacto con línea base:** Comparación sistemática y continua de los resultados del proceso post-implementación con la línea base de desempeño establecida en la fase de Medición. Esta validación permitirá cuantificar de manera precisa el impacto real de la reingeniería operativa en la productividad, la calidad

de la leche y las pérdidas económicas, demostrando la consecución de los objetivos generales del proyecto. Este proceso fomenta la rendición de cuentas y la mejora continua, asegurando que los beneficios alcanzados se mantengan y evolucionen a lo largo del tiempo.

3.8 Instrumentos para la Recolección de la Información

Para asegurar una recolección de datos completa y pertinente para la optimización de la productividad en el proceso de ordeño en Hacienda La Concepción, Sarapiquí, Costa Rica, durante el primer trimestre de 2024, se emplearán los siguientes métodos.

3.8.1 Matriz de Validación por Juicio de Expertos

Se diseñó un instrumento técnico basado en una escala de Likert de 1 a 5 (donde 1 es "Impacto muy bajo" y 5 es "Impacto muy alto"). Este instrumento fue aplicado a un panel de expertos compuesto por el dueño de la finca, los mandadores y los ingenieros asesores de la Cooperativa Dos Pinos. La matriz permitió cuantificar cada causa raíz identificada previamente en el diagrama de Ishikawa, evaluando su impacto directo en la estandarización del proceso, la productividad y la calidad de la leche (Ver Anexo 1).

3.8.2 Hoja de Registro de Tiempos (Estudio de Tiempos)

Se utilizó un formulario de recolección de datos diseñado específicamente para el cronometraje de los ciclos de ordeño en salas tipo doble ocho. Mediante la técnica de estudio de tiempos por cronometraje continuo, se registraron las duraciones de las tareas críticas: preparación de la ubre, conexión de pezoneras, tiempo de flujo y retiro. Este instrumento fue vital para identificar la variabilidad operativa y los tiempos no productivos (Ver Anexo 2).

3.8.3 Análisis documental

Se revisaron registros históricos y técnicos de la hacienda y de la cooperativa, tales como:

- **Reportes de Calidad de Dos Pinos:** Datos de Recuento de Células Somáticas (RCS) y Conteo Bacteriano Total (CBT) para establecer la línea base de calidad.
- **Registros de producción:** Volúmenes diarios de leche para analizar el rendimiento por hombre/hora.
- **Fichas técnicas de equipos:** Información sobre el estado y especificaciones de las bombas de vacío y tanques de enfriamiento. Este análisis se fundamentó en principios de investigación documental (Hernández, Fernández y Baptista, 2014) para obtener datos fiables y contextualizados.

3.8.4 Matriz de Priorización (Diagrama de Pareto)

Aunque es una herramienta de análisis, se integra como instrumento de jerarquización de la información recolectada. Permitió procesar los datos de la Matriz de Validación para separar los "pocos vitales" de los "muchos triviales", concentrando el desarrollo de la propuesta en las tres causas clasificadas como Tipo A (Ver Anexo 3).

3.9 Variables y Categorías

3.9.1 Variables Cuantitativas

El análisis cuantitativo se centra en la medición del desempeño operativo y financiero del proceso:

- **Eficiencia de Tiempos:** Incluye el tiempo de ciclo total, tiempo de ordeño por vaca (actualmente en 8.4 minutos) y tiempos de preparación.

- **Indicadores de Calidad:** Valores de Recuento de Células Somáticas (RCS) y Conteo Bacteriano Total (CBT), fundamentales para las bonificaciones de la Cooperativa Dos Pinos.
- **Productividad y Costos:** Desglose de gastos variables (insumos de limpieza, selladores, energía) y fijos, orientados a calcular la productividad por operario y por vaca.

3.9.2 Categorías Cualitativas

Se consideran aspectos que influyen en la ejecución técnica y que fueron capturados mediante la observación directa:

- **Disciplina Operativa:** Percepción sobre el cumplimiento de las rutinas de higiene y el manejo del ganado.
- **Factores Ergonómicos y Ambientales:** Disposición física de la sala, estado de los equipos y la influencia de las condiciones climáticas de Sarapiquí sobre el flujo de trabajo.
- **Gestión del Conocimiento:** Nivel de estandarización percibido y la dependencia del criterio individual de los operarios ante la ausencia de protocolos formales.

3.10 Estrategia de Análisis de los Datos

Los datos recolectados se procesaron mediante un enfoque analítico estructurado, transformando las observaciones de campo y las valoraciones de los expertos en información estadística para la toma de decisiones. Las estrategias utilizadas fueron:

- **Análisis Causa-Raíz (Ishikawa):** Se empleó un análisis sistemático para categorizar las fuentes de variabilidad e ineficiencia en las seis dimensiones de la calidad (Mano de obra, Maquinaria, Métodos, Materiales, Medición y Medio ambiente). Esto permitió organizar las hipótesis sobre las fallas en el proceso de ordeño.
- **Cuantificación y Validación:** Los datos obtenidos de la Matriz de Validación se tabularon para calcular el peso relativo de cada causa. Se aplicó estadística descriptiva para procesar las calificaciones otorgadas por el panel de expertos (dueño, mandadores e ingenieros), obteniendo un puntaje total de impacto para cada variable.
- **Priorización de Impacto (Diagrama de Pareto):** Se utilizó la técnica de Pareto para jerarquizar las causas raíz validadas. Mediante este análisis estadístico, se identificaron los "pocos vitales" o Causas Tipo A (Falta de estandarización, Tiempos de ordeño variables y Uso inconsistente de equipos), las cuales concentran la mayor parte de las ineficiencias operativas y sobre las que se fundamentan los capítulos 5, 6 y 7 de esta tesis.
- **Análisis de Tiempos:** Los datos de cronometraje se procesaron mediante estadística descriptiva para determinar promedios, desviaciones estándar y rangos de variabilidad entre los grupos de ordeño. Este análisis permitió cuantificar el tiempo no productivo y fundamentar técnicamente la necesidad de implementar Procedimientos Operativos Estándar (POE).

CAPÍTULO IV: ANALISIS CAUSA RAÍZ

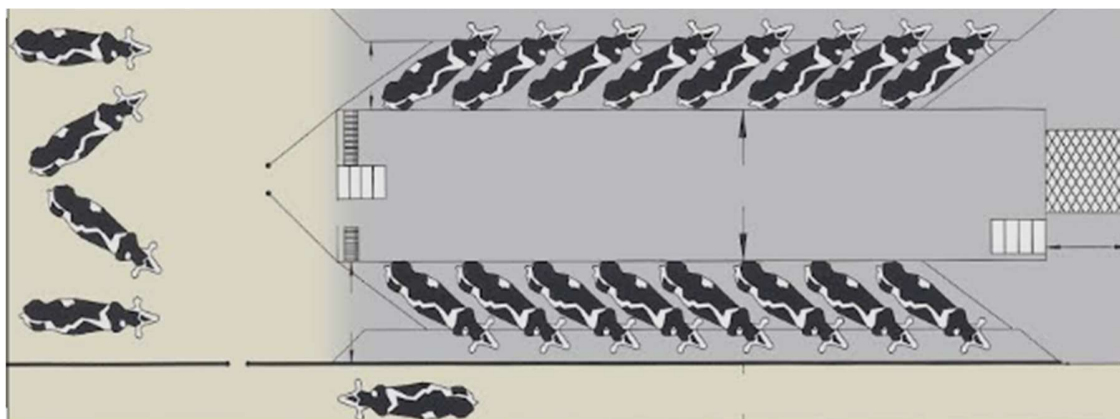
4.1 Situación actual de la empresa

Se realiza el análisis de la situación actual de la Hacienda La Concepción con el propósito de obtener un panorama integral del proceso de ordeño y establecer una base objetiva para el planteamiento de la solución. Para ello, se emplean diversas herramientas de ingeniería industrial, tales como el diagrama de Ishikawa, estudios de tiempos y análisis de causa raíz, las cuales permiten identificar las principales fuentes de variabilidad del proceso.

El análisis incorpora la retroalimentación del personal administrativo y operativo de la hacienda, así como del personal técnico de la cooperativa Dos Pinos, quienes brindan soporte especializado en aspectos relacionados con el proceso de ordeño. Esta combinación de perspectivas permite enriquecer el diagnóstico, integrando tanto el conocimiento práctico del proceso como criterios técnicos asociados a los estándares de calidad exigidos por la cooperativa.

En la Figura 4 Distribución de planta y flujo operativo en sala de ordeño tipo doble ocho se presenta una representación gráfica de la sala de ordeño tipo doble ocho, en la cual se ordeñan grupos de ocho vacas por lado de manera secuencial. Esta representación facilita la comprensión del flujo general del proceso y del orden en que se ejecutan las actividades durante el ordeño.

Figura 4. Distribución de planta y flujo operativo en sala de ordeño tipo doble ocho



Nota. Adaptado de a.upm.es.

La configuración de la sala tipo "doble ocho" representada en la Figura 4 Distribución de planta y flujo operativo en sala de ordeño tipo doble ocho

es un factor determinante en la eficiencia del flujo operativo de la hacienda. Esta disposición permite el manejo simultáneo de 16 semovientes, optimizando el espacio físico y facilitando el acceso de los operarios a las ubres desde la fosa central. Desde el enfoque de ingeniería de métodos, esta distribución busca minimizar las distancias de traslado de los colaboradores; sin embargo, como se analizará en los capítulos posteriores, la falta de una rutina estandarizada impide que este diseño arquitectónico alcance su máxima capacidad instalada.

4.2 Diagrama SIPOC del proceso de ordeño

Como resultado del análisis SIPOC del proceso de ordeño de la Hacienda La Concepción, se obtiene una visión global y estructurada de los elementos esenciales involucrados en esta operación. Esta herramienta permite comprender la interrelación entre los proveedores, las entradas, las actividades del proceso, las salidas y los clientes, asegurando la entrega de leche que cumpla con los estándares de calidad establecidos por la cooperativa Dos Pinos.

Figura 5. Diagrama SIPOC: Caracterización sistémica del proceso de ordeño de leche cruda

| S | I | P | O | C |
|-----------|---------------------|---|------------|-----------|
| Suppliers | Inputs | Process | Output | Customer |
| Dos Pinos | Concentrado Vaca | Inicio | Leche fría | Dos Pinos |
| | Concentrado Ternero | Preparar equipo de ordeño | | |
| | Medicamentos | Traslado de vacas del repasto al corral | | |
| | Pacas de pasto | Alimentar Vacas | | |
| | Vacas | Pasar grupos de vacas a ordeño | | |
| | | Ordeñar grupo de vacas | | |
| | | Pasar grupo de vacas a espera al corral | | |
| | | Trasladar vacas al repasto | | |
| | | Limpiar equipo de ordeño | | |
| | | Fin | | |

Nota. Elaboración propia (2025).

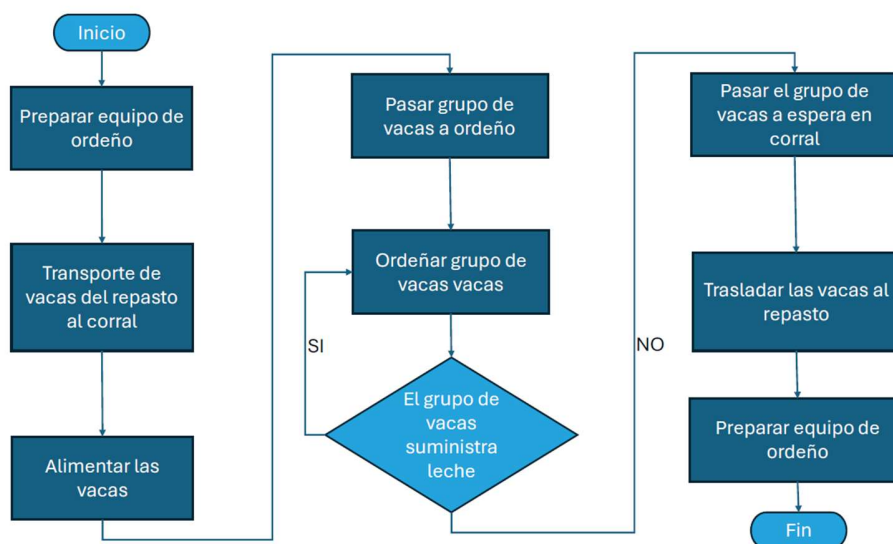
La caracterización presentada en la Figura 5 Diagrama SIPOC: Caracterización sistémica del proceso de ordeño de leche cruda revela una dependencia estratégica de un proveedor único para insumos críticos, lo cual estabiliza los costos operativos. No obstante, el análisis destaca que la variabilidad en la calidad de las "entradas" (específicamente en la salud de las vacas y la consistencia de los protocolos de higiene) impacta directamente en la "salida" final. Este diagrama sirve como marco de referencia para contextualizar las variables que serán medidas y optimizadas en las fases de análisis de esta investigación.

Como primer elemento se identifica al proveedor, el cual es único, dado que forma parte de los beneficios de pertenecer a la cooperativa Dos Pinos. Esta condición permite el suministro de insumos a precios competitivos y bajo esquemas de financiamiento semanal, lo que contribuye a mitigar las variaciones en los ingresos derivadas de fluctuaciones en la producción de leche.

Las entradas del proceso corresponden a los factores críticos del ordeño, tales como el alimento de las vacas, los medicamentos veterinarios y los propios animales. El proceso se descompone en las macrooperaciones principales, las cuales tienen relevancia directa en el análisis del desempeño operativo. Finalmente, la salida del proceso es única: la leche cruda, la cual debe cumplir con estrictos estándares de calidad e inocuidad, siendo premiada o penalizada según su comportamiento.

Si bien el análisis SIPOC no identifica de forma directa las oportunidades de mejora, proporciona un marco de referencia que permite contextualizar las características del proceso que serán analizadas en la investigación. El flujo detallado del proceso se presenta en la Figura 6 Diagrama de flujo operativo (Flowchart) de las macro-operaciones de ordeño

Figura 6. Diagrama de flujo operativo (Flowchart) de las macro-operaciones de ordeño



Nota. Elaboración propia (2025).

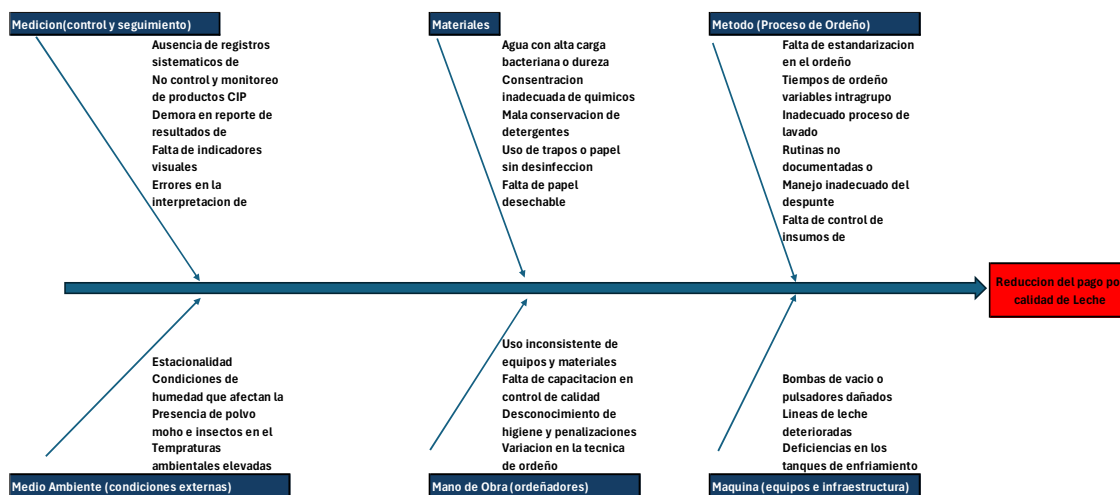
La descripción del flujo operativo en la Figura 6 Diagrama de flujo operativo (Flowchart) de las macro-operaciones de ordeño permite identificar las etapas críticas donde se genera o se pierde valor. Se observa que el proceso es lineal pero altamente dependiente de la ejecución manual en las etapas de pre-sello y secado. Este diagrama de flujo es la base para el estudio de tiempos realizado, ya que permite desglosar el ciclo total en tareas elementales. La visualización de estas macro-operaciones facilita la identificación de cuellos de botella y redundancias que, al ser estandarizadas mediante la reingeniería propuesta, permitirán reducir el tiempo promedio de ordeño por unidad.

4.3 Análisis de debilidades del proceso mediante Ishikawa

En la Figura 7 Diagrama de Causa-Efecto (Ishikawa) para la variabilidad en el pago por calidad de leche, se presenta el diagrama de Ishikawa elaborado para identificar los

elementos que podrían afectar el proceso de ordeño y generar una reducción en el pago recibido por la entrega de leche a la cooperativa Dos Pinos.

Figura 7. Diagrama de Causa-Efecto (Ishikawa) para la variabilidad en el pago por calidad de leche



Nota. Elaboración propia (2025).

A partir del análisis de Ishikawa se identificó un conjunto de causas raíz que afectan la productividad. Para validar estas hipótesis de forma técnica y eliminar la subjetividad, se procedió a aplicar una Matriz de Validación de Causas Raíz.

Este instrumento fue evaluado por el equipo administrativo y de soporte técnico de la Hacienda (Dueño, Mandadores e Ingenieros de Dos Pinos), quienes calificaron cada causa en una escala de 1 a 5 según su frecuencia de aparición y su impacto en la calidad del producto final. El total de puntos obtenidos en la evaluación fue de 439.

A continuación, se presenta la Tabla 7 Matriz de ponderación y jerarquización de causas raíz según impacto en el proceso, que consolida los puntajes del Excel y sirve de base para la priorización de los problemas:

Tabla 7. Matriz de ponderación y jerarquización de causas raíz según impacto en el proceso

| Categoría | Causa Raíz | Suma | Total | % |
|---------------------|---|------------------|--------------|----------------------|
| Ishikawa | | (Puntaje) | | Participación |
| Método | Falta de estandarización en el ordeño | 25 | | 5.69% |
| Método | Tiempos de ordeño variables intragrupo | 24 | | 5.47% |
| Mano de Obra | Uso inconsistente de equipos y materiales | 24 | | 5.47% |
| Mano de Obra | Variación en la técnica de ordeño | 21 | | 4.78% |
| Mano de Obra | Falta de capacitación en control de calidad | 19 | | 4.33% |
| Método | Inadecuado proceso de lavado | 17 | | 3.87% |

Nota. Elaboración propia (2025) con base en matriz de validación aplicada a expertos.

Como se observa en la tabla 7 Matriz de ponderación y jerarquización de causas raíz según impacto en el proceso, las primeras tres causas concentran los puntajes más altos (25 y 24 puntos), lo que indica un consenso sobre su impacto crítico. Estos datos permiten aplicar el principio de Pareto para separar los "pocos vitales" de los "muchos triviales".

Una manifestación física de estos puntajes se encontró durante la inspección técnica de las tuberías del sistema, donde se observaron depósitos y residuos, lo cual confirma lo calificado por los expertos en la matriz respecto a las fallas en el Método y el Uso de materiales.

Figura 8. Evidencia de depósitos y residuos en las tuberías del sistema de ordeño



Nota. Elaboración propia (2025).

Como se observa en la Figura 8 Evidencia de depósitos y residuos en las tuberías del sistema de ordeño , el estado interno de las tuberías presenta una acumulación crítica de residuos orgánicos y depósitos de piedra de leche. Desde una perspectiva de ingeniería de procesos, este hallazgo es un indicador directo de fallos en el protocolo de limpieza y desinfección química del sistema CIP (Clean-In-Place).

4.4 Consolidación de causas para el análisis de priorización

De acuerdo con lo expuesto en el marco teórico, el diagrama de Ishikawa constituye una herramienta de carácter exploratorio orientada a la identificación exhaustiva de las causas que influyen en un problema, mientras que la priorización mediante el análisis de Pareto debe realizarse sobre factores estructurales y no sobre causas individuales altamente desagregadas. En este contexto, y con el fin de asegurar una aplicación metodológicamente correcta del principio 80–20, se incorporó una etapa intermedia de consolidación de causas antes de proceder a la priorización.

La necesidad de esta etapa se fundamenta en la complejidad del proceso de ordeño analizado, el cual presenta una alta interacción entre factores humanos, técnicos, materiales, ambientales y de control. La aplicación directa de herramientas de priorización sobre un conjunto amplio de causas individuales podría conducir a una interpretación fragmentada del problema y dificultar la identificación de acciones de mejora con impacto sistémico. Por esta razón, se procedió a realizar una consolidación de causas que permitiera transformar el diagnóstico detallado obtenido en el diagrama de Ishikawa y en la matriz de validación en un conjunto de factores coherentes y operativamente significativos.

La consolidación de causas se realizó mediante un proceso estructurado de análisis cualitativo, en el cual las causas individuales previamente validadas mediante juicio de expertos fueron agrupadas cuando cumplían al menos uno de los siguientes criterios técnicos explícitos, definidos en función del comportamiento operativo real del proceso de ordeño:

- **Concurrencia operativa**, entendida como la manifestación simultánea de varias causas durante una misma etapa del proceso o bajo condiciones operativas similares, generando variaciones conjuntas en el desempeño del ordeño.
- **Efecto funcional común**, referido a la influencia directa de distintas causas sobre una misma variable crítica del proceso, independientemente del punto específico en el que se originen.
- **Relación de dependencia causal**, aplicada en aquellos casos en que una causa actúa como condición habilitante, consecuencia o manifestación de otra, impidiendo su análisis independiente sin pérdida de coherencia causal.

La aplicación de estos criterios se llevó a cabo mediante un procedimiento secuencial de agrupamiento, en el cual se revisaron una a una las causas individuales identificadas en la matriz de validación, evaluando para cada causa: (i) la etapa del proceso en la que se manifiesta, (ii) el tipo de efecto que genera sobre el desempeño del ordeño y (iii) su relación funcional con otras causas identificadas. A partir de esta evaluación, cada causa fue asociada al factor con el cual presentaba mayor afinidad operativa y funcional, asegurando que cada causa fuera considerada una única vez y evitando duplicidades o solapamientos entre factores.

Por ejemplo, la causa *“falta de rutinas documentadas”* fue analizada considerando su ocurrencia durante la etapa de preparación y ejecución del ordeño, observándose que se manifiesta de forma concurrente con la *“ausencia de procedimientos estandarizados”* y el *“manejo inadecuado del despunte”*. Dado que estas causas ocurren simultáneamente y

generan un mismo efecto funcional sobre la uniformidad del proceso, fueron agrupadas dentro del factor Falta de estandarización del proceso de ordeño.

De manera similar, causas como la “*variación en la técnica de ordeño*”, el “*estado de las líneas de leche*” y el “*funcionamiento de bombas de vacío o pulsadores*” fueron evaluadas en función de su impacto directo sobre la duración, secuencia y ritmo de las operaciones. A pesar de su diferente origen, estas causas convergen en un mismo efecto funcional: la variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo, lo que justificó su consolidación dentro de un mismo factor.

Asimismo, causas como “*temperaturas ambientales elevadas*”, “*condiciones de humedad que afectan la limpieza*” y “*presencia de polvo, moho e insectos en el área de ordeño*” fueron consolidadas dentro del factor Condiciones ambientales que afectan la ejecución e higiene del ordeño, dado que corresponden a condiciones externas al proceso operativo que influyen de manera transversal en la ejecución del ordeño y en las condiciones higiénicas del entorno, manteniendo coherencia con la categoría de Medio Ambiente del diagrama de Ishikawa.

Este procedimiento fue aplicado de manera sistemática a la totalidad de las causas identificadas, verificándose en cada caso que su asignación a un factor consolidado respondiera a los criterios definidos y permitiera explicar de manera coherente el problema estructural subyacente. Como resultado de este proceso de agrupamiento, las causas individuales fueron reorganizadas en seis factores consolidados, los cuales representan ejes problemáticos diferenciados del proceso de ordeño y emergen de la estructura real de la problemática analizada, sin que el número de factores haya sido definido de manera previa o arbitraria.

Los seis factores consolidados identificados son los siguientes:

1. **Falta de estandarización del proceso de ordeño**, vinculado a la ausencia de procedimientos formalizados, rutinas documentadas y uniformidad en la ejecución de actividades clave.
2. **Uso inconsistente de equipos y materiales**, asociado al manejo de insumos, equipos de ordeño y prácticas de higiene, así como a factores relacionados con la capacitación y el conocimiento del personal.
3. **Variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo**, relacionado con diferencias en la duración, secuencia y ritmo de las operaciones, influenciadas por prácticas operativas y condiciones técnicas.
4. **Condiciones ambientales que afectan la ejecución e higiene del ordeño**, asociado a variables como temperatura, humedad, estacionalidad y presencia de contaminantes en el entorno operativo.
5. **Deficiencias en el control y seguimiento del proceso**, vinculado a la ausencia o debilidad de registros, indicadores visuales, monitoreo de productos de limpieza y disponibilidad oportuna de información para la toma de decisiones.
6. **Limitaciones en la infraestructura y equipos de soporte**, asociado al estado y funcionamiento de los equipos de enfriamiento y otros elementos de soporte del proceso.

Estos factores consolidados constituyen la base para la priorización posterior mediante el análisis de Pareto, dado que permiten aplicar dicha herramienta sobre unidades de análisis

consistentes con el enfoque sistémico planteado en el marco teórico. Sobre la base de los puntajes acumulados de las causas que conforman cada factor, en el siguiente apartado se procede a jerarquizar su impacto relativo, identificando aquellos factores que concentran la mayor proporción del impacto total del problema analizado.

4.5 Clasificación de las causas mediante Pareto

Para la jerarquización de las problemáticas se empleó el Diagrama de Pareto, fundamentado en el principio de que el 80% de las ineficiencias de un proceso son provocadas por el 20% de las causas raíz. Este enfoque permitió separar los "pocos vitales" de los "muchos triviales", asegurando que la propuesta de mejora ataque los factores con mayor impacto en la rentabilidad y calidad de Hacienda La Concepción.

Tal como se detalla en la Tabla 7 Matriz de ponderación y jerarquización de causas raíz según impacto en el proceso y se visualiza en el Anexo 3 Tabla Multivoto de causas raíz de Reducción del pago por calidad de Leche, el análisis de Pareto identifica un bloque dominante de impacto conformado por las tres causas con mayor puntaje en la matriz de validación. Estas causas presentan una separación estadística clara respecto al resto de las variables evaluadas:

1. **Falta de estandarización en el ordeño: (Puntaje: 133).** Es el factor determinante, reflejando que la ausencia de métodos escritos genera la mayor variabilidad en el proceso.

2. **Uso inconsistente de equipos y materiales: (Puntaje: 133).** Esta causa impacta tanto el costo operativo como la sanidad de la ubre, al no aplicarse criterios uniformes en el uso de insumos.
3. **Variabilidad de los tiempos de ordeño: (Puntaje: 78).** Identificada como la segunda causa crítica, afecta directamente la eficiencia hombre/hora y el flujo de la sala de ordeño.

Este bloque de Causas Tipo A concentra el 16.63% del impacto total valorado por los expertos. Aunque el porcentaje acumulado es bajo, en un análisis de causa raíz multidimensional como el presente, estas variables actúan como "causas madre"; es decir, su intervención corregirá de forma sistémica el comportamiento del resto de las causas menores (Categorías B y C).

Una vez definidos los factores consolidados a partir del proceso de agrupamiento de causas descrito en el apartado anterior, se procedió a aplicar el análisis de Pareto con el objetivo de jerarquizar dichos factores en función de su impacto relativo sobre el problema analizado. Este análisis se realizó utilizando como base los puntajes consolidados de cada factor, obtenidos a partir de la matriz de validación por juicio de expertos.

La Figura 9 Análisis de Pareto de los factores consolidados del proceso de ordeño presenta el análisis de Pareto correspondiente a los factores consolidados del proceso de ordeño, incluyendo su porcentaje de participación, porcentaje acumulado y clasificación ABC, de acuerdo con el criterio de priorización establecido ($A \leq 80\%$, $B > 80\%$ y $\leq 95\%$, $C > 95\%$ y $\leq 100\%$).

De acuerdo con los resultados mostrados en la Figura 10, los factores Falta de estandarización del proceso de ordeño, Uso inconsistente de equipos y materiales y Variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo concentran de manera conjunta el 78,36% del impacto total, por lo que fueron clasificados dentro de la categoría A. Estos factores representan los denominados “pocos vitales” del proceso y constituyen los principales focos de atención para la formulación de acciones de mejora.

En un segundo nivel de prioridad se ubica el factor Condiciones ambientales que afectan la ejecución e higiene del ordeño, el cual eleva el porcentaje acumulado al 91,57%, siendo clasificado dentro de la categoría B. Este resultado indica que, si bien su impacto es menor en comparación con los factores de la categoría A, su influencia sobre el proceso no debe ser desatendida.

Finalmente, los factores Deficiencias en el control y seguimiento del proceso y Limitaciones en la infraestructura y equipos de soporte, con porcentajes acumulados superiores al 95%, fueron clasificados dentro de la categoría C, lo que evidencia que su contribución individual al problema analizado es residual en comparación con los factores priorizados.

La priorización obtenida mediante el análisis de Pareto permite establecer una jerarquía clara de intervención, orientando los esfuerzos de mejora prioritariamente hacia los factores de la categoría A, sin excluir el tratamiento progresivo de los factores de las categorías B y C. De esta manera, el análisis de Pareto se constituye como una herramienta clave para la toma de decisiones, al facilitar la asignación eficiente de recursos y el diseño de acciones correctivas con mayor impacto sobre el desempeño del proceso de ordeño.

Figura 9. Análisis de Pareto de los factores consolidados del proceso de ordeño

| Factor consolidado | Suma de puntajes | % participación | % acumulado | Clasificación ABC | | |
|---|------------------|-----------------|-------------|-------------------|---|------------|
| Falta de estandarización del proceso de ordeño | 133 | 30,30% | 30,30% | A | | |
| Uso inconsistente de equipos y materiales | 133 | 30,30% | 60,59% | A | | |
| Variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo | 78 | 17,77% | 78,36% | A | A | <=80% |
| Condiciones ambientales que afectan la ejecución e higiene del ordeño | 58 | 13,21% | 91,57% | B | B | > 80%<=95% |
| Deficiencias en el control y seguimiento del proceso | 24 | 5,47% | 97,04% | C | C | >95%<=100% |
| Limitaciones en la infraestructura y equipos de soporte | 13 | 2,96% | 100,00% | C | | |

Nota. Elaboración propia (2026)

4.6 Medición del proceso de ordeño mediante medición de tiempos

El proceso de ordeño de la Hacienda La Concepción se caracteriza por el manejo de aproximadamente 100 vacas, realizado dos veces al día. Con el objetivo de obtener una línea base objetiva del desempeño operativo, se efectuaron mediciones de tiempos en diferentes jornadas, lo que permitió identificar variaciones críticas en la ejecución de la rutina.

En cada sesión de ordeño se midió la totalidad de la población disponible (100 vacas), por lo que a nivel de animales se trabajó con un censo ($n=N=100$). La determinación del tamaño de muestra se aplicó a la repetición temporal del proceso, considerando como unidad muestral cada sesión de ordeño (AM/PM). Con base en los promedios observados por sesión (6 sesiones), se estimó la desviación estándar entre sesiones ($s=0.05635$) min. Para estimar el promedio del tiempo de ordeño con 95% de confianza y un error máximo (E), se utilizó la fórmula:

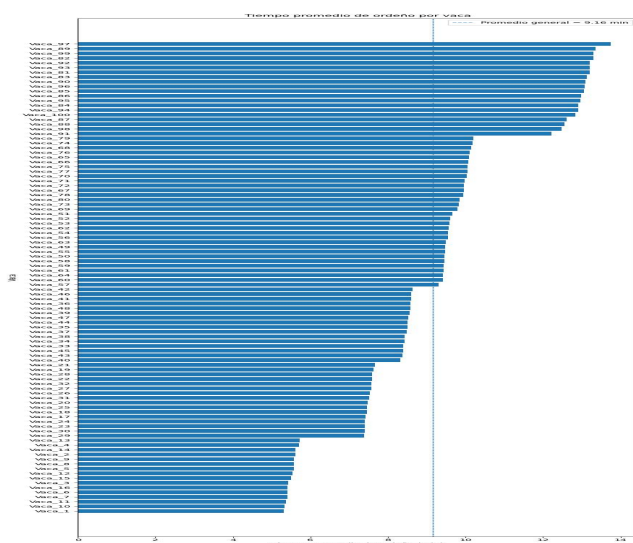
$$n = \left(\frac{Z \cdot s}{E} \right)^2$$

Con $Z = 1.96$. Por ejemplo, para $E = 0.05$ min, se obtuvo $n = 4.88$, redondeando a 5 sesiones, como no se puede dividir un día, se registraron 6 sesiones que sobrepasan el tamaño mínimo requerido para dicha precisión.

Se eligió ± 0.05 minutos (± 3 segundos) por considerarse una precisión operativamente relevante en términos de control del proceso, ya que variaciones inferiores a ese umbral no generan impacto práctico en la gestión del ordeño.

Como se observa en la Figura 10 Variabilidad de los tiempos individuales de ordeño por animal, los resultados de las mediciones individuales evidencian diferencias significativas entre animales y entre distintos ordeños. Esta dispersión no responde a factores biológicos, sino que es un indicador técnico de que la variabilidad es causada por la ausencia de un método estándar de trabajo.

Figura 10. Variabilidad de los tiempos individuales de ordeño por animal



Nota. Elaboración propia (2025)

La Figura 10 Variabilidad de los tiempos individuales de ordeño por animal, ilustra la alta dispersión en los tiempos de ordeño por animal, los cuales oscilan significativamente sin un patrón definido. Esta variabilidad es una evidencia cuantitativa de la ausencia de una estandarización en la técnica de preparación y la falta de segregación del hato por velocidad de ordeño. Desde la ingeniería de métodos, esta fluctuación genera "tiempos muertos" en la fosa, ya que el ciclo completo de una tanda de ocho vacas se ve retrasado por aquellos animales que requieren más tiempo, manteniendo ociosas las demás unidades de ordeño y reduciendo la capacidad instalada del sistema.

Adicionalmente, se determinó el tiempo total del proceso considerando el ordenamiento actual de las vacas, el cual se realiza de forma aleatoria sin criterios técnicos de productividad. Los resultados obtenidos, que se detallan en la Tabla 8 Tiempos totales de ordeño por tanda operativa y se visualizan en la Figura 11 Comportamiento y tendencia del tiempo total de proceso, exponen la inestabilidad del sistema bajo las condiciones actuales de operación.

Tabla 8. Tiempos totales de ordeño por tanda operativa

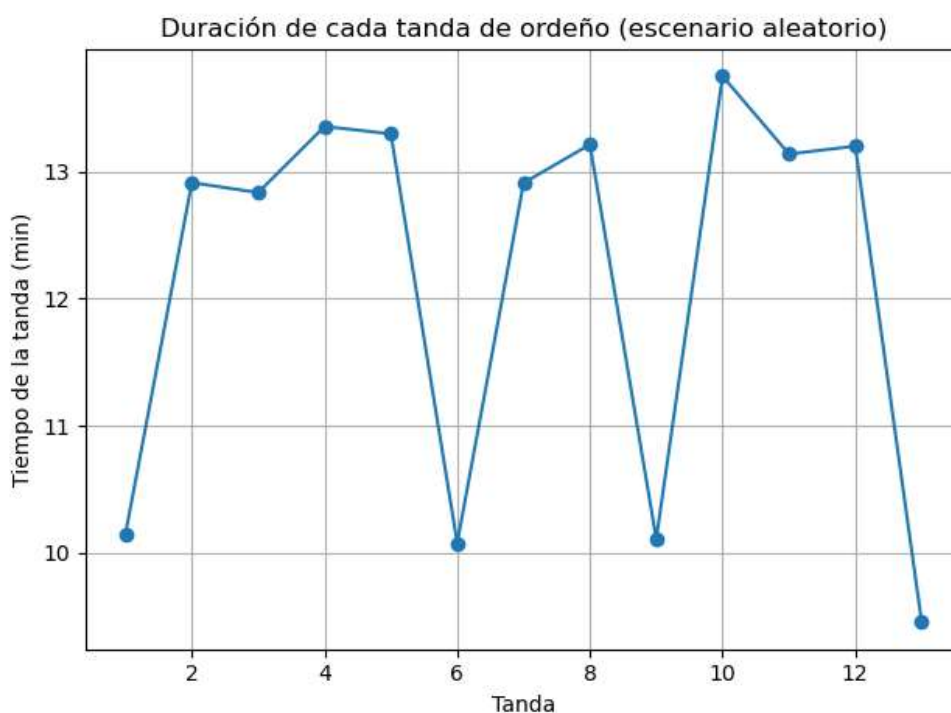
| Tanda | Tiempo de la tanda (min) |
|----------------|--|
| 1 | 10.15 |
| 2 | 12.91 |
| 3 | 12.84 |
| 4 | 13.36 |
| 5 | 13.30 |
| 6 | 10.08 |
| 7 | 12.91 |
| 8 | 13.21 |
| 9 | 10.11 |
| 10 | 13.75 |
| 11 | 13.14 |
| 12 | 13.20 |
| 13 | 9.46 |
| Resumen | Prom = 12.19 Min = 9.46 Max = 13.75 DE = 1.58 |

Nota. Elaboración propia (2025)

La Tabla 8 Tiempos totales de ordeño por tanda operativa, sintetiza el comportamiento temporal de las tandas de ordeño, evidenciando que la variabilidad observada no es una fluctuación

aleatoria, sino un factor estructural que condiciona el desempeño global del sistema. La dispersión entre los valores mínimos y máximos, junto con una desviación estándar significativa, confirma un estado de "descontrol estadístico" derivado de la falta de estandarización en el método de trabajo. Desde una perspectiva sistémica, esta variabilidad degrada la productividad laboral (kg/hombre/hora) y aumenta los costos ocultos por subutilización de la capacidad instalada. Por tanto, la estabilización de los tiempos se configura como el eje estratégico de la reingeniería propuesta, permitiendo migrar de una cultura operativa reactiva hacia un modelo de gestión basado en procesos que garantiza la predictibilidad y el cumplimiento riguroso de los estándares de calidad exigidos por la Cooperativa Dos Pinos.

Figura 11. Comportamiento y tendencia del tiempo total de proceso



Nota. Elaboración propia (2025)

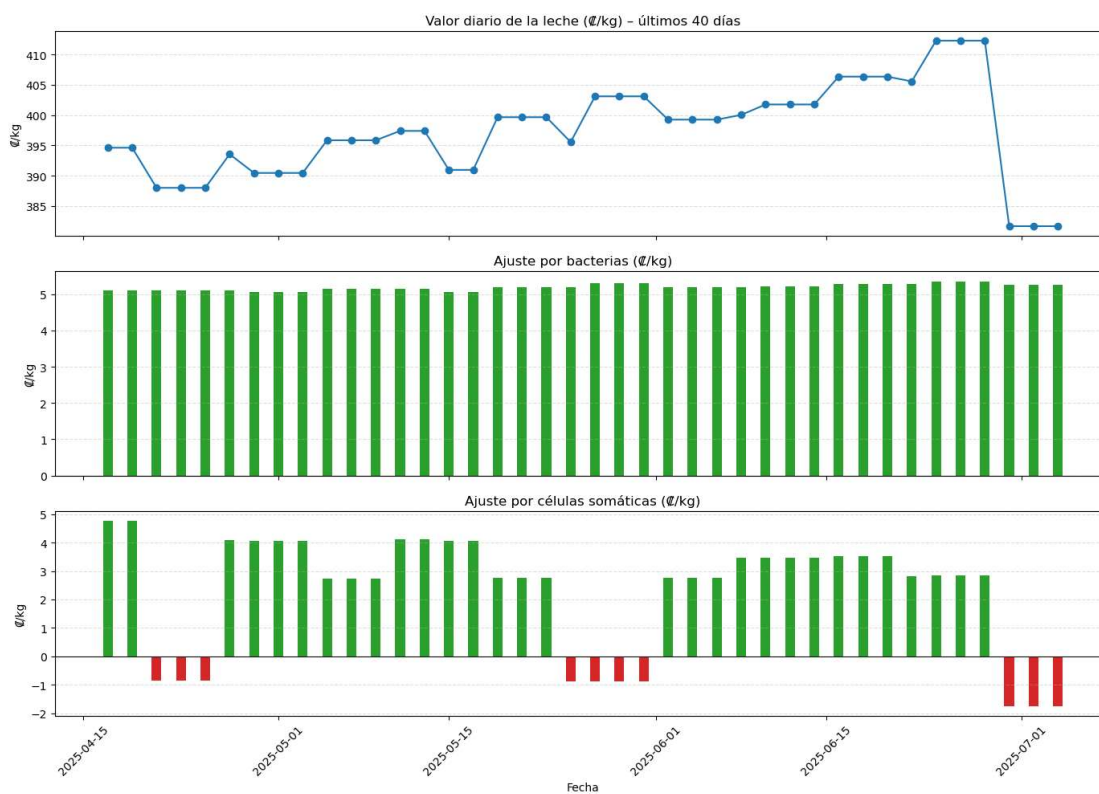
El análisis de la Figura 11 Comportamiento y tendencia del tiempo total de proceso, permite identificar que el tiempo total de proceso no presenta un comportamiento estable, mostrando

picos de ineficiencia que superan ampliamente los estándares recomendados. Esta tendencia errática confirma que el proceso de ordeño en Hacienda La Concepción no se encuentra bajo control estadístico. La aleatoriedad en el ingreso de los animales, sumada a la variación en la destreza de los operarios detectada en la fase de medición, genera cuellos de botella que elevan el promedio a 8,4 minutos por vaca. Este diagnóstico justifica técnicamente la propuesta de reingeniería de los capítulos siguientes, orientada a la creación de bloques de ordeño homogéneos y rutinas estandarizadas para estabilizar la curva de aprendizaje y reducir la variabilidad del ciclo total.

4.7 Análisis estadístico de los datos recopilados de entregas de leche

Se realizó un análisis de las entregas de leche entre abril y julio de 2025, extendiendo el estudio al periodo histórico de 2024. Los datos confirman que la hacienda ha incurrido en sanciones económicas debido a que el proceso no está regulado. En la Figura 12 Impacto económico por ajustes de calidad en las entregas de leche se presenta la representación gráfica de estos ajustes negativos.

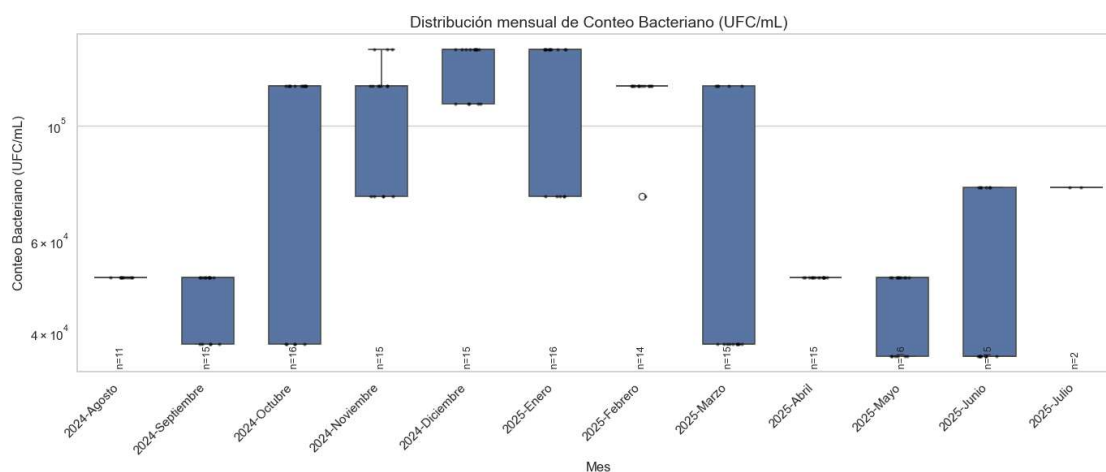
Figura 12. Impacto económico por ajustes de calidad en las entregas de leche



Nota. Elaboración propia (2025)

Se observa la presencia recurrente de ajustes negativos asociados al conteo de células somáticas, lo cual indica que el proceso no se encuentra adecuadamente regulado y presenta una alta variabilidad. Este hallazgo motivó la ampliación del análisis estadístico al periodo correspondiente al año 2024, donde se identificaron meses con alta variabilidad y otros con comportamientos más estables, lo que confirma la existencia de prácticas operativas inconsistentes en el proceso de ordeño.

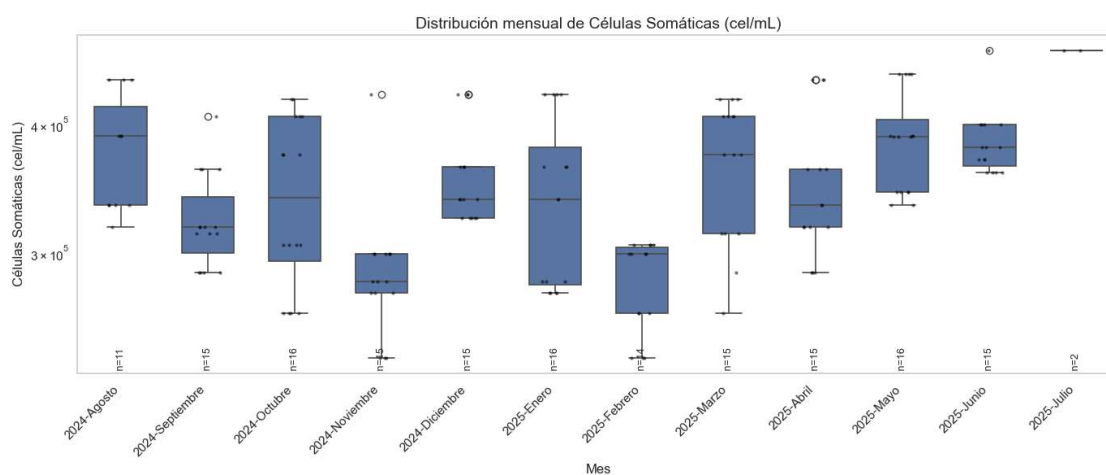
Figura 13. Análisis histórico de variabilidad en Células Somáticas (RCS)



Nota. Elaboración propia (2025)

En el caso del conteo bacteriano, se identifican meses como agosto de 2024, abril de 2025 y julio de 2025 con baja variabilidad y cumplimiento de los valores requeridos. No obstante, meses como octubre de 2024 y marzo de 2025 presentan una variabilidad extrema, y en diciembre de 2024 ninguna entrega cumplió con los parámetros establecidos, lo que evidencia un descontrol significativo del proceso.

Figura 14 . Variabilidad y cumplimiento del Conteo Bacteriano Total (CBT)



Nota. Elaboración propia (2025)

Para las células somáticas, el comportamiento es similar, observándose meses con alta variabilidad, como octubre de 2024, enero de 2025 y marzo de 2025, y otros con mayor estabilidad, como noviembre de 2024, lo cual refuerza la conclusión de que el proceso de ordeño presenta un comportamiento irregular.

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir de la aplicación del análisis SIPOC, la matriz de validación de causas raíz y el análisis estadístico de los datos de entrega de leche. Los resultados se fundamentan en entrevistas estructuradas realizadas a actores clave del proceso, cuyos aportes fueron consolidados mediante una escala ordinal y analizados con el apoyo del principio de Pareto, así como en un análisis estadístico que evidencia un comportamiento variable y un bajo nivel de control del proceso de ordeño.

El análisis realizado permite concluir que la problemática identificada no responde a un único factor aislado, sino a un conjunto reducido de causas interrelacionadas que afectan de manera sistémica el desempeño del proceso. En particular, se identificaron como causas críticas la falta de estandarización en el ordeño, la variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo y el uso

inconsistente de equipos y materiales, las cuales concentran el mayor impacto relativo sobre la variabilidad observada.

La priorización de estas causas constituye la base técnica para el desarrollo de la propuesta de mejora que se presenta en el capítulo siguiente, orientada a intervenir los factores dominantes del proceso dentro del alcance de la presente investigación.

CAPÍTULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA SOLUCION

El presente capítulo desarrolla la propuesta técnica para la optimización del proceso de ordeño en Hacienda La Concepción, fundamentada de manera rigurosa en los hallazgos del diagnóstico situacional expuesto en el Capítulo IV. A través de la integración del análisis SIPOC, la matriz de validación por juicio de expertos y la aplicación del principio de Pareto, se logró aislar las "pocas causas vitales" que concentran la mayor carga de ineficiencia operativa y afectan la calidad higiénico-sanitaria del producto entregado a la Cooperativa Dos Pinos.

En concordancia con los objetivos de la investigación, la estrategia de mejora se focaliza en las causas raíz priorizadas: la ausencia de estandarización en la rutina de ordeño, la elevada variabilidad de los tiempos intragrupo y el uso inconsistente de equipos y materiales. Estas variables no se analizan como elementos aislados, sino como factores transversales que, al ser intervenidos, actúan como catalizadores para estabilizar el sistema productivo en su totalidad.

La propuesta tiene como objetivo central reducir la variabilidad del proceso mediante un modelo de reingeniería operativa de bajo costo y alto impacto. Se han priorizado soluciones que no requieren inversiones de capital (CAPEX) excesivas, sino que se centran en el rediseño de métodos, el control operativo y el fortalecimiento de la disciplina operativa del personal. Este enfoque asegura que la propuesta sea técnica y económicamente viable, respetando la realidad de una explotación lechera semi-tecnificada pero elevando sus estándares a niveles de clase mundial.

En los apartados siguientes se desglosan, de forma estructurada, los planes de acción diseñados para cada causa crítica, incluyendo el diseño de los Procedimientos Operativos Estándar (POE), la reorganización del flujo de los animales y los mecanismos de control que garantizarán la sostenibilidad de las mejoras en el tiempo.

5.1 Objetivo de la propuesta de mejora

5.1.1 Objetivo general

Diseñar una propuesta de mejora orientada a reducir la variabilidad del proceso de ordeño de la Hacienda La Concepción, mediante la intervención de las causas críticas identificadas en el Capítulo IV, con el fin de mejorar la estabilidad del proceso, fortalecer el control operativo y contribuir al cumplimiento sostenido de los estándares de calidad exigidos por la cooperativa Dos Pinos.

5.1.2 Objetivos específicos

- Estandarizar el proceso de ordeño mediante la definición de procedimientos operativos claros, secuenciales y replicables, que reduzcan la variabilidad en la ejecución de las actividades.
- Disminuir la variabilidad de los tiempos de ordeño dentro de un mismo grupo de animales, estableciendo criterios operativos que permitan un desempeño más homogéneo del proceso.
- Promover el uso consistente y adecuado de equipos y materiales durante el proceso de ordeño, minimizando desviaciones asociadas a prácticas operativas no estandarizadas.
- Fortalecer los mecanismos de control y seguimiento del proceso de ordeño, como soporte a la implementación de las acciones priorizadas, a través de indicadores que permitan evaluar su desempeño y detectar desviaciones de forma oportuna.

5.2 Alcance y consideraciones de la propuesta de mejora

La propuesta de mejora desarrollada en el presente capítulo se encuentra delimitada al proceso de ordeño de la Hacienda La Concepción, específicamente a las actividades operativas que inciden directamente en la variabilidad del proceso y en los resultados de calidad de la leche entregada a la cooperativa Dos Pinos. El alcance de la propuesta se define con base en los resultados del diagnóstico presentado en el Capítulo IV y en la priorización de causas realizada mediante la matriz de validación y el análisis de Pareto.

En este sentido, la propuesta se enfoca exclusivamente en la intervención de las causas críticas identificadas, a saber: la falta de estandarización en el proceso de ordeño, la variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo y el uso inconsistente de equipos y materiales. Estas causas fueron seleccionadas por concentrar el mayor impacto relativo sobre el desempeño del proceso y por ser variables directamente gestionables a través de acciones operativas y organizacionales.

La propuesta no contempla cambios estructurales mayores en la infraestructura de la sala de ordeño, modificaciones en la genética del ganado ni inversiones de alto costo en tecnología especializada, dado que estos aspectos exceden el alcance temporal, técnico y económico de la presente investigación. Asimismo, no se aborda la totalidad de las causas identificadas en el análisis Ishikawa, ya que muchas de ellas se encuentran condicionadas o influenciadas por las causas críticas seleccionadas.

Las acciones propuestas se diseñan considerando las condiciones reales de operación de la hacienda, la disponibilidad del personal y la necesidad de mantener la continuidad operativa del proceso. En consecuencia, se priorizan intervenciones de bajo nivel de complejidad y alto impacto potencial, orientadas a la estandarización, el control del proceso y la mejora gradual del desempeño operativo.

Esta delimitación permite asegurar la viabilidad de la propuesta de mejora y garantiza que las acciones planteadas se encuentren alineadas con los objetivos de la investigación y con el contexto operativo en el cual se desarrollará su eventual implementación.

5.3 Diseño del procedimiento operativo estándar de ordeño

La estandarización constituye una práctica ampliamente utilizada en entornos industriales para reducir la variabilidad y asegurar la repetibilidad de los procesos. No obstante, su aplicación directa en procesos agroproductivos presenta particularidades que deben ser consideradas. En el caso del proceso de ordeño de la Hacienda La Concepción, se identificaron limitaciones asociadas al nivel de escolaridad, al desarrollo técnico y a las habilidades blandas del personal operativo, las cuales dificultan la adopción inmediata de esquemas de estandarización altamente detallados, similares a los utilizados en industrias manufactureras tradicionales.

Estas condiciones implican que la implementación de cambios drásticos o excesivamente detallados a nivel de micro-actividades podría generar resistencia, errores operativos o incumplimientos sistemáticos, afectando negativamente la estabilidad del proceso. En consecuencia, la estandarización propuesta adopta un enfoque progresivo, orientado inicialmente al aseguramiento del cumplimiento consistente de las macro-actividades críticas del proceso, como paso previo a una estandarización más detallada en etapas futuras.

El objetivo de este enfoque es lograr, en una primera fase, estabilidad operativa a nivel de macro-procesos, de manera que el personal interiorice las actividades fundamentales y se establezcan rutinas claras y repetibles. Una vez alcanzada esta estabilidad, se crea una base sólida que permitirá avanzar gradualmente hacia la estandarización de micro-actividades específicas.

Cabe señalar que el personal operativo no logra interpretar de forma efectiva diagramas de flujo u otras herramientas avanzadas de análisis de procesos. Por esta razón, el uso de diagramas se limita a una función de documentación técnica y validación del diseño del proceso, mientras que la ejecución diaria se apoya en herramientas visuales simplificadas, tales como pizarras de control y listas de verificación, diseñadas para su uso directo en el punto de operación.

Con base en los factores críticos priorizados en el análisis de Pareto y en la estructura del proceso productivo, la propuesta de estandarización se organiza en tres Procedimientos Operativos Estándar diferenciados: el proceso de limpieza e higienización del sistema de ordeño, la rutina de ordeño propiamente dicha y el proceso de alimentación, medicación y control del tanque de enfriamiento.

5.3.1 POE del proceso de limpieza e higienización del sistema de ordeño

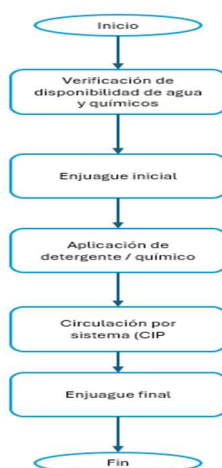
El proceso de limpieza e higienización del sistema de ordeño constituye un proceso de soporte crítico para la estabilidad del sistema productivo, dado que establece las condiciones higiénico-sanitarias necesarias para la correcta ejecución del ordeño y para la preservación de la calidad de la leche producida. El diagnóstico desarrollado en el Capítulo IV evidenció que estas actividades se ejecutan de manera empírica, sin una secuencia formalmente definida ni mecanismos sistemáticos de control que aseguren su correcta y completa realización, lo cual incrementa el riesgo de omisiones y resultados variables.

Con el fin de documentar técnicamente esta condición, la Figura 16 presenta el diagrama de flujo del proceso de limpieza en su estado actual (AS-IS). En este diagrama se observa que, aunque se realizan actividades básicas de enjuague y aplicación de productos de limpieza, no existen etapas explícitas de verificación visual ni registro, lo que limita la trazabilidad y dificulta

la detección oportuna de desviaciones. A partir de ello, la Figura 17 presenta el flujo propuesto (TO-BE), incorporando de manera explícita puntos de verificación y registro de ejecución como controles operativos básicos. Estas incorporaciones no incrementan de forma significativa la complejidad del proceso, pero sí permiten transformar una actividad empírica en un proceso controlado a nivel macro, alineado con el enfoque de estandarización progresiva adoptado en esta investigación.

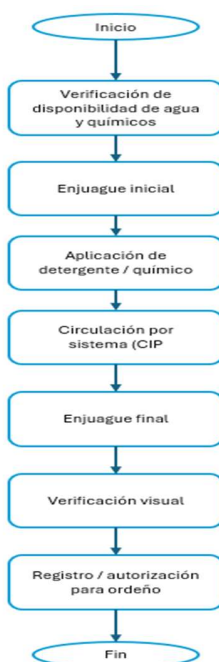
Dado que el personal operativo no interpreta con facilidad diagramas de flujo, los diagramas (Figuras 16 y 17) se emplean como documentación técnica del rediseño; en contraste, la ejecución diaria del procedimiento se apoya en herramientas visuales simples (checklists y pizarras) diseñadas para su uso en el punto de operación. En este sentido, el POE de limpieza e higienización se estructura en tres macro-momentos operativos —limpieza inicial del equipo, limpieza del tanque de enfriamiento y limpieza final del equipo—, cada uno con objetivos, actividades básicas y una herramienta visual asociada, presentadas en las Figuras 17 a 19.

Figura 15. Diagrama de flujo (AS-IS) proceso de limpieza



Nota. Elaboración propia (2025).

Figura 16. Diagrama de flujo (TO-BE) proceso de limpieza



Nota. Elaboración propia (2025).

a) Limpieza inicial del equipo de ordeño (previa al ordeño)

La limpieza inicial del equipo de ordeño previo al inicio del proceso fue identificada como una actividad crítica para asegurar condiciones higiénicas adecuadas. No obstante, la ausencia de controles formales incrementa el riesgo de omisiones o ejecuciones incompletas.

Objetivo: Garantizar condiciones higiénicas adecuadas antes de iniciar el ordeño.

Actividades básicas:


1. Verificar que el equipo esté en buenas condiciones y seguro para limpieza.
2. Realizar enjuague inicial con agua.

3. Aplicar detergente o producto de limpieza definido.
4. Asegurar circulación del producto por mangueras y pezoneras.
5. Realizar enjuague final según el tiempo recomendado.
6. Verificar visualmente limpieza de tuberías, mangueras y pezoneras.
7. Confirmar finalización del proceso antes de iniciar el ordeño.

Para asegurar su ejecución consistente, se propone el uso de una Lista de Verificación Visual en acrílico para ser colocada en el punto de operación (Figura 18). Esta herramienta actúa como recordatorio estandarizado de pasos críticos y como apoyo inmediato para disminuir la variabilidad asociada a prácticas no estandarizadas.

Figura 17. Lista de Verificación Visual para Limpieza de Equipo

Limpieza inicial del equipo de ordeño



- ✓ Verificar que el equipo esté en buenas condiciones y seguro para limpieza.
- ✓ Realizar enjuague inicial con agua.
- ✓ Aplicar detergente o producto de limpieza definido.
- ✓ Asegurar circulación del producto por mangueras y pezoneras.
- ✓ Realizar enjuague final según el tiempo recomendado.
- ✓ Verificar visualmente limpieza de tuberías, mangueras y pezoneras.
- ✓ Confirmar finalización del proceso antes de iniciar el ordeño.

Nota. Elaboración propia (2025).

b) Limpieza del tanque de enfriamiento (previa a la recepción de leche)

De forma complementaria, la limpieza del tanque de enfriamiento constituye otro macro-proceso crítico que incide directamente en la calidad de la leche almacenada. Su ejecución deficiente puede invalidar los esfuerzos de estandarización realizados durante el ordeño, debido a contaminación cruzada y formación de biopelículas.

Objetivo: Asegurar que el tanque esté limpio antes de recibir la leche.

Actividades básicas:

1. Apagar el tanque o verificar que esté apagado.
2. Verificar que el tanque esté vacío.
3. Realizar enjuague inicial con agua.
4. Aplicar detergente o producto de limpieza del tanque.
5. Asegurar limpieza de paredes internas y fondo.
6. Realizar enjuague final dos veces.
7. Verificar visualmente ausencia de residuos y contaminantes.
8. Registrar limpieza completada.


Para reforzar el control sin introducir procedimientos complejos, se propone una herramienta visual tipo pizarra/checklist con campos de fecha, hora y responsable (Figura 19), lo cual introduce trazabilidad mínima y facilita la supervisión del cumplimiento.

Figura 18. Limpieza del tanque de Enfriamiento

Limpieza del tanque de enfriamiento

- Apagar el tanque o verificar que este apagado
- Verificar que el tanque esté vacío.
- Realizar enjuague inicial con agua.
- Aplicar detergente o producto de limpieza del tanque.
- Asegurar limpieza de paredes internas y fondo.
- Realizar enjuague final dos veces.
- Verificar visualmente ausencia de residuos y contaminantes.
- Registrar limpieza completada en la pizarra.

Ultima limpieza Fecha: _____ hora: _____ Responsable: _____.



Nota. Elaboración propia (2025).

c) Limpieza final del equipo de ordeño (posterior al ordeño)

Finalmente, la limpieza final del equipo de ordeño se considera tan relevante como la limpieza inicial. La omisión o ejecución deficiente de este macro-proceso incrementa el riesgo de contaminación y compromete la efectividad de las actividades posteriores, además de favorecer la adherencia de residuos (milkstone) en superficies internas del sistema.

Objetivo: Evitar contaminación cruzada y asegurar condiciones adecuadas para el siguiente ordeño.


Actividades básicas:

1. Verificar finalización total del ordeño.

2. Verificar desconexión del sistema de trasiego al tanque de leche.
3. Realizar enjuague inicial del equipo.
4. Aplicar detergente o producto de limpieza definido.
5. Asegurar circulación del producto por todo el sistema.
6. Realizar enjuague final.
7. Verificar visualmente limpieza del equipo (pezoneras y tuberías).

Para asegurar su repetibilidad, se propone una Lista de Verificación Visual (Figura 20) ubicada en el área de trabajo, la cual guía al personal en la secuencia mínima requerida y reduce la probabilidad de omitir pasos críticos al finalizar la jornada.

Figura 19. Limpieza final del equipo de Ordeño

| | |
|---|--|
| <p>Limpieza final del equipo de ordeño</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Verificar finalización total del ordeño.✓ Verificar desconexión del sistema de trasiego al tanque de leche✓ Realizar enjuague inicial del equipo.✓ Aplicar detergente o producto de limpieza definido.✓ Asegurar circulación del producto por todo el sistema.✓ Realizar enjuague final.✓ Verificar visualmente limpieza del equipo pezoneras y tuberías. |  |
|---|--|

Nota. Elaboración propia (2025).

Síntesis del POE de limpieza

En conjunto, las Figuras 16 Diagrama de flujo (TO-BE) proceso de limpieza y 17 Lista de Verificación Visual para Limpieza de Equipo documentan el rediseño del flujo de limpieza (AS-IS vs TO-BE), mientras que las Figuras de la 18 a 20 constituyen los instrumentos operativos de implementación diaria del POE. Esta combinación permite integrar documentación técnica del proceso y herramientas de gestión visual adaptadas al contexto operativo, contribuyendo a reducir la variabilidad asociada a prácticas de higiene no estandarizadas y estableciendo condiciones base para la estabilidad del proceso de ordeño desarrollado en los apartados siguientes.

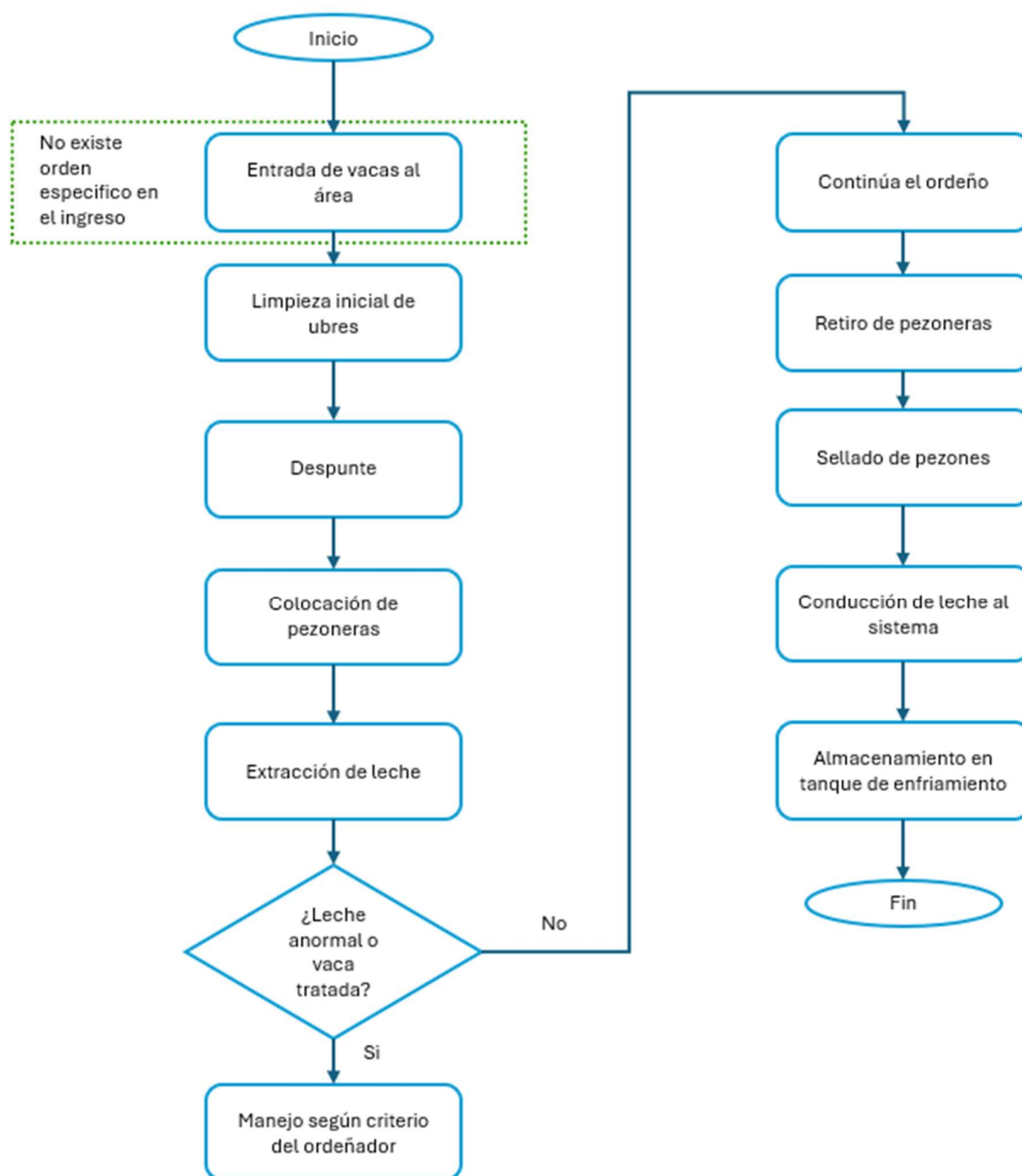
5.3.2 POE de la rutina de ordeño

El proceso de ordeño constituye el proceso principal del sistema productivo y el eje central de la presente propuesta de mejora. El diagnóstico desarrollado en el Capítulo IV evidenció una ejecución heterogénea de esta actividad, caracterizada por variaciones en la secuencia de tareas, en los tiempos de ordeño y en la aplicación de prácticas básicas de higiene, situación directamente asociada a la falta de estandarización del proceso y al uso inconsistente de equipos y materiales.

Con el fin de documentar técnicamente esta condición, la Figura 20 Diagrama de flujo (AS-IS) Proceso de ordeño presenta el diagrama de flujo del proceso de ordeño en su estado actual (AS-IS). En este diagrama se observa una ejecución empírica de la rutina, con decisiones tomadas de forma individual por cada operario, ausencia de un orden definido para el manejo de los grupos de animales y falta de controles explícitos que aseguren la correcta aplicación de prácticas críticas como el presellado, el tiempo de contacto y el sellado posterior. Estas

condiciones explican, en parte, la elevada variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo identificada en el análisis de causas.

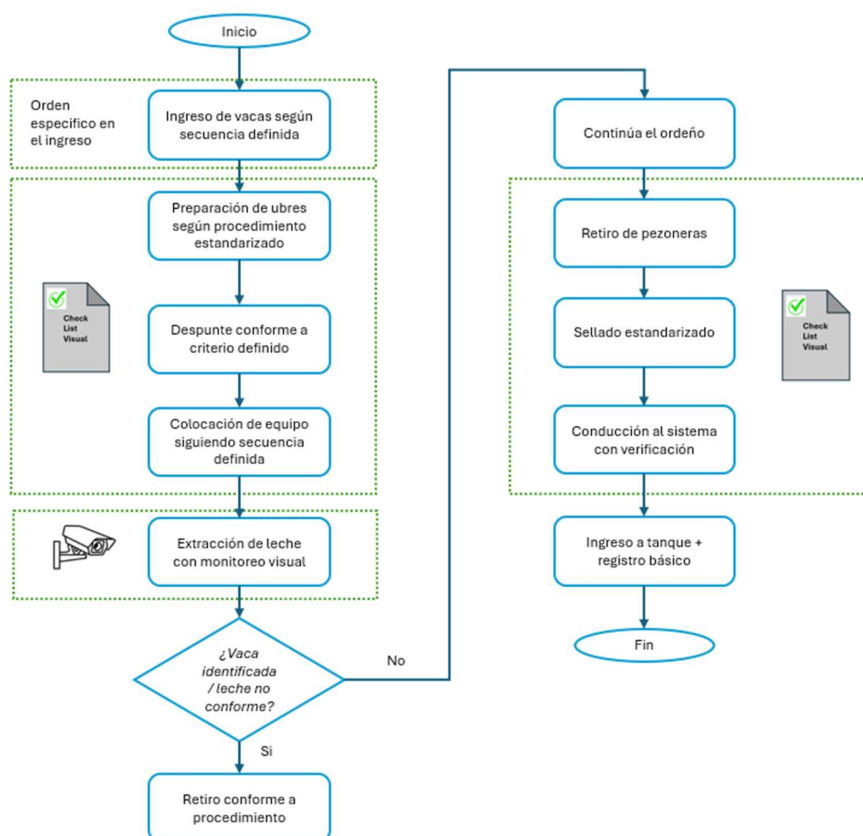
Figura 20. Diagrama de flujo (AS-IS) Proceso de ordeño



Nota. Elaboración propia (2025).

A partir de este diagnóstico, se diseñó el proceso de ordeño propuesto, representado en la Figura 21 Diagrama de flujo (TO-BE) Proceso de ordeño, correspondiente al estado futuro (TO-BE). Este diagrama incorpora una secuencia operativa estandarizada a nivel macro, definiendo un orden lógico de actividades desde la identificación del grupo de vacas hasta la verificación final del ordeño. Asimismo, se integran puntos de control visual que permiten asegurar el cumplimiento de prácticas higiénicas críticas sin incrementar de manera significativa la complejidad del proceso.

Figura 21. Diagrama de flujo (TO-BE) Proceso de ordeño



Nota. Elaboración propia (2025).

Al igual que en el caso del proceso de limpieza, los diagramas de flujo (Figuras 20 y 21) cumplen una función de documentación técnica y validación del diseño del proceso, mientras que la ejecución diaria de la rutina de ordeño se apoya en herramientas visuales simplificadas, diseñadas para su uso directo por parte del personal operativo. En este sentido, se propone la implementación de un Procedimiento Operativo Estándar (POE) de la rutina de ordeño, apoyado en una lista de verificación visual presentada en la Figura 22 Estándar Operativo de la Rutina de Ordeño.

Objetivo:

Asegurar que los pasos básicos del ordeño se realicen de forma consistente, reduciendo la variabilidad operativa y estableciendo una base común de ejecución del proceso.

Actividades básicas:


1. Identificar el grupo de vacas a ordeñar, ordenándolas de las más rápidas a las más lentas.
2. Verificar que ninguna vaca a ordeñar se encuentre bajo tratamiento con antibióticos.
3. Realizar la limpieza básica de las ubres.
4. Aplicar el presellado de las ubres.
5. Respetar el tiempo mínimo de acción del presellado.
6. Colocar las pezoneras de forma correcta.
7. Supervisar el ordeño durante el proceso, evitando el sobreordeño o subordeño.
8. No utilizar piedras u objetos externos para manipular las pezoneras.

9. Aplicar el sellado posterior de las ubres.

10. Verificar que todas las vacas del grupo hayan sido ordeñadas.

La Figura 22 Estándar Operativo de la Rutina de Ordeño, presenta el diseño de la herramienta visual propuesta para la ejecución del POE de la rutina de ordeño. Esta pizarra funciona como un mecanismo de gestión visual y control operativo, guiando al personal en la secuencia mínima requerida y reduciendo la dependencia de la experiencia individual del operario. En el marco de la reingeniería propuesta, esta herramienta permite consolidar un “camino único” de ejecución para las actividades críticas del ordeño, contribuyendo a la reducción de movimientos innecesarios y a la estabilización de los tiempos de ciclo.

Figura 22. Estándar Operativo de la Rutina de Ordeño

| | |
|---|--|
| <h2>Proceso de ordeño</h2> |  |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar el grupo de vacas a ordeñar de las más rápidas a las más lentas. ✓ Verificar que ninguna vaca a ordeñar tenga tratamiento de antibiótico ✓ Realizar limpieza básica de las ubres. ✓ Aplicar presellado de las ubres. ✓ Respetar el tiempo mínimo de acción del presellado. ✓ Colocar pezoneras correctamente. ✓ Supervisar el ordeño durante el proceso no sobre ordeñar ni sub ordeñar ✓ No utilizar piedras en las pezoneras ✓ Aplicar sellado posterior de las ubres. ✓ Verificar que todas las vacas del grupo fueron ordeñadas. | |

Nota. Elaboración propia (2025).

En conjunto, la estandarización de la rutina de ordeño mediante el uso de diagramas de flujo a nivel macro y listas de verificación visuales permite transformar una ejecución empírica y variable en un proceso controlado y repetible. Este enfoque crea las condiciones necesarias para

disminuir la variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo y constituye un pilar fundamental para la mejora sostenida del desempeño operativo del sistema productivo.

No se diseñan las listas de verificación ya que están siendo objeto de revisión por parte de la administración con el fin de realizar una implementación correcta y hay pasos en discusión.

5.3.3 POE del proceso de alimentación y medicación durante el ordeño

El proceso de alimentación y medicación de las vacas se ejecuta de manera simultánea a la rutina de ordeño y constituye una actividad de soporte crítico que incide directamente en la condición sanitaria del ganado y, por ende, en la calidad higiénico-sanitaria de la leche producida. El diagnóstico desarrollado en el Capítulo IV evidenció que estas actividades no siempre se realizan de forma consistente, presentándose omisiones o ejecuciones parciales que introducen variabilidad en el sistema productivo.

A diferencia de los procesos de limpieza y de ordeño, el proceso de alimentación y medicación no presenta ramificaciones operativas ni decisiones secuenciales complejas, sino que se caracteriza por una secuencia lineal de actividades, cuyo principal riesgo radica en la omisión de la ejecución más que en la forma en que se realiza. En este contexto, el uso de diagramas de flujo no aporta un valor significativo adicional para la estandarización del proceso, siendo más efectivo el establecimiento de mecanismos de control visual y registro que aseguren el cumplimiento sistemático de la actividad.

Como medida de estandarización a nivel macro, se propone asegurar la estabilidad del proceso mediante el establecimiento de registros simples y visibles que permitan verificar que todas las vacas han recibido efectivamente la suplementación alimenticia y la medicación correspondiente durante cada jornada de ordeño. Este enfoque permite garantizar la ejecución

consistente de la actividad, independientemente del operario responsable, y reduce la dependencia de la memoria o experiencia individual.

Objetivo:

Asegurar que todas las vacas reciban alimentación y medicación de forma consistente durante el ordeño.

Actividades básicas:

1. Verificar la disponibilidad de alimento antes de iniciar el ordeño y notificar en caso de faltantes.
2. Verificar la disponibilidad de los medicamentos indicados (mastitis, infecciones u otros) y notificar en caso de faltantes.
3. Generar un orden de las vacas según las necesidades del grupo, dejando las vacas a medicar para el final.
4. Suministrar la ración de alimento correspondiente a cada vaca durante el ordeño.
5. Aplicar los medicamentos indicados según el tratamiento definido.
6. Registrar que cada vaca recibió alimentación y medicación.
7. Verificar que no queden vacas sin suplementación o medicación.


Para el control operativo de este procedimiento se propone la implementación de una Pizarra de Control para Alimentación y Medicación, presentada en la Figura 22 Diseño de Pizarra de Control para Alimentación y Medicación . Esta herramienta funciona como un mecanismo de gestión visual y prevención de errores (Poka-Yoke informativo), permitiendo registrar de forma clara y accesible el cumplimiento de la actividad y facilitando la detección inmediata de

omisiones. Su diseño en formato acrílico de gran tamaño permite su ubicación en el área de ordeño, asegurando su uso efectivo en el punto de operación.

La utilización de esta herramienta permite estandarizar el proceso de alimentación y medicación sin introducir procedimientos complejos ni aumentar la carga operativa del personal, alineándose con el enfoque de estandarización progresiva adoptado en la presente propuesta y contribuyendo a la estabilidad global del sistema productivo.

Figura 22. Diseño de Pizarra de Control para Alimentación y Medicación

Proceso de alimentación y medicación de las vacas



- ✓ Verificar disponibilidad de alimento antes de iniciar el ordeño. Avisar si hace falta.
- ✓ Verificar disponibilidad de medicamentos indicados (mastitis, infecciones u otros). Avisar si hace falta
- ✓ Generar un orden de las vacas según necesidades del grupo, dejar las vacas a medicar de ultimas
- ✓ Suministrar la ración de alimento correspondiente a cada vaca durante el ordeño.
- ✓ Aplicar los medicamentos indicados según el tratamiento definido.
- ✓ Registrar que cada vaca recibió alimentación y medicación
- ✓ Verificar que no queden vacas sin suplementación o medicación.

Nota. Elaboración propia (2025).

5.4 Enfoque de control y verificación de la estandarización del proceso

5.4.1 Síntesis del enfoque propuesto

El enfoque de estandarización progresiva planteado permite adaptar las herramientas de mejora a la realidad del contexto operativo de la Hacienda La Concepción, priorizando la estabilidad del proceso y el cumplimiento consistente de las macro-actividades críticas identificadas en el diagnóstico. Este enfoque reconoce que la estandarización detallada de micro-actividades no puede implementarse de forma inmediata sin generar resistencia o errores operativos, por lo que

se concibe como una etapa posterior, una vez que el proceso haya alcanzado un nivel básico de control y repetibilidad.

De esta manera, la propuesta integra procedimientos operativos claros con mecanismos de control simples y visuales, asegurando que la estandarización no dependa exclusivamente de la supervisión directa ni de la experiencia individual del personal, sino de un sistema diseñado para facilitar la ejecución correcta del proceso.

5.4.2 Estandarización orientada al control de resultados del proceso

Si bien la estandarización del proceso de ordeño constituye un elemento clave para la reducción de la variabilidad operativa, las características del contexto humano y organizacional imponen limitaciones para la aplicación de esquemas tradicionales de control y supervisión directa. En particular, el nivel de escolaridad del personal operativo, la limitada disponibilidad de supervisión permanente y las condiciones horarias del primer ordeño, realizado entre las 02:00 y las 06:00 horas, dificultan la implementación sistemática de controles presenciales sobre el cumplimiento de las actividades estandarizadas.

Ante esta realidad, la propuesta adopta un enfoque complementario orientado prioritariamente al control de los resultados del proceso, más que al control continuo y directo de la ejecución de cada actividad. Este enfoque permite verificar el cumplimiento de las prácticas esperadas a partir de evidencias objetivas, reduciendo la dependencia de la supervisión presencial y facilitando la sostenibilidad de las acciones propuestas en el tiempo.

En este sentido, el uso de sistemas de videograbación, ya instalados como parte de la presente investigación, se propone como una herramienta de apoyo para la verificación posterior de la ejecución del proceso de ordeño. Las grabaciones permiten revisar de forma selectiva y no

intrusiva el desarrollo de las actividades críticas, identificar desviaciones recurrentes y retroalimentar al personal de manera objetiva, sin interferir con la operación diaria.

De forma complementaria, se propone la utilización de pizarras informativas ubicadas en puntos estratégicos del área de ordeño, como medio de difusión visual de los pasos básicos del proceso y de las buenas prácticas esperadas. Estas pizarras funcionan como recordatorios operativos permanentes, reforzando la estandarización a nivel macro sin requerir capacitación formal continua ni supervisión directa constante.

5.4.3 Identificación visual de vacas con tratamiento o con altos niveles de células somáticas

Dentro de las actividades críticas del proceso de ordeño, se identifica como prioritaria la correcta identificación de las vacas que se encuentran bajo tratamiento médico o que presentan altos niveles de células somáticas, cuya leche no debe ser enviada al tanque de almacenamiento. La omisión o falla en esta identificación representa un riesgo significativo para la calidad de la leche y para el cumplimiento de los parámetros exigidos por la cooperativa.

Para abordar esta situación, se propone la implementación de un sistema de identificación visual simple y de fácil aplicación, utilizando pintura no tóxica similar a la empleada para la marcación de vacas en celo, pero de un color distinto y claramente diferenciable. Las vacas que se encuentren en esta condición deberán ser marcadas diariamente al salir del ordeño, manteniendo la identificación visible hasta que su estatus sanitario sea modificado.

Este mecanismo permite asegurar, de manera práctica y efectiva, que el personal operativo identifique de forma inmediata a las vacas cuya leche debe ser segregada, reduciendo el riesgo de errores asociados a la memoria, a la rotación del personal o a la falta de registros formales

durante el ordeño. Asimismo, la marcación diaria refuerza el control del proceso y facilita la verificación posterior mediante revisión visual y registros complementarios.

5.4.4 Impacto esperado de la estandarización del proceso

La estandarización del proceso de ordeño permitirá reducir la variabilidad operativa, mejorar la consistencia en la ejecución de las actividades y fortalecer el control del proceso. Asimismo, se espera que esta intervención contribuya a una mayor estabilidad en los tiempos de ordeño y a una mejora gradual en los indicadores de calidad de la leche, al minimizar prácticas operativas inconsistentes.

La estandarización planteada actúa como un elemento habilitador para las demás acciones de mejora desarrolladas en el presente capítulo, dado que proporciona una base de control y repetibilidad sobre la cual se apoyan las propuestas orientadas a la reducción de la variabilidad de los tiempos de ordeño y al uso consistente de equipos y materiales.

5.5 Propuesta para la reducción de la variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo

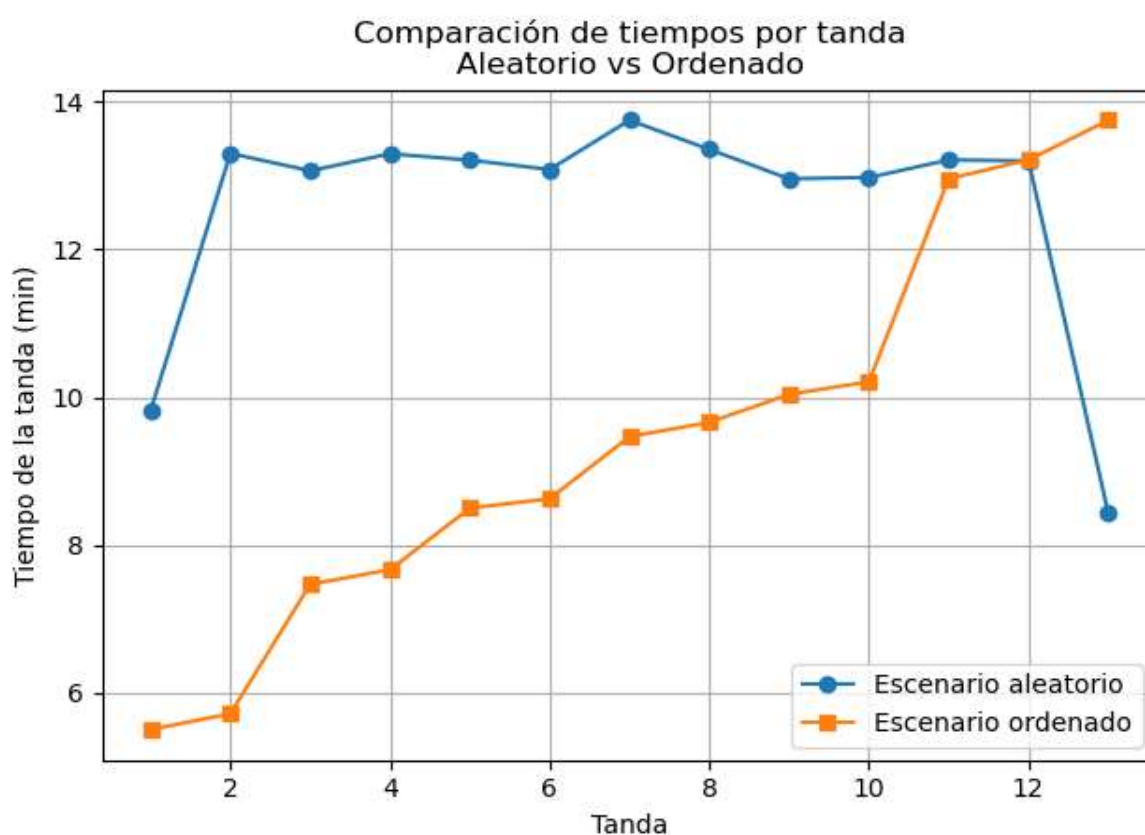
5.5.1 Ordenamiento operativo de los grupos de ordeño

Uno de los factores que incide directamente en la variabilidad de los tiempos de ordeño es el orden en que las vacas ingresan a la sala. Cuando el ingreso se realiza de forma aleatoria, la presencia de vacas con tiempos de ordeño significativamente mayores retrasa la salida del conjunto, incrementando el tiempo total del proceso y generando presión operativa sobre el personal.

La Figura 24 muestra la comparación de los tiempos de ordeño por tanda entre un escenario aleatorio y un escenario ordenado. En el escenario aleatorio se observa una mayor dispersión

de los tiempos, con tandas que alcanzan duraciones superiores al promedio. Esta situación incrementa el riesgo de que el personal suspenda prematuramente el ordeño de vacas con tiempos elevados, con el fin de evitar retrasos en la jornada, lo que puede derivar en prácticas de subordeño.

Figura 23. Comparativa de tiempos de ordeño: Escenario Aleatorio vs. Escenario Ordenado



Nota. Elaboración propia (2025).

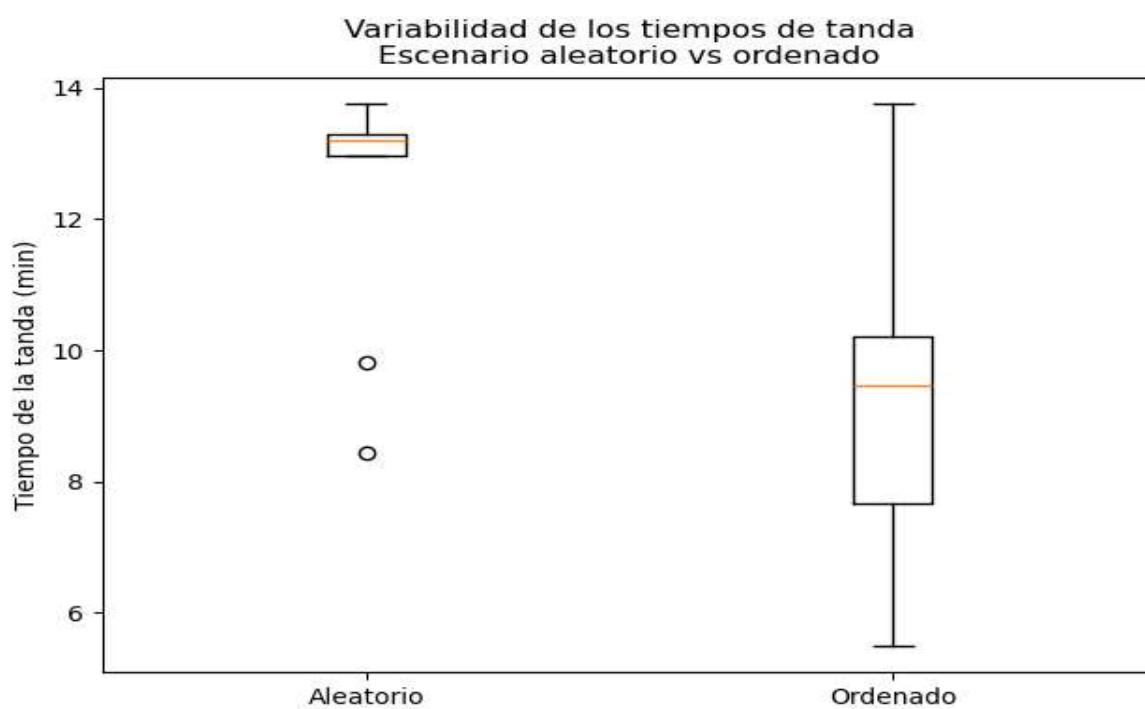
En contraste, el escenario ordenado presenta una progresión más homogénea de los tiempos por tanda, facilitando la gestión operativa del proceso y reduciendo la presión asociada al tiempo total del ordeño.

5.5.2 Agrupación funcional y comunicación de resultados al personal

La reducción de la variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo requiere no solo medidas técnicas, sino también la comprensión y aceptación del personal operativo. La agrupación funcional de vacas con comportamientos similares permite conformar grupos más homogéneos, disminuyendo la dispersión de los tiempos y facilitando la ejecución consistente del proceso.

La Figura 24 Diagrama de caja de la variabilidad intragrupo por escenario presenta la variabilidad de los tiempos de ordeño por tanda para ambos escenarios mediante un diagrama de caja. En el escenario aleatorio se evidencia una mayor dispersión de los datos y la presencia de valores atípicos, mientras que el escenario ordenado muestra una distribución más concentrada. Este resultado confirma que la agrupación funcional contribuye a reducir la variabilidad intragrupo y a estabilizar el proceso.

Figura 24. Diagrama de caja de la variabilidad intragrupo por escenario



Nota. Elaboración propia (2025).

La comunicación periódica de estos resultados al personal, mediante la publicación de listas que identifiquen vacas con ordeño más rápido o más lento, apoyadas en la información de las pesas de leche, constituye una herramienta clave para el entrenamiento y convencimiento del personal, alineando su ejecución con los objetivos de estabilidad y calidad del proceso.

5.5.3 Control básico de tiempos de ordeño por grupo

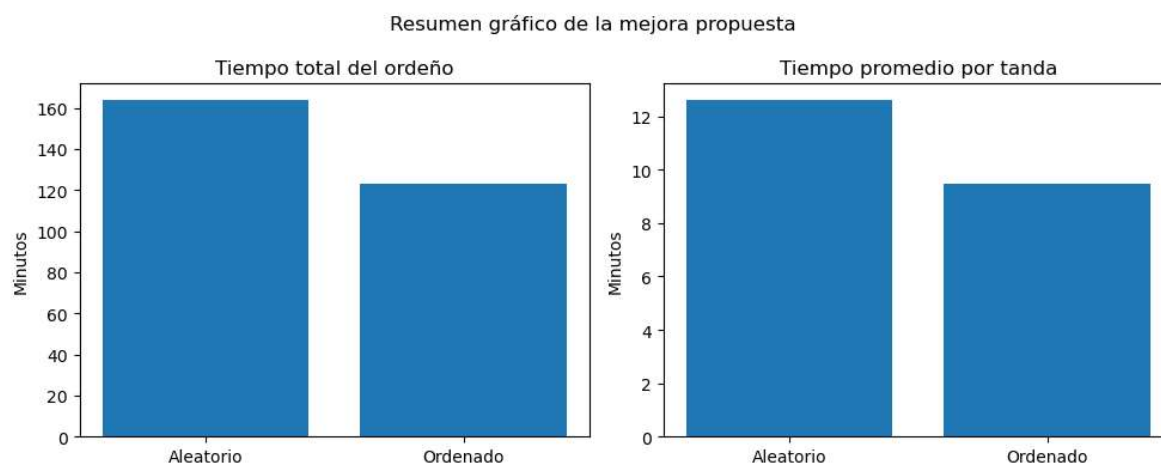
Con el fin de monitorear la efectividad de las medidas propuestas, se plantea la implementación de un control básico de los tiempos de ordeño a nivel de grupo, basado en el registro del tiempo total por tanda. Este control permite identificar desviaciones relevantes y evaluar la evolución del proceso sin introducir una carga operativa excesiva.

5.5.4 Impacto esperado en la estabilidad del proceso

El impacto esperado de la aplicación de los criterios de ordenamiento y agrupación funcional se resume en la Figura 25 Impacto proyectado en el tiempo total de la jornada de ordeño, donde se compara el tiempo total del ordeño y el tiempo promedio por tanda para ambos escenarios. Los resultados evidencian una reducción en el tiempo total requerido para completar el ordeño, así como una disminución del tiempo promedio por tanda en el escenario ordenado.

Estos resultados confirman que la reducción de la variabilidad intragrupo no solo contribuye a mejorar la estabilidad del proceso, sino que también permite una gestión más eficiente del tiempo, disminuyendo la presión operativa sobre el personal y reduciendo el riesgo de prácticas que comprometan la correcta ejecución del ordeño.

Figura 25. Impacto proyectado en el tiempo total de la jornada de ordeño



Nota. Elaboración propia (2025).

5.6 Propuesta para el uso consistente de equipos y materiales

El uso inconsistente de equipos y materiales fue identificado como una de las causas críticas que inciden en la variabilidad del proceso de ordeño y en la calidad de la leche entregada. Tal como se evidenció en el diagnóstico presentado en el Capítulo IV, esta inconsistencia se manifiesta principalmente en la aplicación incorrecta de detergentes y desinfectantes, en el uso inadecuado del equipo de ordeño y en la falta de control sobre variables operativas críticas, tales como la temperatura del tanque de enfriamiento.

Las características del personal operativo, particularmente el nivel de escolaridad y la limitada formación técnica formal, imponen restricciones para la aplicación de metodologías avanzadas de ingeniería o esquemas complejos de control. En este contexto, la propuesta de mejora adopta un enfoque orientado a la prevención del error, priorizando soluciones simples, visuales y de fácil comprensión, que reduzcan la probabilidad de fallas operativas sin depender exclusivamente de la memoria, la interpretación individual o la supervisión constante.

5.6.1 Control simplificado en el uso de detergentes y productos químicos

Uno de los principales focos de inconsistencia identificados corresponde a la dosificación de detergentes y productos químicos utilizados en los procesos de limpieza del equipo de ordeño y del tanque de enfriamiento. Errores en la concentración de estos productos pueden derivar tanto en una limpieza deficiente como en residuos químicos indeseables, afectando la calidad de la leche y el estado del equipo.

Como medida de mejora, se propone suministrar los detergentes y desinfectantes en frascos previamente dosificados, conteniendo la cantidad exacta requerida para cada aplicación. Esta práctica elimina la necesidad de mediciones manuales durante la operación, reduciendo significativamente la probabilidad de errores asociados a la concentración y a la aplicación incorrecta de los productos.

Este enfoque permite estandarizar el uso de los materiales sin requerir conocimientos técnicos avanzados, facilitando su adopción por parte del personal operativo y asegurando una aplicación consistente en cada ciclo de limpieza.

5.6.2 Señalización visual de límites operativos del equipo

Otra fuente relevante de variabilidad corresponde al uso inadecuado de los equipos, particularmente por desconocimiento o interpretación incorrecta de los límites de operación. Variables como la temperatura del tanque de enfriamiento, la presión del sistema o los tiempos de funcionamiento del equipo requieren mantenerse dentro de rangos específicos para garantizar la calidad del producto.

Para abordar esta situación, se propone la instalación de rótulos visuales directamente sobre los equipos, indicando de forma clara y visible los límites mínimos y máximos de operación

aceptables. En el caso del tanque de enfriamiento, por ejemplo, se recomienda colocar señalización que indique explícitamente el rango de temperatura permitido, utilizando colores o símbolos que faciliten su interpretación inmediata.

Este tipo de señalización actúa como un mecanismo de control visual permanente, permitiendo al personal identificar de manera rápida cuándo una condición se encuentra fuera de los parámetros esperados y facilitando la toma de acciones correctivas oportunas.

5.6.3 Capacitación práctica y refuerzo operativo

Si bien la propuesta prioriza soluciones orientadas a la prevención del error, la capacitación del personal continúa siendo un elemento fundamental para asegurar el uso consistente de equipos y materiales. No obstante, dicha capacitación debe diseñarse con un enfoque práctico, centrado en la demostración directa de las actividades y en la comprensión de las consecuencias operativas de una ejecución incorrecta.

La capacitación propuesta se orienta a reforzar el uso adecuado del equipo de ordeño, la correcta aplicación de los productos de limpieza y la interpretación de los rótulos y señales instalados. Este proceso debe complementarse con retroalimentación periódica basada en observaciones del proceso y en los resultados obtenidos, fortaleciendo el aprendizaje a través de la experiencia.

5.6.4 Enfoque preventivo y sostenibilidad de la propuesta

El enfoque adoptado para el uso consistente de equipos y materiales se basa en la premisa de que el sistema debe diseñarse de manera que facilite la ejecución correcta del proceso y dificulte la ocurrencia de errores. Al reducir la dependencia de la memoria individual y de la supervisión directa, las medidas propuestas contribuyen a la sostenibilidad de la mejora en el tiempo.

La combinación de dosificación predefinida de insumos, señalización visual de límites operativos y capacitación práctica permite establecer un sistema de control robusto y adaptable al contexto operativo de la hacienda, alineado con los objetivos de estandarización y reducción de la variabilidad planteados en la presente investigación.

5.7 Indicadores de seguimiento y control del proceso de ordeño

La definición de Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) constituye un elemento fundamental para evaluar la efectividad de la reingeniería operativa planteada. Considerando que la Hacienda La Concepción cuenta con recursos limitados, el sistema de medición se diseña bajo criterios de recolección pasiva de datos, aprovechando información ya disponible para evitar cargas administrativas adicionales y asegurar la sostenibilidad del control.

En este contexto, el enfoque se orienta al monitoreo de resultados (output), lo cual permite evaluar el desempeño de manera objetiva y técnica sin requerir supervisión presencial constante.

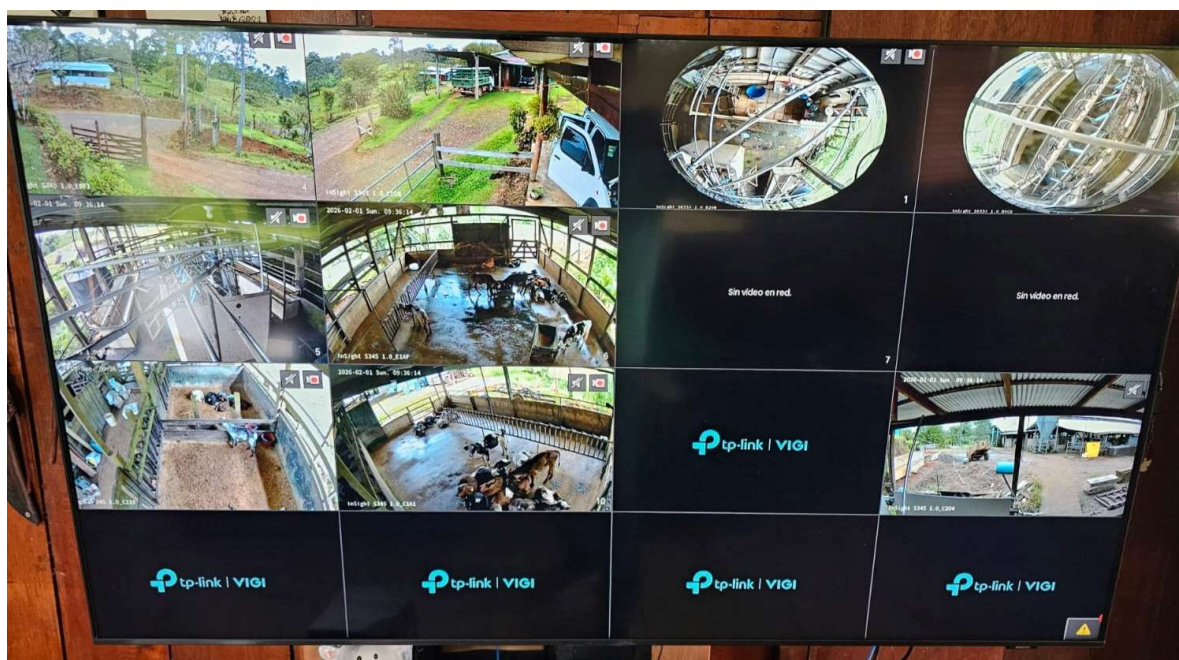
5.7.1 Seguimiento de la duración del ordeño mediante registros de video

Dada la dificultad de realizar mediciones presenciales sistemáticas, especialmente durante el primer ordeño que se desarrolla en horarios de madrugada, se propone utilizar los registros generados por las cámaras de video instaladas como principal fuente para el seguimiento de la duración del proceso de ordeño.

A partir de estas grabaciones, se plantea un registro simple que relacione dos variables clave: la cantidad de vacas ordeñadas y el tiempo total requerido para completar el ordeño. Este registro permite evaluar de manera periódica el comportamiento del proceso, identificar variaciones relevantes y comparar el desempeño entre jornadas sin necesidad de instrumentos de medición adicionales.

El uso de registros de video ya en proceso ver Figura 26 Sistema de video con grabación audio y video en proceso de implementación, como fuente de información presenta ventajas significativas, ya que permite la verificación posterior del proceso, reduce la dependencia de la supervisión en tiempo real y facilita la identificación de patrones operativos asociados a la variabilidad de los tiempos de ordeño.

Figura 26. Sistema de video con grabación audio y video en proceso de implementación



Nota. Elaboración propia (2025).

5.7.2 Evaluación de la estandarización del proceso a partir de resultados mensuales

El grado de estandarización del proceso de ordeño no se evalúa únicamente a partir del cumplimiento de procedimientos, sino principalmente a través de los resultados obtenidos. En este sentido, se propone utilizar los datos mensuales suministrados por la cooperativa Dos Pinos a través de su plataforma para asociados como fuente principal para el seguimiento del desempeño del proceso.

El análisis mensual de indicadores como el conteo de células somáticas, el conteo bacteriano y la existencia de penalizaciones o bonificaciones permite evaluar indirectamente el nivel de control y estandarización alcanzado en el proceso de ordeño. Una disminución en la variabilidad de estos resultados y una mayor frecuencia de entregas conformes constituyen evidencia objetiva de una mejora en la ejecución del proceso.

Este enfoque elimina la necesidad de implementar sistemas internos complejos de control, aprovechando información validada externamente y alineando el seguimiento del proceso con los criterios de calidad exigidos por la cooperativa.

5.7.3 Seguimiento del uso de equipos y materiales a través de resultados de laboratorio

El uso consistente de equipos y materiales se encuentra estrechamente relacionado con los resultados de laboratorio de la leche entregada. Errores en la limpieza del equipo, en la dosificación de detergentes o en la operación de los sistemas de enfriamiento se reflejan directamente en incrementos en el conteo bacteriano y en el conteo de células somáticas.

Por esta razón, se propone que el seguimiento del uso adecuado de equipos y materiales se realice principalmente a partir del análisis de los resultados de laboratorio suministrados por la cooperativa. Este enfoque permite evaluar de manera indirecta, pero efectiva, el cumplimiento de las prácticas de limpieza, operación y mantenimiento básico, sin requerir inspecciones técnicas especializadas ni registros adicionales.

La recurrencia de desviaciones en los resultados de laboratorio constituye una señal de alerta que permite focalizar acciones correctivas y refuerzos operativos sobre los puntos críticos del proceso.

5.7.4 Integración del sistema de seguimiento propuesto

El sistema de seguimiento y control propuesto se basa en la integración de tres fuentes principales de información: los registros de video del proceso de ordeño, los datos mensuales de calidad suministrados por la cooperativa y los resultados de laboratorio asociados a la entrega de leche. Esta integración permite evaluar el desempeño del proceso de manera integral, relacionando la ejecución operativa con los resultados obtenidos.

La revisión periódica de esta información, realizada por la administración de la finca con una frecuencia mensual, permite identificar tendencias, evaluar la efectividad de las acciones de mejora implementadas y tomar decisiones informadas para el ajuste del proceso. De esta forma, se establece un esquema de control sencillo, sostenible y alineado con la realidad operativa de la Hacienda La Concepción.

5.8 Análisis Económico

5.8.1 Objetivo del análisis económico

El presente capítulo desarrolla el análisis económico de la propuesta de mejora planteada para el sistema productivo de ordeño de la finca en estudio. El objetivo principal de este análisis es determinar la viabilidad económica de la mejora propuesta, considerando las condiciones productivas reales del sistema y utilizando información económica verificable.

Para la elaboración de este análisis se emplearon datos económicos reales correspondientes al periodo enero–noviembre del año 2025, suministrados por la Cooperativa Dos Pinos. Dichos datos fueron anualizados para completar un año productivo, lo cual permitió proyectar los flujos de caja y realizar una evaluación financiera consistente.

Es importante destacar que este análisis no pretende evaluar la rentabilidad total del negocio, sino que se enfoca exclusivamente en la evaluación económica de la mejora propuesta, mediante un enfoque de flujo de caja incremental, el cual permite aislar los efectos económicos atribuibles únicamente a la implementación del proyecto.

5.8.2 Valor económico de la leche entregada

El valor económico de la leche entregada constituye un elemento central para la evaluación financiera de la propuesta de mejora, ya que los ingresos del sistema productivo dependen no solo del volumen producido, sino también del precio efectivo recibido por kilogramo, el cual está influenciado por ajustes asociados a la calidad del producto.

Con el fin de comprender el comportamiento del precio de la leche y su relación con los ingresos de la finca, se analizó el valor diario por kilogramo (€/kg) en dos escalas temporales: un análisis de corto plazo y un análisis del período completo evaluado.

5.8.2.1 Valor diario de la leche – últimos 40 días analizados

Para analizar el comportamiento más reciente del valor económico de la leche, se evaluó el indicador de valor diario por kilogramo (€/kg) correspondiente a los últimos 40 días disponibles del período de estudio, comprendidos entre el 17 de abril de 2025 y el 4 de julio de 2025.

Los resultados estadísticos muestran un valor promedio de €397,39/kg, con una desviación estándar de €7,91/kg, lo que evidencia una variabilidad moderada. El valor mínimo observado fue de €381,66/kg, mientras que el valor máximo alcanzó €412,30/kg.

La Figura 27 Variabilidad del valor diario de la leche (€/kg) en los últimos 40 días (abril-julio 2025) presenta la variabilidad del valor diario de la leche durante este período, evidenciando

que, en el corto plazo, el precio se mantiene relativamente estable, sin fluctuaciones abruptas atribuibles a factores externos del mercado.

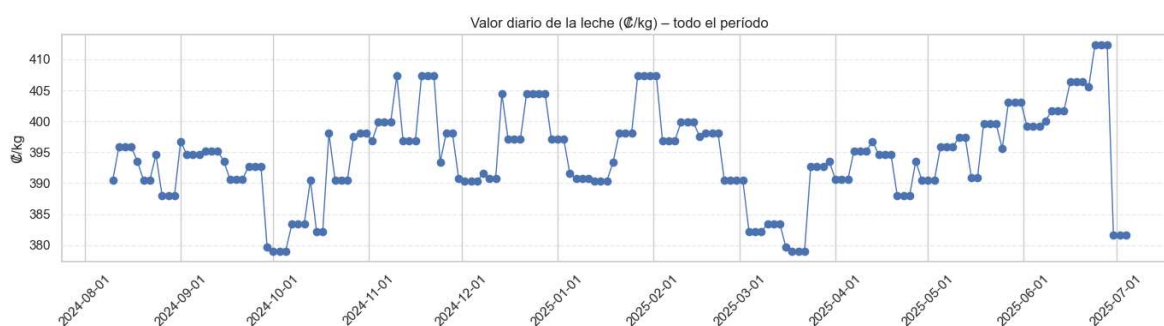
Este comportamiento sugiere que las variaciones en el ingreso diario de la finca no responden principalmente a cambios en el precio base, sino a ajustes aplicados por la cooperativa en función de la calidad del producto, tales como bonificaciones o penalizaciones sanitarias.

Figura 27. Variabilidad del valor diario de la leche (€/kg) en los últimos 40 días (abril-julio 2025)



La comparación entre el promedio histórico y el promedio de los últimos 40 días evidencia una ligera mejora en el valor reciente de la leche, lo que sugiere una tendencia positiva. Sin embargo, dicha mejora no se traduce plenamente en mayores ingresos, debido a la aplicación de penalizaciones por calidad sanitaria, las cuales limitan la captación total del valor potencial de la leche producida.

Figura 28. Comportamiento histórico del valor diario de la leche (€/kg) durante el período agosto 2024 - julio 2025.



Nota. Elaboración propia (2025)

Valor diario de la leche (€/kg) – todo el periodo.

5.8.2.3 Relación entre el valor de la leche y la propuesta de mejora

Los resultados anteriores permiten concluir que el precio base de la leche se mantiene relativamente estable a lo largo del tiempo, y que las principales variaciones en el valor económico recibido por la finca se originan en ajustes asociados a la calidad del producto.

En este contexto, la propuesta de mejora del sistema productivo de ordeño se orienta precisamente a reducir penalizaciones y mejorar la calidad sanitaria, con el fin de capturar un mayor valor por kilogramo de leche entregada. Por esta razón, el beneficio económico de la

mejora se modela en el presente estudio como un incremento en el precio efectivo recibido por litro de leche, expresado en colones por litro (¢/L).

Este incremento no se interpreta como una variación del precio de mercado, sino como una mejora incremental en el valor económico de la leche, atribuible a un mejor desempeño del sistema de ordeño. Con base en este enfoque, el análisis financiero presentado en las secciones siguientes evalúa distintos escenarios de incremento en colones por litro, mediante un análisis de sensibilidad, con el fin de determinar la viabilidad económica de la propuesta.

5.8.3 Análisis de ajustes por calidad sanitaria

El sistema de pago por calidad de la leche aplicado por la cooperativa incorpora ajustes económicos asociados a indicadores sanitarios, los cuales influyen directamente en el valor efectivo recibido por kilogramo de leche entregada. En este contexto, se analizaron los ajustes por conteo bacteriano y células somáticas, con el fin de identificar las principales fuentes de variabilidad económica del sistema productivo.

5.8.3.1 Ajuste por conteo bacteriano

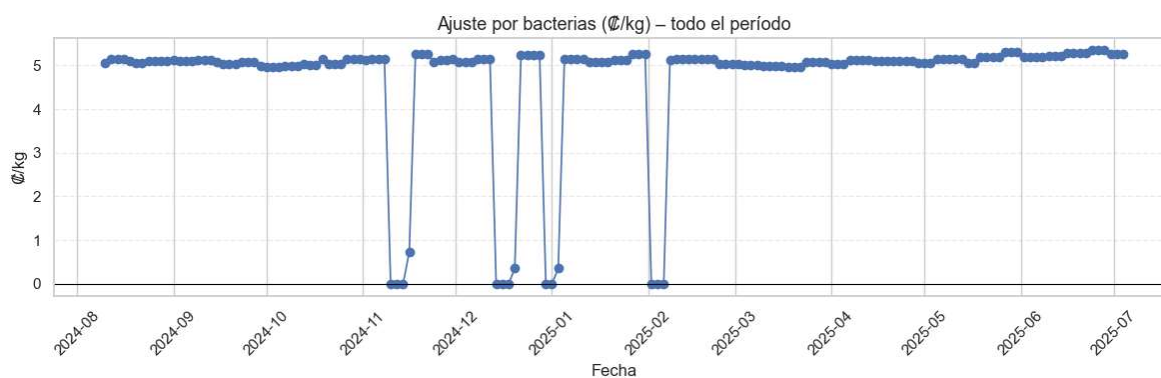
El análisis del ajuste unitario por conteo bacteriano (¢/kg) para la totalidad del período evaluado muestra un comportamiento altamente estable. El ajuste promedio registrado fue de ¢4,69/kg, con una desviación estándar de ¢1,41/kg, lo que indica una baja variabilidad en este indicador.

Asimismo, se identificó que el 93,33% de los días analizados presentaron premio, sin registrarse días con castigo por este concepto. La Figura 29 . Distribución del ajuste unitario por Conteo Bacteriano (¢/kg) durante el período analizado.

muestra la distribución del ajuste unitario por conteo bacteriano durante el período analizado, evidenciando una concentración de valores positivos y una ausencia de penalizaciones.

Este resultado indica que el proceso de ordeño y las prácticas asociadas al control bacteriano se encuentran adecuadamente controladas, demostrando que el sistema productivo es capaz de sostener estándares de calidad sanitaria cuando existen prácticas operativas estables y repetibles.

Figura 29. Distribución del ajuste unitario por Conteo Bacteriano (€/kg) durante el período analizado.



Nota. Elaboración propia (2025)

Ajuste por bacterias (€/kg) – todo el período.

5.8.3.2 Ajuste por células somáticas

En contraste con el ajuste por conteo bacteriano, el ajuste por células somáticas presenta una variabilidad significativamente mayor. El ajuste unitario promedio fue de €3,22/kg, con una desviación estándar de €2,44/kg, lo que refleja una alta dispersión de los valores diarios.

El valor máximo observado alcanzó €6,85/kg, mientras que el valor mínimo descendió hasta – €1,75/kg, evidenciando la presencia de castigos económicos. Adicionalmente, se determinó que

Sin embargo, la imposibilidad de sostener dichos valores de forma consistente a lo largo del tiempo genera una brecha económica entre el ingreso potencial y el ingreso real efectivamente percibido.

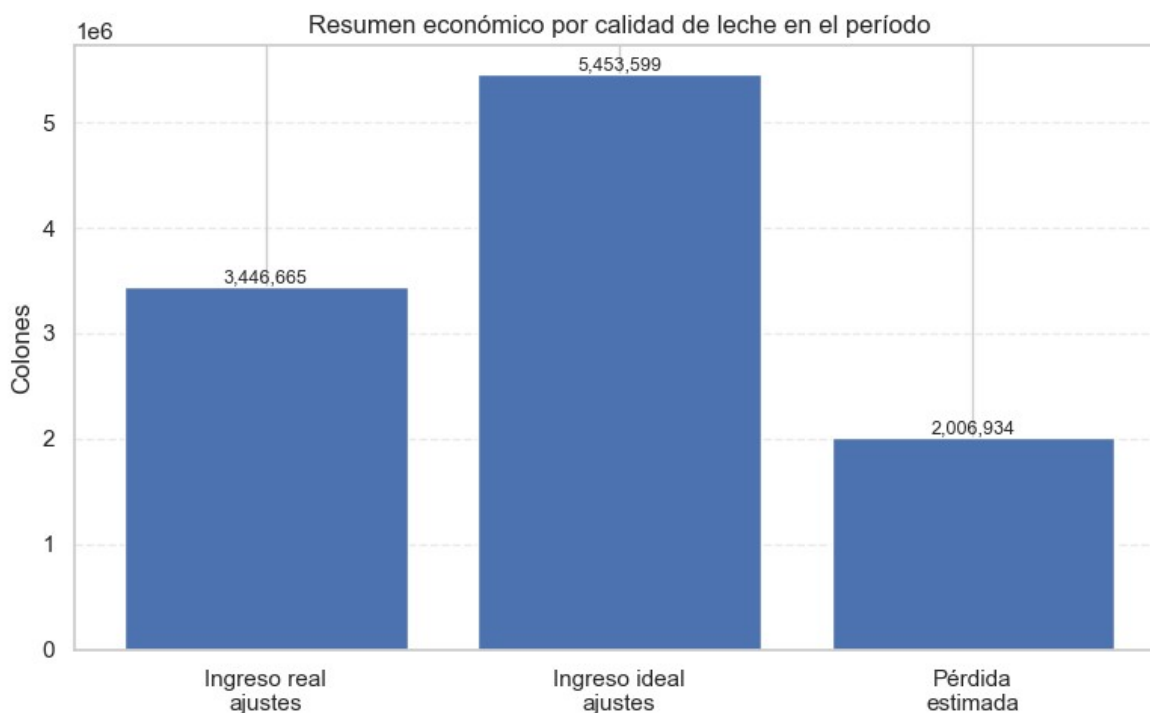
Esta brecha puede interpretarse como ingreso no capturado por calidad, el cual se origina principalmente en fallas relacionadas con:

1. La estandarización de los procedimientos de ordeño,
2. La identificación oportuna de animales bajo tratamiento médico,
3. El control operativo del proceso de ordeño y manejo de la leche.

La Figura 31 Análisis de brecha económica: Ingreso real vs. Ingreso potencial por calidad de leche, presenta el análisis de la brecha económica entre el ingreso real y el ingreso potencial asociado a la calidad de la leche, evidenciando el impacto económico de la variabilidad del ajuste por células somáticas.

En este contexto, la propuesta de mejora planteada en el presente estudio se orienta a reducir dicha brecha económica, mediante la implementación de acciones operativas de bajo costo que permitan estabilizar el proceso y capturar de forma sostenida un mayor valor por kilogramo de leche entregada.

Figura 31. Análisis de brecha económica: Ingreso real vs. Ingreso potencial por calidad de leche.



Nota. Elaboración propia (2025).

5.8.5 Evaluación económica de la propuesta de mejora

La propuesta de mejora desarrollada en la presente investigación se fundamenta en la implementación de acciones de bajo costo, diseñadas para adaptarse a las condiciones operativas, financieras y humanas de la Hacienda La Concepción. El enfoque prioriza la reducción de la variabilidad del proceso de ordeño y la mejora progresiva de los indicadores de calidad de la leche, particularmente el ajuste por células somáticas, identificado como la principal fuente de pérdida económica.

Desde el punto de vista económico, el beneficio de la propuesta se expresa como un incremento incremental en el valor recibido por kilogramo de leche, derivado de la reducción de

penalizaciones y el aumento en la frecuencia de premios por calidad. Este incremento es el que posteriormente se evalúa mediante el análisis financiero y de sensibilidad.

5.8.5.1 Costos de implementación de la propuesta

Los costos asociados a la implementación de la propuesta se clasifican en costos de inversión inicial y costos anuales de operación, los cuales se detallan a continuación:

Costos de inversión inicial

- Materiales para control visual y señalización: ¢100.000 (una única vez)
Incluye rótulos con límites operativos (por ejemplo, temperatura del tanque de enfriamiento), pizarras informativas y material gráfico de apoyo para reforzar la correcta ejecución de los procesos.
- Dosificación predefinida de insumos: ¢50.000 (una única vez)
Corresponde a la adquisición de recipientes y frascos para suministrar detergentes y desinfectantes en cantidades previamente medidas, reduciendo errores de concentración y aplicación.
- Capacitación práctica del personal: ¢200.000 (una única vez) Considera el tiempo destinado a la explicación y demostración de las nuevas prácticas operativas, principalmente mediante horas extra, sin requerir capacitaciones externas ni contratación de personal especializado.

El costo total de inversión inicial estimado para la implementación de la propuesta asciende a ¢600.000.

Costos anuales de operación

Materiales para identificación de vacas: ¢200.000 por año. Incluye la adquisición de pintura no tóxica y materiales asociados para el marcado diario de vacas bajo tratamiento médico o con altos niveles de células somáticas, con el fin de evitar el envío de leche no conforme al tanque de almacenamiento.

Este costo anual se mantiene durante el horizonte de evaluación del proyecto y se incorpora dentro del análisis de flujo de caja incremental.

5.8.5.2 Escenarios de recuperación económica por mejora en el ajuste por células somáticas

Con base en los datos reales de producción del período analizado, que totalizan 504.772 litros de leche anualizados, y considerando el comportamiento histórico del ajuste por células somáticas, se evaluaron distintos escenarios de recuperación económica asociados a una mejora incremental en dicho indicador.

El análisis estadístico presentado en las secciones anteriores evidenció un ajuste promedio por células somáticas de ¢3,22/kg, así como un máximo observado de ¢6,85/kg, lo que confirma la existencia de un margen real de mejora económica asociado a la reducción de la variabilidad del proceso de ordeño.

En este contexto, se seleccionó un valor de ¢3 por kilogramo de leche como escenario base para la evaluación económica, al representar una mejora técnicamente alcanzable y conservadora, coherente con los valores históricamente observados y con la capacidad operativa real de la hacienda. Este valor no corresponde al máximo posible, sino a un objetivo intermedio orientado a capturar parte del ingreso no percibido por efectos de calidad.

A partir de este supuesto, se definieron los siguientes escenarios de recuperación económica:

Escenario A: Mejora global aplicada a todo el volumen producido

Este escenario supone una mejora uniforme de ¢3/kg aplicada a la totalidad del volumen de leche entregado durante el período evaluado, sin considerar la variabilidad diaria del ajuste por células somáticas.

Bajo este supuesto, se obtuvo:

Ingreso adicional estimado: ¢1.514.316

Costo anual de implementación: ¢250.000

Beneficio neto anual: ¢1.264.316

Si bien este escenario evidencia una alta rentabilidad económica, representa un supuesto optimista, ya que asume una mejora homogénea en todos los días del período, lo cual no refleja plenamente el comportamiento histórico del proceso productivo.

Escenario B: Mejora focalizada por reducción de brecha (escenario recomendado)

Este escenario limita la mejora económica a aquellos días en los que el ajuste por células somáticas se encuentra por debajo del valor históricamente alcanzado, concentrando la recuperación únicamente en los espacios donde existe potencial real de mejora, sin sobrepasar los valores observados en la práctica.

Este enfoque se fundamenta en la reducción de la variabilidad operativa del proceso de ordeño, más que en la eliminación aislada de eventos negativos.

Bajo este escenario, se obtuvo:

Ingreso adicional estimado: ¢994.750

Costo anual de implementación: ¢250.000

Beneficio neto anual: ¢394.750

Este escenario representa el caso más realista y técnicamente defendible, al no asumir mejoras fuera del rango históricamente observado. Los resultados demuestran que, aun bajo supuestos conservadores, la propuesta permite recuperar los costos de implementación y generar beneficios económicos positivos, validando su viabilidad económica.

Escenario C: Mejora limitada a la eliminación de castigos

En este escenario, la mejora de ¢3/kg se aplica únicamente a los días en los que se registran castigos por células somáticas, con un límite máximo de ajuste igual a cero, sin considerar mejoras adicionales en los días con premio.

Los resultados obtenidos fueron:

Ingreso adicional estimado: ¢55.285

Costo anual de implementación: ¢250.000

Beneficio neto anual: -¢194.715

Este resultado confirma que una intervención centrada exclusivamente en la eliminación de castigos aislados resulta económicamente insuficiente para justificar la inversión propuesta, evidenciando que la rentabilidad del proyecto depende de una mejora sostenida y estructural del proceso, y no de correcciones puntuales.

5.8.5.3 Análisis comparativo y viabilidad económica de la propuesta

El análisis comparativo de los escenarios evaluados permite concluir que la viabilidad económica de la propuesta depende principalmente de su capacidad para reducir la variabilidad del proceso de ordeño y elevar de forma sostenida los indicadores de calidad de la leche, particularmente el ajuste por células somáticas.

El Escenario B demuestra que una mejora moderada, técnicamente alcanzable y alineada con el comportamiento histórico del sistema es suficiente para recuperar los costos de implementación y generar beneficios económicos positivos, sin requerir inversiones elevadas ni cambios estructurales complejos. Este resultado respalda la propuesta como una alternativa económicamente viable, sostenible y coherente con la capacidad operativa real de la hacienda.

5.8.5 Vinculación con la evaluación financiera del proyecto

El escenario base de ¢3 por kilogramo fue incorporado en la evaluación financiera del proyecto mediante un análisis de flujo de caja incremental a cinco años, utilizando una tasa mínima aceptable de rendimiento del 10%. Bajo este supuesto, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) positivo de ¢4.192.754 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) aproximada del 210%, lo que confirma la viabilidad económica de la propuesta bajo condiciones realistas y conservadoras.

En la tabla 9 Flujo Incremental de proyecto, se muestra el flujo incremental del proyecto

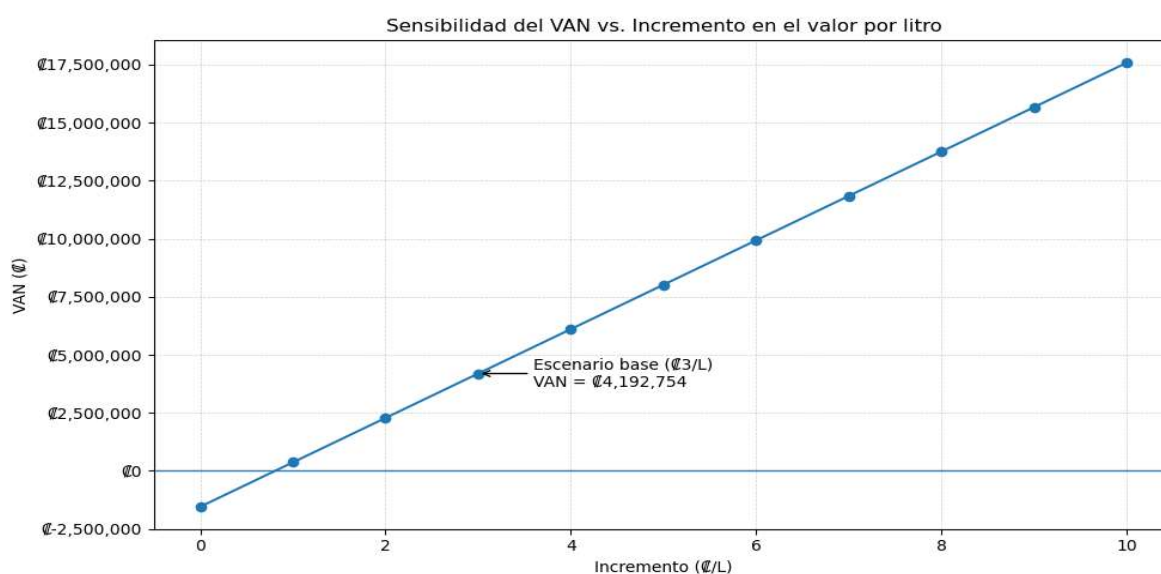
Tabla 9. Flujo Incremental de proyecto

| Año | Ingreso extra (₡) | Costo anual (₡) | Flujo neto (₡) | Flujo acumulado (₡) |
|-----|-------------------|-----------------|----------------|---------------------|
| 0 | ₡0,00 | ₡0,00 | -₡600 000,00 | -₡600 000,00 |
| 1 | ₡1 529 459,65 | ₡250 000,00 | ₡1 279 459,65 | ₡679 459,65 |
| 2 | ₡1 544 602,81 | ₡250 000,00 | ₡1 294 602,81 | ₡1 974 062,46 |
| 3 | ₡1 559 745,97 | ₡250 000,00 | ₡1 309 745,97 | ₡3 283 808,43 |
| 4 | ₡1 574 889,14 | ₡250 000,00 | ₡1 324 889,14 | ₡4 608 697,57 |
| 5 | ₡1 590 032,30 | ₡250 000,00 | ₡1 340 032,30 | ₡5 948 729,87 |

Nota. Elaboración propia (2025).

En la Figura 32 Evolución del VAN en diferentes escenarios se muestra la evolución de la evaluación financiera

Figura 32. Evolución del VAN en diferentes escenarios.



Nota. Elaboración propia (2025).

5.9 Síntesis de la propuesta de mejora

La propuesta de mejora desarrollada en el presente capítulo se fundamenta en el diagnóstico realizado en el Capítulo IV, donde se identificaron y priorizaron las principales causas que inciden en la variabilidad del proceso de ordeño y en la calidad de la leche producida en la Hacienda La Concepción. A partir de este análisis, se definió un conjunto de acciones orientadas a intervenir las causas críticas identificadas, considerando en todo momento las limitaciones reales de recursos, personal y contexto operativo de la empresa.

El enfoque adoptado privilegia la estandarización progresiva del proceso, iniciando por el control de macro-actividades críticas antes de avanzar hacia niveles más detallados de

estandarización. Esta estrategia reconoce las características del personal operativo y busca asegurar primero la estabilidad del proceso, condición necesaria para la sostenibilidad de cualquier mejora posterior.

De forma complementaria, se plantearon acciones específicas para la reducción de la variabilidad de los tiempos de ordeño intragrupo, evidenciada como una de las principales fuentes de inestabilidad operativa. El ordenamiento funcional de las vacas, la comunicación de resultados al personal y el uso de información objetiva derivada de las pesas de leche permiten disminuir la presión operativa y reducir prácticas que afectan negativamente la calidad del ordeño, como el subordeño.

Asimismo, se abordó el uso inconsistente de equipos y materiales mediante un enfoque preventivo orientado a la reducción del error, priorizando soluciones simples, visuales y de fácil aplicación. La dosificación predefinida de insumos, la señalización de límites operativos y la capacitación práctica constituyen mecanismos efectivos para mejorar el uso de los recursos disponibles sin requerir metodologías avanzadas de ingeniería ni supervisión permanente.

Se definió un sistema de seguimiento y control basado en información ya disponible para la empresa, tales como los registros de video del proceso de ordeño y los resultados de calidad y laboratorio suministrados por la cooperativa. Este enfoque permite evaluar la efectividad de las acciones implementadas a partir de los resultados obtenidos, asegurando un control sostenible y alineado con la capacidad real de gestión de la hacienda.

Finalmente, desde la perspectiva económica, el análisis desarrollado en la sección anterior confirma que la propuesta no solo es técnicamente viable, sino financieramente justificable bajo escenarios conservadores. La recuperación parcial del ingreso asociado a la mejora en los

indicadores de calidad sanitaria respalda la conveniencia de implementar las acciones planteadas, demostrando que mejoras operativas progresivas pueden traducirse en beneficios económicos sostenibles sin requerir inversiones estructurales significativas.

En conjunto, la propuesta de mejora presentada constituye una solución integral, realista y aplicable, orientada a reducir la variabilidad del proceso de ordeño, mejorar la calidad de la leche entregada y fortalecer el control operativo de la empresa. Los elementos desarrollados en este capítulo sirven como base para la evaluación de los resultados esperados y las conclusiones que se presentan en los capítulos siguientes.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones generales

1. Se analizó integralmente el proceso de ordeño de la Hacienda La Concepción, lo que permitió identificar y cuantificar las principales fuentes de variabilidad operativa que afectan la calidad sanitaria de la leche entregada a la Cooperativa Dos Pinos.
2. Se evidenció que la problemática observada no se origina en factores externos de mercado, sino en deficiencias internas relacionadas con el control y la estandarización del proceso productivo.
3. Se determinó que la mayor parte de la variabilidad del proceso se concentra en un conjunto reducido de causas estructurales, principalmente la falta de estandarización del proceso de ordeño, la variabilidad en los tiempos de ordeño entre grupos de vacas y el uso inconsistente de equipos y materiales.
4. Se comprobó que estas causas inciden simultáneamente en las ineficiencias operativas del proceso y en las fluctuaciones observadas en los indicadores de calidad sanitaria de la leche.
5. Se confirmó mediante análisis estadístico que el ajuste económico asociado al indicador de células somáticas constituye la principal fuente de variabilidad en los ingresos del sistema productivo.
6. Se identificó que la dispersión del ajuste por calidad sanitaria evidencia la existencia de una brecha económica asociada a la variabilidad operativa, representando ingresos potenciales no capturados por la empresa.
7. Se planteó una propuesta de mejora basada en la estandarización progresiva y el control de macro-actividades críticas, orientada a intervenir directamente las causas identificadas mediante acciones operativas de bajo costo y alta aplicabilidad.

8. Se estimó que una mejora moderada y técnicamente alcanzable en el indicador de células somáticas permitiría recuperar los costos de implementación y generar beneficios económicos adicionales para el sistema productivo.
9. Se demostró que el escenario de reducción focalizada de brecha presenta una relación beneficio/costo favorable, respaldada por un Valor Actual Neto positivo y una Tasa Interna de Retorno elevada.
10. Se concluye que la mejora de la calidad de la leche en la Hacienda La Concepción depende principalmente de la reducción de la variabilidad operativa mediante la estandarización y el control del proceso, evidenciando que la aplicación disciplinada de principios de ingeniería industrial permite generar mejoras sostenibles y económicamente justificadas en sistemas agroproductivos.

7.2 Recomendaciones

Con base en los resultados y conclusiones obtenidas, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Implementar de manera gradual la propuesta de estandarización, priorizando inicialmente las macro-actividades críticas del proceso de ordeño, con el fin de lograr estabilidad operativa antes de introducir controles más detallados.
2. Fortalecer el control del proceso mediante el uso de herramientas visuales simples, listas de verificación y registros operativos básicos que faciliten la correcta ejecución de las actividades aun en condiciones de supervisión limitada.
3. Utilizar de forma sistemática la información suministrada por la Cooperativa Dos Pinos, particularmente los resultados de laboratorio y los ajustes por calidad, como indicadores clave para el seguimiento mensual del desempeño del proceso.
4. Promover procesos de capacitación práctica y continua del personal, orientados a reforzar la comprensión del impacto que las actividades operativas tienen sobre la calidad de la leche y los resultados económicos de la hacienda.
5. Evaluar periódicamente la efectividad de las acciones implementadas mediante el análisis de tendencias en los indicadores de calidad, ajustando la estrategia de mejora conforme se alcancen mayores niveles de control y madurez del proceso.
6. Dado el tiempo del proyecto se recomiendan mejoras en las causas B y C del análisis

7.3 Recomendaciones para investigaciones futuras

1. Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en el análisis de micro-actividades del proceso de ordeño una vez alcanzado un nivel básico de estandarización, así como en la evaluación del impacto de tecnologías emergentes de automatización y monitoreo sobre la calidad de la leche.
2. Es pertinente analizar la replicabilidad del enfoque propuesto en otras explotaciones lecheras con características similares, con el fin de validar su aplicabilidad a mayor escala y fortalecer la evidencia empírica sobre la contribución de la ingeniería industrial en sistemas agroproductivos.

BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía Municipal de Palmira. (2023). *Informe de gestión y balance de resultados “Palmira Pa’lante 2020-2023”*. Despacho del Alcalde, República de Colombia, Departamento del Valle del Cauca. https://palmira.gov.co/wp-content/uploads/2023/12/2020-2023_Informe-de-gestion-y-balance-de-resultados-palmira-pa-lante-2020-2023.pdf
- Álvarez, J., y Ríos, L. (2021). *Análisis de factibilidad técnica y económica para un proyecto de lechería especializada en el Norte Antioqueño, Colombia* [Proyecto especial de graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Repositorio Institucional Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a08a893a-191d-421e-999d-8cf3a41cac84/content>
- Araweb (2024). *Sistemas de Ordeño, Todo lo que Necesitas Saber para Mejorar la Producción Lechera*. <https://solucionespecuariascr.com/sistemas-de-ordeno-todo-lo-que-necesitas-saber-para-mejorar-la-produccion-lechera/>
- Becerra, J. (2021). *Gestión de la perforación diamantina a través de metodologías ágiles (Scrum – Kanban)* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/bitstreams/d001681f-151f-4f4b-9ee2-e364c4967723/download>
- Blanco, J., y Quirós, C. (2024). *Diseño de un modelo de gestión de mejora continua para la optimización de la producción de leche bajo condiciones de estrés calórico, mediante el análisis y monitoreo de variables ambientales en Ganadera Norflo S.A.* https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/15715/TF%209938_BIB313843_Joaquin_Blanco_y_Carlos_Quiros.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Cadenas, C., Baquero, G., y Zamudio, A. (2021). Gestión en la Cadena de Suministro: un enfoque desde la Perspectiva de la Calidad. https://www.researchgate.net/publication/354322286_Gestion_en_la_Cadena_de_Suministro_un_enfoque_desde_la_Perspectiva_de_la_Calidad
- Calvo, O. (2021). *Estimación del costo de producción de un kilogramo de leche y sus variables más influyentes*. Revista e-Agronegocios, 7(2), 44–62. <https://doi.org/10.18845/ea.v7i2.5682>
- Cruz, Y., Valdés, M., y Cárdenas, M. (2023). *Gestión de la tecnología y la innovación en la relación ciencia-producción en empresas agropecuarias: Estudio de caso lechería San Vicente*. Revista Caribeña de Ciencias Sociales, 2023(1). <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869395005/html/>
- Escuela de Ingeniería Industrial. (2024). *Guía 02: Presentación de proyectos de graduación. Versión 04*. Universidad Hispanoamericana.
- Establecimiento Público Ambiental de Cartagena. (2023). *Manual de procedimientos EPA Cartagena 2023*. <https://epacartagena.gov.co/web/wp-content/uploads/2024/02/MANUAL-DE-PROCEDIMIENTOS-EPA-CARTAGENA-2023.pdf>
- Fajardo, M. (2025). *Reingeniería de procesos en una planta elaboradora de arroz envejecido* [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29764/1/UPS-GT006038.pdf>

- Faya, J. (2020). *Propuesta de mejora del proceso productivo de leche de una empresa ganadera de la ciudad de Motupe para el incremento de la producción* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2621?locale=es>
- Flores, M., Fuentes, L., López, A., Tobón, L., y Vázquez, L. (2020). *Aplicación de técnicas para el incremento de la productividad y mejora continua en las organizaciones* (1.^a ed.). Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C. <https://redibai-myd.org/portal/wp-content/uploads/2021/03/8617-82-1.pdf>
- González, L., y Armas, A. (2022). *La economía circular como opción de desarrollo social y agroindustrial alternativo para el Ecuador*. *Revista Científica*, 7(Especial), 248–266. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9290655.pdf>
- Guzmán, M. (2024). *Control estadístico de procesos*. Corporación Universitaria de Asturias. https://www.centro-virtual.com/recursos/biblioteca/pdf/administracion_procesos_i/unidad2_pdf2.pdf
- Hernández, M. (2020). *Sistemas de ordeño en rumiantes*. *Veterinaria Digital*. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/sistemas-de-ordeno-en-rumiantes/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 9004:2018 Quality management — Quality of an organization and sustained success*. ISO.
- Juran, J. M., y Godfrey, A. B. (1999). *Juran's Quality Handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.

- Kaizen Institute. (2022). *Comprender el Diagrama de Ishikawa: una herramienta clave para el análisis de la causa raíz*. <https://kaizen.com/es/insights-es/diagrama-ishikawa-analisis-causa-raiz/>
- León, A. (2020). *Lean Six Sigma aplicado en Logística y su impacto en el P&L: la experiencia argentina* (Trabajo final de maestría). Universidad Católica Argentina. https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/11947/1/Le%C3%B3n%20Alejandro%20Javier_Tesis%20final%20MBA.pdf
- Melo, J. (2024). *Ergonomía, métodos y tiempos*. SEMAC. https://www.semac.org.mx/_src/pdf/biblioteca/28_Ergonomia_Metodos_y_tiempos.pdf
- Monge, C., Umaña, M., y Marín, K. (2023). La industria láctea costarricense: Situación actual, retos y oportunidades. *Perspectivas Rurales*, 22(45). <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales/article/view/19802>
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control* (8th ed.). Wiley.
- Murga, N., Rituay, P., Campos, J., Meleán, R y Montes de Oca, Y. (Coords.), (2020). *Agronegocios y ganadería sostenible*. Venezuela; Perú. Universidad del Zulia; Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. <http://doi.org/10.38202/agronegocios>

- Noboa, S. (2021). *Propuesta de adaptación al Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001:2015 en Zurita & Zurita Laboratorios* [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador]. Repositorio UASB.
- Ortega, O., Vargas, A., y Martínez, A. (2024). *Aplicación del análisis del modo y efecto de falla para la disposición adecuada del manejo de químicos y condiciones de seguridad industrial. Innovación y Desarrollo Tecnológico. Revista Digital*, 16(3), 1044–1059.
https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2024/06/3_15_aplicacion-del-analisis-del-modo-y-efecto-de-falla-para-la-disposicion-adecuada-del-manejo-de-quimicos-y-condiciones-de-seguridad-industrial.pdf
- Otero, Y., Arada, J., Díaz, J., y Pérez, J. (2024). *Análisis de la carga postural en el proceso de ordeño manual de vacas lactantes mediante el método OWAS y su incidencia en la transferencia de tecnología pecuaria. Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 58(1).
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9548802.pdf>
- Pérez, M., y Vega, L. (2021). Gestión de riesgos en encadenamientos productivos sostenibles. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(88), 1136-1146.
https://www.researchgate.net/publication/355459188_Gestion_de_riesgos_en_encadenamientos_productivos_sostenibles
- Pinzón, C. (2024). Estrategias para optimizar su sala de ordeño.
<https://dairy.extension.wisc.edu/articles/estrategias-para-optimizar-su-sala-de-ordeno/>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.

ANEXOS

ANEXO 1. Guía de Validación por Juicio de Expertos

Estimado/a colaborador/a: Esta herramienta de validación técnica forma parte del proyecto de investigación: *“Optimización de la productividad en el proceso de ordeño mediante la reingeniería operativa en Hacienda La Concepción, Sarapiquí, Costa Rica, durante el primer trimestre del año 2025”*.

El objetivo es calificar el impacto de las causas raíz identificadas en el diagnóstico mediante su experiencia profesional y técnica. Sus respuestas permitirán priorizar las acciones de mejora mediante un Análisis de Pareto.

I. Datos del Experto

- **Nombre:** _____
- **Cargo / Relación con el proceso:** _____
- **Años de experiencia:** _____

II. Escala de Calificación Asigne un puntaje del **1 al 5** según el nivel de impacto que usted considera que tiene cada causa sobre la variabilidad del proceso y la calidad de la leche:

- **1:** Impacto Nulo
- **2:** Impacto Bajo
- **3:** Impacto Moderado
- **4:** Impacto Alto
- **5:** Impacto Crítico

III. Matriz de Evaluación

| Categoría Ishikawa | Causa Raíz Identificada | Puntaje (1-5) |
|---------------------------|--|----------------------|
| Método | Falta de estandarización en el ordeño | |
| Método | Tiempos de ordeño variables intragrupo | |
| Mano de Obra | Uso inconsistente de equipos y materiales | |
| Mano de Obra | Variación en la técnica de ordeño | |
| Mano de Obra | Falta de capacitación en control de calidad | |
| Método | Inadecuado proceso de lavado | |
| Materiales | Concentración inadecuada de químicos de limpieza | |
| Maquinaria | Líneas de leche deterioradas | |
| Mano de Obra | Desconocimiento de higiene y penalizaciones | |

ANEXO 2. Formato de Recolección de Tiempos de Ordeño

Objetivo: Registrar los tiempos de ejecución del proceso para identificar la variabilidad operativa entre los diferentes grupos de ordeño en la sala tipo doble ocho.

| Fecha | Sesión (AM/PM) | Grupo # | Hora Inicio | Hora Fin | Duración (min) | Observaciones |
|--------------|---------------------------|--------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|
|--------------|---------------------------|--------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|

ANEXO 3. Tabla Multivoto de causas raíz de Reducción del pago por calidad de Leche

Descripción: Consolidado de las evaluaciones realizadas por los cinco expertos consultados (Administración de la finca e Ingenieros de la Cooperativa Dos Pinos). Los valores representan la fuente primaria para la clasificación de causas tipo A, B y C.

| Categoría Ishikawa | Causa raíz | Pregunta de validación | Dueño de la finca | Mandador | Segunda administrador | Ingeniero Dos Pinos 1 | Ingeniero Dos Pinos 2 | Suma total | % Participación | % acumulado |
|---------------------------------------|---|---|-------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|-----------------|-------------|
| Metodo (Proceso de Ordeño) | Falta de estandarización en el ordeño | ¿En qué medida la ausencia, incumplimiento o variabilidad en este procedimiento genera diferencias en la secuencia de actividades o en los tiempos de ordeño, afectando la estandarización del proceso: Falta de estandarización en el ordeño? | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 25 | 5,69% | 5,69% |
| Metodo (Proceso de Ordeño) | Tiempos de ordeño variables intragrupo | ¿En qué medida la ausencia, incumplimiento o variabilidad en este procedimiento genera diferencias en la secuencia de actividades o en los tiempos de ordeño, afectando la estandarización del proceso: Tiempos de ordeño variables intragrupo? | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 24 | 5,47% | 11,16% |
| Mano de Obra (ordeñadores) | Uso inconsistente de equipos y materiales | ¿En qué medida esta práctica del personal se presenta de forma recurrente y provoca variaciones en la ejecución del ordeño, afectando la productividad o la calidad del producto, considerando la siguiente situación: Uso inconsistente de equipos y materiales? | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 24 | 5,47% | 16,63% |
| Mano de Obra (ordeñadores) | Variación en la técnica de ordeño | ¿En qué medida esta práctica del personal se presenta de forma recurrente y provoca variaciones en la ejecución del ordeño, afectando la productividad o la calidad del producto, considerando la siguiente situación: Variación en la técnica de ordeño? | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 | 21 | 4,78% | 21,41% |
| Mano de Obra (ordeñadores) | Falta de capacitación en control de calidad | ¿En qué medida esta práctica del personal se presenta de forma recurrente y provoca variaciones en la ejecución del ordeño, afectando la productividad o la calidad del producto, considerando la siguiente situación: Falta de capacitación en control de calidad? | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 19 | 4,33% | 25,74% |
| Metodo (Proceso de Ordeño) | Inadecuado proceso de lavado | ¿En qué medida la ausencia, incumplimiento o variabilidad en este procedimiento genera diferencias en la secuencia de actividades o en los tiempos de ordeño, afectando la estandarización del proceso: Inadecuado proceso de lavado? | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 17 | 3,87% | 29,61% |
| Materiales | Concentración inadecuada de químicos de limpieza | ¿En qué medida el uso, manejo o disponibilidad de este insumo influye en la consistencia del proceso y en el cumplimiento de los requisitos de calidad del ordeño, considerando: Concentración inadecuada de químicos de limpieza? | 5 | 2 | 3 | 4 | 3 | 17 | 3,87% | 33,49% |
| Maquina (equipos e infraestructura) | Líneas de leche deterioradas | ¿En qué medida el estado, funcionamiento o condición de este equipo afecta la continuidad del proceso, los tiempos operativos o la calidad de la leche producida, considerando: Líneas de leche deterioradas? | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 17 | 3,87% | 37,36% |
| Mano de Obra (ordeñadores) | Desconocimiento de higiene y penalizaciones | ¿En qué medida esta práctica del personal se presenta de forma recurrente y provoca variaciones en la ejecución del ordeño, afectando la productividad o la calidad del producto, considerando la siguiente situación: Desconocimiento de higiene y penalizaciones? | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 17 | 3,87% | 41,23% |
| Medio Ambiente (condiciones externas) | Temperaturas ambientales elevadas | ¿En qué medida estas condiciones del entorno influyen en la limpieza, el confort animal, la ejecución del ordeño o la calidad del producto final, considerando: Temperaturas ambientales elevadas? | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 17 | 3,87% | 45,10% |
| Metodo (Proceso de Ordeño) | Manejo inadecuado del despunte | ¿En qué medida la ausencia, incumplimiento o variabilidad en este procedimiento genera diferencias en la secuencia de actividades o en los tiempos de ordeño, afectando la estandarización del proceso: Manejo inadecuado del despunte? | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 16 | 3,64% | 48,75% |
| Metodo (Proceso de Ordeño) | Falta de control de insumos de limpieza (agua y Químicos) | ¿En qué medida la ausencia, incumplimiento o variabilidad en este procedimiento genera diferencias en la secuencia de actividades o en los tiempos de ordeño, afectando la estandarización del proceso: Falta de control de insumos de limpieza (agua y Químicos)? | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 16 | 3,64% | 52,39% |
| Materiales | Agua con alta carga bacteriana o dureza excesiva | ¿En qué medida el uso, manejo o disponibilidad de este insumo influye en la consistencia del proceso y en el cumplimiento de los requisitos de calidad del ordeño, considerando: Agua con alta carga bacteriana o dureza excesiva? | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 16 | 3,64% | 56,04% |

| Categoría Ishikawa | Causa raíz | Pregunta de validación | Dueño de la finca | Mandador | Segunda administrador | Ingeniero Dos Pinos 1 | Ingeniero Dos Pinos 2 | Suma total | % Participación | % acumulado |
|---------------------------------------|---|--|-------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|-----------------|-------------|
| Materiales | Falta de papel desechable | ¿En qué medida el uso, manejo o disponibilidad de este insumo influye en la consistencia del proceso y en el cumplimiento de los requisitos de calidad del ordeño, considerando: Falta de papel desechable? | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 16 | 3,64% | 59,68% |
| Maquina (equipos e infraestructura) | Bombas de vacío o pulsadores dañados | ¿En qué medida el estado, funcionamiento o condición de este equipo afecta la continuidad del proceso, los tiempos operativos o la calidad de la leche producida, considerando: Bombas de vacío o pulsadores dañados? | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 16 | 3,64% | 63,33% |
| Medio Ambiente (condiciones externas) | Estacionalidad | ¿En qué medida estas condiciones del entorno influyen en la limpieza, el confort animal, la ejecución del ordeño o la calidad del producto final, considerando: Estacionalidad? | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 16 | 3,64% | 66,97% |
| Metodo (Proceso de Ordeño) | Rutinas no documentadas o cumplidas | ¿En qué medida la ausencia, incumplimiento o variabilidad en este procedimiento genera diferencias en la secuencia de actividades o en los tiempos de ordeño, afectando la estandarización del proceso: Rutinas no documentadas o cumplidas? | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 15 | 3,42% | 70,39% |
| Medición (control y seguimiento) | Ausencia de registros sistematicos de temperatura y tiempos de ordeño | ¿En qué medida la ausencia, deficiencia o retraso en este control limita la detección oportuna de desviaciones en el proceso de ordeño y la toma de decisiones correctivas, considerando: Ausencia de registros sistematicos de temperatura y tiempos de ordeño? | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 15 | 3,42% | 73,80% |
| Medición (control y seguimiento) | Errores en la interpretación de informes | ¿En qué medida la ausencia, deficiencia o retraso en este control limita la detección oportuna de desviaciones en el proceso de ordeño y la toma de decisiones correctivas, considerando: Errores en la interpretación de informes? | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 15 | 3,42% | 77,22% |
| Materiales | Uso de trapos o papel sin desinfección adecuada | ¿En qué medida el uso, manejo o disponibilidad de este insumo influye en la consistencia del proceso y en el cumplimiento de los requisitos de calidad del ordeño, considerando: Uso de trapos o papel sin desinfección adecuada? | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 14 | 3,19% | 80,41% |
| Medición (control y seguimiento) | Falta de indicadores visuales | ¿En qué medida la ausencia, deficiencia o retraso en este control limita la detección oportuna de desviaciones en el proceso de ordeño y la toma de decisiones correctivas, considerando: Falta de indicadores visuales? | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 14 | 3,19% | 83,60% |
| Medio Ambiente (condiciones externas) | Condiciones de humedad que afectan la limpieza | ¿En qué medida estas condiciones del entorno influyen en la limpieza, el confort animal, la ejecución del ordeño o la calidad del producto final, considerando: Condiciones de humedad que afectan la limpieza? | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 14 | 3,19% | 86,79% |
| Medición (control y seguimiento) | No control y monitoreo de productos CIP | ¿En qué medida la ausencia, deficiencia o retraso en este control limita la detección oportuna de desviaciones en el proceso de ordeño y la toma de decisiones correctivas, considerando: No control y monitoreo de productos CIP? | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 13 | 2,96% | 89,75% |
| Maquina (equipos e infraestructura) | Deficiencias en los tanques de enfriamiento | ¿En qué medida el estado, funcionamiento o condición de este equipo afecta la continuidad del proceso, los tiempos operativos o la calidad de la leche producida, considerando: Deficiencias en los tanques de enfriamiento? | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 13 | 2,96% | 92,71% |
| Medición (control y seguimiento) | demora en reporte de resultados de laboratorio | ¿En qué medida la ausencia, deficiencia o retraso en este control limita la detección oportuna de desviaciones en el proceso de ordeño y la toma de decisiones correctivas, considerando: demora en reporte de resultados de laboratorio? | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 11 | 2,51% | 95,22% |
| Medio Ambiente (condiciones externas) | Presencia de polvo moho e insectos en el área de ordeño | ¿En qué medida estas condiciones del entorno influyen en la limpieza, el confort animal, la ejecución del ordeño o la calidad del producto final, considerando: Presencia de polvo moho e insectos en el área de ordeño? | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 11 | 2,51% | 97,72% |
| Materiales | Mala conservación de detergentes | ¿En qué medida el uso, manejo o disponibilidad de este insumo influye en la consistencia del proceso y en el cumplimiento de los requisitos de calidad del ordeño, considerando: Mala conservación de detergentes? | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 10 | 2,28% | 100,00% |
| Total | | | | | | | | 439 | 100,00% | |