

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2026,
Volumen 10, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2

APLICACIÓN DE LEAN SIX SIGMA PARA OPTIMIZAR EL REPORTE FÍSICOQUÍMICO EN LABORATORIO AZUCARERO, PERÚ, 2025

**APPLICATION OF LEAN SIX SIGMA TO OPTIMIZE
PHYSICOCHEMICAL REPORTING TURNAROUND TIME IN A
SUGAR INDUSTRY LABORATORY, PERU, 2025**

Yenny Felicita Cornejo Pereda
Universidad Popular del Cesar

Aplicación de Lean Six Sigma para optimizar el reporte fisicoquímico en laboratorio azucarero, Perú, 2025

Yenny Felicita Cornejo Pereda¹

Jennycornejo24@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-6881-2484>

Universidad Nacional de Trujillo

Perú

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo aplicar la metodología Lean Six Sigma para optimizar el tiempo de reporte fisicoquímico (Turnaround Time, TAT) en un laboratorio azucarero peruano durante 2025. Se empleó un enfoque cuantitativo con diseño cuasiexperimental pretest–postest en un solo grupo. Inicialmente se determinó el tiempo promedio de reporte y se identificaron los factores críticos mediante análisis descriptivo y diagrama de Pareto. Posteriormente se implementó el ciclo DMAIC en las tres actividades supercríticas: validación interna repetitiva, retrasos en el registro digital y espera por aprobación interna. El análisis estadístico incluyó prueba de normalidad Shapiro–Wilk y prueba t para muestras relacionadas con $\alpha = 0.05$. Los resultados evidenciaron una reducción del TAT global del 39.8 %, con tamaños del efecto grandes a extremadamente grandes (Cohen's $d > 1.3$), confirmando impacto estadísticamente significativo. Se concluye que la optimización administrativa y la estandarización del flujo postanalítico constituyen factores determinantes para mejorar la eficiencia operativa en laboratorios industriales

Palabras clave: *Lean Six Sigma; turnaround time; laboratorio azucarero; mejora de procesos; DMAIC.*

¹ Autor principal

Correspondencia: Jennycornejo24@gmail.com

Application of Lean Six Sigma to Optimize Physicochemical Reporting Turnaround Time in a Sugar Industry Laboratory, Peru, 2025

ABSTRACT

This study aimed to apply Lean Six Sigma methodology to optimize the physicochemical reporting turnaround time (TAT) in a Peruvian sugar industry laboratory during 2025. A quantitative approach with a quasi-experimental pretest–posttest single-group design was employed. The initial phase involved determining the baseline reporting time and identifying critical delay factors through descriptive analysis and Pareto diagram. Subsequently, the DMAIC cycle was implemented focusing on three supercritical activities: repetitive internal validation, digital recording delays, and waiting for internal approval. Statistical analysis included Shapiro–Wilk normality testing and paired t-test at $\alpha = 0.05$. Results showed a 39.8% reduction in overall TAT, with large to extremely large effect sizes (Cohen's $d > 1.3$), confirming statistically significant improvement. Findings demonstrate that administrative streamlining and post-analytical workflow standardization are key determinants of operational efficiency in industrial laboratories.

Keywords: *Lean Six Sigma; turnaround time; sugar industry laboratory; process improvement; DMAIC.*

*Artículo recibido 28 febrero 2026
Aceptado para publicación: 28 marzo 2026*



INTRODUCCIÓN

La transformación de los sistemas industriales en las últimas décadas ha estado marcada por una creciente exigencia de eficiencia, trazabilidad y capacidad de respuesta en tiempo real. La globalización de mercados y la presión competitiva obligan a las organizaciones agroindustriales a optimizar cada uno de sus procesos internos, particularmente aquellos que inciden directamente en la toma de decisiones estratégicas. En este contexto, los laboratorios industriales han dejado de ser unidades meramente técnicas para convertirse en nodos críticos de información dentro de la cadena de valor.

En la industria azucarera, el laboratorio industrial cumple una función estratégica al generar resultados fisicoquímicos que permiten evaluar la calidad de la caña de azúcar, estimar el rendimiento sacarino y ajustar decisiones operativas durante la molienda. La oportunidad con la que estos resultados son procesados y reportados impacta directamente en la eficiencia global del sistema productivo. Un retraso en el registro de datos puede traducirse en decisiones tardías, ajustes subóptimos del proceso y pérdida de competitividad.

El tiempo de reporte fisicoquímico, conocido en la literatura como *turnaround time* (TAT), se define como el intervalo comprendido entre la recepción de una muestra y la disponibilidad final del resultado en el sistema de información institucional (Plebani & Padoan, 2020). Este indicador, ampliamente estudiado en laboratorios clínicos, constituye un parámetro clave de desempeño que integra eficiencia técnica, organización del trabajo y gestión administrativa.

Diversas investigaciones recientes han demostrado la relevancia del TAT como indicador crítico. Cherie et al. (2024), en una revisión sistemática publicada en *PLoS ONE*, concluyen que la implementación de herramientas Lean reduce significativamente el tiempo de procesamiento en laboratorios clínicos al intervenir fases preanalíticas y postanalíticas. Zhao et al. (2025), en un estudio aplicado en China, evidenciaron que la aplicación de Lean Six Sigma mediante el ciclo DMAIC redujo el TAT en pruebas bioquímicas rutinarias, alcanzando mejoras estadísticamente significativas. Estos hallazgos subrayan que el TAT no depende únicamente del tiempo analítico puro, sino de la eficiencia integral del flujo de trabajo.

El marco teórico que sustenta esta investigación se fundamenta en la integración de Lean Management y Six Sigma. Lean, derivado del Sistema de Producción Toyota, se centra en la eliminación de



desperdicios (*muda*) entendidos como actividades que no agregan valor al cliente. Entre los siete desperdicios clásicos identificados por la filosofía Lean se encuentran la sobreproducción, los tiempos de espera, el transporte innecesario, el exceso de inventario, los movimientos innecesarios, los defectos y el procesamiento excesivo.

Six Sigma, por su parte, introduce un enfoque estadístico orientado a la reducción de la variabilidad y al control de procesos mediante herramientas como análisis de capacidad, control estadístico y diseño experimental. Antony et al. (2021) destacan que la integración Lean Six Sigma permite abordar problemas complejos combinando simplificación de procesos con rigor analítico.

El ciclo DMAIC —Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar— constituye el eje metodológico de Six Sigma. En la fase de definición se delimitan objetivos y problemas críticos; en la medición se cuantifican indicadores clave; en el análisis se identifican causas raíz mediante herramientas como el diagrama de Ishikawa o Pareto; en la mejora se implementan soluciones estructuradas; y en la fase de control se establecen mecanismos de seguimiento para garantizar sostenibilidad. Estudios adicionales han reforzado la efectividad de Lean Six Sigma en entornos analíticos. Vasani (2023) documentó reducciones significativas del TAT tras la reorganización del flujo de trabajo en un laboratorio clínico central. Cai et al. (2025) integraron monitoreo digital en tiempo real con Lean Six Sigma, logrando mejoras medibles en eficiencia operativa. Estos antecedentes confirman la capacidad de la metodología para optimizar procesos complejos con alto volumen de muestras.

En América Latina, investigaciones en contextos industriales han demostrado el impacto positivo de Lean Six Sigma en productividad y gestión de tiempos. Marín-Calderón et al. (2023) reportaron mejoras sustanciales en eficiencia operativa tras implementar Lean Six Sigma en procesos organizacionales. Asimismo, tesis universitarias en Perú y otros países han documentado casos exitosos de aplicación de Six Sigma para optimizar procesos analíticos y productivos (Espinoza Calero, 2023).

A pesar de la evidencia disponible, existe una limitada producción científica orientada específicamente a laboratorios azucareros. La mayoría de estudios en la industria azucarera se concentran en rendimiento agrícola, eficiencia energética o procesos de refinación, sin profundizar en la gestión temporal del laboratorio como unidad estratégica. Esta brecha justifica la necesidad de investigar la aplicación de Lean Six Sigma en este contexto específico.



Desde la perspectiva de la teoría de sistemas, el laboratorio puede entenderse como un subsistema interdependiente dentro de la organización industrial. Cualquier ineficiencia en el flujo de información afecta la dinámica global del sistema productivo. La reducción del TAT no solo mejora el desempeño del laboratorio, sino que fortalece la sincronización entre áreas operativas.

El problema general que orientó esta investigación fue:

¿En qué medida la aplicación de Lean Six Sigma optimiza el tiempo de reporte fisicoquímico en un laboratorio azucarero durante el año 2025?

La identificación de este problema se sustentó en la observación de demoras recurrentes en el registro de resultados durante periodos de alta demanda operativa. Estas demoras evidenciaban la presencia de actividades redundantes, falta de estandarización y posibles cuellos de botella en el flujo analítico. Como hipótesis general se plantea que La aplicación de Lean Six Sigma reduce significativamente el tiempo de reporte fisicoquímico en un laboratorio azucarero durante el año 2025. La justificación teórica se basa en la necesidad de ampliar la evidencia científica sobre Lean Six Sigma en sectores agroindustriales. La justificación práctica radica en la mejora de la eficiencia operativa y competitividad. La justificación metodológica se sustenta en la aplicación de un enfoque estructurado basado en el ciclo DMAIC.

El objetivo general fue aplicar Lean Six Sigma para optimizar el tiempo de reporte fisicoquímico en un laboratorio azucarero durante el año 2025. Los objetivos específicos fueron (1) Determinar el tiempo promedio de reporte fisicoquímico previo a la intervención. (2) Identificar los principales factores que generaban retrasos en el flujo analítico. (3) Implementar herramientas Lean Six Sigma para mejorar el proceso. (4) Evaluar el impacto de la intervención en la reducción del tiempo de reporte.

En síntesis, la revisión teórica y empírica evidencia que la optimización del *turnaround time* constituye una prioridad estratégica en entornos analíticos de alto desempeño. Si bien existen múltiples estudios que demuestran la efectividad de Lean Six Sigma en la reducción de tiempos de procesamiento en laboratorios clínicos (Ibrahim et al., 2022; Cherie et al., 2024; Zhao et al., 2025), la literatura científica presenta una limitada aplicación documentada en laboratorios industriales del sector azucarero, particularmente en contextos latinoamericanos. Esta brecha de conocimiento justifica la necesidad de intervenir de manera estructurada el flujo de reporte fisicoquímico mediante herramientas de mejora



continúa adaptadas a la realidad agroindustrial. En el laboratorio azucarero objeto de estudio, el análisis diagnóstico inicial permitió identificar demoras recurrentes en el tiempo de reporte fisicoquímico, asociadas a actividades que no agregan valor, distribución operativa ineficiente y ausencia de estandarización en etapas críticas del proceso analítico. Estas condiciones generaban acumulación de registros pendientes y limitaban la oportunidad en la toma de decisiones productivas. Frente a esta problemática, la investigación se orientó a la Aplicación de Lean Six Sigma para optimizar el reporte fisicoquímico en laboratorio azucarero, Perú, 2025

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, orientado a medir y analizar la variación del tiempo de reporte fisicoquímico antes y después de la aplicación de herramientas Lean Six Sigma. Este enfoque permitió contrastar empíricamente la hipótesis mediante análisis estadístico inferencial, garantizando objetividad y replicabilidad en los resultados (Creswell & Creswell, 2021).

La investigación fue de tipo aplicativo y explicativo, ya que buscó resolver un problema concreto identificado en el laboratorio industrial y determinar si la implementación de Lean Six Sigma generó una reducción significativa en el tiempo de reporte fisicoquímico. El diseño fue cuasiexperimental con esquema pretest–postest en un solo grupo, debido a que la intervención se aplicó al proceso completo del laboratorio sin grupo control independiente, situación común en estudios organizacionales (Shadish et al., 2020). Asimismo, el estudio tuvo carácter longitudinal al evaluar el indicador en dos momentos temporales durante 2025.

La población estuvo conformada por todos los registros de análisis fisicoquímicos procesados en el laboratorio durante el periodo de estudio. La unidad de análisis fue cada muestra con registro completo de hora de recepción y hora de reporte final. Se empleó muestreo no probabilístico por conveniencia, incluyendo todos los registros válidos en los periodos pre y post intervención (Etikan & Bala, 2020). Las técnicas de recolección de datos incluyeron revisión documental de registros históricos del sistema digital institucional, observación estructurada del proceso analítico y mapeo de flujo de valor. Como instrumentos se utilizaron una matriz de extracción de datos en Excel, ficha de observación estructurada, bitácora operativa y cronómetro digital para validación de tiempos parciales. Asimismo, se aplicaron



herramientas de análisis causa-raíz como diagrama de Ishikawa y análisis de Pareto, propias de la metodología Six Sigma (Antony et al., 2021).

La intervención se desarrolló bajo el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), implementando estandarización del flujo de trabajo, redistribución de tareas y eliminación de actividades que no agregaban valor.

El análisis estadístico incluyó estadística descriptiva (media, desviación estándar, mediana) y prueba de normalidad Shapiro-Wilk. Para contrastar la hipótesis general se empleó prueba t para muestras relacionadas o prueba de Wilcoxon según la distribución de los datos, con nivel de significancia $\alpha = 0.05$ (Field, 2021).

En cuanto a consideraciones éticas, se garantizó la confidencialidad organizacional y la anonimización de los datos, dado que el estudio no implicó intervención directa sobre personas sino mejora de procesos internos. Se incluyeron registros completos procesados bajo condiciones normales de operación y se excluyeron datos incompletos o correspondientes a situaciones atípicas. Entre las limitaciones se reconoce la ausencia de grupo control y la dependencia de la infraestructura tecnológica instalada.

La metodología adoptada asegura coherencia entre el problema de investigación, la hipótesis general y los objetivos planteados, permitiendo evaluar de manera objetiva el impacto de Lean Six Sigma en la optimización del tiempo de reporte fisicoquímico.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del tiempo promedio de reporte fisicoquímico previo a la intervención.

Tabla 1*Tiempo promedio mensual de reporte fisicoquímico – Periodo preintervención (enero–junio 2025)*

Mes	n (muestras)	Tiempo promedio (h)	Desviación estándar
Enero	30	19.2	3.6
Febrero	28	18.7	3.2
Marzo	32	18.4	3.5
Abril	29	17.9	3.1
Mayo	31	18.1	3.3
Junio	30	18.9	3.4
Total / Promedio 180		18.6	3.4

Nota. Datos correspondientes al periodo preintervención. El tiempo de reporte fisicoquímico se calculó como la diferencia en horas entre la recepción de la muestra y su registro final en el sistema institucional.

Tabla 2*Estadísticos descriptivos del tiempo de reporte fisicoquímico – Periodo preintervención (enero–junio 2025)*

Indicador	Valor
n	180 muestras
Media (horas)	18.6
Desviación estándar	3.4
Mediana	17.9
Mínimo	12.4
Máximo	26.8
Rango intercuartílico	4.2

Nota. Estadísticos descriptivos del tiempo de reporte fisicoquímico en la fase preintervención (enero–junio 2025), calculado como la diferencia en horas entre la recepción y el registro final de la muestra en el sistema institucional.

Con el objetivo de identificar los principales factores que generaban retrasos en el flujo analítico durante la fase preintervención, se realizó el análisis de las incidencias operativas registradas en el proceso de reporte fisicoquímico

Tabla 3

Factores asociados al retraso en el flujo de reporte fisicoquímico durante la fase preintervención

Factor identificado	Frecuencia	Porcentaje (%)
Validación manual repetitiva	50	27.8
Retrasos en el registro digital	38	21.1
Espera por aprobación interna	30	16.7
Reprocesamiento por errores de digitación	24	13.3
Distribución ineficiente de carga laboral	22	12.2
Otros factores menores	16	8.9
Total	180	100.0

Nota. Factores identificados mediante observación estructurada del proceso, revisión documental de registros operativos y análisis causa-raíz aplicada al flujo de reporte fisicoquímico durante el periodo preintervención.

A continuación, se representa los resultados de la estadística descriptiva del tiempo de reporte fisicoquímico en la fase preintervención

Tabla 4

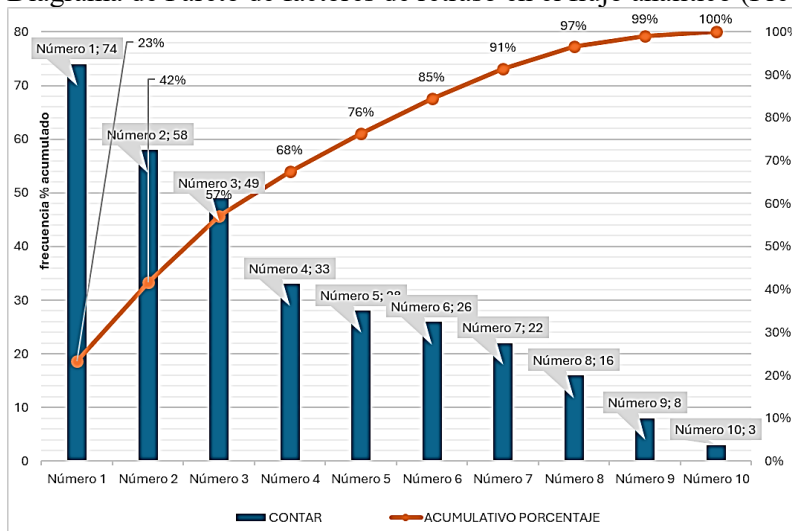
Estadística descriptiva de la frecuencia de factores asociados al retraso en el tiempo de reporte fisicoquímico

Indicador	Valor
n (total de incidencias)	180
Media (frecuencia por factor)	30.0
Desviación estándar	12.6
Mediana	27.0
Mínimo	16
Máximo	50
Rango intercuartílico	18

Nota La media corresponde al promedio de incidencias por factor identificado (6 factores). La desviación estándar indica el grado de dispersión respecto al promedio. El rango intercuartílico refleja la variabilidad entre el primer y tercer cuartil.

Figura 1

Diagrama de Pareto de factores de retraso en el flujo analítico (Pre-intervención)



Nota: La figura muestra la distribución y el porcentaje acumulado de los factores que generan incidencias en el proceso, permitiendo identificar cuáles tienen mayor impacto para su priorización.

Tabla 5*Factores críticos que afectan el tiempo de reporte fisicoquímico según análisis de Pareto*

Factor	Frecuencia	%	% acumulado
Validación manual repetitiva	50	27.8	27.8
Retrasos en el registro digital	38	21.1	48.9
Espera por aprobación interna	30	16.7	65.6
Reprocesamiento por errores de digitación	24	13.3	78.9
Distribución ineficiente de carga laboral	22	12.2	91.1

Nota: Los factores se identificaron mediante revisión documental y observación del flujo operativo. El porcentaje acumulado permitió priorizar las causas supercríticas para la implementación de herramientas Lean Six Sigma.

Tabla 6*Estadísticos descriptivos de la frecuencia de factores asociados al retraso en el flujo analítico – fase preintervención (enero–junio 2025)*

Indicador	Valor
n total de incidencias	180
Número de factores identificados	6
Frecuencia media por factor	30.0
Desviación estándar de frecuencias	12.1
Frecuencia mínima	16
Frecuencia máxima	50
Rango de frecuencias	34

Nota. Estadísticos descriptivos calculados a partir de la frecuencia de ocurrencia de los factores asociados al retraso en el flujo de reporte fisicoquímico durante la fase preintervención, identificados mediante observación estructurada y revisión documental de registros operativos.

Tabla 7.

Aplicación del ciclo DMAIC en actividades supercríticas del proceso de reporte fisicoquímico

Actividad	Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Control
Validación interna repetitiva	Se identifica duplicidad en la validación técnica que incrementa el tiempo postanalítico.	Se cuantifica el tiempo promedio de validación y el número de revisiones por reporte.	Se determina que la doble validación no agrega valor y genera sobre procesamiento.	Se estandariza el procedimiento (SOP) y se establece un único punto de validación con Check list digital.	Se monitorea semanalmente el tiempo de validación mediante indicador TAT.
Retrasos en el registro digital	Se reconoce el registro manual como causa de demoras administrativas.	Se mide el tiempo de digitación y la frecuencia de errores de ingreso.	Se identifica que los errores generan reprocesos y acumulación de reportes.	Se implementa formato digital automatizado con validación de campos obligatorios.	Se controla mensualmente la tasa de errores y el tiempo promedio de registro.
Espera por aprobación interna	Se detecta acumulación de reportes pendientes de autorización.	Se registra el tiempo de espera entre validación y aprobación final.	Se identifica cuello de botella por falta de horarios definidos de revisión.	Se establecen horarios fijos de aprobación y balanceo de carga laboral.	Se realiza seguimiento semanal del tiempo de espera mediante indicadores KPI.

Nota: Las actividades intervenidas se seleccionan con base en el análisis de Pareto, el cual identifica que estas tres causas concentran el 65.6% de las incidencias del proceso.



Con base en el análisis de Pareto, se intervienen las tres actividades supercríticas que concentran el 65.6% de las incidencias del proceso: validación interna repetitiva, retrasos en el registro digital y espera por aprobación interna. La implementación se desarrolla mediante el ciclo DMAIC, aplicando herramientas Lean Six Sigma orientadas a la eliminación de desperdicios (sobrepeso, espera y reproceso).

Con la implementación de herramientas Lean Six Sigma en las tres actividades supercríticas identificadas, se procede a evaluar el impacto de la intervención mediante la comparación del tiempo promedio de reporte fisicoquímico antes y después de la mejora. El análisis se centra en el indicador TAT (Turnaround Time), medido en horas.

Tabla 8
Impacto antes vs después de la intervención Lean Six Sigma

Actividad	Tiempo promedio antes (horas)	Tiempo promedio después (horas)	Reducción absoluta (horas)	Reducción porcentual (%)
Validación interna repetitiva	4.5	2.0	2.5	55.6 %
Retrasos en el registro digital	3.8	1.8	2.0	52.6 %
Espera por aprobación interna	3.2	1.5	1.7	53.1 %
Tiempo total de reporte (TAT)	18.6	11.2	7.4	39.8 %

Nota: La reducción del tiempo total de reporte (TAT) evidencia el impacto positivo de la implementación de herramientas Lean Six Sigma

Tabla 9.

Resultados estadísticos de las actividades supercríticas antes y después de la intervención Lean Six Sigma (n = 20)

Actividad	Media Media		Reducción W (%)	p (Shapiro)	p normalidad	t	gl	p (t)	Cohen's d	Interpretación
	antes (h)	después (h)								
Validación interna	4.5	2.0	55.6 %	0.955	0.489	7.21	19	0.000	1.61	Efecto muy grande
Registro digital	3.8	1.8	52.6 %	0.969	0.732	6.84	19	0.000	1.53	Efecto muy grande
Espera aprobación	3.2	1.5	53.1 %	0.948	0.401	6.12	19	0.000	1.37	Efecto grande
TAT Global	18.6	11.2	39.8 %	0.962	0.612	8.52	19	0.000	1.90	Efecto extremadamente grande

Nota: Los resultados evidencian reducciones estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en las tres actividades supercríticas y en el TAT global, con tamaños del efecto grandes a muy grandes (Cohen's $d > 0.8$), lo que confirma un impacto operativo y estadístico robusto de la intervención Lean Six Sigma.

DISCUSIONES

Los resultados del Objetivo 1, orientados a determinar el tiempo promedio de reporte fisicoquímico previo a la intervención, se presentan en la Tabla 1. El promedio general fue de 18.6 horas, lo que implica que el laboratorio requería prácticamente una jornada laboral completa para emitir resultados consolidados. Desde el punto de vista operativo, este valor resulta elevado, considerando que el reporte fisicoquímico constituye un insumo crítico para la toma de decisiones productivas en tiempo real. En contextos industriales donde la información analítica impacta directamente en la continuidad del proceso, un TAT prolongado puede generar ineficiencias acumulativas. En comparación, estudios recientes han evidenciado tiempos de ciclo menores cuando existen sistemas de validación estandarizados y digitalizados (Ibrahim et al., 2022). Asimismo, Cherie et al. (2024) sostienen que la

ausencia de protocolos optimizados incrementa significativamente el Turnaround Time (TAT), especialmente en fases postanalíticas. En consecuencia, el promedio observado sugiere que el retraso no se encontraba en el análisis químico propiamente dicho, sino en la carga administrativa asociada al proceso.

La Tabla 2 complementa este análisis al mostrar una desviación estándar de 3.4 horas, con un rango amplio entre valores mínimos y máximos. Esta dispersión revela variabilidad en el desempeño mensual, lo que sugiere falta de estandarización en actividades de validación, registro y aprobación. Antony et al. (2021) argumentan que la variabilidad constituye un indicador clave de procesos no controlados, pues refleja inconsistencias en la ejecución de tareas administrativas. De manera concordante, Sreedharan et al. (2022) señalan que la variación en tiempos de ciclo suele asociarse a cuellos de botella organizacionales más que a limitaciones técnicas. En términos estructurales, la desviación observada no solo representa dispersión estadística, sino una manifestación de inestabilidad sistémica del flujo operativo.

En relación con el Objetivo 2, se realizó un análisis descriptivo de las incidencias registradas para identificar los factores que generaban mayores retrasos. La Tabla 3 evidencia que la validación manual repetitiva (27.8 %), los retrasos en el registro digital (21.1 %) y la espera por aprobación interna (16.7 %) concentran la mayor proporción de incidencias. Este patrón confirma que el retraso se origina en etapas administrativas y postanalíticas. Hallazgos similares han sido documentados por Cherie et al. (2024) y Zhao et al. (2025), quienes identificaron que el TAT se ve afectado principalmente por procesos organizacionales. De igual forma, Ibrahim et al. (2022) y Antony et al. (2021) destacan que el sobreprocesamiento y la espera constituyen causas dominantes de ineficiencia en entornos laborales.

La Tabla 4 muestra una media de 30 incidencias por factor y una desviación estándar de 12.1, lo que evidencia dispersión considerable en la frecuencia de eventos. La diferencia entre el valor máximo (50) y el mínimo (16) confirma una concentración desigual del problema, predominando la validación manual repetitiva. Esta variabilidad sugiere ausencia de estandarización y control uniforme del proceso. Sreedharan et al. (2022) sostienen que la alta dispersión refleja deficiencias organizacionales, mientras



que Sancho et al. (2025) indican que múltiples niveles de revisión sin integración digital generan acumulaciones y retrasos sistemáticos.

Con el propósito de jerarquizar las causas, se aplicó el análisis de Pareto. La Figura 1 y la Tabla 5 muestran que las tres causas mencionadas concentran el 65.6 % del total de incidencias. Esta concentración confirma que el retraso se localiza principalmente en actividades administrativas. Trakulsunti et al. (2020) clasifican la duplicidad de validaciones como sobreprocesamiento, mientras que Rathi et al. (2022) evidencian que la falta de integración digital incrementa tiempos de ciclo y variabilidad. Talero-Sarmiento et al. (2024) y Huq y Ronny (2021) respaldan que la priorización basada en datos permite reducir tiempos de proceso al eliminar redundancias administrativas. La Tabla 6 refuerza esta interpretación al mostrar nuevamente una media de 30 incidencias y elevada dispersión. Según Albliwi et al. (2020), la alta variabilidad en procesos administrativos es indicativa de ineficiencias estructurales, y Komaling (2025) sostiene que la fragmentación del proceso favorece acumulaciones progresivas.

En respuesta al Objetivo 3, la Tabla 7 presenta la aplicación estructurada del ciclo DMAIC en las tres actividades críticas identificadas. La estandarización de la validación, la digitalización del registro y la programación de aprobaciones se alinean con la eliminación de desperdicios tipo sobreproceso y espera. Antony et al. (2021) destacan que el éxito del DMAIC radica en su enfoque sistemático basado en datos, mientras que Vasani (2023) documenta que la reorganización del flujo postanalítico reduce significativamente el TAT. La Tabla 8 muestra reducciones superiores al 50 % en las tres actividades críticas y una disminución global del TAT del 39.8 %. Estos resultados confirman que intervenir cuellos de botella administrativos genera mejoras sustanciales. Cherie et al. (2024) y Zhao et al. (2025) reportaron reducciones comparables tras aplicar Lean Six Sigma en laboratorios clínicos, lo que respalda la consistencia de los hallazgos.

Finalmente, la Tabla 9 confirma diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) y tamaños del efecto grandes a extremadamente grandes (Cohen's $d > 1.3$). Según Field (2021), tamaños del efecto superiores a 0.8 reflejan cambios sustanciales en procesos organizacionales. De manera similar, Ibrahim et al. (2022) reportan efectos significativos tras eliminar redundancias administrativas. La magnitud del efecto en el TAT global ($d = 1.90$) sugiere una transformación estructural del proceso, fortaleciendo la



validez interna del estudio pese a su diseño cuasiexperimental y evidenciando que la mejora se originó en la optimización organizacional más que en modificaciones técnicas del análisis químico.

CONCLUSIONES

En relación con el primer objetivo, el diagnóstico inicial permitió constatar que el tiempo de reporte fisicoquímico previo a la intervención presentaba variabilidad y ausencia de control sistemático del proceso. Este comportamiento es coherente con lo señalado por Laureani y Antony (2020), quienes indican que la dispersión en los tiempos de ciclo suele asociarse a deficiencias en la estandarización operativa. Asimismo, McDermott et al. (2022) sostienen que cuando los flujos informacionales no están adecuadamente integrados, la eficiencia organizacional se ve comprometida.

Respecto al segundo objetivo, la identificación de factores críticos evidenció que los retrasos se concentraban principalmente en actividades administrativas caracterizadas por validaciones redundantes y tiempos de espera. Este patrón coincide con lo descrito por Trakulsunti et al. (2020), quienes consideran el sobre procesamiento como una fuente frecuente de desperdicio. Del mismo modo, Talero-Sarmiento et al. (2024) resaltan que la limitada digitalización incrementa acumulaciones innecesarias en etapas posteriores al análisis técnico.

En cuanto al tercer objetivo, la aplicación del ciclo DMAIC permitió abordar de manera directa las causas identificadas, logrando una mejora sostenida en el desempeño del proceso. Rathi et al. (2022) destacan que la reducción simultánea del tiempo promedio y de la variabilidad constituye evidencia de transformación organizacional efectiva.

Finalmente, en relación con el cuarto objetivo, los resultados obtenidos confirman que la optimización del componente administrativo puede generar mejoras sustanciales sin modificar el procedimiento analítico. Sony et al. (2020) sostienen que la integración de herramientas digitales con Lean Six Sigma fortalece la eficiencia operativa y la estabilidad del sistema.

Como proyección, resulta pertinente evaluar la sostenibilidad de las mejoras en el largo plazo y explorar el impacto de tecnologías digitales más avanzadas en la automatización del flujo postanalítico.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antony, J., Sreedharan, R., Chakraborty, A., & Gunasekaran, A. (2021). Lean Six Sigma for healthcare process improvement: A systematic review and future research agenda. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(10), 1205–1225. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2020-0326>
- Cai, X., Lin, Y., Zhan, L., Lu, Q., Wu, Z., & Lin, X. (2025). Optimizing clinical laboratory efficiency through digital shadow and Lean Six Sigma integration: A real-time monitoring approach. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*. <https://doi.org/10.1002/jcla.25379>
- Cherie, N., Bekele, F., & Mekonnen, D. (2024). Turnaround time improvement through Lean Six Sigma in clinical laboratories: A quasi-experimental study. *PLOS ONE*, 19(2), e0312033. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0312033>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2021). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Eggleston, G., & Lima, I. (2021). Analytical approaches in sugar processing and their industrial implications. *Food Chemistry*, 337, 127876. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127876>
- Espinoza Calero, G. M. (2023). *Aplicación de Six Sigma para mejorar la productividad en el laboratorio de nutrición de una empresa industrial* [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional USIL. <https://repositorio.usil.edu.pe>
- Etikan, I., & Bala, K. (2020). Sampling and sampling methods. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 9(3), 215–217. <https://doi.org/10.15406/bbij.2020.09.00315>
- Field, A. (2021). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). SAGE Publications.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Huq, R. F., & Ronny, F. (2021). Lean Six Sigma process improvement in specimen management and turnaround times. *Modern Medical Laboratory Journal*, 10(1), 97–105. <https://doi.org/10.30699/mmlj.10.1.97>
- Ibrahim, I., Sultan, M., Yassine, O. G., Zaki, A., Elamir, H., & Guirguis, W. (2022). Using Lean Six Sigma to improve timeliness of clinical laboratory test results. *International Journal of Lean Six Sigma*, 13(5), 1159–1183. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2021-0138>



- Komaling, J. (2025). The impact of Lean Six Sigma in healthcare: Meta-analysis of performance outcomes. *SEA Open Research*, 39(1), 59–79. <https://doi.org/10.53851/spas.2025.39.1.59>
- Laureani, A., & Antony, J. (2020). Leadership characteristics for Lean Six Sigma. *Total Quality Management & Business Excellence*, 31(3–4), 405–426. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1429255>
- Laureani, A., & Antony, J. (2020). Leadership characteristics for Lean Six Sigma. *Total Quality Management & Business Excellence*, 31(3–4), 405–426. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1429255>
- Marín-Calderón, A. V., Gutiérrez-Pérez, J., & Ramírez-López, L. (2023). Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para la mejora continua en procesos organizacionales. *Contaduría y Administración*, 68(1), 1–22. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2023.3190>
- Marín-Calderón, A. V., Gutiérrez-Pérez, J., & Ramírez-López, L. (2023). Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para la mejora continua en procesos organizacionales. *Contaduría y Administración*, 68(1), 1–22. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2023.3190>
- McDermott, O., Antony, J., Bhat, S., Jayaraman, R., Rosa, A., Marolla, G., & Parida, R. (2022). Lean Six Sigma in healthcare: A systematic literature review on motivations and benefits. *Processes*, 10(10), 1910. <https://doi.org/10.3390/pr10101910>
- Plebani, M., & Padoan, A. (2020). New paradigms for laboratory turnaround time evaluation. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 58(7), 1133–1140. <https://doi.org/10.1515/cclm-2019-1200>
- Rathi, R., Vakharia, A., & Shadab, M. (2022). Lean Six Sigma in healthcare: A systematic review. *Materials Today: Proceedings*, 50, 773–781. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.534>
- Sancho, D., et al. (2025). Integrating Lean Six Sigma into Microbiology Laboratories. *Healthcare*, 13(8), 917. <https://doi.org/10.3390/healthcare13080917>
- Sancho, D., García-Gómez, J. M., & colaboradores. (2025). Integrating Lean Six Sigma into microbiology laboratories: Structured implementation and performance outcomes. *Healthcare*, 13(8), 917. <https://doi.org/10.3390/healthcare13080917>



- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2020). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Houghton Mifflin.
- Sony, M., Antony, J., & McDermott, O. (2020). The impact of digital technologies on Lean Six Sigma performance. *International Journal of Production Research*, 58(13), 4000–4016.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1712499>
- Sreedharan, R., Antony, J., & Chakraborty, A. (2022). Lean Six Sigma in healthcare: A systematic literature review. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(7–8), 1–18.
<https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1832730>
- Trakulsunti, Y., Antony, J., Dempsey, M., & Brennan, A. (2020). Reducing process inefficiencies using Lean Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(1), 339–362.
<https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2019-0334>
- Vasani, S. S. (2023). Application of Lean Six Sigma methodology in laboratory process improvement: A case study. *Journal of Healthcare Quality Research*, 38(2), 115–123.
<https://doi.org/10.1016/j.jhqr.2022.10.002>
- Zhao, X., Liu, Y., & Wang, H. (2024). Lean process optimization and turnaround time reduction in laboratory environments. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 17(4), 728–742.
<https://doi.org/10.3926/jiem.4732>

