

Reducción del Lead Time Acumulado en un Laboratorio de Biología Molecular: Un Estudio de Cell Layout en Lima, Perú¹

Reduction of Cumulative Lead Time in a Molecular Biology Laboratory: A Cell Layout Study in Lima, Peru

Y. Bustamante y F. de M.M. Tapia

Recibido: junio 21 de 2024 – Aceptado: junio 20 de 2025

Resumen—Este estudio de tipo aplicado y nivel explicativo, aborda el diseño e implementación de una célula de manufactura para reducir el lead time acumulado en un laboratorio de biología molecular en Lima, Perú, durante la pandemia de COVID-19. Se realizó un análisis detallado de la situación inicial, proponiéndose la configuración de dos células desacopladas por inventario en proceso. Aunque no se alcanzó el takt time requerido ni un balance perfecto de cargas de trabajo, los resultados confirmaron la hipótesis inicial, mostrando una reducción significativa en los tiempos muertos, una mejora en el flujo de trabajo y un aumento en la capacidad de respuesta del laboratorio. Estos hallazgos subrayan la efectividad de las metodologías lean en contextos de alta demanda y complejidad.

Palabras clave—Lean Manufacturing; Células de Manufactura; Lead Time Acumulado, Flujo Continuo.

Abstract— This applied, explanatory-level study addresses the design and implementation of a manufacturing cell to reduce the accumulated lead time in a molecular biology laboratory in Lima, Peru, during the COVID-19 pandemic. A detailed analysis of the initial situation was conducted, proposing the configuration of two cells decoupled by work-in-process inventory. Although the required takt time was not achieved nor a perfect balance of workloads, the results confirmed the initial hypothesis, showing a significant reduction in idle times, an

improvement in workflow, and an increase in the laboratory's responsiveness. These findings highlight the effectiveness of lean methodologies in high-demand and complex contexts.

Keywords— Lean Manufacturing, Manufacturing Cells, Cumulative Lead Time, Continuous Flow.

I. INTRODUCCIÓN

EL año 2020 fue testigo de una pandemia global causada por el COVID-19, un virus que revolucionó la vida cotidiana de las personas y la operación de las organizaciones como lo señalan [1] y [2]. En respuesta a la creciente demanda de servicios de diagnóstico y tratamiento, numerosas empresas de salud, tanto públicas como privadas, implementaron soluciones para apoyar la detección y manejo del COVID-19.

En Lima, Perú, se establecieron sistemas de vigilancia con monitoreo constante mediante pruebas moleculares para confirmar casos sospechosos, según [3]. El reto de establecer laboratorios de biología molecular especializados en la detección del SARS-COV-2 mediante la técnica de PCR en tiempo real, reconocida por su alta sensibilidad, especificidad y eficacia como lo precisa [4], era un asunto de necesidad pública.

Se requirieron cambios organizativos rigurosos, redistribución de personal y equipos, modificación de protocolos, incremento de medidas de bioseguridad y aseguramiento de la calidad del servicio para la implementación de estos laboratorios, como lo reseña [5].

En abril de 2020, se inauguró el Laboratorio de Biología Molecular en Lima (LBM-Lima), uno de los primeros centros autorizados por el Instituto Nacional de Salud para el diagnóstico de SARS-CoV-2 mediante PCR en tiempo real, con una capacidad inicial de 500 a 1000 pruebas diarias y un tiempo de entrega comprometido de 24 horas. No obstante, como se documenta en [6], este laboratorio enfrentó limitaciones operativas que generaron retrasos en la emisión de resultados, afectando su capacidad de respuesta ante la demanda epidemiológica y la urgencia clínica asociada a la pandemia.

El presente artículo, derivado de la investigación mencionada [6], tiene como objetivo analizar el impacto de la

¹Producto derivado de tesis para obtener grado académico de Maestro en Ingeniería Industrial con mención en planeamiento y gestión empresarial.

Y. Bustamante, Universidad Ricardo Palma, Santiago de surco, Perú,
email: 201412519@urp.edu.pe.

F. de M.M. Tapias, Universidad Ricardo Palma, Santiago de surco, Perú,
email: flor.tapia@urp.edu.pe.

Como citar este artículo: Bustamante, Y., y Tapias, F. de M.M. Reducción del Lead Time Acumulado en un Laboratorio de Biología Molecular: Un Estudio de Cell Layout en Lima, Perú, Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 19, no. 37, pp. 41-48, enero-junio 2025. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.3143>.



implementación del Cell Layout en la reducción del tiempo de respuesta de los procesos del LBM-Lima, así como en la mejora de sus niveles de productividad y servicio. Si bien la intervención no alcanzó un takt time ideal ni un equilibrio perfecto de cargas, los resultados demuestran cómo la reconfiguración celular de los procesos contribuyó a mejorar el desempeño operativo en un escenario de alta presión sanitaria, ofreciendo insights aplicables a contextos similares.

A. Antecedentes.

En el año 2022, los investigadores [7] propusieron un marco de simulación para rediseñar la unidad de cuidados intensivos (UCI) de un hospital, inspirado en principios lean, con el objetivo de mejorar el tiempo de tránsito de pacientes y la eficiencia operativa. El estudio utilizó dinámica de sistemas para modelar las interacciones entre diferentes actores dentro de la UCI y los aspectos ciber-técnicos relacionados. Este enfoque permitió promover mejoras inmediatas a bajo costo de implementación. Se diseñó exitosamente una configuración celular para limitar el fenómeno del bloqueo de camas y, en consecuencia, reducir el período de recuperación. Este fenómeno está correlacionado con el riesgo de infecciones nosocomiales, lo que incrementa los costos tanto humanos como económicos para las personas y el hospital.

Para [8], la automatización de laboratorios es un proceso que involucra dos elementos principales: hardware y flujo de trabajo. En su estudio, lograron transformar un laboratorio tradicional de microbiología en un laboratorio automatizado, aplicando la metodología lean. Esto se consiguió principalmente mediante la reducción de tareas repetitivas y la modificación del flujo de trabajo convencional a un flujo continuo celular. Sin embargo, se encontró resistencia al cambio por parte de los empleados. Para gestionar esta resistencia, también utilizaron la metodología lean, un enfoque basado en evidencia que busca mejorar la calidad y la eficiencia mediante la integración de procesos, personas y estructuras.

Además, los procesos de un laboratorio de ensayos químicos fueron mejorados por [9], reduciendo las actividades que no agregan valor. Para ello, implementaron el modelo lean, en particular la herramienta Value Stream Mapping (VSM – Mapeo del Flujo de Valor), con la finalidad de visualizar, analizar y mejorar los procesos desde una perspectiva de garantía de calidad. La metodología incluyó cuatro fases: preparación, análisis de flujo de valor actual, diseño de flujo de valor futuro e implementación; generando una mejora significativa en el flujo de valor global de 34.9%.

En la misma línea, en un estudio realizado por [10], se reveló que la medicina laboratorial ha evolucionado significativamente en los últimos años, pero sigue enfrentando desafíos importantes en términos de eficiencia y calidad. Se estudió como tradicionalmente, los procesos de atención médica se han organizado alrededor de disciplinas específicas, lo que puede llevar a la fragmentación de la atención y la falta de interconexión entre los departamentos. Se recomienda que, para abordar estos desafíos, hacen falta tres pilares de cambio: el modelo de cuidado progresivo, el enfoque centrado en el paciente y el enfoque lean. El modelo de cuidado progresivo implica la creación de centros diagnósticos colaborativos que contienen todas las disciplinas diagnósticas. El enfoque

centrado en el paciente permite a los clínicos ordenar rutas diagnósticas basadas en evidencia para cada paciente individual. El enfoque lean se centra en eliminar tareas y procesos innecesarios, reducir la demora y mejorar la calidad de la atención.

Como podemos apreciar, el enfoque lean busca eliminar todo tipo de "mudas" (desperdicios) en los procesos. Esto incluye la eliminación de tareas innecesarias, reducción de los lead times y mejora de la productividad, entre otros. La implementación del modelo de la Toyota no es exclusiva de empresas manufactureras, antes bien es posible aplicarlo a todo tipo de empresa y/o proceso-producto, incluyendo la medicina laboratorial. En este sentido, el objetivo de nuestro estudio es aplicar el enfoque lean en un laboratorio de biología molecular, en particular una distribución de células de manufactura, para incrementar el flujo y reducir el lead time.

B. Justificación.

La adopción del modelo Lean en el sector salud, como señalan [11], ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar procesos y reducir desperdicios, optimizando así la gestión de recursos. Este enfoque, inspirado en el Lean Manufacturing de Toyota, no solo se ha aplicado en hospitales, sino también en clínicas y laboratorios, buscando agilizar tiempos, aumentar la productividad y aprovechar mejor los recursos disponibles [12] [13].

En el caso del LBM-Lima, donde la rapidez y precisión en la detección del SARS-CoV-2 son cruciales, la implementación del Lean Hospital podría ser clave para fortalecer la eficiencia operativa y la calidad de la atención, aspectos urgentes en el actual contexto sanitario.

II. METODOLOGÍA

A. Tipo, nivel y diseño del estudio.

El presente estudio es de tipo aplicado, ya que su objetivo principal consiste en enfrentar problemáticas concretas y generar conocimientos con utilidad práctica. Como señalan [14], este enfoque investigativo se caracteriza por identificar necesidades del contexto para, mediante el método científico, aplicar saberes que den solución a dichas demandas. Precisamente, esta es la perspectiva adoptada para el trabajo en el LBM-Lima.

El nivel de la investigación es explicativo, ya que se busca estudiar la relación causal entre la implementación del cell layout y el lead time acumulado del proceso. De acuerdo con [15], este tipo de estudio busca comprender la relación entre las variables y su impacto en el resultado.

El diseño utilizado en este estudio es pre-experimental dado que según [16] solo se cuenta con un grupo de experimentación el cual recibe la intervención del investigador, mientras que la variable dependiente se mide en dos momentos pre y post test.

B. Población y muestra.

En poblaciones finitas o conocidas, [17] afirma que la selección de la muestra se debe realizar a partir de un censo o marco muestral. Por tanto, para calcular el tamaño de la muestra, se partió de un marco muestral compuesto por

437,002 órdenes de laboratorio emitidas entre mayo y diciembre de 2020. Se estableció un nivel de confianza del 98%, lo que corresponde a un valor Z de 1.96. La desviación estándar de la muestra fue 3.48, y la varianza 12.11. Con una precisión o error máximo aceptable de 0.5 y un nivel de significancia alfa del 5%, se determinó que el tamaño de la muestra necesario debería ser de 186 órdenes de laboratorio.

C. Evaluación Inicial y Análisis del Estado Presente.

1) Confección del mapa del flujo de valor actual

Para elaborar el mapa del flujo de valor de la situación inicial, se comenzó trabajando en la recopilación y cálculo de datos específicos de cada uno de los 6 procesos a los que son sometidas las órdenes de laboratorio emitidas. Esto incluyó determinar el número de turnos, jornada laboral, tiempo no productivo, producción bruta, número de máquinas, porcentaje de utilización de recursos, producción real, tiempo de ciclo,

porcentaje de defectos, tiempo de cambio de producto y el número de operarios.

Adicionalmente, se calculó el takt time, el cual representa el ritmo de producción requerido para cumplir con la demanda del cliente, según lo establecido por [18].

Básicamente, es el tiempo disponible para producir un artículo dividido por la demanda del cliente en ese mismo período, lo cual arrojó un resultado de 94.35 minutos por lote ó 1.57 horas por lote. A partir de todos estos datos, se pudo crear un mapa detallado que representa fielmente la línea base, tal como puede observarse en la Fig.1. En la línea de tiempo se aprecia un total de 3,754.6 minutos por lote que no agregan valor; mientras que 1,467.3 minutos por lote sí lo hacen, lo que permite determinar el touch time en 28.1%. Según [19], este porcentaje define el tiempo real invertido en operaciones que agregan valor.

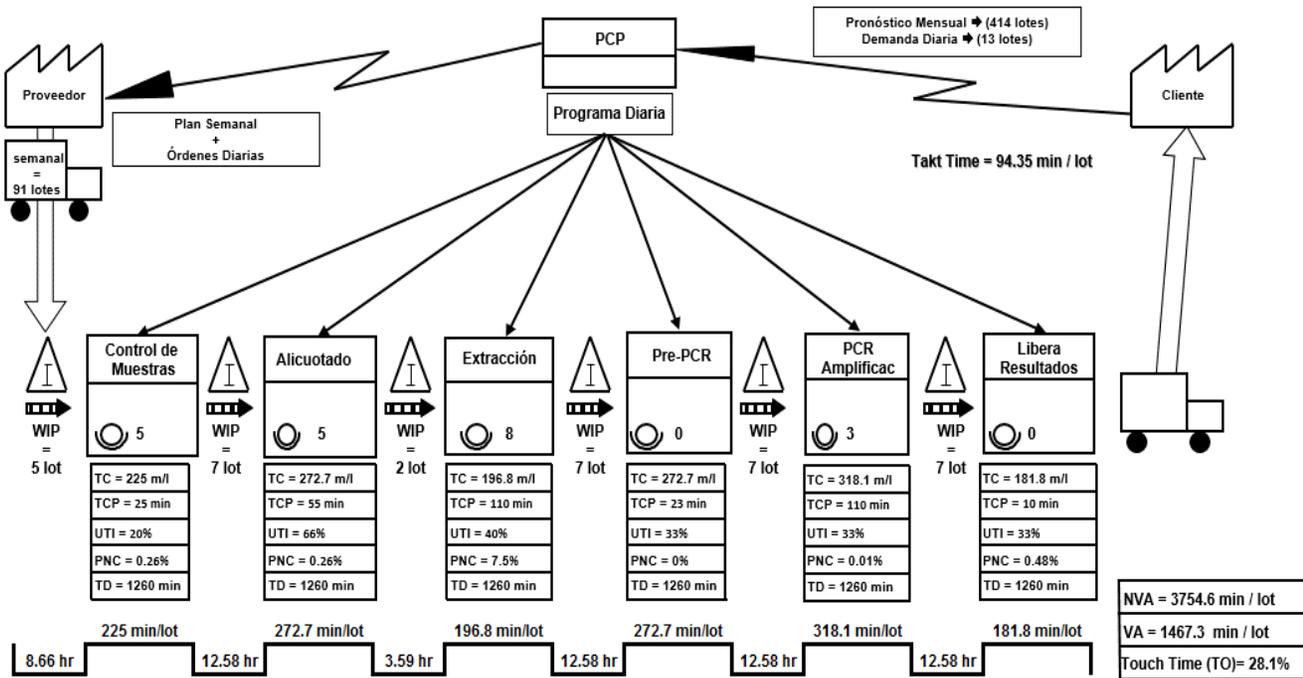


Fig. 1. Mapa del Flujo de Valor Actual de las Órdenes de Servicio de un LBM-Lima, adaptado de [5] [6].

2) Elaboración del OBC - Operation Balance Chart Actual (OBC- diagrama de balance de operación actual).

El diagrama OBC según [20], es una herramienta gráfica que permite visualizar las tareas, los tiempos y los operadores en cada etapa de un proceso. Su objetivo es facilitar el diseño de un flujo de trabajo continuo en sistemas con múltiples operaciones y colaboradores. Mediante esta representación, es posible distribuir las actividades entre los trabajadores, identificar desequilibrios en la carga laboral, detectar cuellos de botella y verificar si los tiempos de ciclo individuales se ajustan al Tiempo Takt establecido.

Como se muestra en la Fig. 2, ninguno de los 6 procesos requeridos para procesar las órdenes de laboratorio satisface el takt time exigido por el mercado (1.57 horas por lote), siendo el principal cuello de botella el proceso PCR-Amplificación con una carga de 5.30 horas / lote.

3) Estimación del Lead Time Antes de la Mejora.

En la Tabla I, se presentan los resultados de los lead times acumulados actuales de 186 órdenes de laboratorio muestreadas aleatoriamente entre el 29 de mayo y 11 de junio de 2020. Este conjunto de datos arrojó una media de 76.40 horas con una desviación estándar de 47.80 horas.

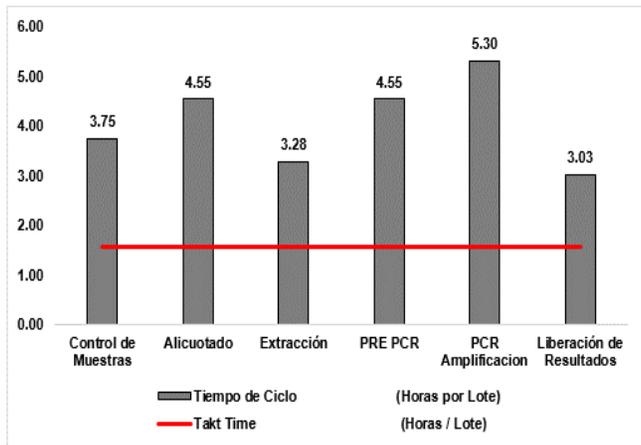


Fig. 2. OBC antes de la mejora en horas por lote el principal cuello de botella el proceso PCR-Amplificación con una carga de 5.30 horas / lote.

D. Desarrollo y Ejecución de Planes de Mejora.

1) Confección del mapa del flujo de valor mejorado

Inicialmente, los procesos de Control de Muestras, Alicotado y Extracción se ubicaban en el Piso 3, mientras

que el área de Amplificación (Pre PCR y PCR) se encontraba en el Piso 4 de las instalaciones de LBM-Lima. Esta disposición generaba un flujo de trabajo no unidireccional, lo que implicaba que los colaboradores tuvieran que desplazarse entre los pisos para completar el procesamiento de las muestras. Esto incrementaba el movimiento del personal, las distancias recorridas y dificultaba el flujo eficiente de trabajo. Por esta razón, el comité gerencial de la organización decidió centralizar todas las etapas del laboratorio de biología molecular en el sótano del edificio donde se ubica LBM-Lima.

Para ello se establecieron dos células de trabajo como puede apreciarse en la Fig. 3. La primera incluyó las estaciones de Control de Muestras y Alicotado. Aquí se implementaron diversas medidas para mejorar el proceso. Se elaboró un nuevo procedimiento de recepción, uso de etiquetas preimpresas y canalización de la recepción con Control de Muestras IVD. Además, se automatizó la asignación de códigos internos y se asignó identificación de colores para muestras que requerían reprocesos. Estas mejoras contribuyeron a una gestión visual más efectiva y a la disminución de los tiempos de espera. También se amplió la capacidad operativa del alicotado.

TABLA I
LEAD TIME ACUMULADO DE LAS MUESTRAS DE LBM-LIMA ANTES DE LA MEJORA

Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)
Muestra 1	123.82	Muestra 32	123.91	Muestra 63	124.08	Muestra 94	28.42	Muestra 125	28.24	Muestra 156	28.21
Muestra 2	123.82	Muestra 33	123.91	Muestra 64	124.09	Muestra 95	28.42	Muestra 126	48.52	Muestra 157	28.20
Muestra 3	123.82	Muestra 34	123.92	Muestra 65	124.09	Muestra 96	28.42	Muestra 127	28.25	Muestra 158	28.20
Muestra 4	123.83	Muestra 35	123.92	Muestra 66	124.09	Muestra 97	28.43	Muestra 128	28.25	Muestra 159	28.21
Muestra 5	123.83	Muestra 36	123.92	Muestra 67	124.09	Muestra 98	28.40	Muestra 129	28.24	Muestra 160	28.21
Muestra 6	123.83	Muestra 37	123.97	Muestra 68	124.09	Muestra 99	28.20	Muestra 130	27.91	Muestra 161	28.21
Muestra 7	123.83	Muestra 38	123.97	Muestra 69	124.10	Muestra 100	27.95	Muestra 131	28.25	Muestra 162	28.18
Muestra 8	123.84	Muestra 39	124.01	Muestra 70	124.10	Muestra 101	27.96	Muestra 132	27.92	Muestra 163	28.19
Muestra 9	123.84	Muestra 40	124.01	Muestra 71	124.10	Muestra 102	28.17	Muestra 133	27.93	Muestra 164	28.19
Muestra 10	123.85	Muestra 41	124.01	Muestra 72	124.11	Muestra 103	28.18	Muestra 134	27.98	Muestra 165	28.19
Muestra 11	123.85	Muestra 42	124.02	Muestra 73	124.11	Muestra 104	28.18	Muestra 135	27.97	Muestra 166	28.19
Muestra 12	123.85	Muestra 43	124.02	Muestra 74	124.11	Muestra 105	27.91	Muestra 136	27.97	Muestra 167	28.20
Muestra 13	123.86	Muestra 44	124.02	Muestra 75	124.12	Muestra 106	27.91	Muestra 137	28.24	Muestra 168	28.18
Muestra 14	123.86	Muestra 45	124.02	Muestra 76	124.12	Muestra 107	28.17	Muestra 138	48.49	Muestra 169	28.19
Muestra 15	123.86	Muestra 46	124.02	Muestra 77	124.12	Muestra 108	28.17	Muestra 139	27.98	Muestra 170	28.19
Muestra 16	123.87	Muestra 47	124.03	Muestra 78	124.12	Muestra 109	27.92	Muestra 140	27.97	Muestra 171	28.19
Muestra 17	123.87	Muestra 48	124.03	Muestra 79	124.12	Muestra 110	28.17	Muestra 141	28.23	Muestra 172	28.19
Muestra 18	123.87	Muestra 49	124.04	Muestra 80	124.13	Muestra 111	28.16	Muestra 142	28.23	Muestra 173	28.18
Muestra 19	123.87	Muestra 50	124.05	Muestra 81	124.13	Muestra 112	27.91	Muestra 143	28.23	Muestra 174	28.18
Muestra 20	123.88	Muestra 51	124.05	Muestra 82	124.13	Muestra 113	27.91	Muestra 144	28.22	Muestra 175	28.18
Muestra 21	123.88	Muestra 52	124.05	Muestra 83	124.14	Muestra 114	28.30	Muestra 145	48.46	Muestra 176	28.18
Muestra 22	123.88	Muestra 53	124.05	Muestra 84	124.14	Muestra 115	28.30	Muestra 146	27.96	Muestra 177	28.19
Muestra 23	123.88	Muestra 54	124.06	Muestra 85	124.14	Muestra 116	28.28	Muestra 147	28.22	Muestra 178	28.17
Muestra 24	123.88	Muestra 55	124.06	Muestra 86	124.15	Muestra 117	27.90	Muestra 148	28.21	Muestra 179	28.17
Muestra 25	123.89	Muestra 56	124.06	Muestra 87	124.15	Muestra 118	28.25	Muestra 149	28.21	Muestra 180	27.94
Muestra 26	123.89	Muestra 57	124.06	Muestra 88	124.15	Muestra 119	28.24	Muestra 150	28.21	Muestra 181	27.93
Muestra 27	123.89	Muestra 58	124.07	Muestra 89	124.15	Muestra 120	27.85	Muestra 151	28.22	Muestra 182	27.88
Muestra 28	123.90	Muestra 59	124.07	Muestra 90	124.15	Muestra 121	28.25	Muestra 152	28.22	Muestra 183	27.86
Muestra 29	123.90	Muestra 60	124.07	Muestra 91	124.16	Muestra 122	28.25	Muestra 153	28.21	Muestra 184	27.87
Muestra 30	123.91	Muestra 61	124.08	Muestra 92	124.16	Muestra 123	28.25	Muestra 154	28.21	Muestra 185	27.85
Muestra 31	123.91	Muestra 62	124.08	Muestra 93	124.16	Muestra 124	28.24	Muestra 155	28.21	Muestra 186	27.85

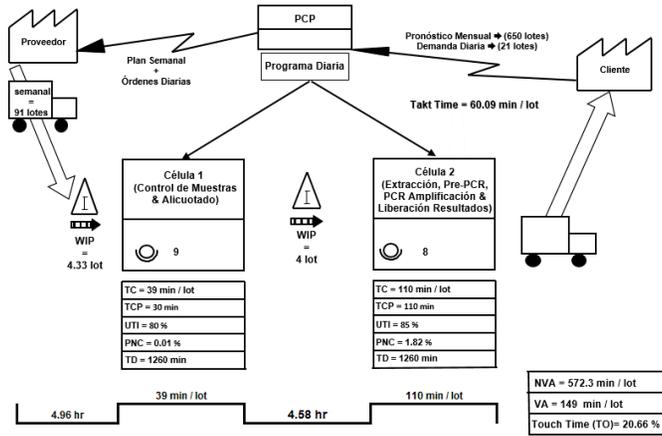


Fig. 3. Mapa del flujo de valor mejorado de las órdenes de servicio de un lbm-lima.

La segunda célula estuvo conformada por las estaciones de Extracción, Pre-PCR, PCR Amplificación y Liberación de Resultados. En esta célula se aseguró la presencia de un equipo de soporte técnico disponible las 24 horas. En la estación de Pre-PCR, se estandarizó el método de trabajo para reducir el tiempo de ciclo y preparación de la MasterMix al inicio de la jornada diaria. En la estación de PCR Amplificación, se incorporaron termocicladores y se contó con biólogos de apoyo. Por último, en la estación de Liberación de Resultados, se desarrolló una plantilla para subir resultados de forma automatizada y se añadió un equipo de cómputo adicional.

Además, se proporcionó capacitación a todos los colaboradores de cada célula para que se familiaricen con los nuevos procedimientos y fortalezcan sus competencias multidisciplinarias. Esto brindó mayor flexibilidad en los escenarios de carga de trabajo en ambas células, permitiendo

un flujo de trabajo más eficiente y fluido.

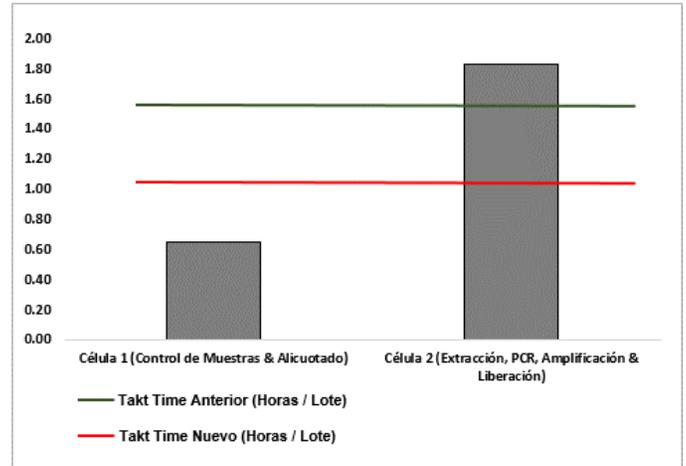


Fig. 4. OBC Mejorado

En la Fig. 3 se puede observar que el takt time ha sido ajustado a 60.09 minutos por lote, lo cual es más exigente que la estimación inicial. Esto se debe a la compleja situación de proliferación del virus durante la etapa crítica de la pandemia en el año 2020. A pesar de ello, al analizar la línea de tiempo, se puede notar que hay ahora tan solo un total de 572.3 minutos por lote que no aportan valor, mientras que 149 minutos por lote sí lo hacen.

2) *Elaboración del OBC mejorado.*

Como se muestra en la Fig. 4, después de la mejora, no se logró un flujo equilibrado de carga entre las células, ni se pudo cumplir con el takt time anterior ni con el nuevo.

TABLA II
LEAD TIME ACUMULADO DE LAS MUESTRAS DE LBM-LIMA DESPUÉS DE LA MEJORA

Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)	Muestra	Lead Time (Horas)
Muestra 1	11.43	Muestra 28	11.23	Muestra 55	11.12	Muestra 82	11.02	Muestra 109	8.95	Muestra 136	8.85	Muestra 163	8.80
Muestra 2	11.42	Muestra 29	11.23	Muestra 56	11.12	Muestra 83	11.02	Muestra 110	8.93	Muestra 137	8.85	Muestra 164	8.80
Muestra 3	11.42	Muestra 30	11.22	Muestra 57	11.12	Muestra 84	11.02	Muestra 111	8.93	Muestra 138	8.85	Muestra 165	20.32
Muestra 4	11.42	Muestra 31	11.20	Muestra 58	11.12	Muestra 85	11.00	Muestra 112	8.93	Muestra 139	8.85	Muestra 166	8.80
Muestra 5	11.42	Muestra 32	11.20	Muestra 59	11.12	Muestra 86	11.00	Muestra 113	8.93	Muestra 140	8.85	Muestra 167	8.80
Muestra 6	11.40	Muestra 33	11.20	Muestra 60	11.10	Muestra 87	11.00	Muestra 114	8.92	Muestra 141	8.85	Muestra 168	8.80
Muestra 7	11.40	Muestra 34	11.20	Muestra 61	11.10	Muestra 88	10.98	Muestra 115	8.92	Muestra 142	8.85	Muestra 169	8.80
Muestra 8	11.40	Muestra 35	11.18	Muestra 62	11.10	Muestra 89	10.98	Muestra 116	8.92	Muestra 143	8.85	Muestra 170	8.78
Muestra 9	11.40	Muestra 36	11.18	Muestra 63	11.10	Muestra 90	10.98	Muestra 117	8.92	Muestra 144	8.83	Muestra 171	8.78
Muestra 10	11.38	Muestra 37	11.18	Muestra 64	11.10	Muestra 91	10.97	Muestra 118	8.90	Muestra 145	8.83	Muestra 172	8.78
Muestra 11	11.38	Muestra 38	11.17	Muestra 65	11.10	Muestra 92	10.97	Muestra 119	8.90	Muestra 146	8.83	Muestra 173	8.78
Muestra 12	11.33	Muestra 39	11.17	Muestra 66	11.10	Muestra 93	10.97	Muestra 120	8.90	Muestra 147	8.83	Muestra 174	8.78
Muestra 13	11.32	Muestra 40	11.17	Muestra 67	11.10	Muestra 94	9.07	Muestra 121	8.88	Muestra 148	8.83	Muestra 175	8.78
Muestra 14	11.32	Muestra 41	11.15	Muestra 68	11.08	Muestra 95	9.07	Muestra 122	8.88	Muestra 149	8.83	Muestra 176	8.77
Muestra 15	11.32	Muestra 42	11.15	Muestra 69	11.08	Muestra 96	9.07	Muestra 123	8.87	Muestra 150	8.83	Muestra 177	8.77
Muestra 16	11.30	Muestra 43	11.15	Muestra 70	11.08	Muestra 97	9.07	Muestra 124	8.87	Muestra 151	20.33	Muestra 178	8.77
Muestra 17	11.30	Muestra 44	11.15	Muestra 71	11.08	Muestra 98	9.07	Muestra 125	8.87	Muestra 152	8.82	Muestra 179	8.77
Muestra 18	11.30	Muestra 45	11.15	Muestra 72	11.08	Muestra 99	9.05	Muestra 126	8.87	Muestra 153	8.82	Muestra 180	8.77
Muestra 19	11.30	Muestra 46	11.15	Muestra 73	11.08	Muestra 100	9.05	Muestra 127	8.87	Muestra 154	8.82	Muestra 181	8.77
Muestra 20	11.28	Muestra 47	11.15	Muestra 74	11.08	Muestra 101	9.05	Muestra 128	8.87	Muestra 155	8.82	Muestra 182	8.77
Muestra 21	11.28	Muestra 48	11.13	Muestra 75	11.07	Muestra 102	9.03	Muestra 129	8.87	Muestra 156	8.82	Muestra 183	8.75
Muestra 22	11.28	Muestra 49	11.13	Muestra 76	11.07	Muestra 103	8.97	Muestra 130	8.87	Muestra 157	20.33	Muestra 184	8.75
Muestra 23	11.27	Muestra 50	11.13	Muestra 77	11.07	Muestra 104	8.97	Muestra 131	8.87	Muestra 158	8.82	Muestra 185	8.75
Muestra 24	11.27	Muestra 51	11.13	Muestra 78	11.07	Muestra 105	8.95	Muestra 132	8.87	Muestra 159	8.80	Muestra 186	8.75
Muestra 25	28.32	Muestra 52	11.13	Muestra 79	11.05	Muestra 106	8.85	Muestra 133	8.87	Muestra 160	8.80		
Muestra 26	11.25	Muestra 53	11.13	Muestra 80	11.03	Muestra 107	8.95	Muestra 134	8.85	Muestra 161	8.80		
Muestra 27	11.25	Muestra 54	11.13	Muestra 81	11.03	Muestra 108	8.95	Muestra 135	8.85	Muestra 162	20.32		

3) Estimación del Lead Time después de la mejora

En la Tabla II, los resultados de los lead times acumulados de 186 órdenes de laboratorio muestreadas aleatoriamente después de la mejora, entre el 30 de julio y el 26 de agosto de 2020, son presentados. Se observó una media de 10.36 horas con una desviación estándar de 2.30 horas en este conjunto de datos.

III. RESULTADOS

A. Indicadores de Desempeño antes y después de la mejora.

En la tabla III, se consolidan los resultados obtenidos tras la implementación de la célula de manufactura. Como puede apreciarse el tiempo que no agrega valor disminuyó en 84.76%. Asimismo, el lead time promedio en horas de las órdenes de laboratorio se redujo en 86.44% y la desviación estándar de las mismas también disminuyó 91.19%.

Es relevante destacar, que todas las mejoras mencionadas se evidencian, a pesar de que el flujo de valor configurado, tal como puede apreciarse en la Fig. 4, está desbalanceado y no satisface el takt time. Esto se debe, según [21], a que los flujos continuos permiten una mayor eficiencia en la producción y reducen los costos asociados con la interrupción del proceso. Además, de acuerdo con [22], los flujos continuos, incluso si están desbalanceados, son superiores a los flujos intermitentes, ya que ofrecen una mayor flexibilidad en los procesos y permiten una mejor adaptación a los cambios en la demanda. Los flujos continuos aumentan la capacidad de respuesta a cambios en el proceso, reduciendo la posibilidad de interrupciones y mejorando la eficiencia global del mismo.

TABLA III
CONSOLIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA CREACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA CÉLULA DE MANUFACTURA

Indicador	Estado	Estado	Diferencia	Diferencia en Porcentaje
	Inicial	Mejorado		
Tiempo que no agrega valor (NVA) en minutos por lote	3754.60	572.30	-3182.30	-84.76%
Porcentaje de Tiempo que agrega valor (VA)	39.08	24.04	-15.04	-38.49%
Touch Time (TO) en porcentaje	28.10	20.66	-7.44	-26.48%
Trabajo en proceso (WIP) en lotes	35.00	5.33	-29.67	-84.77%
Lead Time Acumulado Promedio en horas de las órdenes de laboratorio	76.40	10.36	-66.04	-86.44%
Desviación Estándar del Lead Time Acumulado en horas de las órdenes de laboratorio	47.80	2.30	-45.50	-95.19%

B. Resultados mediante inferencia estadística.

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis estadístico con el fin de determinar si la variable Diferencia (es decir, el Lead Time Acumulado antes y después de la implementación de la célula de manufactura) seguía una distribución normal. Los datos fueron procesados mediante el uso del paquete IBM-SPSS-Statistics 22. Se utilizó un nivel de significancia del 5%, aplicándose el test de Kolmogorov-Smirnov para una muestra. Los resultados indicaron que existía suficiente evidencia para afirmar que la distribución de la variable aleatoria difiere de la distribución normal, ya que los valores de significancia obtenidos (pvalue = 1,1319E-58) fueron inferiores al nivel de significancia establecido (véase la tabla IV).

TABLA IV
PRUEBA DE BONDAD D AJUSTE MEDIANTE KOLMOGOROV-SMIRNOV

		Diferencia
N		186
Parámetros normales ^{a,b}	Media	6604,2688
	Desviación estándar	4684,97322
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,333
	Positivo	,324
	Negativo	-,333
Estadístico de prueba		,333
Sig. asintótica (bilateral)		,000 ^c

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

Para evaluar la hipótesis de investigación, se aplicó la prueba de Wilcoxon, una alternativa no paramétrica adecuada para muestras relacionadas. Los resultados arrojados por el SPSS y presentados en la Tabla V, mostraron una reducción significativa en los Lead Times tras la implementación de la célula de manufactura. En los 186 casos analizados, los valores posteriores fueron consistentemente menores que los previos (rango promedio = 93,50; suma de rangos = 17391,00). La ausencia total de rangos positivos y empates refuerza la conclusión de que la mejora fue generalizada.

El estadístico de prueba Z obtenido fue de -11,828, con una significancia asintótica bilateral de 0,000. Dado que el valor p es menor que 0,05, no se rechaza la hipótesis de investigación y concluimos que hay una diferencia significativa en el Lead Time acumulado antes y después de la implementación de la célula de manufactura.

TABLA V
PRUEBA DE WILCOXON DE LOS RANGOS CON SIGNO

Rangos			
		N	Suma de rangos
LeadTimeDespuesdeMejora - LeadTimeAntesdeMejora	Rangos negativos	186 ^a	17391,00
	Rangos positivos	0 ^b	,00
	Empates	0 ^c	
	Total	186	

a. LeadTimeDespuesdeMejora < LeadTimeAntesdeMejora

b. LeadTimeDespuesdeMejora > LeadTimeAntesdeMejora

c. LeadTimeDespuesdeMejora = LeadTimeAntesdeMejora

Estadísticos de prueba^a

	LeadTimeDespuesdeMejora - LeadTimeAntesdeMejora
Z	-11,828 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,000

a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

b. Se basa en rangos positivos.

III. DISCUSIÓN

Los resultados del análisis estadístico inferencial revelan diferencias significativas en el Lead Time Acumulado de las órdenes de laboratorio antes y después de la implementación

de la célula. El p-value obtenido (2,7928E-32) es inferior al nivel de significancia del 5%, lo que confirma la eficacia de la mejora en el proceso y destaca una notable reducción en el Lead Time acumulado.

La reducción en los tiempos de proceso se traduce en una mayor eficiencia operativa, aunque no todos los indicadores clave de desempeño mostraron mejoras favorables. Por ejemplo, si se regresa a la tabla 3, se observa que el tiempo que no agrega valor (NVA) se redujo en un 84.73%; pero el tiempo que agrega valor (VA) también disminuyó en un 39.49%. Esto se refleja en la disminución del Touch Time (TO) en un 26.47%, lo que indica una disminución en la cantidad de tiempo en que los recursos agregan valor.

Aunque el flujo de valor configurado se encuentra desbalanceado y no satisface completamente el takt time, el trabajo en proceso (WIP) experimentó una reducción del 84.77%, lo que indica una mejora en la gestión de inventarios y flujos de trabajo. Apoyándonos nuevamente en [22] y [21], se ratifica que las células de manufactura pueden mostrar desequilibrios en las cargas de trabajo y no alcanzar el takt time ideal en todas las estaciones, pero aun así, su eficiencia radica en la mejora del flujo de trabajo general.

En consonancia con [7], nuestro estudio también muestra una reducción sustancial en el Lead Time acumulado, lo que indica una mejora similar en el tiempo de flujo de las órdenes de laboratorio. Sin embargo, a diferencia de [8], que encontró resistencia al cambio al automatizar un laboratorio de microbiología, nuestra investigación tuvo un alto compromiso por parte de la alta dirección y los colaboradores, quienes adoptaron prontamente los nuevos procedimientos y estuvieron dispuestos a realizar actividades nuevas.

Por otro lado, [9], y [10] destacan cómo el mapeo del flujo de valor y la implementación de modelos de cuidado centrados en el paciente han sido fundamentales para mejorar la calidad y eficiencia en laboratorios y sistemas de atención médica. En nuestro estudio, aunque el flujo de valor configurado no satisfizo completamente el takt time ideal, el mapa del flujo de valor de la situación inicial fue una herramienta valiosa para transitar hacia la visión del estado futuro y levantar las células con la urgencia que el escenario pandemia exigía.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es esencial reconocer que, al igual que en investigaciones anteriores, se han encontrado áreas en las que los indicadores de desempeño no han sido favorables. Las mejoras no han sido uniformes. No se ha observado una mejora en el tiempo de valor agregado, ni el tiempo de ciclo de la célula diseñada e implementada ha estado por debajo del takt time. Este hallazgo sugiere que, aunque las metodologías lean son efectivas para reducir desperdicios y mejorar eficiencias, es posible lograr ventajas altamente significativas incluso con flujos desbalanceados.

El estudio no solo valida los beneficios esperados de la implementación de células lean en laboratorios, sino que también enriquece el cuerpo de conocimientos existente al identificar áreas de mejora continua y desafíos potenciales. Estos hallazgos subrayan la importancia de adaptar los

enfoques lean de manera flexible para optimizar los resultados en contextos específicos de atención médica y laboratorio, proporcionando así una base sólida para futuras investigaciones y mejoras prácticas en la gestión de procesos de salud.

Además, se resalta la necesidad de una evaluación constante y una adaptación dinámica de las metodologías lean para abordar las particularidades y desafíos únicos de cada entorno. De esta manera, se asegura que las mejoras en eficiencia y reducción de desperdicios se mantengan sostenibles y relevantes a largo plazo.

REFERENCIAS

- [1] A. Gutiérrez-Aguado *et al.*, "Impacto económico en la calidad de los servicios de salud en el marco de la pandemia COVID-19 en el Perú," *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, vol. 21, no. 1, pp. 248–250, Jan. 2021, doi: 10.25176/RFMH.V21I1.3244.
- [2] L. Lanza, R. Alonso, S. Narváez, and C. Augusto, "Emergencia, Gestión, Vulnerabilidad y Respuestas frente al Impacto de la Pandemia COVID-19 en el Perú," *Scielo Preprints*, vol. 1, pp. 1–16, 2020, doi: 10.1590/SCIELOPREPRINTS.94.
- [3] R. Palacios-Salvatierra *et al.*, "Plataforma laboratorial para monitorear el SARS-CoV-2 basada en la vigilancia de influenza y otros virus respiratorios en Perú," *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, vol. 39, no. 1, pp. 104–110, 2022, doi: 10.17843/RPMESP.2022.391.8380.
- [4] P. Marcos Carbajal and A. Salazar Granara, "Urgencia de descentralización de pruebas moleculares para el diagnóstico de SARS-CoV-2 en el territorio peruano," *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*, vol. 13, no. 2, pp. 219–220, 2020, doi: 10.35434/RMHNAAA.2020.132.679.
- [5] K. Patiño-Calla and A. Y. Berrocal, "La pandemia de la COVID-19 desde los laboratorios de anatomía patológica del Perú.," *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, vol. 21, no. 3, pp. 689–690, Jun. 2021, doi: 10.25176/RFMH.V21I3.3787.
- [6] Y. Bustamante Aquino, "Implementación del Lean Manufacturing para mejorar la productividad del laboratorio de biología molecular de Unilabs pathology año - 2020," Universidad Ricardo Palma, Lima, 2024. Accessed: Apr. 14, 2025. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/7831>
- [7] E. Romano, A. Falegnami, A. C. Cagliano, and C. Rafele, "Lean ICU Layout Re-Design: A Simulation-Based Approach," *Informatics 2022*, Vol. 9, *Page* 35, vol. 9, no. 2, p. 35, Apr. 2022, doi: 10.3390/INFORMATICS9020035.
- [8] G. Trigueiro *et al.*, "Conversion of a classical microbiology laboratory to a total automation laboratory enhanced by the application of lean principles," *Microbiol Spectr*, vol. 12, no. 2, Feb. 2024, doi: 10.1128/SPECTRUM.02153-23/ASSET/C760D7C2-15A9-48ED-B81A-4A63ECB1A9D5/ASSETS/IMAGES/LARGE/SPECTRUM.02153-23.F002.JPG.
- [9] M. Natakusuma, N. Hidayatullah, and H. H. Purba, "Reducing Turn around Time in Laboratory using Value Stream Mapping," *International Journal of Recent Engineering Science (IJRES)*, pp. 2349–7157.
- [10] J. Cadamuro, "Disruption vs. evolution in laboratory medicine. Current challenges and possible strategies, making laboratories and the laboratory specialist profession fit for the future," *Clin Chem Lab Med*, vol. 61, no. 4, pp. 558–566, Mar. 2023, doi: 10.1515/CCLM-2022-0620/ASSET/GRAPHIC/J_CCLM-2022-0620_FIG_003.JPG.
- [11] D. V. Sandoval and K. L. Haro-Zea, "Gestión estratégica en instituciones de salud: Revisión sistemática," *Revista Impulso*, vol. 4, no. 7, pp. 185–199, Jul. 2024, doi: 10.59659/IMPULSO.V.4I7.42.
- [12] M. Graban, *Lean hospitals: improving quality, patient safety, and employee engagement*, Third Edition. Boca Raton: Taylo & Francis Group, 2016.
- [13] M. Graban, *Lean hospitals: improving quality, patient safety, and employee engagement*, Third Edition. Boca Raton: Taylo & Francis Group, 2016.
- [14] J. J. Castro Maldonado, L. K. Gómez Macho, and E. Camargo Casallas, "La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI,"

- Tecnura*, vol. 27, no. 75, pp. 140–174, Jan. 2023, doi: 10.14483/22487638.19171.
- [15] B. Herbas Torrico and E. Rocha Gonzales, “Metodología científica para la realización de investigaciones de mercado e investigaciones sociales cuantitativas,” *Revista Perspectivas*, no. 42, pp. 123–160, 2018.
- [16] C. Ramos-Galarza, “Editorial: Diseños de investigación experimental,” *CienciAmérica*, vol. 10, no. 1, pp. 1–7, Feb. 2021, doi: 10.33210/CA.V10I1.356.
- [17] A. M. Quispe, C. A. Sedano, A. M. Quispe, and C. A. Sedano, “Serie de Redacción Científica: Estudio de Casos y Controles,” *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*, vol. 13, no. 2, pp. 198–204, 2020, doi: 10.35434/RCMHNA.AA.2020.132.674.
- [18] F. M. Bonesi-De Luca, F. B. de Vargas, C. T. Formoso, and I. R. Bulhões, “Método para implementação do trabalho padronizado como elemento adicional do planejamento e controle baseado em localização,” *Ambiente Construído*, vol. 24, p. e131705, Mar. 2024, doi: 10.1590/S1678-86212024000100734.
- [19] A. Hejazi, N. Bhuiyan, and M. Othman, “Performance measurement of a lean product development process,” *Concurr Eng Res Appl*, vol. 28, no. 3, pp. 198–209, Sep. 2020, doi: 10.1177/1063293X20958916.
- [20] B. Escudero Santiago, “Mejora de la eficiencia en el proceso revisión de estado de envases aplicando herramientas de Lean Manufacturing,” *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 26, no. 1, pp. 1–15, Jan. 2025, doi: 10.22201/II.25940732E.2025.26.1.008.
- [21] C. A. Delgado-Vargas *et al.*, “Optimization and application of a continuous flow photo-electro-Fenton system for the removal of pharmaceutical active compounds detected in irrigation water of Bogotá – Savanna (Colombia) Crops,” *J Environ Chem Eng*, vol. 11, no. 5, p. 111030, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.JECE.2023.111030.
- [22] F. Tapia-Vargas, “Aplicación de un Juego de Empresa como recurso didáctico para mejorar la enseñanza-aprendizaje del Planeamiento y Control de la Producción según el Modelo de Teoría de Restricciones,” *Paidea*, vol. 5, no. 6, pp. 24–37, 2014, doi: <https://dx.doi.org/10.31381/paideia.v5i6.895>.



Bustamante Aquino, Yngrid. Bióloga (Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Perú), Magister en Ingeniería de Industrial (Universidad Ricardo Palma – Perú). Amplia experiencia liderando proyectos de excelencia operacional en empresas del sector salud, en cargos de jefaturas y gerenciales. Email: 201412519@urp.edu.pe. Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-9340-997X>



Tapia Vargas, Flor de María Milagros. Ingeniera Industrial (Universidad de Lima - Perú); Máster en Ingeniería de la Producción (Universidad Federal de Santa Catarina - Brasil), Doctora en Educación (Universidad San Martín de Porres - Perú). Amplia experiencia y cargos directivos en empresas manufactureras y de servicios. Catedrática de Escuelas de Postgrado y Pre-Grado a nivel nacional. Docente investigadora de la Universidad Ricardo Palma. Línea de investigación en Gestión de Operaciones. Email: flor.tapia@urp.edu.pe. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8522-2504>