Vol. 2 Núm. 1 (2025)-pp:34-48
Revista Multidisciplinaria
Ciencia Kawsay

Aplicación de herramientas Lean Manufacturing (5'S, Just in Time y MRP) para la optimización del proceso productivo de bloques de balsa en una empresa forestal ecuatoriana

Application of Lean Manufacturing tools (5S, Just in Time, and MRP) to optimize the balsa wood block production process in an Ecuadorian forestry company

Xiomara Carolina Flores Sánchez
https://orcid.org/0009-0001-2196-4859
Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.
carosan6697@gmail.com

Recibido: 10/03/2025
Aceptado: 31/05/2025
Publicado: 2/06/2025

Cítese: Flores Sánchez, X. C. (2025). Aplicación de herramientas Lean Manufacturing (5'S, Just in Time y MRP) para la optimización del proceso productivo de bloques de balsa en una empresa forestal ecuatoriana. *Ciencia Kawsay, 2*(1), 34-48.

Resumen: El presente artículo analiza la aplicación de Lean Manufacturing, mediante las herramientas 5'S, Just in Time (JIT) y planificación de requerimientos de materiales (MRP), en el proceso de producción de bloques de balsa de Plantabal S.A., en Quevedo, Ecuador. El objetivo fue determinar su efecto sobre la eficiencia operativa y la rentabilidad económica del taller KTB. Se empleó un diseño no experimental descriptivo, con métodos cualitativo, inductivo y deductivo, apoyados en análisis documental, entrevistas y observación directa. Los resultados evidenciaron que el cumplimiento de las 5'S aumentó de 62 a 90 puntos sobre 100, mientras que el JIT y el MRP elevaron el rendimiento operativo de 80,0 % a 82,5 % y redujeron el desperdicio de materia prima de 20,0 % a 17,5 %. Asimismo, la dotación de personal disminuyó de 70 a 63 colaboradores sin afectar la capacidad productiva. El análisis costo-beneficio determinó un VAN de USD 514.182, una TIR de 23 % y una relación B/C de 1,46 con Lean Manufacturing, frente a USD 114.270, 17 % y 1,34 sin intervención, reduciendo además el periodo de recuperación en aproximadamente once meses. Se concluye que la integración de herramientas Lean es técnica y financieramente viable para optimizar procesos productivos madereros especializados.

Palabras clave: manufactura esbelta; eficiencia operativa industrial; gestión de inventarios; rentabilidad de procesos; industria forestal.

Abstract: *This article analyzes the application of Lean Manufacturing—specifically the 5S, Just-in-Time (JIT), and Material Requirements Planning (MRP) tools—within the balsa block production process at Plantabal S.A. in Quevedo, Ecuador. The objective was to determine the impact of these tools on the operational efficiency and economic profitability of the KTB workshop. A descriptive, non-experimental design was employed, utilizing qualitative, inductive, and deductive methods supported by document analysis, interviews, and direct observation. Results showed that 5S compliance scores rose from 62 to 90 out of 100, while JIT and MRP implementation increased operational performance from 80.0% to 82.5% and reduced raw material waste from 20.0% to 17.5%. Additionally, the workforce was reduced from 70 to 63 employees without compromising production capacity. A cost-benefit analysis yielded an NPV of USD 514,182, an IRR of 23%, and a B/C ratio of 1.46 with Lean Manufacturing, compared to USD 114,270, 17%, and 1.34 without intervention; the payback period was also reduced by approximately eleven months. The study concludes that integrating Lean tools is both technically and financially viable for optimizing specialized wood production processes.*

Keywords: *lean manufacturing; industrial operational efficiency; inventory management; process profitability; forest industry.*

INTRODUCCIÓN

La optimización de los procesos productivos constituye un factor determinante para la competitividad empresarial en el actual entorno de mercado globalizado. En este sentido, el Lean Manufacturing se consolida como una filosofía de gestión orientada a la eliminación sistemática de desperdicios y al incremento del valor entregado al cliente (Vargas Hernández *et al.,* 2022). Esta metodología, originada en el sistema de producción Toyota, integra un conjunto de herramientas entre ellas las 5'S, el Just in Time (JIT) y la planificación de requerimientos de materiales (MRP) que permiten estandarizar procesos, reducir tiempos de ciclo y mejorar la utilización de recursos. Su articulación con enfoques de administración de operaciones e Industria 4.0 ha ampliado su alcance hacia la mejora continua de organizaciones de diversos sectores productivos (Ramírez Pérez *et al.,* 2021). Por lo tanto, su aplicación se ha extendido más allá de la manufactura convencional hacia procesos artesanales y agroindustriales, donde persisten oportunidades significativas de optimización.

La madera de balsa (*Ochroma pyramidale*) constituye un recurso forestal de alto valor estratégico, apreciado por su ligereza y demandado por sectores como el aeronáutico, la construcción y la fabricación de componentes para energías renovables. Ecuador se posiciona como el principal proveedor mundial de esta especie, al contribuir con el 95 % de la producción global (Illanes *et al.,* 2022). De igual modo, el ciclo productivo de la balsa, que varía entre cuatro y seis años según la calidad del suelo, representa una oportunidad de inversión de alta rentabilidad para el sector forestal ecuatoriano, cuya cadena de valor depende de un manejo silvícola adecuado desde la fase de vivero hasta la industrialización (Lmaicela Tillaguano, 2022). No obstante, la exactitud y la calidad exigidas en la fabricación de bloques de balsa requieren procesos de producción que aseguren eficiencia sin comprometer los estándares técnicos del material. En este contexto, la incorporación de prácticas de mejora continua se plantea como una vía pertinente para conciliar productividad, calidad y sostenibilidad ambiental.

Plantabal S.A., empresa perteneciente al grupo 3A Composites, se ha consolidado como un actor clave en la cadena de suministro mundial de madera de balsa, con certificaciones ISO 9001:2015 y FSC® (Forest Stewardship Council) que respaldan su gestión forestal e industrial. Sin embargo, la creciente demanda derivada de su aplicación en industrias aeronáutica y de energías renovables ha evidenciado ineficiencias operativas en el taller de producción KTB, entre ellas altos niveles de desperdicio de materia prima, tiempos de espera prolongados y un uso subóptimo de los recursos humanos y de maquinaria. De no atenderse estas ineficiencias, la empresa podría enfrentar un incremento sostenido de sus costos operativos y una pérdida progresiva de competitividad frente a proveedores más ágiles y eficientes. En consecuencia, se formuló la interrogante de cómo aplicar el sistema Lean Manufacturing en el proceso de producción de bloques de balsa para optimizar la eficiencia y la productividad de la empresa.

Diversos estudios previos han documentado los beneficios de la implementación de herramientas Lean en distintos sectores productivos. Coello (2022) evidenció mejoras sustanciales en el proceso operativo de almacenamiento de una empresa ecuatoriana

mediante la metodología 5S, mientras que Tigre Ortega y Regalado Narváez (2021) reportaron incrementos en la capacidad productiva de calderas generadoras de vapor a través de herramientas de manufactura esbelta. De manera similar, Álvarez Velezmoro y Paucar Poma (2024) documentaron mejoras de productividad en una microempresa metalmecánica peruana tras la implementación de un programa de mejora continua, y Mejía Corrales y Alberto (2022) demostraron la efectividad del Just in Time para reducir tiempos de servicio en el sector papelero. Asimismo, Usiña Lema (2023) integró principios Lean & Green en el faenamiento de una planta frigorífica municipal, evidenciando que la reducción de desperdicios puede articularse con objetivos de sostenibilidad ambiental. A pesar de este cuerpo de evidencia, la literatura revisada no registra estudios específicos sobre la aplicación conjunta de 5S, JIT y MRP en el procesamiento industrial de madera de balsa, lo cual constituye un vacío de conocimiento que la presente investigación busca atender.

A partir de lo expuesto, el presente estudio tuvo como objetivo aplicar el sistema Lean Manufacturing, mediante las herramientas 5'S, Just in Time y planificación de requerimientos de materiales, en el proceso de producción de bloques de balsa de la empresa Plantabal S.A. del cantón Quevedo, con la finalidad de determinar su efecto sobre la eficiencia operativa y la rentabilidad económica del proceso. Para tal efecto, se diagnosticó el estado inicial del proceso productivo, se implementaron las herramientas Lean seleccionadas y se evaluó su impacto mediante indicadores operativos y financieros. Los hallazgos derivados de este ejercicio investigativo ofrecen un referente técnico para que otras empresas del sector forestal maderero optimicen sus operaciones mediante metodologías avanzadas de gestión de la producción.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque predominantemente cualitativo, con métodos inductivo y deductivo complementarios, y un diseño no experimental de tipo descriptivo. Este diseño permitió recopilar datos históricos y actuales de la operación productiva, tanto de maquinaria como de personal, sin manipular deliberadamente las variables de estudio (Fontalvo *et al.,* 2021). El método cualitativo se apoyó en la construcción de un mapa de flujo de valor (VSM, por sus siglas en inglés) para caracterizar la situación inicial de la empresa, mientras que el método inductivo permitió examinar en detalle el proceso de producción de bloques de balsa encolados a partir de los datos recabados en campo. Complementariamente, el método deductivo facilitó la identificación de información general y específica sobre los procesos de fabricación, a partir del marco conceptual del Lean Manufacturing. De este modo, la triangulación metodológica garantizó la coherencia entre el objetivo planteado, los procedimientos aplicados y los resultados obtenidos.

El estudio se realizó en las instalaciones del complejo industrial de Plantabal S.A., ubicado en la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador, en las coordenadas geográficas 1°20′30″ de latitud sur y 79°28′30″ de longitud occidental. Específicamente, la investigación se circunscribió al taller de producción KTB, área encargada de transformar la madera de balsa seca en bloques mediante los procesos de seccionado,

moldurado, aserrado, calificación, plantillado, armado y codificación (véase Figura 1). Esta unidad de análisis fue seleccionada por concentrar el mayor número de actividades productivas de la planta y, en consecuencia, el mayor potencial de mejora mediante herramientas Lean. La población de estudio estuvo constituida por los 70 colaboradores adscritos al taller KTB antes de la intervención, distribuidos en distintos puestos operativos y de calificación de madera.

La recolección de información combinó fuentes primarias y secundarias. Como fuentes primarias se emplearon el análisis documental de registros históricos de producción, entrevistas dirigidas al personal encargado de cada área y observación directa mediante visitas técnicas regulares, registradas fotográficamente. Como fuentes secundarias se consultaron artículos científicos, libros especializados, tesis afines y publicaciones institucionales sobre Lean Manufacturing y la industria de la balsa. Para el diagnóstico del proceso se utilizaron el diagrama de flujo, el cursograma analítico y el diagrama de causa-efecto de Ishikawa, mientras que la implementación de las 5'S se evaluó mediante una lista de verificación estructurada en cinco etapas (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke), calificada sobre un puntaje máximo de 100 puntos. De manera complementaria, la planificación de la producción se apoyó en diagramas de precedencia, el cálculo del modelo de cantidad económica de pedido (EOQ) y la programación MRP.

La evaluación de la rentabilidad del proyecto se realizó mediante un análisis costo-beneficio que comparó los escenarios de producción con y sin la implementación de herramientas Lean, a través de los indicadores de valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio-costo (B/C) y periodo de recuperación de la inversión (PRI), calculados sobre flujos de efectivo proyectados a cinco años (2024-2028). El procesamiento, la tabulación y la visualización de los datos recolectados se efectuaron con el programa Microsoft Excel, lo que permitió generar las tablas y los gráficos comparativos presentados en la sección de resultados. En conjunto, este diseño metodológico garantizó la alineación entre el objetivo del estudio, los procedimientos de recolección de datos y las técnicas de análisis utilizadas, condición necesaria para la validez interna de los hallazgos reportados.

RESULTADOS

Diagnóstico del proceso productivo del taller KTB

El proceso productivo del taller KTB inicia con la recepción de listones de madera seca provenientes del área de madera verde, los cuales son procesados secuencialmente por el seccionador, las moldureras, las sierras de mesa y los calificadores, quienes determinan si el material cumple los estándares de humedad y medida establecidos (véase Figura 1). El material que satisface dichos estándares avanza hacia los plantilleros, los armadores de bloques y, finalmente, los codificadores, mientras que el material con defectos permitidos se reprocesa en el cepillo y el que presenta defectos no permitidos se deriva a la péndula. Este flujo secuencial evidencia un proceso lineal con múltiples puntos de inspección de calidad, lo cual, si bien garantiza la conformidad del producto, también

representa una fuente potencial de tiempos de espera cuando las etapas no se encuentran balanceadas. La caracterización de este flujo constituyó la base sobre la cual se diseñaron las intervenciones Lean descritas en los apartados siguientes.

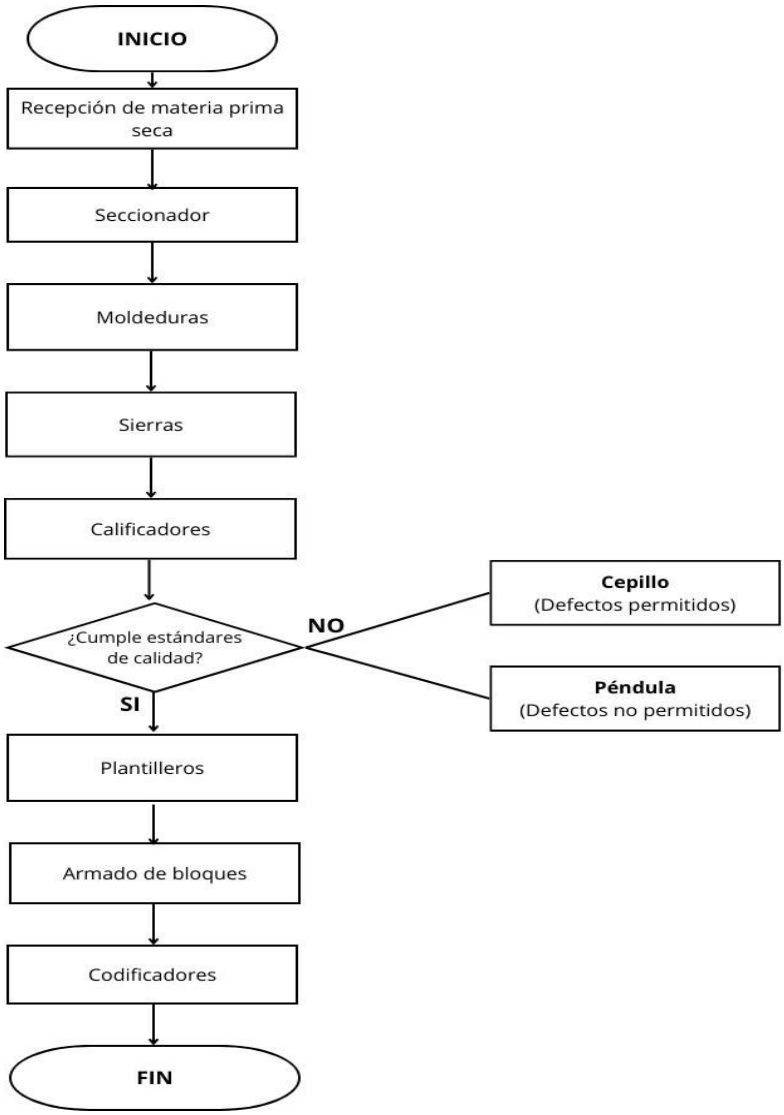


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de producción de bloques de balsa en el taller KTB

El levantamiento del cursograma analítico del proceso permitió cuantificar la estructura de actividades del taller antes de la intervención, identificándose 13 operaciones, 2 inspecciones, 10 transportes y 1 punto de almacenamiento, con una distancia total recorrida de 18 metros y la participación directa de 70 colaboradores (véase Tabla 1). Esta caracterización reveló una proporción relativamente alta de actividades de transporte respecto de las operaciones que agregan valor, patrón consistente con los desperdicios de movimiento y manipulación excesiva descritos en la literatura sobre manufactura esbelta. Por lo tanto, el diagnóstico inicial permitió focalizar las intervenciones Lean en la reducción de transportes innecesarios y en el reordenamiento del espacio de trabajo, aspectos que fueron abordados directamente mediante la metodología 5'S.

Tabla 1. Síntesis del cursograma analítico del taller KTB antes de la intervención Lean

Actividad	Cantidad	Unidad
Operaciones	13	actividades
Inspecciones	2	actividades
Transportes	10	actividades
Almacenamientos	1	actividad
Distancia recorrida	18	metros
Mano de obra directa	70	colaboradores

Nota. Elaborado a partir del cursograma analítico de Plantabal S.A.

Evaluación de la implementación del sistema 5'S

La evaluación inicial del sistema 5'S, aplicada mediante lista de verificación en las cinco etapas del método, arrojó un cumplimiento global de 62 puntos sobre 100. Como se observa en la Tabla 2, la etapa de Disciplina (Shitsuke) presentó el mayor nivel relativo de cumplimiento, con 25,8 % del puntaje total, en tanto que la etapa de Limpieza (Seiso) registró el menor desempeño, con 14,5 %. Este contraste sugiere que, si bien el personal mostraba adherencia a las normas ya establecidas, persistían debilidades en las rutinas cotidianas de orden y aseo del área de trabajo, condición que incide directamente en la seguridad y en la eficiencia operativa.

Tras la ejecución del plan de acción 5'S que incluyó capacitación del personal, señalización de áreas, estandarización de procedimientos y establecimiento de rutinas de auditoría interna, la evaluación posterior evidenció un incremento del cumplimiento global a 90 puntos sobre 100, lo que representa una mejora de 28 puntos respecto de la línea base (véase Tabla 2 y Figura 2). Las etapas de Clasificar y Limpiar mostraron los mayores incrementos relativos, alcanzando 20,0 % cada una, mientras que Disciplina, aunque continuó siendo la etapa de mayor puntaje relativo, se estabilizó en 22,22 % al distribuirse el desempeño de manera más homogénea entre las cinco etapas. En consecuencia, estos resultados evidencian una implementación efectiva de la metodología 5'S, aun cuando persisten oportunidades de mejora en las etapas de Ordenar y Estandarizar, que registraron los porcentajes más bajos en la evaluación final.

Tabla 2. Comparación del cumplimiento del sistema 5'S antes y después de la intervención

Etapa 5'S	Puntaje antes	% antes	Puntaje después	% después
Clasificar (Seiri)	13	20,90	18	20,00
Ordenar (Seiton)	12	19,40	17	18,89
Limpiar (Seiso)	9	14,50	18	20,00
Estandarizar (Seiketsu)	12	19,40	17	18,89
Disciplina (Shitsuke)	16	25,80	20	22,22
Cumplimiento total	62	100,00	90	100,00

Nota. Elaborado a partir de la lista de verificación 5'S aplicada en el taller KTB de Plantabal S.A.

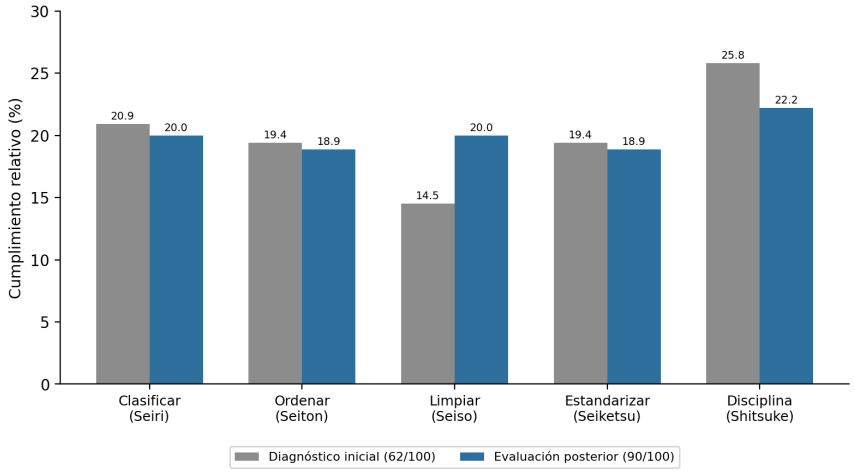


Figura 2. Cumplimiento relativo por etapa del sistema 5'S antes y después de la intervención

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de la Tabla 2

Efectos de la implementación de Just in Time y MRP sobre la capacidad de producción

La incorporación del enfoque Just inTime, apoyado en la planificación de requerimientos de materiales (MRP) y en el rediseño de los diagramas de precedencia de las actividades del taller KTB, permitió reorganizar la secuencia de tareas y optimizar la asignación de personal por puesto de trabajo (véase Figura 3). Como resultado directo de esta reorganización, la dotación de personal del taller se redujo de 70 a 63 colaboradores, sin que ello afectara negativamente los volúmenes de producción, lo que representa una optimización de aproximadamente el 10 % de la fuerza laboral asignada al área.

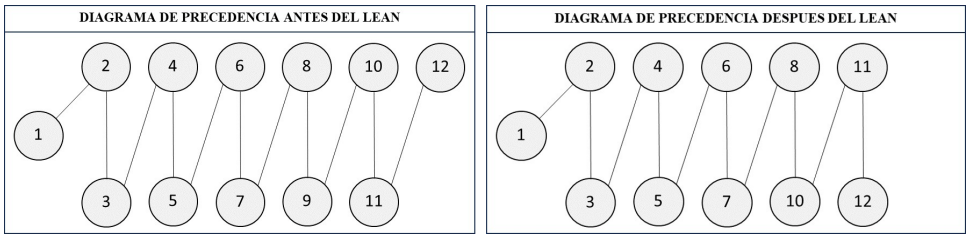


Figura 3. Diagramas de precedencia de las actividades del taller KTB antes y después de la implementación Lean

Nota. Elaborado a partir de registros de Plantabal S.A.

Como se observa en la Tabla 3, la producción semanal de bloques se incrementó de 2.340 a 2.383 unidades, equivalentes a 450.000 y 458.333 pies tablares de madera de balsa (BFT) respectivamente, mientras que el número de contenedores despachados por semana aumentó de 18 a 24. De manera complementaria, el rendimiento operativo del taller se elevó de 80,0 % a 82,5 %, en tanto que el desperdicio de materia prima se redujo de 20,0 % a 17,5 %. Estos resultados evidencian que la aplicación conjunta del JIT y el MRP no solo optimizó el uso de la mano de obra, sino que también mejoró la eficiencia en el aprovechamiento de la madera de balsa, insumo de alto valor económico y ambiental para la empresa. Por consiguiente, la evidencia empírica respalda la pertinencia de estas

herramientas para la gestión de procesos productivos con restricciones de materia prima natural.

Tabla 3. Capacidad de producción del taller KTB antes y después de la implementación de JIT y MRP

Indicador	Antes (semanal)	Antes (anual)	Después (semanal)	Después (anual)
Bloques producidos (unid.)	2.340	112.320	2.383	114.384
Contenedores despachados (unid.)	18	864	24	1.152
Volumen en BFT	450.000	21.600.000	458.333	22.000.000
Volumen de espacio (m^3)	1.062	50.976	1.082	51.936
Rendimiento operativo (%)	80,0	—	82,5	—
Desperdicio de materia prima (%)	20,0	—	17,5	—
Dotación de personal (colaboradores)	70	—	63	—

Nota. Elaborado a partir de los registros de capacidad de producción y del headcount del taller KTB de Plantabal S.A.

Evaluación de la rentabilidad mediante análisis costo-beneficio

Con el propósito de determinar la viabilidad económica de las mejoras implementadas, se construyeron y compararon los flujos de efectivo proyectados a cinco años (2024-2028) para los escenarios de producción sin y con la aplicación del sistema Lean Manufacturing. Como se observa en la Tabla 4, el escenario sin Lean generó un valor actual neto (VAN) de USD 114.270, una tasa interna de retorno (TIR) de 17 % y una relación beneficio-costo (B/C) de 1,34, con un periodo de recuperación de la inversión (PRI) de 4 años, 6 meses y 10 días. En contraste, el escenario con Lean Manufacturing reportó un VAN de USD 514.182, una TIR de 23 % y una relación B/C de 1,46, con un PRI de 3 años, 7 meses y 11 días (véase también Figura 4).

Tabla 4. Indicadores financieros del proceso productivo con y sin la implementación de Lean Manufacturing

Indicador financiero	Sin Lean Manufacturing	Con Lean Manufacturing
VAN (USD)	114.270	514.182
TIR (%)	17	23
Relación B/C	1,34	1,46
PRI	4 años, 6 meses, 10 días	3 años, 7 meses, 11 días

Nota. Elaborado a partir de los flujos de efectivo proyectados del taller KTB de Plantabal S.A.

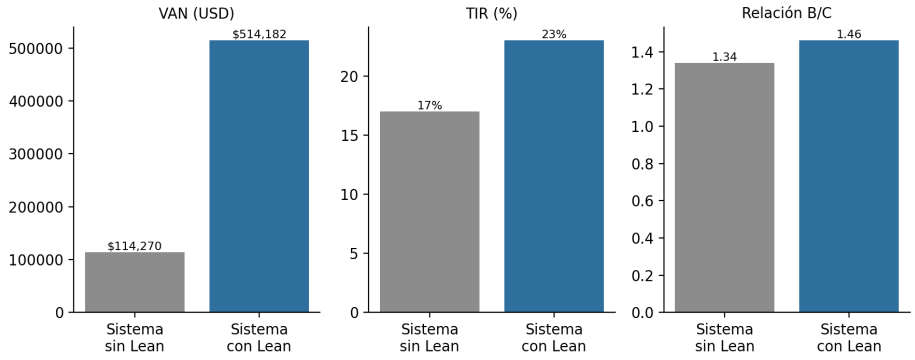


Figura 4. Comparación de los indicadores financieros VAN, TIR y B/C entre los escenarios sin y con Lean Manufacturing

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de la Tabla 4

Estos resultados evidencian que, aunque ambos escenarios resultan financieramente viables, la implementación de herramientas Lean incrementa el VAN en aproximadamente 350 % y reduce el periodo de recuperación de la inversión en casi once meses respecto del escenario sin intervención. En consecuencia, el análisis costo-beneficio confirma que las mejoras aplicadas no solo optimizan indicadores operativos, sino que también generan un retorno financiero superior y más acelerado, lo que fortalece el caso de negocio para la adopción sostenida de metodologías Lean en el sector maderero. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Tigre Ortega y Regalado Narváez (2021), quienes documentaron mejoras económicas comparables tras la aplicación de herramientas de manufactura esbelta en procesos industriales de transformación de materiales.

DISCUSIÓN

Los hallazgos obtenidos evidencian que la integración articulada de las 5'S, el JIT y el MRP produce efectos sinérgicos sobre la eficiencia operativa del taller KTB, en línea con lo señalado por Vargas Hernández *et al.* (2022), quienes sostienen que el Lean Manufacturing constituye una herramienta de mejora integral del sistema de producción más que una intervención aislada sobre una única variable. En particular, la mejora de 28 puntos en el cumplimiento del sistema 5'S se alinea con los resultados reportados por Coello (2022), quien documentó incrementos comparables en la organización del espacio de trabajo tras aplicar la misma metodología en un proceso de almacenamiento. Sin embargo, a diferencia de dicho estudio, la presente investigación evidenció que la etapa de Limpieza continúa siendo, incluso después de la intervención, uno de los componentes con menor puntaje relativo, lo que sugiere la necesidad de mecanismos de seguimiento más sistemáticos para sostener las mejoras en el tiempo.

El incremento de 28 puntos en el cumplimiento del sistema 5'S registrado en el taller KTB encuentra respaldo adicional en la evidencia reportada por Shahriar *et al.* (2022), quienes documentaron que la aplicación sistemática de esta metodología en una planta de fabricación de bolsas plásticas de Bangladesh redujo el tiempo operativo de búsqueda y preparación de herramientas hasta en un 18 % en el área de impresión, mediante la eliminación de desplazamientos y esperas innecesarias. Este hallazgo es consistente con

los resultados del presente estudio, en los cuales las etapas de Clasificar y Limpiar mostraron los mayores incrementos relativos tras la intervención, lo que sugiere que el ordenamiento físico del espacio de trabajo constituye, en distintos contextos industriales, el mecanismo más directo mediante el cual las 5'S reducen los desperdicios de movimiento y tiempo.

Los efectos positivos de la implementación conjunta del Just in Time y el MRP sobre el rendimiento operativo y el desperdicio de materia prima del taller KTB también son consistentes con los planteamientos de Milewski (2022), quien, mediante un modelo de simulación aplicado a distintas distancias de transporte, determinó que la rentabilidad del sistema JIT depende estrechamente del valor de los productos y de la escala de producción de la empresa que lo adopta. En el caso de Plantabal S.A., el alto valor comercial de la madera de balsa y la escala de producción semanal superior a 2.300 bloques constituyen condiciones favorables para la obtención de los beneficios económicos documentados en la sección de resultados, entre ellos el incremento del VAN de USD 114.270 a USD 514.182. No obstante, dicho autor advierte que el JIT también puede generar costos externos asociados al incremento de la frecuencia de transporte, aspecto que no fue cuantificado en la presente investigación y que debería incorporarse en evaluaciones económicas posteriores. Por consiguiente, si bien los resultados obtenidos confirman la viabilidad financiera del enfoque Just in Time en el contexto estudiado, su generalización a otras plantas de la cadena de valor de la balsa debe considerar las condiciones logísticas particulares de cada unidad productiva.

Respecto de la reducción del desperdicio de materia prima de 20,0 % a 17,5 %, los resultados son consistentes con los principios del enfoque Lean & Green descritos por Usiña Lema (2023), en el sentido de que la disminución de mermas no solo optimiza costos operativos, sino que también contribuye a objetivos de sostenibilidad ambiental relevantes para una empresa certificada bajo el esquema FSC®. De manera similar, la optimización de la dotación de personal de 70 a 63 colaboradores, lograda sin afectar los volúmenes de producción, corrobora los planteamientos de Malpartida Gutiérrez y Tarmeño Bernuy (2020) sobre la capacidad del Lean Manufacturing para incrementar la productividad laboral mediante la reasignación eficiente de tareas, antes que mediante la reducción indiscriminada de personal. Esta coincidencia entre estudios de distintos sectores refuerza la validez externa de los hallazgos obtenidos en el presente trabajo. Por otra parte, Quesada y Buehlmann (2021) señalan que el exceso de inventario es un problema frecuente en la industria maderera y que la manufactura esbelta permite reducir desperdicios y costos de almacenamiento. Esta perspectiva coincide con los resultados del taller KTB, donde la implementación del MRP redujo el desperdicio de materia prima del 20,0 % al 17,5 % y aumentó el espacio aprovechado de 1.062 a 1.082 m³ semanales, evidenciando una gestión más eficiente del inventario de madera de balsa.

En cuanto a la dimensión financiera, el incremento del VAN de USD 114.270 a USD 514.182 y de la TIR de 17 % a 23 % confirma los planteamientos de Ramírez Pérez *et al.* (2021), quienes señalan que la convergencia entre Lean Manufacturing y herramientas de administración de operaciones modernas potencia la rentabilidad de los procesos productivos más allá de sus efectos meramente operativos. Cabe destacar que la reducción

del periodo de recuperación de la inversión en casi once meses reviste especial relevancia para empresas forestales, cuyo ciclo productivo de la materia prima de cuatro a seis años en el caso de la balsa exige horizontes de retorno financiero relativamente cortos en sus procesos de transformación industrial. No obstante, conviene señalar que los indicadores financieros reportados se sustentan en proyecciones a cinco años, por lo que su validez está condicionada a la estabilidad de las variables macroeconómicas y de mercado consideradas en su cálculo.

Finalmente, una limitación relevante del presente estudio radica en que las intervenciones Lean se circunscribieron a una sola área productiva el taller KTB y a un periodo de evaluación relativamente acotado, lo que restringe la generalización de los hallazgos a otras unidades de la cadena de valor de Plantabal S.A. o a empresas con procesos productivos de distinta naturaleza. Asimismo, la ausencia de un grupo de comparación externo impide atribuir de manera inequívoca la totalidad de las mejoras observadas exclusivamente a la intervención Lean, sin descartar la influencia de otros factores organizacionales concurrentes. En futuras investigaciones resultaría pertinente ampliar el horizonte temporal de seguimiento y extender el análisis a otras áreas del proceso productivo, tal como sugieren Álvarez Velezmoro y Paucar Poma (2024) respecto de la necesidad de sostener en el tiempo las mediciones de productividad tras la implementación de programas de mejora continua.

CONCLUSIONES

La aplicación del sistema Lean Manufacturing, mediante las herramientas 5’S, Just in Time y MRP, en el proceso de producción de bloques de balsa de Plantabal S.A. permitió alcanzar el objetivo planteado, al evidenciarse mejoras simultáneas en los indicadores operativos y financieros analizados. El diagnóstico inicial del taller KTB, realizado mediante el diagrama de flujo y el cursograma analítico, permitió identificar con precisión los puntos críticos del proceso, en particular la elevada proporción de transportes respecto de las operaciones que agregan valor, lo que orientó de manera efectiva el diseño de las intervenciones posteriores.

La implementación del sistema 5’S elevó el cumplimiento global de 62 a 90 puntos sobre 100, con avances más marcados en las etapas de Clasificar y Limpiar, aunque persisten oportunidades de mejora en Ordenar y Estandarizar. Por su parte, la incorporación conjunta del Just in Time y el MRP incrementó el rendimiento operativo de 80,0 % a 82,5 %, redujo el desperdicio de materia prima de 20,0 % a 17,5 % y permitió optimizar la dotación de personal del taller de 70 a 63 colaboradores sin comprometer la capacidad productiva. Estos resultados confirman que las herramientas Lean seleccionadas son técnicamente pertinentes para procesos de transformación de madera de balsa, caracterizados por la exigencia de altos estándares de calidad y por la variabilidad natural de la materia prima.

El análisis costo-beneficio evidenció que, aunque el proceso productivo resulta rentable tanto con como sin la implementación de herramientas Lean, el escenario con Lean Manufacturing genera un desempeño financiero sustancialmente superior, reflejado

en un VAN de USD 514.182, una TIR de 23 % y una relación B/C de 1,46, frente a USD 114.270, 17 % y 1,34 del escenario sin intervención, con un periodo de recuperación de la inversión que se acorta en casi once meses. En consecuencia, se concluye que la integración de herramientas Lean constituye una estrategia técnica y financieramente viable para optimizar procesos productivos madereros de alta especialización, cuyos resultados ofrecen un modelo replicable para que otras empresas del sector forestal mejoren sus operaciones mediante metodologías avanzadas de gestión de la producción. Se recomienda que futuras investigaciones extiendan el horizonte de evaluación y amplíen el análisis a otras áreas de la cadena de valor, con el fin de consolidar la sostenibilidad de las mejoras identificadas en el presente estudio.

REFERENCIAS

Álvarez Velezmoro, M. A., y Paucar Poma, P. (2024). *Desarrollo e implementación de la metodología de mejora continua en una mype metalmecánica para mejorar la productividad.* [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.

Coello, R. S. (2022). *Propuesta de mejora bajo la metodología 5S en el proceso operativo de almacenamiento*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22732/1/UPS-GT003778.pdf

Fontalvo Herrera, T., Delahoz-Dominguez, E., y Morelos Gómez, J. (2021). Diseño de un sistema integrado de gestión de la calidad para programas académicos de educación superior en Colombia. *Formación universitaria, 14*(1), 45-52. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062021000100045

Illanes, J., Kawarin, T., Samaniego, C., y Sierra, R. (2022). Análisis del sistema de explotación de la balsa y sus impactos socioeconómicos y ambientales en territorios indígenas de Amazonía. WWF-Ecuador. https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/analisis_explotacion_balsa.pdf

Lmaicela Tillaguano, P. (2022). *Evaluación de tres sustratos para la producción de plantas de balsa (Ochroma pyramidale) en vivero* [Tesis de grado, Escuela Superior Técnica de Chimborazo]. https://dspace.espoch.edu.ec/bitstreams/e742f24c-06a3-4389-83df-9cb155c1f079/download

Malpartida Gutiérrez, J. N., y Tarmeño Bernuy, L. E. (2020). Implementación de las herramientas del Lean Manufacturing y sus resultados en diferentes empresas. Alpha Centauri, 1(1), 51–59. https://journalalphacentauri.com/index.php/revista/article/view/12

Mejía Corrales, R., y Alberto, L. B. (2022). *Análisis del proceso de operaciones aplicando la metodología Just in Time para mejorar el tiempo de servicio de mantenimiento en una empresa del sector papelero para el periodo de enero 2021 a julio 2022* [Tesis de grado, Universidad Estatal de Milagro].

https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/6822/1/MEJ%C3%8DA%20CORRALES%20RAUL%20TESIS-signed.pdf

Milewski, D. (2022). Managerial and economical aspects of the Just-In-Time system "Lean management in the time of pandemic". *Sustainability, 14*(3), 1204. https://doi.org/10.3390/su14031204

Quesada, H., y Buehlmann, U. (2021). Lean inventory management in the wood products industry: Examples and applications (Publication 420-148). Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech. https://www.pubs.ext.vt.edu/420/420-148/420-148.html

Ramírez Pérez, J., López Torres, V., Hernández Castillo, S., y Morejón Valdés, M. (2021). Lean Six Sigma e Industria 4.0, una revisión desde la administración de operaciones para la mejora continua de las organizaciones. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria, 5*(4), 151–158. https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v5.n4.2021.584

Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Islam, M. A., y Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. *Cleaner Engineering and Technology*, 8, 100488. https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100488

Tigre Ortega, F. G., y Regalado Narváez, A. F. (2021). *Mejoramiento de la capacidad productiva aplicando herramientas de manufactura esbelta en la construcción de calderas generadoras de vapor* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato].

Usiña Lema, E. A. (2023). *Modelo Lean & Green para la mejora del desempeño operacional y ambiental en el proceso de faenamiento del Camal Frigorífico Municipal de Ambato (CFMA)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato].

Vargas Hernández, J., Muratalla Bautista, G., y Jiménez Castillo, M. (2022). Lean Manufacturing ¿una herramienta de mejora de un sistema de producción? Ingeniería Industrial. *Actualidad y nuevas tendencias,* (17), 153-174. https://www.redalyc.org/pdf/2150/215049679011.pdf

Álava-Rosado, M., Molina-Loor, E., y Recalde-Aguilar, L. (2023). Manejo adecuado del Informe COSO para el control interno de una organización. *593 Digital Publisher CEIT, 8*(2), 161-171. https://doi.org/10.33386/593dp.2023.2.1680

Berrocal González, A., Domínguez Ortíz, L., Mariné Osorio, F., y Ruiz Fuentes, L. (2022). El desempeño financiero de la empresa y la composición del consejo de administración. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas, 17*(2), e609. https://doi.org/10.21919/remef.v17i2.609

Castro Castro, R. M., Escudero Vílchez, F. E., y Salazar Llerena, S. L. (2023). Desempeño laboral y comunicación interna en la PNP. *Ciencia Latina Revista*

Científica Multidisciplinar, 7(1), 908–927. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4446

Cumbicos Castillo, H. A., Señalin Morales, L. O., y Tapia Espinoza, N. J. (2023). La importancia del control interno contable en la gestión efectiva de las empresas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(4), 1635–1647. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.6981

Catagua Briones, M. L., Pinargote Macías, M. F., y Mendoza Vinces, M. E. (2023). Control interno y modelo COSO en la gestión administrativa y financiera empresarial. *PODIUM,* (44), 151-166. https://doi.org/10.31095/podium.2023.44.10

Correa-Mejía, J., y Lopera-Castaño, L. (2021). El estado de flujos de efectivo como herramienta estratégica en la gestión empresarial. *Cuadernos de Contabilidad, 19*(31), 31-45. https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2021.3109

Díaz Córdova, P. E., Moreno Tapia, L. M., Olvera Anchundia, A. G., y Osorio Muñoz, K. L. (2021). El control interno en las PYMES: Caso Empresa Noble L.G.A. *Visionario Digital, 5*(2), 89-105. https://doi.org/10.33262/visionariodigital.v5i2.1641

Flores Tapia, C. E., y Flores Cevallos, K. L. (2023). Optimización de inventarios aplicando Investigación de Operaciones. *RECAI Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, *12*(34), 1–15. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=637974848003

González del Foyo, M. E., Carbonell Marcé, A. C., Pérez Fuentes, B., y Reyes Vidal, I. (2020). El análisis y planeación de los flujos de efectivo. Caso empresa de bebidas y refrescos de Santiago de Cuba (EMBER). *Ciencia y Educación, 1*(7). https://doi.org/10.5281/zenodo.8266143

Mendoza-Mieles, J. J., Macías Macías, G. M., y Parrales Poveda, M. L. (2021). Desarrollo empresarial de las mipymes ecuatorianas: su evolución 2015-2020. *Revista Publicando, 8*(31), 320-337. https://doi.org/10.51528/rp.vol8.id2253

Naranjo-Armijo, F. G., Carrión Hurtado, L. H., y Bosmediano Andrade, F. G. (2022). Gestión administrativa en las pymes del sector comercial en la ciudad de Santo Domingo en Ecuador. *Universidad y Sociedad, 14*(3), 504-513. https://www.researchgate.net/publication/373395430_Gestion_administrativa_en_las_pymes_del_sector_comercial_en_la_ciudad_de_Santo_Domingo_en_Ecuador/fulltext/64e99bb10453074fbdb42c90/Gestion-administrativa-en-las-pymes-del-sector-comercial-en-la-ciudad-de-Santo-Domingo-en-Ecuador.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19

Pérez-Sisa, F. G. (2020). Asociatividad empresarial: estrategia para la competitividad de las PYMES en el Ecuador. *Revista Eruditus, 1*(2), 39-52. https://doi.org/10.35290/re.v1n2.2020.308

Ramos, A., y Hernández, B. (2024). Diagnóstico y comportamiento de las MiPyMES en México durante el periodo 2019-2023. *Revista Venezolana de Gerencia, 29*(11), 535-553. https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.e11.32

Roque, D., Escobar, J., Gutiérrez, D., y Varón, A. (2024). Medición de la calidad financiera en empresas del sector manufacturero colombiano. *Revista Venezolana de Gerencia, 29*(107), 1195-1210. https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.107.13