



**UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Modelo de gestión de inventario basado en Lean Warehousing y DDMRP  
para maximizar los pedidos perfectos - caso de una empresa vitivinícola

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Industrial

**AUTOR(ES)**

Centeno Huayhuas, Angelica Milagros (0000-0002-7397-5867)

Osorio Barra, David Edward (0000-0002-1442-5056)

**ASESOR**

León Chavarri, Claudia Carolina (0000-0002-2919-8351)

**Lima, 10 de diciembre del 2020**

*DEDICATORIA*

*A Dios, a todos los peruanos que se esfuerzan por salir adelante. A mis padres, Reyna Barra y Pablo Osorio, por todo el esfuerzo dedicado en mi educación y confiar en mí siempre. A mis hermanos Sadid, Mika, Martha y Flor por su apoyo inmensurable y a mis tíos Sabina Barra, Marina Osorio y Alfredo Toledo, y a mis amigos de la universidad por su apoyo incondicional.*

*David Edward Osorio Barra*

*Se lo dedico a mis padres Ana y Abel por confiar en mí, a mis hermanos Camila, Daniel y Anny por ser mi motivación e inspiración.*

*Angelica Milagros Centeno Huayhuas*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por darnos el regalo de la vida. Agradecemos también al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) por los recursos brindados en nuestra educación. Un agradecimiento especial a la empresa del caso de estudio por la confianza y a nuestra asesora, Claudia León, por guiarnos en el desarrollo de este trabajo de investigación. Finalmente, damos las gracias a cada uno de nuestros docentes de ingeniería industrial de la UPC, quienes aportaron en nuestra formación como profesionales.

# Modelo de gestión de inventario basado en Lean Warehousing y DDMRP para maximizar los pedidos perfectos - caso de una empresa vitivinícola

## RESUMEN

El índice de pedidos perfectos es una métrica superior que mide la calidad y el desempeño de la gestión del almacén. Este indicador presenta 4 componentes, los cuales son la entrega a tiempo, completa, sin daños y con toda la documentación perfecta de los pedidos. Estos factores se encuentran relacionadas con la rentabilidad de las organizaciones. El objetivo de este estudio es proponer un modelo de gestión de almacenes basado en Lean Warehousing y la metodología del Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) para maximizar el índice de cumplimiento de los pedidos perfectos en almacenes del sector vitivinícola. Por lo tanto, se desarrollan prácticas centradas en el almacén, como el análisis ABC, 5S y la metodología DDMRP, con énfasis en los errores de picking y las roturas de stock. De igual forma, la metodología DMAIC se utiliza como base para la aplicación de las herramientas del modelo de Lean Warehousing. Se empleó un caso de estudio con un valor de pedidos perfectos del 47.2%, el cual representó una brecha técnica del 30% con respecto al mercado. De este modo, la validación se realizó mediante el método de simulación de eventos discretos para inventarios con punto de repedido. Se empleó el software Arena simulation versión full 14.5 con un nivel de confianza del 95%. En los resultados, el indicador de pedidos perfectos se incrementó a 82,6%, representando una mejora del 35,4% de la situación actual. Asimismo, las roturas de stock y los errores de picking se reducen en un 18,2% y un 23,6%, respectivamente.

Palabras claves: Inventario; DDMRP; Análisis ABC; DMAIC; Índice de pedidos perfectos

Inventory management model based on Lean Warehousing and DDMRP to maximize the perfect orders - case of a wine company

ABSTRACT

The perfect order rate is a superior metric that measures the quality and performance of warehouse management. This indicator presents 4 components, which are the delivery on time, complete, without damage and with all the perfect documentation of the orders. These factors are related to the profitability of organizations. The objective of this study is to propose a warehouse management model based on Lean Warehousing and the Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) methodology to maximize the rate of fulfillment of perfect orders in warehouses in the wine sector. Therefore, warehouse-centric practices such as ABC analysis, 5S and DDMRP methodology are developed, with an emphasis on picking errors and stock outs. Similarly, the DMAIC methodology is used as the basis for the application of the tools of the Lean Warehousing model. A case study was used with a perfect order value of 47.2%, which represented a technical gap of 30% with respect to the market. Thus, the validation was carried out using the discrete event simulation method for inventories with reorder point. Arena simulation software, full version 14.5, was used with a 95% confidence level. In the results, the indicator of perfect orders increased to 82.6%, representing an improvement of 35.4% from the current situation. Likewise, stock breakages and picking errors were reduced by 18.2% and 23.6%, respectively.

Keywords: Inventory; DDMRP; ABC analysis; DMAIC; Perfect Order Fulfillment (POF)

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>2</b>
2.1	LA PROBLEMÁTICA DEL ÍNDICE DE PEDIDOS PERFECTOS .....	2
2.2	LA PREPARACIÓN DE PEDIDOS – ERRORES COMUNES .....	3
2.3	DESPERDICIOS EN EL ALMACÉN .....	3
2.4	LEAN WAREHOUSING (LW) Y LA APLICACIÓN DE ABC Y 5S .....	3
2.5	LA ASIGNACIÓN DE ALMACENAMIENTO – CLASIFICACIÓN ABC .....	4
2.6	DEMAND DRIVEN MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING (DDMRP) – GESTIÓN DE INVENTARIOS .....	4
<b>3</b>	<b>MODELO PROPUESTO</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>VALIDACIÓN</b> .....	<b>6</b>
4.1	REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA DEL CASO DE ESTUDIO .....	6
4.2	NIVELES DE BUFFER (DDMRP) .....	8
4.3	SIMULACIÓN EN SOFTWARE ARENA 14.0 FULL .....	8
4.4	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN .....	9
4.5	IMPACTOS DEL PROYECTO .....	11
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>14</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Reporte del input analyzer.....	7
Tabla 2 Resultados de la simulación .....	10
Tabla 3 Indicadores de las causas raíces .....	10
Tabla 4 Indicador de pedidos perfectos.....	11
Tabla 5 Variables para el cálculo del cok.....	11

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de gestión de inventarios propuesto. Elaboración propia. ....	5
Figura 2. Representación del sistema. Elaboración propia.....	7
Figura 3. Ajuste del histograma del TELL (a) y CADEM (b) producto 13 (P13). Elaboración propia.....	7
Figura 4. Nivel de Buffers del producto P13.....	8
Figura 5. Representación del sistema en el Arena 14.0.....	9
Figura 6. Impacto ambiental de Human Toxicity. Adaptado del reporte del Open LCA. ..	12



## 1 INTRODUCCIÓN

En recientes estudios, la preparación de pedidos en los almacenes demanda una cantidad excesiva de tiempo, ocasionando la entrega de pedidos fuera a tiempo e incompletos [1][2] y un bajo índice en el cumplimiento de pedidos perfectos [3]. En tal sentido, para su solución los estudios se enfocan en los problemas existentes como la inadecuada gestión de inventarios que genera roturas de stock, errores de picking y errores de gestión documental [4]. Esta problemática se puede evidenciar en los almacenes de las empresas manufactureras peruanas. De acuerdo con la Encuesta Nacional de Empresas 2015, alrededor del 72.1% de las empresas almacenan sus productos, mercaderías y/o insumos. En específico, el almacenamiento en espacios concretos, de las medianas y grandes empresas, representa más del 50%. No obstante, del total de estas empresas que realizan las actividades de almacenamiento, el 40,8% no utilizan ningún mecanismo de control [5]. Y la industria vitivinícola no es ajena a esta realidad del Perú. Según, la Sociedad Nacional de Industrias - SNI, el sector vitivinícola se encuentra en crecimiento. Ello se observa en el crecimiento del 92% y un 350% en la producción del vino y pisco, entre los años 2005 y 2017, respectivamente [3].

En el presente estudio se analizó la data de pedidos expedidos, durante 12 meses, de un almacén vitivinícola, con el cual se determinó el indicador de pedidos perfectos, cuyo valor asciende a 47.2%. Sin embargo, este ratio en el sector asciende a un valor del 77% [6]. Por consiguiente, se presenta una brecha técnica de un 29.8%, cifra que evidencia la problemática planteada. Al respecto, los autores proponen herramientas lean, algoritmos de optimización y métodos de mejora como alternativas de solución [7][8][9]. No obstante, consideran que los algoritmos son complejos y no son fáciles de aplicarse a la realidad propia de cada almacén. Por el contrario, la aplicación de las herramientas del Lean Warehousing como las 5S, DMAIC, sumada a una estrategia de asignación de productos es práctica, no presenta mucha complejidad, requiere un costo mínimo y es efectiva [10]. En relación a la metodología del DDMRP, este considera nuevos conceptos para la gestión de inventario de acuerdo a la variabilidad en la demanda.

El escenario de validación del proyecto consiste en una simulación de sistemas discretos para inventarios en el software Arena, que abarca una muestra de los productos de la categoría A. La principal motivación de los autores es la necesidad de demostrar cómo las herramientas del Lean Warehousing y la metodología del DDMRP aplicadas en almacenes

de empresas del sector vitivinícola, pueden mejorar significativamente el índice de pedidos perfectos. Esto, debido a que en los estudios revisados no se abarca a profundidad el uso de estas herramientas en el sector y en la problemática mencionados. La propuesta de la solución se basa en la combinación de las herramientas DMAIC, 5S, análisis ABC y el DDMRP. Donde, el primero, es el soporte para la ejecución de las otras técnicas. Adicionalmente, con las 5S se busca el ordenamiento del almacén y la reducción de los errores de picking. Por su parte, con el análisis ABC y el DDMRP, se pretende reducir las roturas de stock mediante la creación de buffers para los productos, el cual es ocasionado por un déficit control de inventarios [11].

El presente artículo se organiza de la forma siguiente. Se inicia con el estado del arte, luego se detalla el diseño de la solución. En seguida, se menciona la validación del proyecto tomando en cuenta la propuesta planteada. Y finalmente, en la sección 5, las conclusiones obtenidas del estudio.

## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 La problemática del índice de pedidos perfectos

La inadecuada gestión de almacenes es un efecto del bajo índice de cumplimiento de pedidos perfectos [2]. Asimismo, la demanda excesiva de tiempo en la preparación de pedidos se debe a la desorganización en las operaciones logísticas de una empresa [2][12]. Aquellas operaciones que no agregan valor en el proceso de almacenamiento y picking generan un incremento en los costos, tantos directos como indirectos, y ocasionan errores y/o desperdicios [1]. Esto afecta el cumplimiento de pedidos perfectos (POF), un indicador calculado mediante la “ecuación (1)” del producto de los factores: pedidos entregados a tiempo, sin daños, completos en cantidad y pedidos con documentación perfecta [13].

$$POF = \frac{\textit{Pedidos entregados a tiempo} \times \textit{Pedidos con documentación perfecta} \times \textit{Pedidos sin daños} \times \textit{Pedidos completos}}{\textit{Pedidos totales atendidos}} \quad (1)$$

Donde:

POF: Pedidos Perfectos

De este modo, el bajo índice se produce debido a la inadecuada gestión de inventario generado por las roturas de stock, errores de picking y errores de gestión documental. Se excluye los incidentes de ruta ocurridos en la entrega de los pedidos, puesto que no se encuentra en las actividades de almacenamiento y preparación de pedidos [4].

## 2.2 La preparación de pedidos – errores comunes

El proceso de preparación de pedidos representa entre el 50 - 75% del costo total de operaciones [7]. Forma parte de las funciones principales de la gestión de almacenes que son: la recepción, el almacenamiento, la preparación de pedidos y el despacho. De acuerdo con ello, se considera la asignación de almacenamiento y la política de enrutamiento para la eliminación de desperdicios [8][14]. Si bien existen estudios que amplían el análisis y consideran adicionalmente la estrategia, tipo de picking y la distribución del almacén, no logran alcanzar los resultados esperados planteados, puesto que el análisis de impacto de causas carece de profundidad [15][16]. Otras investigaciones abarcan herramientas de análisis como estadísticas o manejo de data, que abarcan las limitaciones de capacidad de almacén (espacios de racks, cantidad de productos), el tiempo de preparación y las distancias recorridas de viaje (influidas por el desorden presente en el almacén) [17].

## 2.3 Desperdicios en el almacén

En el contexto teórico existen ocho mudas, para el caso de almacenes se consideran siete de ellas, y descartando el talento humano, puesto que en cuestiones del área en concreto no resulta representativo [18][19]. Asimismo, se demuestra que las mudas con mayor representación cuantitativa en la gestión de almacenes son: defectos, movimiento innecesario, inventario innecesario y el inadecuado procesamiento de pedidos (picking). De este modo, se plantea un sistema de gestión de almacenes efectiva, en donde la asignación de un espacio adecuado permite lograr un nivel óptimo de eficiencia e incremento de pedidos perfectos [19].

## 2.4 Lean Warehousing (LW) y la aplicación de ABC y 5S

La metodología Lean Warehousing (LW) resulta ser relativamente nueva en el campo científico. Sin embargo, se ha demostrado que aporta mejoras en aspectos internos y externos de la gestión de almacenes, a un bajo costo y facilidad de implementación [18][19] [20]. En este sentido, los modelos propuestos consistieron en el rediseño del layout mediante un plan de ubicación de almacenamiento en base a la clasificación ABC por rotación de productos. Con ello al cambiar la política de gestión de inventarios se obtuvo un incremento

en la actividad de picking del 25% [19][21]. Por su parte, se presenta al método 5S como herramienta de estandarización propia del Lean Warehousing [7][22][23] que, junto con indicadores, mejoran el rendimiento global de operación de almacén en un 11% [24]. Otros modelos encontrados en la literatura coinciden en asociar la 5S como herramienta de limpieza, seguridad, control visual y estandarización [23][25][26].

La metodología DMAIC ha sido comúnmente empleada como base para aplicación de Lean Six Sigma y se ha obtenido buenos resultados. No obstante, recientemente, se ha utilizado en el contexto de gestión de almacenes, y se logró la reducción numérica del cumplimiento promedio de pedidos perfectos, de 11.75 pedidos imperfectos a 1.03 pedidos. [27]. De este modo, para el uso de Lean Warehousing existe una amplia posibilidad de investigaciones que desarrollen nuevas herramientas, modelos, etc.

### 2.5 La asignación de almacenamiento – clasificación ABC

El enfoque ABC es una estrategia de almacenamiento que establece la clasificación de los artículos de A hasta C, de acuerdo con los ingresos generados, la valorización de inventarios o el consumo promedio [7]. En esta clasificación se consideran que los artículos de clase A, a pesar de sus volúmenes más pequeños, tienden a generar un mayor valor de consumo. De la misma forma, se tienen a los de la clase B. Y, por último, se encuentra los de la clase C, los cuales son de mayor volumen, pero generan un menor valor de consumo [28]. La aplicación de este método permite un ahorro de espacios en el almacén en un 30% [28]. En este sentido, el diseño de políticas y estrategias de almacenamiento, reducen los desperdicios y mejoran el valor brindado al cliente [29]. Por otro lado, existen otras estrategias como la minería de datos que optimiza en un 104,48% la asignación de almacenamiento a comparación de la clasificación ABC que solo logra optimizar un 7.1%; no obstante los resultados de la minería de datos solo son aplicables para grandes empresas [30].

### 2.6 Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) – gestión de inventarios

El DDMRP es un MRP impulsado por la demanda que sincroniza la planificación, programación y ejecución con el consumo diario [11]. Esta sincronización se logra con el desacoplamiento del lead time y la creación de buffers, reduciendo así los errores por rotura de stock y los bajos niveles de pedidos perfectos [11][31]. Esta metodología ha sido aplicada en contextos complejos de hasta 4 niveles de materiales y se han obtenido mejoras en la gestión de inventarios de 41%, 18% y 53% y en los niveles de servicio de 39% y 41%[11][31][32]. De este modo, diversas investigaciones coinciden en aplicar esta

metodología para problemas como el desabastecimiento de materiales y/o productos, es decir gestionar los inventarios. Para la validación se emplea un software de simulación de eventos discretos para un periodo de tiempo mayor a 10 meses [11][31][32].

### 3 MODELO PROPUESTO

Al realizar el análisis data se identificó que el 40.9% de errores de picking y el 35.7% de roturas de stock (desabastecimiento de productos 21.3% y de materiales 14.4%) ocasionan que el POF se encuentre 29.8 puntos por debajo del mercado. Y, produzca pérdidas económicas de 1 930 000 millones de soles anuales, es decir el 16.8% del margen de contribución. Por ello, en base a la revisión de la literatura, capacidad de inversión de la organización, practicidad y efectividad se plantea un modelo de gestión de inventarios en base a LW y DDMRP, tal como se muestra en la Figura 1.

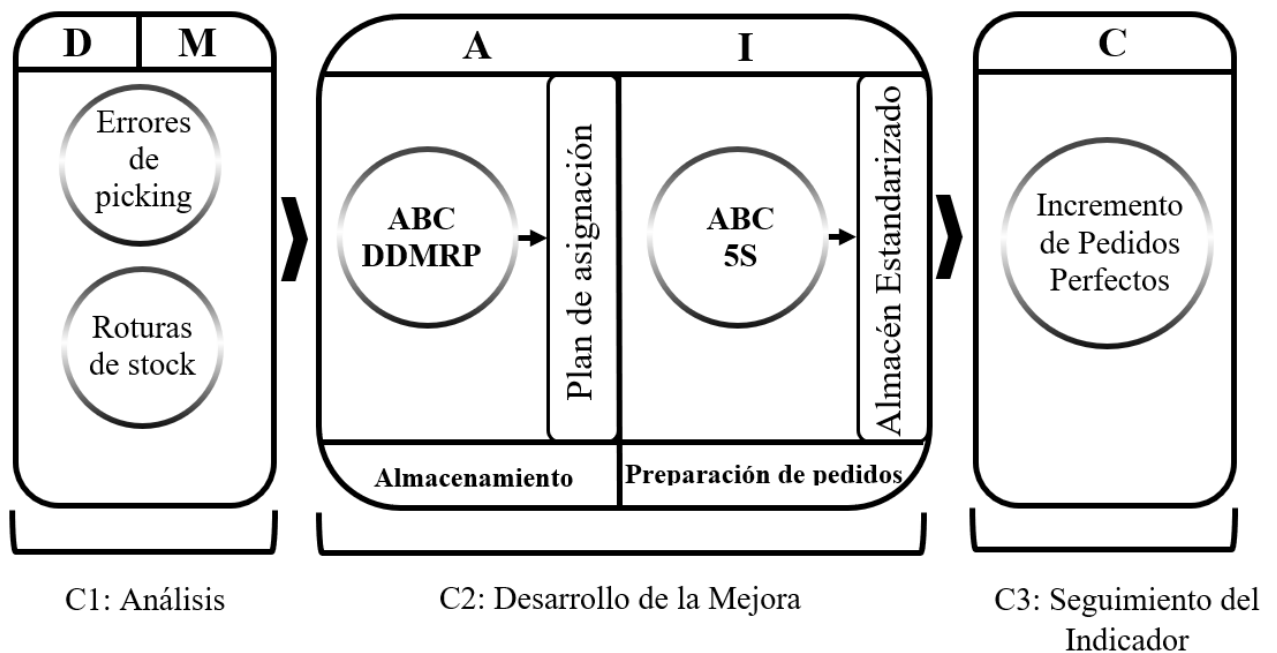


Figura 1. Modelo de gestión de inventarios propuesto. Elaboración propia.

El modelo propuesto en la Figura 1 se desarrolla en una plantilla de la metodología DMAIC dividido en tres componentes. En el primer componente, de análisis previos, están las fases de Definir y Medir. En esta se representan gráficamente las actividades críticas de los procesos de almacenamiento y preparación de pedidos, así como los componentes del indicador a evaluar. Asimismo, se cuantifica la cantidad de productos, recursos y materiales involucrados en la mejora, el stock y los costos promedio. El segundo componente, llamado

desarrollo de la mejora, involucra las fases de Analizar y Mejorar. El primer paso es emplear como estrategia de almacenamiento la clasificación ABC, el producto es el plan de almacenamiento que se empleará en el desarrollo del DDMRP como metodología de gestión de inventarios y las actividades preliminares para la 5S. Con respecto al desarrollo del DDMRP se obtiene la planificación de abastecimiento de los productos y materiales de la categoría A (roturas de stock) y del resultado de las 5S se obtiene el plan de trabajo del mismo (error de picking). El componente final es el seguimiento del indicador y la fase controlar. En este se registran los resultados de la aplicación del DDMRP y herramientas ABC y 5S del LW para el desarrollo de un dashboard mensual.

El LW es una adaptación de las herramientas lean al entorno de almacenes y el DDMRP es un MRP basado en la demanda. Sin embargo, a pesar de la poca literatura científica se ha comprobado que aporta un incremento en la eficiencia del picking en un promedio de 25% [22] y en consecuencia un incremento de hasta el 30% del índice de pedidos perfectos [19][24][30][32]. Con relación a la inversión, el costo es significativamente más bajo al de otras propuestas, el proyecto de este estudio representa el 23% de una inversión en RFID y el 10% de un Warehouse Management Systems (WMS) y a diferencia de estas soluciones, puede ser implementado con los recursos existentes y obtener un incremento del 30% de los pedidos perfectos y la reducción de las causas raíz.

## 4 VALIDACIÓN

La validación se realizó mediante la simulación de un modelo de sistemas discretos de inventarios con punto de repedido utilizando el software Arena. Para ello se aplicó los datos del producto Pisco Mosto Verde Acholado (código P13), el cual se encuentra en la categoría A de la clasificación ABC. Los datos utilizados se basan en la recopilación de la data histórica de 12 meses (Febrero 2019 - Febrero 2020). Para ello se realizó el análisis de los datos de entrada y datos de salida requeridos.

### 4.1 Representación del sistema del caso de estudio

Esta representación muestra la descripción de las entidades, datos de entrada y salida del caso de estudio en la Figura 2, atributos que presenta el sistema el estudio.

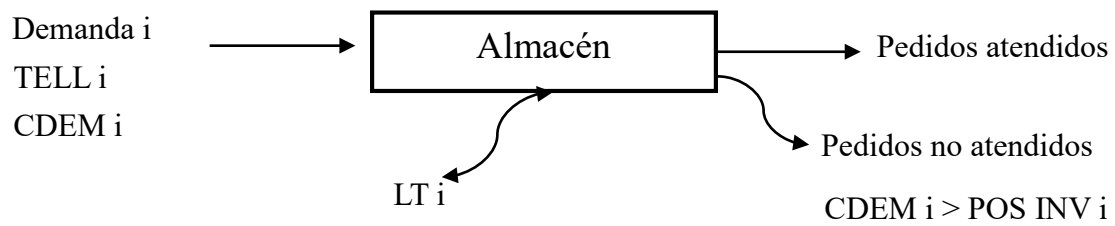


Figura 2. Representación del sistema. Elaboración propia.

Donde:

TELL  $i$ : Tiempo entre llegadas del producto  $i$

CDEM  $i$ : Cantidad demandada del producto  $i$

LT $i$ : Lead Time del producto  $i$

POS INV: Posición de inventarios

A continuación, en la Figura 3, se muestran las distribuciones y en la Tabla 4, el reporte del input analyzer de Arena.

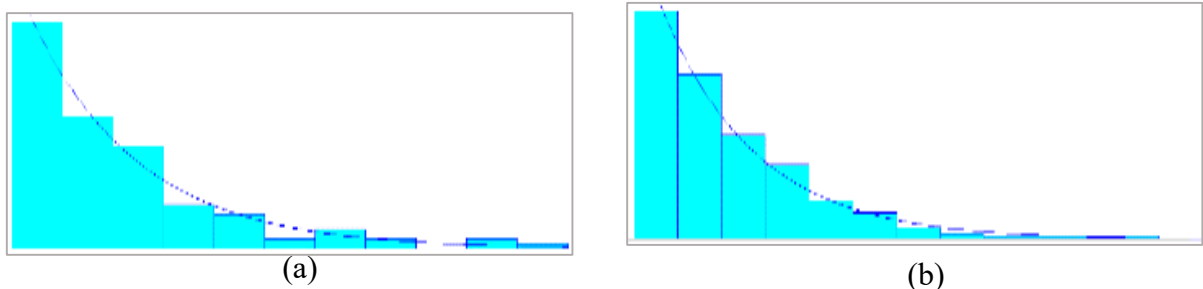


Figura 3. Ajuste del histograma del TELL (a) y CADEM (b) producto 13 (P13). Elaboración propia.

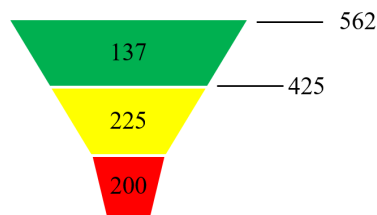
Tabla 1  
Reporte del input analyzer

Atributo	Distribución	Test Chi-Cuadrado	Test (KS)
TELL	EXPO (0.781)	p-value= 0.669	p-value> 0.15
CADEM	0.999+EXPO (84.7)	p-value= 0.675	p-value> 0.15

De acuerdo a la *Tabla 1* se observa que las para los atributos del TELL y el CADEM de los productos y materiales presentan una distribución exponencial. Además, las pruebas Chi-Cuadrado y KS presentan un p-value  $>0.05$ , lo cual valida la hipótesis nula de cada una de estos.

#### 4.2 Niveles de Buffer (DDMRP)

Se determinó el nivel del buffer del producto en estudio en base a la data acumulado de 12 meses, los valores se encuentran en unidades.



*Figura 4.* Nivel de Buffers del producto P13.

Para determinar los valores del buffer de la Figura 4, se determinaron los siguientes datos del histórico de 12 meses: Lead Time (LT) de 3 días; Factor de LT del 61%; Coeficiente de variación (CV) de 1.86; el porcentaje de factor de variabilidad (%FV) de 45% y la Cantidad promedio diaria (CPD) de 75 unidades.

#### 4.3 Simulación en software ARENA 14.0 full

A continuación, se muestra en la Figura 5, el modelo realizado para la representación del sistema de inventarios [33].



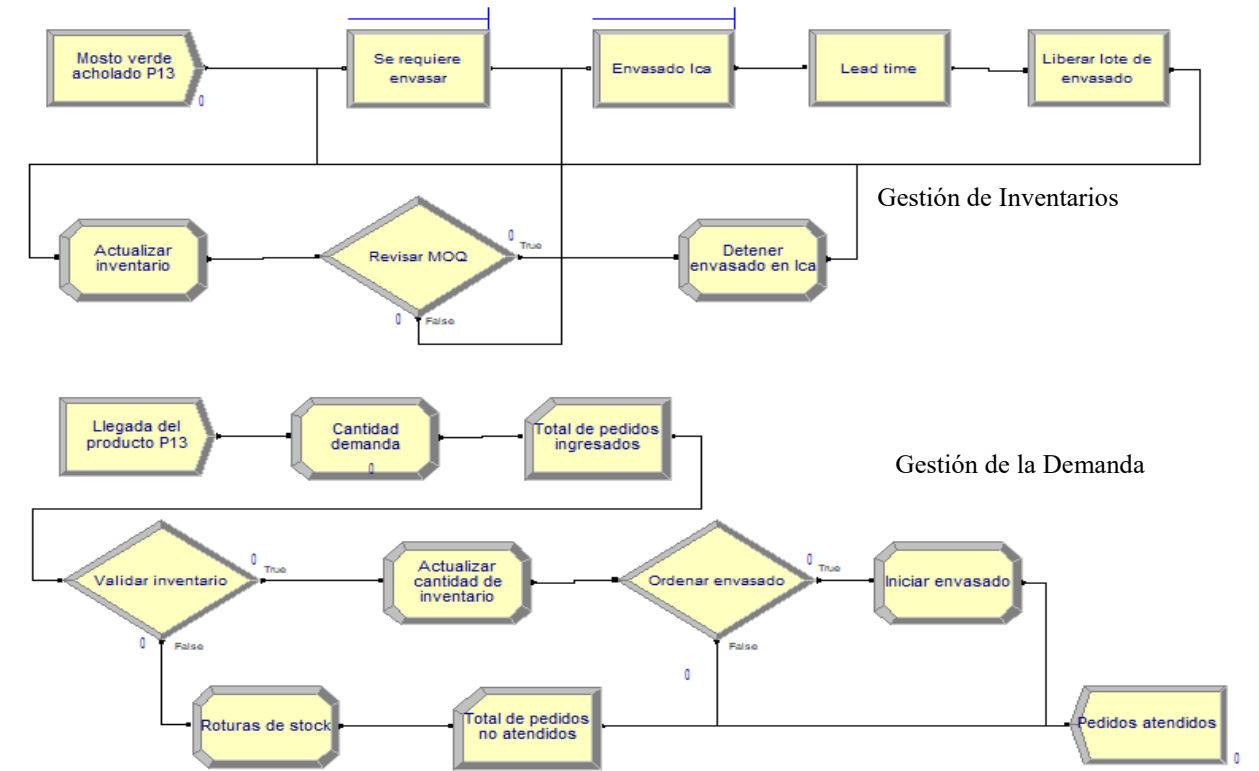


Figura 5. Representación del sistema en el Arena 14.0.

La representación del sistema estudiado en el presente estudio se divide en 2 partes. El primero es la gestión de inventarios, donde se permite realizar el seguimiento de las entidades de unidad de producto. El segundo es la gestión de la demanda, aquí se toma en consideración la llegada de la demanda (TELL) y la cantidad demandada del producto (CEDEM).

#### 4.4 Resultados de la simulación

Los resultados de la simulación (Tabla 2) se han enfocado en reducir los indicadores de las causas raíces de rotura de stock y error de picking, los cuales están directamente relacionados con los factores de pedidos completos en cantidad y entregados a tiempo del índice de pedidos perfectos, respectivamente. Para el modelo se empleó un intervalo de confianza del 95% con un margen de error de 5%, asimismo, para el escenario AS IS se realizaron 30 corridas y para el TO BE 25 corridas.

Tabla 2  
Resultados de la simulación

<b>Output</b>	<b>As Is</b>	<b>To Be</b>
Cantidad de productos atendidos (unid)	9692	11585
Cantidad de productos no atendidos (unid)	1500	1171
Rotura de Stock	15.48%	10.11%
Variación	5.37%	5.37%
Productos atendidos a tiempo (unid)	9800	8652
Productos no atendidos a tiempo (unid)	1831	1015
Error de picking	18.68%	11.73%
Variación	6.95%	6.95%

Los resultados de la *Tabla 2* fueron extrapolados a los indicadores de las causas raíces. Como resultado se puede observar los valores de la siguiente tabla:

Tabla 3  
Indicadores de las causas raíces

<b>Causa Raíz</b>	<b>As is</b>	<b>To be</b>	<b>Variación</b>
Rotura de stocks	35.73%	17.52%	18.2%
Error de picking	40.90%	17.32%	23.6%

De igual forma se ha asociado los resultados obtenidos en el impacto del indicador general de pedidos perfectos, ver *Tabla 4*.

Tabla 4  
Indicador de pedidos perfectos

Indicadores	Indicador actual	To Be	Variación
Pedidos completos en cantidad	61.7%	91.96%	30.26%
Pedidos a tiempo	82.3%	96.56%	14.26%
Pedidos sin daños	96.7%	96.70%	0.00%
Pedidos con documentación perfecta	96.2%	96.20%	0.00%
Pedidos perfectos	47.24%	82.60%	35.37%

De acuerdo con los resultados se logró un incremento de los factores de pedidos completos en cantidad y entregados a tiempo 14.26% y 30.26%, respectivamente. En consecuencia, el índice de pedidos perfectos asciende del 47.2% al 82.6%, con una variación positiva del 5.37% al valor estimado. Con esta mejora se recupera el margen de contribución de S/ 63,562.12 mensuales.

#### 4.5 Impactos del proyecto

Para la evaluación económica del proyecto se han considerado: el valor del COK (tasa de descuento), el monto de la inversión requerida y los ingresos generados. El cálculo del COK se realizó de acuerdo a los valores del sector en estudio (ver *Tabla 5*) y mediante la fórmula siguiente “ecuación (2)”:

$$COK = R_f + \beta(R_m - R_f) + PRP \quad (2)$$

Tabla 5  
Variables para el cálculo del COK

Datos	Valor en %
Rf (Tasa de libre de riesgo o bonos del tesoro) [33]	0.67%
Rm (Tasa de riesgo de mercado) [34]	9.00%
Rm-Rf	8.33%
$\beta$ (Factor de riesgo del sector) [35] [36]	1.28
PRP (Prima de Riesgo País) [37]	1.36%
<b>COK</b>	<b>12.7%</b>

Con los cálculos realizados, se obtuvieron los siguientes índices de rentabilidad: el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto asciende a S/ 18,795 >0; la Relación Beneficio Costo (RBC) es de 1.80 >0; la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 67% >COK y el Periodo de Recuperación Descontado (PRDF) llega a los 15 meses. Con estos datos se puede afirmar que el proyecto es viable.

Para el cálculo del impacto ambiental del proyecto se empleó el software Open LCA. Esto se debe a que los procesos de almacenamiento y preparación de pedidos impactan en la generación de residuos sólidos como papel y vidrio. Luego de graficar el ciclo de vida en el software y comparar el escenario AS IS con el TO BE se obtuvo que, se reduce en 22% de masa la generación de papel y vidrio para la categoría de Human Toxicity (HTP) como se muestra en . Esto se debe a que el modelo propuesto mejora la gestión de inventario y la cantidad de pedido.

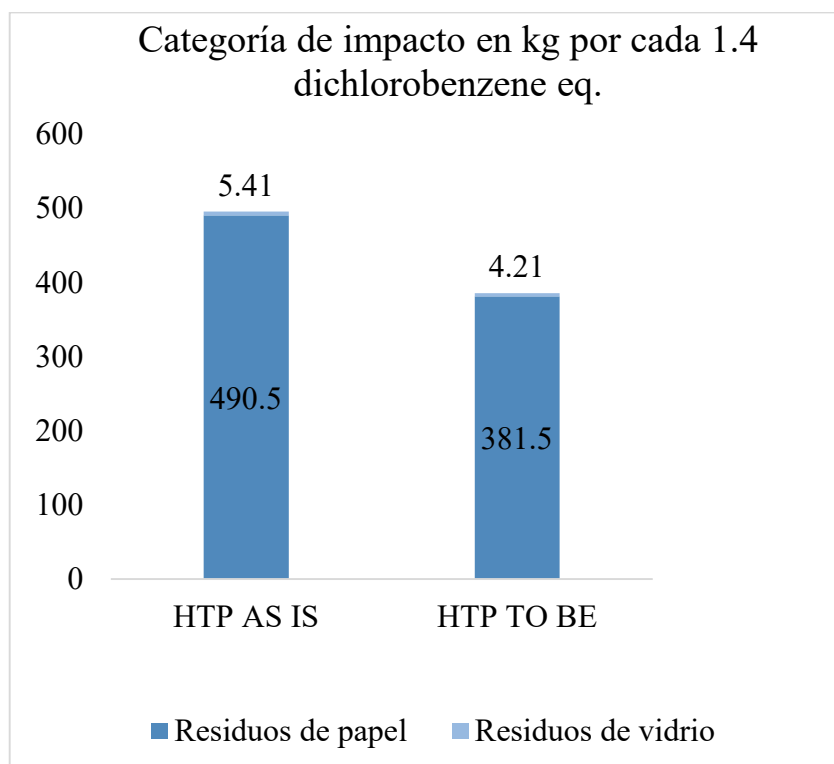


Figura 6. Impacto ambiental de Human Toxicity. Adaptado del reporte del Open LCA.

Con respecto al impacto social del proyecto, se emplea el indicador de Precio social de la mano de obra (PSMO) propuesto por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). Este

indicador resulta de la multiplicación del factor de corrección del mercado peruano ( $g$ ) con el precio del mercado ( $P$ ) “ecuación (3)”.

$$PSMO = g \times P \quad (3)$$

El PSMO del proyecto es S/. 18 339.26, posee un aporte económico significativo en el aspecto social del mercado vitivinícola peruano.

## 5 CONCLUSIONES

El incremento porcentual de pedidos perfectos de  $35\% \pm 2.2\%$  supero al estimado de  $30\%$  con la aplicación de la mejora. Por lo que se demuestra que el modelo es efectivo y soluciona las causas raíz de los procesos de almacenamiento y preparación de pedidos. En el caso de desabastecimiento de productos, materiales y falta de clasificación del almacén, la aplicación del DDMRP con una estrategia de almacenamiento basada en la clasificación ABC y un plan 5S reduce las roturas de stock en  $18.2\%$  y los errores de picking en  $23.6\%$ . Con esta situación se incrementa el margen de contribución en S/63,562.12 mensuales. Con respecto al método de validación, el modelo se adapta a la simulación mediante el software ARENA y se empleó una data de 12 meses.

El proyecto cumple los requerimientos de sostenibilidad puesto que económicamente el capital invertido puede ser recuperado en 2 años con un valor neto actual (VAN) de S/ 18,795.00, en cuestiones ambientales se reduce en  $22\%$  la cantidad de residuos generados y en el aspecto social se participa con S/. 18 339.26 de precio social de la mano de obra.

## 6 REFERENCIAS

- [1] S. Škerlič and R. Muha, “Reducing errors in the company’s warehouse process,” *Transp. Probl.*, vol. 12, no. 1, pp. 83–92, 2017, doi: 10.20858/tp.2017.12.1.8.
- [2] A. Lewandowska-Ciszek, “THEORY OF CONSTRAINTS AS A STIMULUS TOWARDS WAREHOUSE TRANSFORMATION PROCESS ON THE EXAMPLE OF THE DISTRIBUTION CENTER,” *Manag. Prod. Eng. Rev.*, vol. 9, no. 4, pp. 96–105, 2018, doi: 10.24425/119550.
- [3] Sociedad Nacional de Industrias -SIN, “Revista Institucional de la Industria Peruana,” 2019. <https://www.sni.org.pe/#>.
- [4] T. Laosirihongthong, D. Adebajo, P. Samaranayake, N. Subramanian, and S. Boonitt, “Prioritizing warehouse performance measures in contemporary supply chains,” *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 67, no. 9, pp. 1703–1726, 2018, doi: 10.1108/IJPPM-03-2018-0105.
- [5] Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI, “Encuesta Nacional de Empresas 2015,” 2015. [https://webinei.inei.gob.pe/anda\\_inei/index.php/catalog/653](https://webinei.inei.gob.pe/anda_inei/index.php/catalog/653).
- [6] Encuesta Nacional Logística de Colombia, “Adaptado de ‘Índice de calidad en logística por actividad económica’ e ‘Índice de calidad en logística por tamaño de empresa’, 2018.” 2018. <https://onl.dnp.gov.co/es/Publicaciones/Paginas/Encuesta-Nacional-Logística-2018.aspx>.
- [7] I. G. Lee, S. H. Chung, and S. W. Yoon, “Two-stage storage assignment to minimize travel time and congestion for warehouse order picking operations,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 139, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106129>.
- [8] T. Franzke, E. H. Grosse, C. H. Glock, and R. Elbert, “An investigation of the effects of storage assignment and picker routing on the occurrence of picker blocking in manual picker-to-parts warehouses,” *Int. J. Logist. Manag.*, vol. 28, no. 3, pp. 841–863, 2017, doi: 10.1108/IJLM-04-2016-0095.
- [9] R. Manzini, R. Accorsi, G. Baruffaldi, D. Santi, and A. Tufano, “Performance assessment in order picking systems: a visual double cross-analysis,” *Int. J. Adv.*

- Manuf. Technol.*, vol. 101, no. 5–8, pp. 1927 – 1938, 2018, doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2967-9>.
- [10] M. Braglia, D. Castellano, M. Gallo, and G. Romagnoli, “A visual planning solution to streamline the processes of hybrid cross-dockings,” *Prod. Plan. Control*, vol. 30, no. 1, pp. 33–47, Jan. 2019, doi: 10.1080/09537287.2018.1520317.
- [11] R. Miclo, M. Lauras, F. Fontanili, J. Lamothe, and S. A. Melnyk, “Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 57, no. 1, pp. 166–181, 2019, doi: 10.1080/00207543.2018.1464230.
- [12] M. T. Pereira, J. M. C. Sousa, L. P. Ferreira, J. C. Sá, and F. J. G. Silva, “Localization System for Optimization of Picking in a Manual Warehouse,” *Procedia Manuf.*, vol. 38, pp. 1220–1227, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.213.
- [13] J. García-Arca, J. C. Prado-Prado, and A. J. Fernández-González, “Integrating KPIs for improving efficiency in road transport,” *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 48, no. 9, pp. 931–951, 2018, doi: 10.1108/IJPDLM-05-2017-0199.
- [14] C. Li, J. Liu, and B. Li, “Performance Prediction and Evaluation Based on the Variability Theory in Production Lines Using ARENA Simulation,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 103, no. 1, pp. 897–920, 2018, doi: 10.1007/s11277-018-5486-y.
- [15] E. Bottani, A. Volpi, and R. Montanari, “Design and optimization of order picking systems: An integrated procedure and two case studies,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 137, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.106035.
- [16] F. Yener and H. R. Yazgan, “Optimal warehouse design: Literature review and case study application,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 129, pp. 1–13, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.01.006.
- [17] V. Giannikas, W. Lu, B. Robertson, and D. McFarlane, “An interventionist strategy for warehouse order picking: Evidence from two case studies,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 189, pp. 63–76, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.ijpe.2017.04.002.
- [18] L. Sallhieh, S. Altarazi, and I. Abushaikha, “Quantifying and ranking the ‘7-Deadly’ Wastes in a warehouse environment,” *TQM J.*, vol. 31, no. 1, pp. 94–115, Jan. 2019, doi: 10.1108/TQM-06-2018-0077.

- [19] N. H. Karim, N. S. F. A. Rahman, and S. F. S. S. J. Shah, "Empirical Evidence on Failure Factors of Warehouse Productivity in Malaysian Logistic Service Sector," *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 34, no. 2, pp. 151–160, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajsl.2018.06.012>.
- [20] B. Baby, N. Prasanth, and S. S. Jebadurai, "Implementation of lean principles to improve the operations of a sales warehouse in the manufacturing industry," *Int. J. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 46–54, 2018, doi: 10.14716/ijtech.v9i1.1161.
- [21] R. Caridade, T. Pereira, L. Pinto Ferreira, and F. J. G. Silva, "Analysis and optimisation of a logistic warehouse in the automotive industry," *Procedia Manuf.*, vol. 13, pp. 1096–1103, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.170.
- [22] E. Oey and M. Nofrimurti, "Lean implementation in traditional distributor warehouse – a case study in an FMCG company in Indonesia," 2018.
- [23] C. M. Pereira, R. Anholon, I. S. Rampasso, O. L. G. Quelhas, W. L. Filho, and L. A. Santa-Eulalia, "Evaluation of lean practices in warehouses: an analysis of Brazilian reality," *Int. J. Product. Perform. Manag.*, 2020, doi: 10.1108/IJPPM-01-2019-0034.
- [24] N. Buonamico, L. Muller, and M. Camargo, "A new fuzzy logic-based metric to measure lean warehousing performance," *Supply Chain Forum*, vol. 18, no. 2, pp. 96–111, 2017, doi: 10.1080/16258312.2017.1293466.
- [25] I. Abushaikha, L. Salhieh, and N. Towers, "Improving distribution and business performance through lean warehousing," *Int. J. Retail Distrib. Manag.*, vol. 46, no. 8, pp. 780–800, 2018, doi: <https://doi.org/10.1108/IJRDM-03-2018-0059>.
- [26] A. Rymaszewska, "Lean implementation and a process approach – an exploratory study," *Benchmarking An Int.*, vol. 24, no. 5, pp. 1122–1137, 2017, doi: 10.1108/BIJ-02-2016-0018.
- [27] P. Mishra and R. K. Sharma, "Measuring business performance in a SCN using Six Sigma methodology – a case study," *Int. J. Ind. Syst. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 76–109, 2017, doi: 10.1504/IJISE.2017.10000685.
- [28] S. Nallusamy, R. Balaji, and S. Sundar, "Proposed model for inventory review policy through ABC analysis in an automotive manufacturing industry," *Int. J. Eng. Res.*



- Africa*, vol. 29, pp. 165–174, 2017, doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.29.165.
- [29] B. Shah and V. Khanzode, “Storage allocation framework for designing lean buffers in forward-reserve model: a test case,” *Int. J. Retail Distrib. Manag.*, vol. 45, no. 1, pp. 90–118, 2017, doi: 10.1108/IJRDM-07-2016-0112.
- [30] J. Li, M. Moghaddam, and S. Y. Nof, “Dynamic storage assignment with product affinity and ABC classification—a case study,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 84, pp. 2179–2194, 2016, doi: 10.1007/s00170-015-7806-7.
- [31] A. P. Velasco-Acosta, C. Mascle, and P. Baptiste, “Applicability of Demand-Driven MRP in a complex manufacturing environment,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 14, pp. 4233–4245, 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1650978.
- [32] A. Kortabarria, U. Apaolaza, A. Lizarralde, and I. Amorrortu, “Material management without forecasting: From MRP to demand driven MRP,” *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 11, no. 4, pp. 632–650, 2018, doi: 10.3926/jiem.2654.
- [33] Datos Macro, “Bono de Estados Unidos a 10 años,” *Datosmacro.com*, 2020. <https://datosmacro.expansion.com/bono/usa>.
- [34] S&P Dow Jones Indices, “S&P Total Market Index,” 2020. <https://espanol.spindices.com/indices/equity/sp-total-market-index-tmi>.
- [35] A. Damodaran, “Investment Valuation - Tools and Techniques,” *Wiley Financ.*, 2002.
- [36] STERN NYU, “Betas by Sector (US),” 2020. [http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/Betas.html](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html).
- [37] Diario Gestión, “Riesgo país de Perú subió un punto básico y cerró en 1.36 puntos porcentuales,” 2020. <https://gestion.pe/economia/riesgo-pais-de-peru-subio-un-punto-basico-y-cerro-en-136-puntos-porcentuales-noticia/?ref=gesr>.