

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas

Simulación predictiva para factibilidad de inversión logística en centro de acopio de cacao

ADMI-1302

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Lcd. Auditoría y Control de gestión

Presentado por:

Melanie Leonor Baque Quijije

Melani Raquel Villacís Crespo

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis Padres, por su apoyo incondicional y por formarme como la mujer que soy hoy. Gracias por acompañarme en cada paso y esforzarse por darme todo lo que estuvo a su alcance. A mi hermano, no recuerdo ningún minuto de mi vida en donde no hayas estado. Hemos compartido cada etapa juntos y sé que nuestra complicidad es para siempre. A Cosmo, mi compañero perruno, quien estuvo a mi lado en cada desvelo y amanecida durante mi vida estudiantil. Y finalmente a ti, Juan, mi pilar en este camino, quien cada día me hace sentir la persona más amada. La universidad me dio mucho más que conocimiento, me dio a quien considero será mi compañero de vida.

Dedicatoria

Pensar en que este proyecto resume no solo lo aprendido en 4 años; sino todo lo vivido me hace recordar a esa Melanie que inicio su vida escolar de la mano de sus padres llorando por no querer alejarse de ellos. Por ello, son los primeros a quienes les dedico esto; gracias por nunca imponerme nada, por dejarme escoger mi camino y apoyarme siempre, por ser el ejemplo de que estudiar no debe ser para el momento y que se deben hacer las cosas bien, aunque nadie este para verlo. A mi hermana, que siempre celebra mis pequeños logros y que de la mano vamos creciendo y aprendiendo una de la otra. A mi abuelito que aún me acompaña y se alegra por verme crecer. Y en especial a mi mami Leo que ya no está aquí; pero que estuviera muy orgullosa de leer este proyecto. Gracias por ser parte de este camino.

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a Dios por haber unido a estas dos Melanies en el camino para compartir no solo la vida universitaria sino el culmen de ella y poder seguir llamándonos amigas. En este camino son muchas las personas que apoyaron esta idea loca, gracias a la empresa que nos abrió las puertas a escuchar que teníamos que proponer y confiar en nuestro conocimiento. A nuestro tutor el profe Luis por siempre apoyarnos e incentivarnos a seguir buscando, cuestionando y creando. Al profe Armijos que nos apoyó desde el día cero, nos retó a buscar maneras en situaciones que creíamos que el formato fijado era el único camino.

Finalmente, gracias a ESPOL no solo por la formación académica recibida (eso es indudable), gracias por no ser esa imagen fría y estricta que siempre difunden, gracias por desafiarlos, por conectarnos con personas increíbles, por hacernos vivir cosas fuera de lo común y ahora poder llamarte hogar.

Declaración Expresa

Nosotras Melanie Leonor Baque Quijje y Melani Raquel Villacís Crespo acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 3 de octubre del 2025.



Melanie Leonor Baque
Quijje



Melani Raquel Villacís
Crespo

Evaluadores

PhD Alfredo Armijos

Profesor de Materia

Econ. Luis Ruiz

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto aborda la saturación operativa en un centro de acopio de cacao en Guayaquil, donde el incremento en la recepción de grano amenaza la capacidad instalada. El objetivo central es evaluar, mediante un enfoque innovador, la factibilidad de una inversión logística que mitigue riesgos de colapso y garantice la continuidad del negocio. Esta investigación se justifica en la necesidad de transformar la toma de decisiones empírica en un modelo de gestión basado en datos predictivos. Para su ejecución, se diagnosticó la situación inicial y se modelaron tres escenarios de inversión potenciales mediante Simulación de Eventos Discretos en el software SIMIO. Posteriormente, se evaluaron estos escenarios integrando variables de incertidumbre mediante simulaciones de Monte Carlo en @RISK. Los resultados evidenciaron que el estado actual opera cerca de su límite máximo, representando un riesgo operativo elevado. Se determinó que la inversión en una báscula adicional redujo drásticamente los tiempos de espera y cuellos de botella. Para validar este hallazgo, se diseñó un indicador de eficiencia operativa propio que permitió comparar las propuestas frente al escenario base. Se concluye que la implementación de tecnologías predictivas es imperante para la sostenibilidad competitiva, demostrando que la integración de análisis operativos y financieros fortalece el control de gestión en el sector cacaotero.

Palabras Clave: Eficiencia Operativa, Evaluación de inversión, Métricas de escenarios y Optimización de recursos.

Abstract

This project addresses operational saturation at a cocoa collection centre in Guayaquil, where the increase in grain reception threatens installed capacity. The main objective is to evaluate, through an innovative approach, the feasibility of a logistics investment that mitigates the risk of collapse and ensures business continuity. This research is justified by the need to transform empirical decision-making into a management model based on predictive data. To carry out the project, the initial situation was diagnosed and three potential investment scenarios were modelled using Discrete Event Simulation in SIMIO software. These scenarios were then evaluated by integrating uncertainty variables using Monte Carlo simulations in @RISK. The results showed that the current state operates close to its maximum limit, representing a high operational risk. It was determined that investing in an additional scale drastically reduced waiting times and bottlenecks. To validate this finding, a proprietary operational efficiency indicator was designed to compare the proposals against the baseline scenario. It was concluded that the implementation of predictive technologies is imperative for competitive sustainability, demonstrating that the integration of operational and financial analysis strengthens management control in the cocoa sector.

Keywords:

Índice General

Resumen	7
<i>Abstract</i>	8
Abreviaturas	11
Índice de figuras	11
Índice de tablas	11
Capítulo 1	12
1. Introducción	13
1.1 Descripción del Problema	15
1.2 Justificación del Problema	22
1.3 Objetivos	24
1.3.1 Objetivo general	24
1.3.2 Objetivos específicos	24
1.4 Alcance del proyecto	24
1.5 Marco teórico	25
1.5.1 Cadena de valor	25
1.5.2 Cadena de suministro	25
1.5.3 Centros de acopio de cacao	26
1.5.4 Capacidad instalada	26
1.5.5 Proyectos CAPEX	27
1.5.6 Análisis de factibilidad	28
1.5.7 Proceso de evolución de proyectos	29
1.5.8 Analítica predictiva	30
1.5.9 Herramientas cuantitativas de análisis predictivo: Simulación Discreta de Eventos (SDE)	32
Capítulo 2	34

2.	Metodología	35
2.1	Generalidades del diseño metodológico	35
2.2	Fases de la metodología de la investigación	37
2.2.1	Diagnóstico operativo	37
2.2.2	Fijación de alternativas de inversión a evaluar	37
2.2.3	Modelado del proceso y simulación operativa	39
2.2.4	Simulación financiera - operativo	41
2.2.5	Análisis de resultados	44
Capítulo 3	_____	45
3.	Resultados y análisis _____	46
3.1	Metodología de Simulación Empleada	46
3.1.1	Ejecución de modelo en SIMIO	46
3.2	Modelado y validación de escenario base	47
3.2.1	Desarrollo del modelo de proceso en SIMIO	47
3.2.2	Resultados del escenario base	50
3.2.3	Parametrización del modelo en @RISK	53
3.3	Análisis predictivo y discusión de Alternativas de inversión	58
3.3.1	Simulación del escenario 1: Inversión en Báscula	58
3.3.1.1.	Resultados Simio	58
3.3.1.2.	Resultados @RISK.....	61
3.3.1.3.	Mitigación del Riesgo Operacional (P95)	62
3.3.1.3.1.	Análisis del Beneficio Operacional Proyectado (BOS)	62
3.3.1.3.2.	Análisis del Beneficio Operacional Proyectado (BOS)	63
3.3.2	Simulación del escenario 2: Inversión en Montacarga.....	64
3.3.2.1.	Resultados Simio	64
3.3.2.2.	Resultados @RISK.....	66

3.3.2.2.1.	Mitigación del Riesgo Operacional (P95)	67
3.3.2.2.2.	Beneficio Operacional Proyectado (BOS)	68
3.3.2.2.3.	Índice de Eficiencia Operacional (IEO)	68
3.3.3	Simulación del escenario 3: Inversión en Personal Adicional	69
3.3.3.1.	Resultado Simio	69
3.3.3.2.	Resultados @RISK.....	72
3.3.4	Análisis Comparativo de rendimiento Operacional Predictivo	75
Capítulo 4	_____	77
4.	Capítulo 4 _____	78
4.1	Conclusiones y recomendaciones	78
4.1.1	Conclusiones	78
4.1.2	Recomendaciones	79
5.	Referencias _____	81

Abreviaturas

CAPEX Capital Expenditures

PPC Proporcionado por el cliente

TM Toneladas métricas

Índice de figuras

<i>Imagen 1. Diagrama de Capacidad Actual en Términos de Espacio y Almacenamiento</i>	19
<i>Imagen 2. Flujograma del Proceso de Centro de Acopio</i>	21
<i>Imagen 3. Crecimiento de Volúmenes de Cacao (2024) en Toneladas</i>	23
<i>Imagen 4. Vistazo a Capacidad Almacenamiento Levantada</i>	24
<i>Imagen 5. Proceso de Evaluación de Proyectos</i>	32
<i>Imagen 6. Fases de Metodología de Investigación</i>	39
<i>Imagen 7. Vista General del Modelo del Proceso en SIMIO.</i>	49
<i>Imagen 8. Zona 0 Modelo Predictivo: SIMIO Base / Datos de Referencia (Parámetros Fijos)</i>	57
<i>Imagen 9. Zona 1 Modelo predictivo: Costos de Inversión y Costo Anual Equivalente (EAC)</i>	57
<i>Imagen 10. Zona 2 Modelo predictivo: Parámetros de Incertidumbre (@RISK Inputs)</i>	58
<i>Imagen 11. Zona 3 Modelo predictivo: Proyección Predictiva y Cálculo del Índice Final (Salida de Decisión)</i>	60
<i>Imagen 12. Histograma Escenario 1: Báscula</i>	65
<i>Imagen 13. Gráfico de Tornado Escenario 1: Báscula</i>	66
<i>Imagen 14. Gráfico de Histograma Escenario 2: Montacarga</i>	70
<i>Imagen 15. Gráfico de Tornado Escenario 2: Montacarga</i>	71
<i>Imagen 16. Gráfico de Tornado Escenario 3: Personal Adicional</i>	76
<i>Imagen 17. Gráfico de Tornado Escenario 3: Personal Adicional</i>	77
<i>Imagen 18. Modelado del Proceso</i>	90
<i>Imagen 19. Resultados Modelo Simulación</i>	90
<i>Imagen 20. Modelo Efectuado de Simulación Predictiva</i>	91
<i>Imagen 21. Modelo Efectuado de Simulación Predictiva</i>	92
<i>Imagen 22. Datos de Simulados Salidas</i>	92
<i>Imagen 23. Datos de Simulados Entradas</i>	93
<i>Imagen 24. Estadísticos Salida</i>	93
<i>Imagen 25. Estadísticos Entrada</i>	94

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Capacidad Actual en Términos de Almacenamiento</i>	20
Tabla 2. <i>Capacidad Actual en Términos de Almacenamiento y Asociados</i>	20
Tabla 3. <i>Nivel de Riesgo Asociado a las Etapas del Flujo del Proceso del Centro de Acopio</i>	22
Tabla 4. <i>Indicadores de capacidad instalada</i>	30
Tabla 5. <i>Activos con Mayor Impacto en la Operatividad del Patio de Maniobras</i>	41
Tabla 6. <i>Clasificación de Variables Utilizadas en el Modelo de Simulación Operativa</i>	43
Tabla 7. <i>Variables de Incertidumbres Definidas</i>	45
Tabla 8. <i>Variables de Incertidumbres Definidas</i>	46
Tabla 9. <i>Etapas Consideradas en el Modelado del Proceso</i>	51
Tabla 10. <i>Lógica del Nodo de Decisión Posterior al Pesaje</i>	52
Tabla 11. <i>Resumen General del Proceso Modelado en SIMIO</i>	53
Tabla 12. <i>Indicadores de Desempeño del Sistema por Etapa del Proceso</i>	54
Tabla 13. <i>Desempeño de los Recursos del Sistema (Montacarga y Operadores)</i>	55
Tabla 14. <i>Comportamiento de las Entidades Dentro del Sistema</i>	56
Tabla 15. <i>Análisis de Deltas (Δ) Parametrizados del Modelo</i>	59
Tabla 16. <i>Indicadores de Desempeño del Sistema en el Escenario con Báscula Adicional</i>	62
Tabla 17. <i>Desempeño de los Recursos del Sistema en el Escenario con Dos Básculas</i>	63
Tabla 18. <i>Comportamiento de las Entidades en el Escenario con Dos Básculas</i>	64
Tabla 19. <i>Indicadores de Desempeño del Sistema en el Escenario con Montacarga Adicional</i>	67
Tabla 20. <i>Desempeño de los Recursos del Sistema en el Escenario con Montacarga Adicional</i>	68
Tabla 21. <i>Comportamiento de las Entidades en el Escenario con Montacarga Adicional.</i>	69
Tabla 22. <i>Indicadores de Desempeño del Sistema en el Escenario con Operador Adicional.</i>	73
Tabla 23. <i>Desempeño de los Recursos del Sistema en el Escenario con Operador Adicional</i>	74
Tabla 24. <i>Comportamiento de las Entidades en el Escenario con Operador Adicional</i>	75
Tabla 25. <i>Resumen Comparativo de Resultados: SIMIO & @RISK</i>	79

CAPÍTULO 1

1. Introducción

El sector cacaotero, considerado el segundo más relevante dentro del mercado nacional, experimentó un crecimiento significativo durante el primer trimestre de 2025, alcanzando un valor de US\$ 956 millones, según lo indica el informe del primer trimestre de la economía nacional del Banco Central del Ecuador (2025). Este incremento ha generado nuevas exigencias operativas para las empresas del sector, especialmente en la gestión de sus centros de acopio. Por ello, la adecuada administración de estos centros es fundamental para garantizar la continuidad de la cadena de suministro, asegurando que cada eslabón del proceso productivo aporte valor de manera sincronizada y evitando interrupciones que puedan afectar el rendimiento global del negocio.

En este contexto, Lara Martínez et al. (2024) sostienen que el correcto funcionamiento de un centro de acopio, independientemente del sector, requiere la coordinación precisa de múltiples actividades. En la industria analizada, este proceso incluye, en primer lugar, la recepción y descarga del cacao, seguida de su almacenamiento temporal y, finalmente, su envío para procesamiento. Según los autores, es esencial que todo este flujo operativo se mantenga sincronizado, no solo en el manejo adecuado de la materia prima, sino también en la gestión eficiente de los recursos y el control riguroso de los tiempos. Cuando alguno de estos elementos se desajusta, la empresa se ve expuesta a riesgos como bloqueos en etapas críticas, acumulación de inventarios o costos adicionales. Por tanto, resulta imprescindible identificar las áreas prioritarias para la inversión, a fin de garantizar una adaptación efectiva a las nuevas exigencias del sector.

Por consiguiente, el análisis de los escenarios de inversión, lejos de ser una respuesta reactiva, debe adoptarse desde una perspectiva preventiva y estratégica. Tal como lo plantea Komarek et al. (2020), resulta primordial considerar tanto el riesgo inherente como la

probabilidad de impacto en cada una de las etapas del proceso. En tal sentido, el análisis de factibilidad en este tipo de proyectos resulta indispensable y demanda un enfoque sistemático y multidimensional.

Los antecedentes expuestos permiten comprender el contexto en el que se enmarca la empresa objeto de estudio, reconocida ampliamente en el sector de alimentos y bebidas. En los últimos años, esta empresa ha experimentado un incremento notable en el volumen de cacao recibido en su centro de acopio, impulsado principalmente por el aumento tanto en la cantidad de proveedores como en la demanda del producto, esta tendencia se alinea con el crecimiento sostenido del sector cacaotero ecuatoriano. Si bien este crecimiento representa una oportunidad comercial significativa, a nivel administrativo plantea desafíos importantes relacionados con la capacidad operativa del centro de acopio actual y la necesidad de adaptarse a las nuevas exigencias del mercado para sostener la eficiencia y competitividad de la empresa.

En consecuencia, la empresa enfrenta un momento crítico que exige un análisis exhaustivo de múltiples factores; si bien la ampliación de la capacidad del centro de acopio se presenta como una alternativa estratégica, esta implicaría una inversión considerable de recursos.

En este sentido, y como señalan Vilani, Zanin, Tavares et al. (2024), la toma de esta decisión exige una evaluación rigurosa que trascienda la mera identificación de una necesidad, incorporando un análisis detallado de los resultados esperados a corto y largo plazo, así como una consideración integral de los riesgos inherentes al sector agrícola y a la industria asociada. De hecho, los autores destacan que, en la mayoría de los estudios de factibilidad realizados, incluidos aquellos relacionados con centros de acopio, se emplea una evaluación financiera basada en indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación. Estos indicadores resultan indispensables para garantizar tanto la rentabilidad como la sostenibilidad del proyecto, ayudando a mitigar los riesgos vinculados a la

volatilidad del mercado y a los costos variables derivados del aumento en el volumen de proveedores. Sin embargo, subrayan la importancia de incorporar herramientas analíticas que permitan una evaluación más integral y realista de la conveniencia de la inversión.

Frente al panorama antes expuesto, caracterizado por la alta incertidumbre propia del sector agrícola y originada en su mayoría por la variabilidad en la producción, la calidad del grano, las condiciones climáticas y los precios; los métodos tradicionales, aunque útiles se vuelven insuficientes para captar esta complejidad del escenario a analizar (Chrysafis & Papadopoulos, 2020). En virtud de lo expuesto, la simulación predictiva adquiere gran relevancia, ya que posibilita modelar el funcionamiento del proceso considerando no solo la incertidumbre asociada sino también permitiendo la interacción simultánea de múltiples variables. De este modo, facilita la exploración de distintos escenarios, la identificación precisa de riesgos y la cuantificación probabilística de los posibles resultados, lo que contribuye a una toma de decisiones más informada y con menor margen de error.

Por todo lo antes expuesto, este proyecto incorpora herramientas de simulación predictiva como apoyo al análisis de proyectos de inversión, permitiendo evaluar la eficiencia operativa futura bajo distintos escenarios en estudio. Esta integración aporta un enfoque innovador al campo de la auditoría de gestión, al combinar el análisis de datos históricos con la proyección probabilística de resultados. De esta forma, el presente trabajo se enfoca en evaluar de manera integral la conveniencia operacional de invertir en la ampliación de la capacidad del centro de acopio de cacao de la empresa objeto de estudio.

1.1 Descripción del Problema

En el contexto previamente descrito, el centro de acopio de la empresa objeto de estudio se ubica en la ciudad de Guayaquil y es gestionado por el departamento agrícola. En este centro se recibe grano de cacao proveniente de diversas provincias del país, destinado tanto a procesos

de manufactura nacional como a exportación hacia fábricas filiales. La capacidad operativa actual se detalla en la Imagen 1 y Tabla 1.

Imagen 1

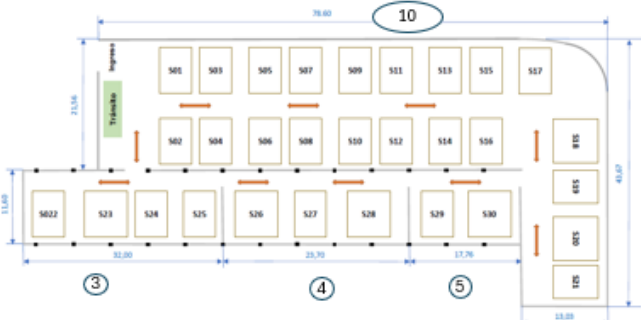
Diagrama de Capacidad Actual en Términos de Espacio y Almacenamiento

TENDALES



Warehouse	MT (Toneladas métricas)
1 Exports (A/B)	800
2 C	150
3 E	1.100
4 D	600
5 P	900
6 T	400
7 L	1.000
8 M	700
9 N	900
Tránsito	250
[1] Capacidad actual	6.800

SOYODA (medida emergente)



Warehouse	MT
1 3	250
2 4	250
3 5	150
4 10	1.550
[1] Capacidad actual	2.200

Nota. Datos tomados de información proporcionada por la compañía bajo estudio

Tabla 1.
Capacidad actual en términos de almacenamiento

Ref	Criterio	Valor	Unidad	Fórmula
A	Capacidad actual	9.000,00	TM	[1]
B	Saldo almacenado en tendal (procedente año anterior)	3.900,34	TM	Total de compras 2024 – Total de exportaciones 2024
C	Ingreso mensual promedio (2025)	3.395,41	TM	Histórico mantenido por la compañía
D	Capacidad anual (Ingreso proyectado 2025)	40.744,87	TM	C*12
E	Promedio despacho anual Sg. Histórico (2024)	35.485,44	TM	Histórico mantenido por la compañía
F	Capacidad que afrontar	9.159,76	TM	B+D-E
G	Déficit proyectado	159,76	TM	A-F

Nota. Datos tomados de información PPC y elaboración propia

Tabla 2
Capacidad actual en términos de almacenamiento y asociados

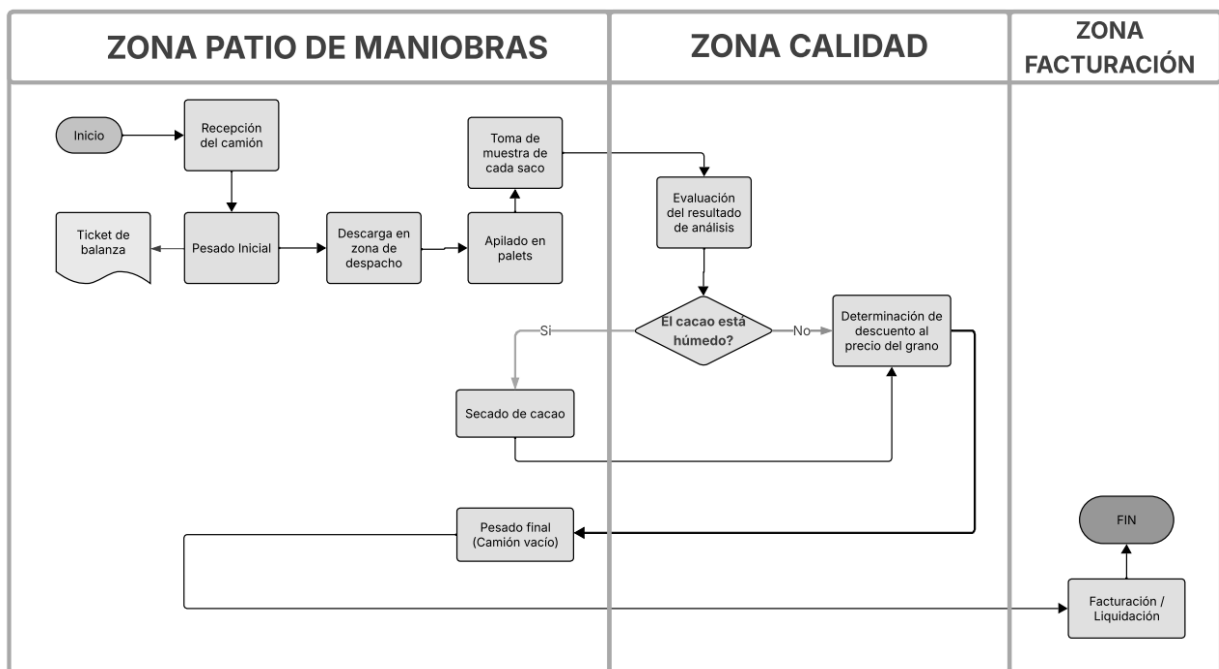
Área del proceso	Parámetro de capacidad	Unidad de medida	Potencial máximo	Escenario actual
Patio de maniobras	Capacidad de almacenamiento	Toneladas mensual	3.395,41 TM	3.395,41 TM
Pesaje	Capacidad de báscula	Camiones	1	Ilimitado
	Ingreso de camiones	Diario	12	6-7
Análisis de calidad	Tasa de muestreo	muestras/día	Depende del ingreso de camiones	Depende del ingreso de camiones
Almacenamiento (Bodega)	Capacidad total	toneladas	245115 TM	9000 TM
	Ingreso de saco por palets	unidades	18	18
Facturación	Tasa de procesamiento	transacciones/hora	No medido	No medido
Recursos (Personal)	Cantidad de operarios	personas/turno	15	10
Recursos (Horas)	Horas de operación	horas/día	8	8
Recursos (Días laborados)	Días	Días / semana	5	5

Nota. Datos tomados de información proporcionada por la empresa

Adicionalmente, como se ilustra en la Imagen 2, el proceso operativo resultante de la capacidad instalada antes desglosada sigue la siguiente secuencia: en el patio de maniobras, ingresa el camión cargado con cacao, donde se realiza el pesaje inicial y se emite un ticket de balanza automático. En este mismo espacio, se descargan los sacos y se apilan en palets. A continuación, se toma una muestra para el análisis de calidad, la cual es remitida al área correspondiente para su evaluación. Posteriormente, se aplican los descuentos correspondientes. Finalmente, el camión en el patio de maniobras vuelve a pesarse en la báscula, a fin de determinar el peso neto del cacao entregado; con estos datos se procede a la facturación.

Imagen 2

Flujograma del Proceso de Centro de Acopio



Nota. La figura muestra el flujo de proceso del centro de acopio

Con base en el análisis del flujo operativo previamente descrito y conforme a la información proporcionada por el jefe de operaciones del centro, así como a las observaciones directas realizadas durante el seguimiento del proceso, se identificaron las áreas críticas dentro del centro de acopio. Destacando especialmente el patio de maniobras como la zona de mayor criticidad, debido al elevado nivel de riesgos operacionales asociados a las actividades que en él se desarrollan. A continuación, en la Tabla 3, se presenta una síntesis del nivel de riesgo asociado a cada una de las zonas involucradas en el proceso operativo.

Tabla 3

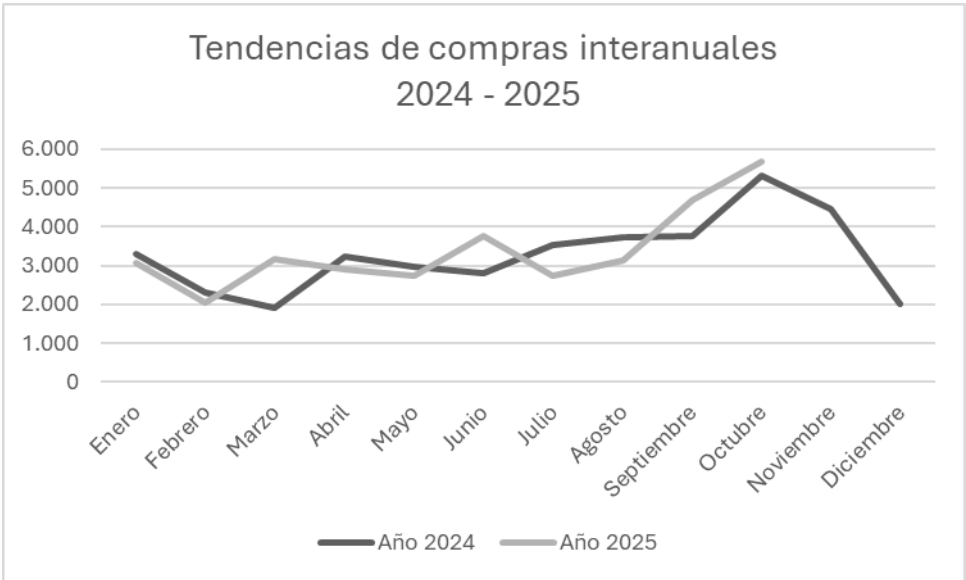
Nivel de Riesgo Asociado a las Etapas del Flujo del Proceso del Centro de Acopio

Zona	Nivel de riesgo operativo asociado	Justificación
Patio de maniobras	Alto	Agrupación de actividades esenciales como el pesaje inicial y final, descarga y apilamiento de sacos, y la toma de muestras para análisis. Alta dependencia de procesos manuales y concentración de subprocesos.
Zona de calidad	Medio	Evaluación técnica de las muestras para asegurar la calidad. Dependencia de zona de patio de maniobras.
Zona de facturación	Medio	Emisión de facturas basada en información precisa del pesaje y descuentos, proceso administrativo clave, pero con menor riesgo operativo. Dependencia de zona de patio de maniobras.

Nota. Datos tomados de entrevista mantenida con jefe de centro operaciones de centro de acopio

En cuanto a los resultados operativos del centro, actualmente este procesa un promedio de 12 camiones por día y tiene capacidad para almacenar 9000 toneladas. Aunque la capacidad actual ha sido suficiente, el crecimiento sostenido en el volumen de cacao recibido entre 2024 y 2025 plantea un escenario de presión operativa. Este incremento responde al aumento de proveedores y a la creciente demanda nacional e internacional ocasionada por la disminución en la oferta proveniente de África, afectada por factores climáticos y productivos. En virtud de aquello, los volúmenes que llegaron al centro han venido creciendo de forma irregular, fuera de lo proyectado, generando para los periodos comprendidos entre enero- octubre 2024 vs 2025 un aumento de más del 3% interanual en nivel de toneladas procesadas (Ver Imagen 3). Este escenario responde al déficit antes indicado y a la par se configura como una limitante de crecimiento operacional.

Imagen 3
Crecimiento de Volúmenes de Cacao (2024) en Toneladas



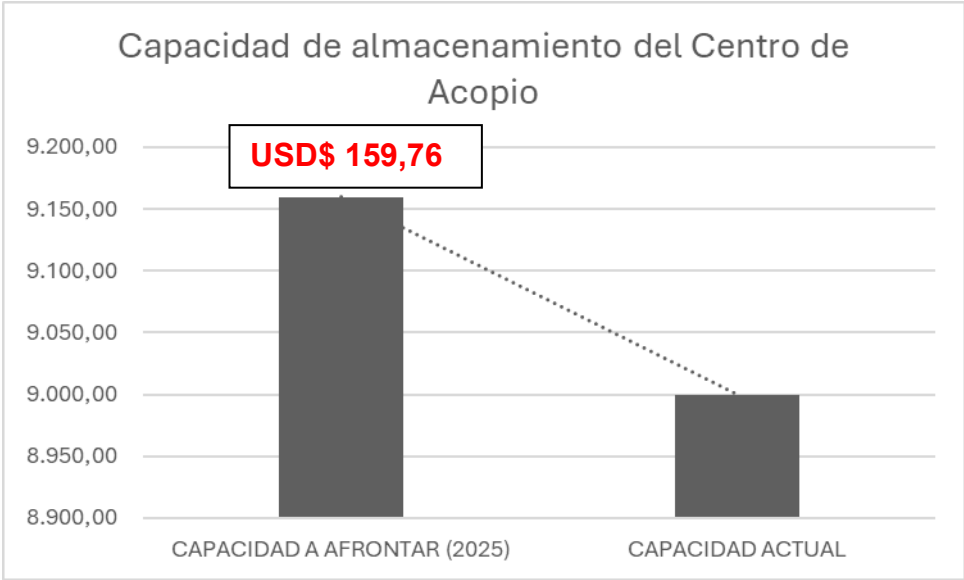
Nota. La figura muestra las cifras de toneladas de cacao recibidas en el período 2024 y 2025

En respuesta a este escenario, y considerando el histórico del año 2025 (3.395 Toneladas mensuales) para finales de 2025 el volumen podría alcanzar más de 33.954 toneladas; lo que superaría la capacidad instalada. Para tener una idea de qué tan crítico es este crecimiento, actualmente el centro de acopio está trabajando al 100% de su capacidad máxima, esta métrica se encuentra cercana al umbral óptimo a establecido por la compañía, mínimo que bordea el 80-85%.

En consiguiente, si bien el problema no limita la respuesta operativa, debido a las medidas emergentes aplicadas (Ver Imagen 1) la capacidad del centro se está acercando a su límite (Ver Imagen 4). Por esta razón, si no se toma una medida preventiva, se estima que en el corto plazo el centro va a llegar a su límite comprometiendo las operaciones diarias.

Imagen 4

Vistazo a Capacidad Almacenamiento Levantada



Nota. Datos tomados de información PPC

1.2 Justificación del Problema

El presente proyecto aborda la insuficiencia potencial de la capacidad instalada del centro de acopio de cacao frente al crecimiento proyectado en los volúmenes de recepción. Este desajuste operativo representa un riesgo para la sostenibilidad del flujo de materiales en la cadena de suministro y exige una evaluación técnica que permita identificar con precisión el umbral temporal y cuantitativo en el que la infraestructura actual dejaría de ser adecuada (Negri et al., 2021)

Ante lo antes expuesto, resolver esta brecha es fundamental tanto desde el punto de vista operativo como del aseguramiento de la calidad; dado que la utilización de un centro de acopio genera cuellos de botella que incrementan los tiempos de recepción, almacenamiento y despacho, afectando la eficiencia del sistema. De acuerdo con la evidencia empírica y los modelos analíticos expuestos por Law & Kelton (2014), la eficiencia colapsa cuando la utilización supera aproximadamente el 85%, debido al efecto no lineal de la variabilidad en los tiempos de servicio. Asimismo, Hopp & Spearman (2011) argumentan que, al acercarse la utilización al 100%, los tiempos de espera y los inventarios en proceso aumentan exponencialmente, volviendo ineficiente el sistema. Por tanto, mantener la utilización operativa en un rango óptimo entre 80% y 85% es una práctica estándar en la industria para evitar congestiones, mejorar la fluidez de procesos y garantizar una capacidad de respuesta efectiva en el centro de acopio. Estas restricciones provocan acumulación de camiones, sobrecarga del personal y riesgo de almacenamiento en condiciones subóptimas, lo que puede afectar la calidad física del grano, reducir su valor comercial y aumentar los rechazos por parte de compradores exigentes.

Adicionalmente, desde la perspectiva comercial y financiera, una infraestructura insuficiente limita la capacidad de respuesta ante oportunidades de mercado y compromete el

cumplimiento de compromisos contractuales con plantas nacionales e internacionales. Esto genera costos directos (penalizaciones, sobrecostos logísticos, contratación de servicios externos) e indirectos (pérdida de contratos futuros, reducción del precio negociable por percepción de riesgo), afectando la rentabilidad y competitividad de la empresa. Además, la recurrencia de eventos de saturación puede deteriorar la reputación institucional, aspecto clave para mantener relaciones comerciales estables y acceder a cadenas de valor con exigencias de suministro continuo (Batarlienė & Jarašūnienė, 2024).

En concordancia, con lo antes expuesto la cadena de valor de la empresa bajo estudio, así como de la mayoría de las industrias se han globalizado y la mecánica detrás de estas se ha vuelto cada vez más complejas; volviendo ineficiente los resultados obtenidos del análisis de tendencias, desperdicios y demás herramientas clásicas utilizadas para el análisis operativo - financiero. En este desfase es donde el análisis predictivo surge como una herramienta potente e imperante en la evaluación y administración sistemática del riesgo asociado a dicha cadena, ya que aprovecha la información basada en datos para pronosticar posibles interrupciones, considera la incertidumbre inherente y optimiza la toma de decisiones (Quadri & William, 2025).

Por tanto, el análisis del riesgo asociado a la cadena de valor mediante simulación predictiva resulta metodológicamente adecuada y operacionalmente beneficiosa (Motunrayo & Olutimehin, 2024); dado que permite modelar la variabilidad en los flujos de recepción, comparar escenarios de crecimiento y evaluar alternativas de respuesta como ampliación de capacidad, optimización de turnos, almacenamiento temporal y mejoras logísticas. En concordancia con aquello, la simulación proporciona evidencia cuantitativa para decisiones de inversión fundamentadas, minimiza el riesgo y facilita la selección de la alternativa que preserve la continuidad operativa (Oloruntosin & Vincent, 2024).

En conclusión, anticipar y resolver el problema del centro de acopio no solo evita costos y pérdidas de calidad; sino que protege la competitividad y sostenibilidad en el mercado en el mediano y largo plazo. A su vez, abordar este tópico representa un aporte innovador dentro del ámbito agroindustrial, al contrastar los enfoques tradicionales aplicados en otras industrias y actualizar la evidencia empírica existente sobre la gestión logística y operativa del centro de acopio de cacao.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo de simulación predictiva mediante el uso de herramientas tecnológicas, que permita analizar escenarios de ampliación de capacidad del centro de acopio bajo condiciones de incertidumbre en la empresa objeto de estudio.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar la situación actual del centro de acopio, mediante la recopilación y análisis de datos operativos, para identificar las limitaciones en su capacidad operativa.
2. Diseñar y modelar el proceso operativo del centro de acopio, utilizando herramientas de simulación para estimar su capacidad óptima bajo distintas condiciones de operación.
3. Analizar los resultados obtenidos del modelo a través de la simulación de escenarios para evaluar la eficiencia operativa del centro de acopio.

1.4 Alcance del proyecto

El proyecto comprende el análisis de la capacidad actual del centro de acopio de cacao y la evaluación de alternativas de expansión mediante modelos de simulación predictiva. Se desarrollarán escenarios que representen la operación actual y posibles condiciones futuras para apoyar la toma de decisiones. El alcance se limita al análisis y simulación de alternativas, sin incluir la implementación física de las propuestas ni la ejecución de cambios operativos en el centro.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Cadena de valor

Entender la operatividad del centro de acopio, foco de estudio de este proyecto, es crucial; en este contexto, resulta fundamental considerar la cadena de valor definida por Porter y Miller (1985) que conceptualiza a la organización como un conjunto de actividades diferenciadas necesarias para el desarrollo del negocio y la creación de valor por el cual los compradores están dispuestos a pagar. Este enfoque plantea que dichas actividades deben ejecutarse a un costo inferior al de los competidores o diferenciarse para poder justificar precios mayores (Porter, 1982). Las actividades, divididas en primarias y secundarias, se definen en función de los procesos clave o el giro del negocio, y su análisis se basa en tres elementos esenciales: el aspecto físico o material, la información y las relaciones con los clientes. Estos elementos actúan como insumos o productos a lo largo de la cadena de valor, permitiendo alcanzar los objetivos estratégicos y consolidar una ventaja competitiva sostenible. Por tanto, este marco teórico sustenta el análisis integral de las operaciones y permite conectar la gestión operativa con la generación de valor y la competitividad en el mercado.

1.5.2 Cadena de suministro

La cadena de suministro constituye un sistema integral donde participan diversos actores, procesos y recursos que hacen posible el movimiento de materiales, información y servicios desde el origen de las materias primas hasta que el producto llega al consumidor final. Este sistema funciona a través de eslabones interconectados que ejecutan múltiples actividades para garantizar que los insumos, productos e información fluyan adecuadamente hasta completar la entrega (Nugent et al., 2019). Cuando esta cadena se gestiona de manera sostenible, no solo se fortalece la capacidad competitiva del cacao en los mercados nacionales e internacionales, sino que también se fomentan prácticas que respetan tanto la viabilidad económica como el equilibrio ambiental del sistema productivo (Novijanto et al., 2023).

Por otra parte, resulta posible mejorar la eficiencia operativa de los centros de acopio cuando se optimiza la cadena de suministro mediante modelos predictivos y estrategias de bucle cerrado. La incorporación de políticas que consideran el reparto equitativo de ganancias y que contemplan las pérdidas que ocurren durante el almacenamiento permite generar simulaciones más cercanas a la realidad y, en consecuencia, facilita la toma de decisiones. (Fauza et al., 2024).

1.5.3 Centros de acopio de cacao

Los centros de acopio representan un eslabón fundamental en la cadena productiva del cacao. Estas instalaciones permiten organizar el flujo del producto desde los agricultores hasta su comercialización o procesamiento industrial. El Manual de Procesos de Centro de Acopio de Cacao de Ortíz & Guilcapi (2021) describe que estos espacios se encargan de recibir, clasificar, fermentar, secar, almacenar y despachar el grano bajo condiciones controladas. Esto garantiza tanto la calidad del producto como su trazabilidad. El centro de acopio va más allá del simple almacenamiento: funciona como un sistema dinámico que equilibra la oferta y demanda del cacao, adaptándose a las variaciones estacionales, climáticas y de volumen de producción que caracterizan este cultivo.

La capacidad operativa depende de factores como infraestructura, espacio de almacenamiento y recursos humanos y tecnológicos (Ortíz & Guilcapi, 2021). Estos elementos determinan la eficiencia del procesamiento y condicionan futuras ampliaciones. Turin Limo (2024) indica que los modelos de simulación permiten identificar cuellos de botella, evaluar escenarios de expansión y predecir el comportamiento del sistema ante incertidumbre. Comprender la dinámica interna del centro de acopio es fundamental para desarrollar modelos predictivos que apoyen decisiones estratégicas sobre capacidad y eficiencia operativa.

1.5.4 Capacidad instalada

Mejía (2013) sostiene que la capacidad instalada se refiere a la disponibilidad de infraestructura necesaria para producir determinados bienes o servicios, y se cuantifica de forma directa en función de la cantidad de producción que puede suministrarse. Klein (1960), citado por Mundaca, Saldarriaga y Virreira (2019), precisan que “esta métrica fija el punto sobre la función de producción en el cual se utilizan plenamente los insumos poseídos”, representando el mínimo en la curva de costo medio a corto plazo y reflejando que, a nivel de capital y trabajo, todo opera bajo un uso razonable y acorde a la realidad operativa en el momento de la operación (Winston, 1974). Comprender y contemplar esta capacidad permite visualizar de manera precisa la realidad operativa, siendo un aspecto clave para evaluar el funcionamiento del centro de acopio. En consecuencia a lo mencionado por los autores antes citados, algunos de los indicadores que permiten el análisis de esta métrica se detallan en la Tabla 4.

Por tanto, este tipo de capacidad representa la situación disponible en términos operativos para alcanzar los máximos resultados organizacionales esperados; pudiendo calcularse en términos de activos fijos y rendimientos de estos o en su defecto únicamente en función de rendimientos del capital humano (Fragua Niño, 2023).

Tabla 4
Indicadores de Capacidad Instalada

Métrica	Fórmula	Unidad
Valor de la inversión en capacidad instalada (A)	—	\$
Capacidad instalada en unidades potenciales (B)	—	unidades
Unidades reales producidas (C)	—	unidades
Precio por unidad (D)	—	\$/unidad
Valor total de la producción potencial (E)	$E = B \times D$	\$
Valor total de la producción real (F)	$F = C \times D$	\$
% Capacidad utilizada en unidades producidas (G)	$G = C / B$	%
Eficiencia potencial (H)	$H = A / B$	\$/unidad
Eficiencia real (I)	$I = A / C$	\$/unidad
Productividad potencial (J)	$J = E / A$	sin unidad
Productividad real (K)	$K = F / A$	sin unidad

Nota. Fuente elaboración propia.

1.5.5 Proyectos CAPEX

Los proyectos CAPEX (Capital Expenditure o gastos de capital) constituyen inversiones significativas que las organizaciones destinan a la adquisición, construcción, ampliación o mejoramiento de activos físicos tangibles, con la expectativa de que dichos activos generen beneficios económicos sostenidos a lo largo del tiempo. Este tipo de inversiones busca incrementar la capacidad de producción de una empresa, optimizar sus procesos operativos existentes o facilitar la incorporación de nuevas tecnologías que refuercen su posición competitiva en el mercado. Dado que estos proyectos demandan el compromiso de recursos financieros considerables, su implementación requiere llevar a cabo una evaluación rigurosa que

contemple múltiples dimensiones, sin perder de vista las variables de riesgo e incertidumbre que naturalmente caracterizan cualquier entorno de inversión (Correa-Henao, 2022).

En concordancia a lo antes expuesto y en referencia a la ampliación del centro de acopio de cacao, la aplicación del enfoque CAPEX adquiere particular relevancia para determinar la factibilidad de la inversión logística planteada. Esto se debe a que el proyecto involucra necesariamente la asignación de capital, todo ello con el propósito de mejorar sustancialmente la capacidad operativa del centro. La utilización de un modelo de simulación predictiva en este contexto permite explorar diversos escenarios posibles bajo condiciones de incertidumbre, estimando con mayor precisión los impactos operativos que podrían derivarse de la ampliación propuesta.

1.5.6 Análisis de factibilidad

Antes de ejecutar cualquier proyecto logístico, resulta fundamental realizar un análisis de factibilidad que permita evaluar si la propuesta es viable desde el punto de vista técnico, operativo y económico. Esto cobra especial relevancia cuando el objetivo es ampliar la capacidad de un sistema existente en un contexto marcado por la incertidumbre.

El uso de modelos y tecnologías aplicadas a la logística de suministros posibilita anticipar fluctuaciones de la demanda y optimizar las decisiones relacionadas con inventarios, costos y planificación (Kosenko et al., 2019). Este enfoque tecnológico constituye una base confiable para evaluar la viabilidad de proyectos logísticos, ya que facilita el análisis de diferentes escenarios y la estimación del impacto que cada alternativa tendría sobre la eficiencia del sistema.

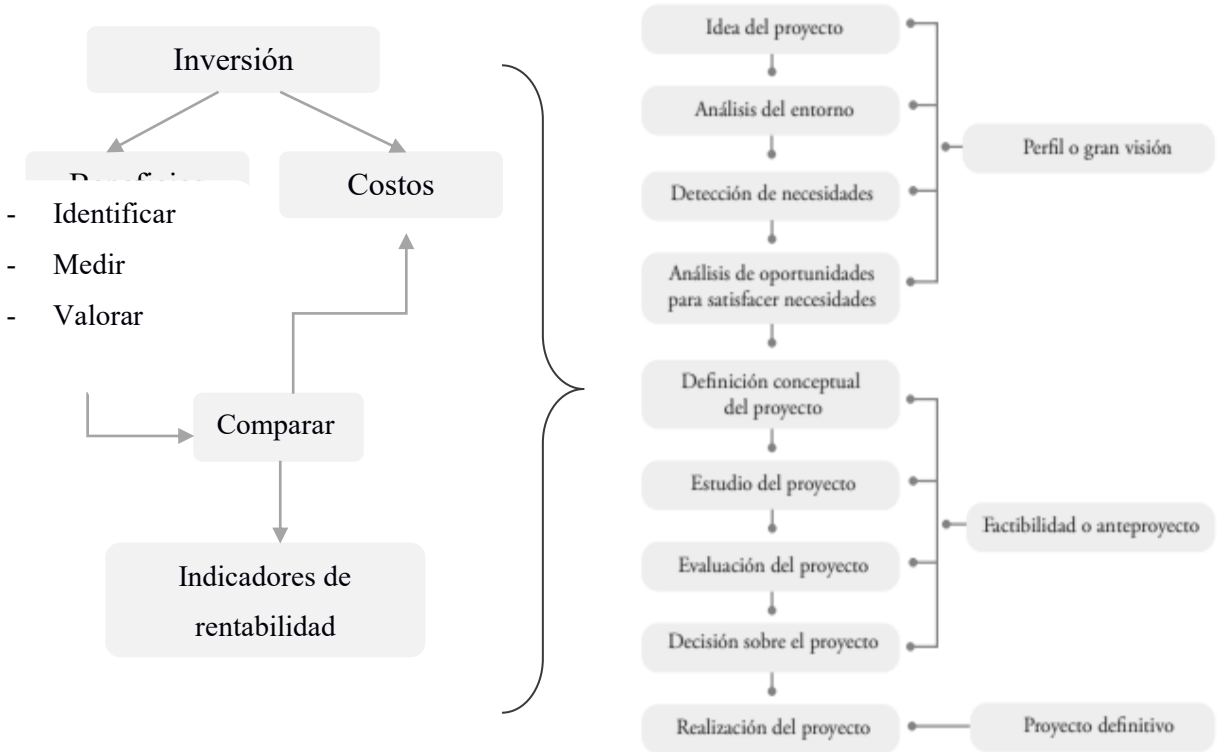
La simulación matemática representa una herramienta efectiva para incorporar la incertidumbre y anticipar comportamientos futuros en sistemas agrícolas, como lo demuestra su

aplicación en la proyección de producción cacaotera en la provincia de El Oro mediante un modelo de crecimiento logístico complementado con simulación Monte (Campoverde Jara & Colcha Ortiz, 2025)

1.5.7 Proceso de evolución de proyectos

En el campo empresarial lo proyectos son la columna vertical de toda la organización, a través de ellos se implementan estrategias que acerca a la organización a sus objetivos empresariales (Valencia (2011). En este contexto, Baca Urbina (2013) reafirma lo mencionado por Valencia; indicando el proceso de evaluación se concentra en el análisis holístico de sus posibles implicaciones y requerimientos; abarcando desde la necesidad o idea de inversión, sus beneficios, costos y finalmente el análisis de indicadores de rentabilidad; esto a través del desglose especializados en diferentes esferas o factores inherente, como se ilustra en la Imagen 5.

Imagen 5
Proceso de Evaluación de proyectos



Nota. Datos tomados de Valencia (2021) y Baca Urbina (2013)

En consecuencia, para medir el rendimiento de estos proyectos, controlar costos o gastos y convertir dicha inversión en ganancias, se usan los indicadores de rentabilidad (Fontalvo Herrera et al., 2012); los índices más utilizados para medirlos, según Goldmann (2016) son: el retorno sobre las ventas (ROS), retorno sobre los activos (ROA), retorno sobre el patrimonio (ROE) y en el caso específico de proyectos de inversión el retorno sobre la inversión (ROI). Sin embargo, estos no son los únicos indicadores según sostiene Valencia (2011) “Cuando se analiza el proceso de evaluación de proyectos comúnmente se relaciona al uso de indicadores de rentabilidad, usualmente el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) y en algunos casos se menciona al Valor Económico Agregado (EVA)”. Estos índices se mantienen como base del análisis financiero vigente hasta la actualidad.

De modo que entre, comprender las implicaciones asociadas a esta evaluación es fundamental para priorizar el análisis de analizar adecuadamente los resultados obtenidos, estableciendo eje conductual orientador para el análisis de este entorno a la toma de decisiones basadas en función a dichos resultados. Este enfoque permite garantizar que el análisis de este proyecto considere no solo aspectos financieros sino también estratégicos y operativos, asegurando una gestión efectiva y sostenible.

1.5.8 Analítica predictiva

La analítica predictiva definida por Shmueli & Koppius (2011), citado por Alotaibi (2023) como “el uso de datos, algoritmos estadísticos y técnicas de aprendizaje automático para estimar la probabilidad de resultados futuros basándose en datos históricos”, ha adquirido un rol relevante en la evaluación del riesgo operativo y financiero de diferentes industrias; sin

embargo, a medida que aumenta el volumen y la complejidad de estos datos, se vuelve más difícil identificar riesgos potenciales y evaluar su impacto en la información financiera.

En contraste con aquello, Motunrayo & Olutimehin (2024) sostienen que “la aplicación del análisis predictivo va más allá de la gestión de riesgos y abarca la planificación de las compras y la producción.”; puesto que, en la actualidad esta no solo figura como una herramienta para estimar la demanda de ventas, costos o ingresos; sino que permite principalmente la mejora en la precisión de las previsiones, la optimización de costos y la planificación estructurada de inversiones; mejorando así la eficiencia general de la cadena de suministro. Por ello, estudios previos sobre el uso del análisis predictivo en la evaluación operacional han demostrado sus ventajas en términos de identificación de riesgos, complementación de los métodos de análisis tradicionales, eficiencia y eficacia de recursos; sin embargo, existen limitaciones como la dependencia de datos históricos y la necesidad de datos de alta calidad, por lo que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar modelos de análisis predictivo para la evaluación de diferentes aspectos de una compañía (Alotaibi, 2023).

La analítica predictiva definida por Shmueli & Koppius (2011) y citada por Alotaibi (2023) Alotaibi (2023) se define como “el uso de datos, algoritmos estadísticos y técnicas de aprendizaje automático para estimar la probabilidad de resultados futuros basándose en datos históricos”. Por lo tanto, su aplicación en la auditoría y en la gestión empresarial a cobrado gran relevancia en la evaluación del riesgo operativo y financiero; sin embargo, a medida que aumenta el volumen y la complejidad de estos datos, se vuelve más difícil identificar riesgos potenciales y evaluar su impacto en la información financiera. En consecuencia, estudios previos sobre el uso del análisis predictivo en la evaluación de riesgos han demostrado sus ventajas en términos de identificación de riesgos, complementación de los métodos de análisis tradicionales, eficiencia y eficacia de recursos; pero también existen limitaciones, como la dependencia de

datos históricos y la necesidad de datos de alta calidad, por lo que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar modelos de análisis predictivo para la evaluación del riesgo de auditoría (Alotaibi, 2023).

La analítica predictiva definida por Shmueli & Koppius (2011) y citada por Alotaibi (2023) se define como “el uso de datos, algoritmos estadísticos y técnicas de aprendizaje automático para estimar la probabilidad de resultados futuros basándose en datos históricos”. Por lo tanto, su aplicación en la auditoría y en la gestión empresarial ha cobrado gran relevancia en la evaluación del riesgo operativo y financiero; sin embargo, a medida que aumenta el volumen y la complejidad de estos datos, se vuelve más difícil identificar riesgos potenciales y evaluar su impacto en la información financiera. En consecuencia, estudios previos sobre el uso del análisis predictivo en la evaluación de riesgos han demostrado sus ventajas en términos de identificación de riesgos, complementación de los métodos de análisis tradicionales, eficiencia y eficacia de recursos; pero también existen limitaciones, como la dependencia de datos históricos y la necesidad de datos de alta calidad, por lo que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar modelos de análisis predictivo para la evaluación del riesgo de auditoría (Alotaibi, 2023).

1.5.9 Herramientas cuantitativas de análisis predictivo: Simulación Discreta de Eventos (SDE)

El desarrollo continuo de los procesos industriales, las operaciones logísticas y la sostenibilidad a largo plazo han llevado a mayores inversiones en las diferentes actividades claves de cada industrial (Ebner et al., 2016). En este contexto, Mosquera Gutierrez & Jaramillo Castillo (2024) sostienen que la simulación de eventos discretos (SED) “es una técnica que permite representar y examinar el modo en el que se comportan tanto sistemas reales como

hipotéticos, facilitando la exploración y comprensión de sistemas completos que son tanto dinámicos como estocásticos”.

En la misma línea, en la investigación realizada por González (2022) citada por Mosquera Gutierrez & Jaramillo Castillo (2024) se resalta la capacidad de la Simulación de Eventos Discretos (SED) para optimizar el rendimiento de la cadena logística, demostrando descensos importantes en los niveles de stock y en los gastos de mantenimiento, además de generar mejoras en los índices de atención al cliente y en la eficiencia de la utilización de los recursos disponibles.

CAPÍTULO 2

2. Metodología

2.1 Generalidades del diseño metodológico

La metodología empleada en este proyecto se fundamentó en la integración de dos enfoques complementarios: la Teoría de las Restricciones (TOC) y las fases del Design Thinking. Esta combinación permitió abordar la problemática del centro de acopio desde una doble perspectiva: analítica y sistémica, enfocada en la identificación de restricciones y su impacto en la eficiencia global; y creativa y exploratoria, orientada a la generación y validación conceptual de alternativas de mejora mediante simulación.

Desde la óptica de la TOC, la metodología se centró en detectar el cuello de botella operativo que limitaba la capacidad del sistema logístico, analizar sus causas y diseñar alternativas de inversión que permitiesen optimizar el flujo de trabajo. Por su parte, el enfoque de Design Thinking aportó una estructura iterativa que permitió comprender, idear y prototipar soluciones adaptadas al contexto del centro de acopio, validándolas de forma virtual mediante modelado computacional. Las fases del Design Thinking (empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar) fueron reinterpretadas bajo un enfoque cuantitativo, donde el prototipo correspondió al modelo de simulación desarrollado en la plataforma SIMIO.

Si bien el propósito final del proyecto consistió en evaluar la conveniencia de invertir en mejoras operativas, la investigación no se limitó a un análisis tradicional de factibilidad, sino que integró esta evaluación como una fase dentro del proceso metodológico, específicamente en la etapa de simulación financiero-probabilística. De esta manera, el análisis de factibilidad constituyó el mecanismo de validación técnica y económica de los escenarios propuestos, articulando los resultados del modelado operativo con la estimación de indicadores de viabilidad y riesgo.

En consecuencia, se adoptó una estrategia metodológica de carácter cuantitativo y enfoque explicativo, que permitió modelar el comportamiento del centro de acopio y proyectar los flujos operativos futuros, considerando información de los años 2024 y 2025. Esto permitió observar la evolución logística y anticipar su comportamiento ante variaciones en el volumen de toneladas métricas procesadas. Esta aproximación permitió identificar relaciones causales entre variables operativas y financieras, y construir escenarios comparativos como base para la toma de decisiones estratégicas.

En función de lo antes expuesto, se reestructuró la metodología de investigación enfatizando en la simulación como herramienta de diagnóstico y evaluación financiera, integrando modelos operativos y proyecciones económicas. Misma que se resume en la siguiente secuencia de fases: diagnóstico operativo, fijación de alternativas de inversión a evaluar, modelado del proceso y simulación operativa, simulación financiera y análisis de resultados (Ver Imagen 6)

Imagen 6

Fases de Metodología de Investigación



Nota. Elaboración propia.

2.2 Fases de la metodología de la investigación

2.2.1 Diagnóstico operativo

Cabe mencionar que el diagnóstico operativo, causas asociadas y demás fueron expuestos en la definición del problema; de tal manera que en este apartado se detalla el procedimiento seguido para obtener dichos hallazgos y estructurar la propuesta de solución a la problemática abordada. Esta fase constituyó el punto de partida metodológico del estudio, orientada a caracterizar el funcionamiento actual del patio de maniobras y a identificar los factores que limitaban su eficiencia. Su desarrollo permitió establecer una línea base sobre la cual se modelaron posteriormente los escenarios de inversión.

Para ello, se aplicaron técnicas de observación directa, entrevistas semiestructuradas al jefe de operaciones, análisis de riesgo operativo e impacto y análisis documental de registros históricos correspondientes a los años 2024 y 2025. Estas fuentes permitieron reconstruir el flujo logístico del centro de acopio (ver Imagen 2), identificar los subprocesos críticos (pesaje, descarga, apilamiento y toma de muestras) y cuantificar los tiempos asociados a cada actividad.

La información obtenida en esta etapa fue sistematizada mediante diagramación en SIMIO, lo que facilitó la visualización de las interacciones entre recursos, actividades y restricciones físicas del espacio. Este insumo fue esencial para parametrizar el modelo de simulación operativa y definir las variables clave que serían evaluadas en las fases posteriores.

2.2.2 Fijación de alternativas de inversión a evaluar

Una vez diagramado el proceso logístico del centro de acopio y delimitada la zona crítica (el patio de maniobras) se procedió a identificar, mediante la técnica de los “5 Why”, los focos operativos que generaban restricciones significativas en el flujo de trabajo. Este análisis permitió aislar los activos cuya condición, capacidad o configuración incidía directamente en la eficiencia

del sistema, tanto en términos de tiempos de servicio como de acumulación de tareas en puntos sensibles. Los activos con mayor impacto se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5

Activos con Mayor Impacto en la Operatividad del Patio de Maniobras

Activo operativo	Frecuencia de uso	Nivel de impacto en el flujo operativo	Observaciones operativas
Báscula de pesaje	Alta (todos los vehículos)	Alto	Punto de ingreso obligatorio; genera acumulación y tiempos de espera prolongados
Camión de carga interna	Media-alta (según turnos)	Alto	Interrumpe la secuencia de descarga; dependencia operativa entre subprocesos
Infraestructura física del patio	Permanente	Alto	Limita maniobras simultáneas; riesgo de saturación espacial en horas pico
Sistema de apilamiento y descarga manual	Alta (todos los turnos)	Alto	Alta variabilidad en tiempos; sobrecarga física del personal; riesgo ergonómico
Zona de espera de vehículos	Media	Medio	Aporta a la organización del ingreso; su impacto depende de la capacidad de pesaje
Área de toma de muestras	Media	Medio	Requiere coordinación con descarga; no genera acumulación directa
Señalización interna de maniobras	Baja	Bajo	Mejora la seguridad operativa; no condiciona directamente el flujo logístico

Nota. Fuente elaboración propia a partir de utilización de herramienta de 5 Why.

A partir de los activos identificados con mayor nivel de impacto (particularmente aquellos que condicionan directamente el flujo operativo del patio de maniobras) se definieron las posibles líneas de intervención. La selección de estos focos respondió no solo a su frecuencia

de uso y criticidad operativa, sino también a su potencial de mejora bajo criterios técnicos, logísticos y financieros.

Tras el análisis operativo y la validación conjunta con el equipo operativo del centro de acopio, se fijaron las siguientes alternativas de inversión como base para el estudio de factibilidad:

- Adquisición de una nueva báscula electrónica, con el objetivo de reducir los tiempos de pesaje y mejorar la fluidez del ingreso de vehículos.
- Compra de un nuevo camión de carga, destinado a optimizar el transporte interno y disminuir los tiempos de espera entre subprocesos.
- Ampliación del número de operarios por turno en la zona de paletizado para disminuir los tiempos de despacho de un camión.

Estas alternativas fueron formuladas como escenarios de intervención evaluables mediante simulación operativa y financiera, y constituyen el punto de partida para la modelación desarrollada en las fases siguientes.

2.2.3 Modelado del proceso y simulación operativa

Una vez definidas las alternativas de inversión, se procedió a diagramar el flujo operativo del patio de maniobras utilizando la plataforma SIMIO. Este modelado permitió representar de forma estructurada los subprocesos logísticos y los recursos involucrados, estableciendo las condiciones iniciales para la simulación. La construcción del modelo se basó en la identificación de variables relevantes (Ver Tabla 6), clasificadas según su rol en el sistema: las variables independientes correspondieron a los activos fijos directamente asociados a las alternativas de inversión, mientras que las variables dependientes reflejaron el comportamiento emergente del sistema bajo distintas configuraciones operativas.

Tabla 6*Clasificación de Variables Utilizadas en el Modelo de Simulación Operativa*

Tipo de variable	Elemento observado	Descripción técnica
Independiente	Báscula electrónica (alternativa 1)	Capacidad de pesaje por hora; reducción de tiempos de ingreso
Independiente	Camión de carga interna (alternativa 2)	Disponibilidad de transporte interno; mejora en la secuencia de descarga
Independiente	Operador de paletizado (alternativa 3)	Capacidad de personal para despacho de camiones y formación de palet
Dependiente	Volumen procesado por día (TM)	Total, de unidades atendidas considerando la capacidad operativa.
Dependiente	Tiempo de ciclo por camión (minutos)	Tiempo total desde ingreso hasta salida del vehículo
Dependiente	Nivel de utilización operativa (%)	Porcentaje de uso efectivo de los recursos disponibles
Dependiente	Probabilidad de saturación del sistema (%)	Riesgo de congestión operativa en condiciones de alta demanda
Dependiente	Tiempos de esperas	Representa el tiempo promedio que las entidades permanecen en cola antes de ser atendidas. Refleja directamente el nivel de congestión del sistema.

Nota. Fuente elaboración propia.

Estas variables fueron parametrizadas en el modelo de simulación operativa, permitiendo representar con precisión las condiciones reales del patio de maniobras y evaluar el impacto de cada alternativa de inversión sobre el desempeño logístico del sistema. Este modelo se configuró en 3 principales objetos; cuya naturaleza se detalla a continuación:

- **Sources:** representa los puntos de entrada, llegadas de los camiones
- **Servers:** representa la capacidad de procesamiento o servicios
- **Sinks:** representa salidas, entrega de productos terminados.

2.2.4 Simulación financiera - operativo

Con base en los resultados obtenidos en la fase de modelado operativo, se construyó un modelo predictivo de riesgo operacional que permitió evaluar la factibilidad financiera de cada alternativa de inversión frente a la incertidumbre de la demanda proyectada al horizonte de evaluación. Con ello se transformó las métricas logísticas de tiempo y capacidad en un Índice de Eficiencia Operacional Anualizada, esencial para el análisis de estas alternativas de inversión. Para ello se siguieron la siguiente secuencia de sub-fases:

2.2.4.1 Definición del Benchmark Operacional

Con los estadísticos básicos arrojados por la simulación de eventos discretos (SIMIO), se identificaron las áreas de mayor utilización de recursos y los puntos críticos de espera del sistema. Aplicando los principios de la Teoría de Restricciones (TOC), se determinó que el proceso de pesaje (báscula) constituía el cuello de botella logístico del centro, dado su nivel de utilización cercano a la saturación y su impacto directo en el rendimiento (throughput) general.

En consecuencia, el rendimiento de esta restricción se estableció como el benchmark primario de la evaluación. Se seleccionó el Percentil 95 del tiempo de espera en el cuello de botella para cuantificar el riesgo operacional extremo, con el objetivo de asegurar que la inversión estuviera diseñada para mitigar el peor escenario creíble de congestión y colapso logístico, y no solo para mejorar el rendimiento promedio.

2.2.4.2 Parametrización de la Incertidumbre en @RISK

Tras la definición del benchmark operacional, se procedió a parametrizar el modelo de simulación vía Simulación Monte Carlo de @RISK. Este proceso de inyección de variabilidad y proyección de condiciones al año 2026 se realizó tal como se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7

Variables de Incertidumbres Definidas

Variable de Incertidumbre	Tipo de Distribución	Objetivo en la Simulación
Factor de Crecimiento de la Demanda	Triangular (RiskTriang)	Proyectar la tasa de llegada de camiones al 2026, con el límite inferior calibrado al crecimiento histórico mínimo de la compañía (1.03).
Factor de Mejora Operacional de la Inversión	Triangular (RiskTriang)	Simular la efectividad real y variable de cada alternativa (Báscula, Montacarga, Personal) para reducir los tiempos de proceso.

Nota. Fuente elaboración propia

2.2.4.3 Definición de Costos y Factores Financieros Clave

Tras la finalización del modelado de riesgo en @RISK y con la finalidad de probar la factibilidad de la inversión sin utilizar métricas financieras tradicionales como la Tasa Interna de Retorno (TIR) ni el Valor Actual Neto (VAN) se procedió a definir los factores económicos y de anualización. Estos factores permitieron transformar la mitigación del riesgo operacional (P95) en una métrica de factibilidad monetaria (Ver Tabla 8).

Tabla 8*Variables de Incertidumbre Definidas*

Métrica	Fórmula	Finalidad
Costo Operacional por Minuto (CGO)	CGO / Minutos operacionales programados	Monetizar el valor de la capacidad productiva recuperada.
Costo Anual Equivalente (EAC)	Se calculó utilizando el método de amortización lineal simple, dividiendo el costo de inversión (CAPEX) entre la vida útil del activo en años.	Anualizar la inversión inicial (CAPEX) para hacerla comparable con el beneficio anual sin descontar el valor del dinero en el tiempo.

Nota. Fuente elaboración propia.

2.2.4.4 Cálculo del Beneficio Operacional Simulado e Índice Final

La última fase de la metodología consistió en el cálculo del Beneficio Operacional Simulado (BOS) y el Índice de Eficiencia Operacional, utilizando las salidas de la simulación de riesgo. La reducción de riesgo en minutos fue calculada con base en la diferencia entre el (P95) proyectado sin inversión y el (P95) proyectado con la alternativa.

La fórmula utilizada para calcular el Beneficio Operacional Simulado (BOS) se detalla en la ecuación (2.2.4.1):

$$BOS = \Delta P95 \text{ Minuto evitados} * \text{Costo operacional por minuto} * \text{Visitas anuales promedio} \quad (2.2.4.1)$$

Finalmente, el Índice de Eficiencia Operacional (IEO) se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Índice de eficiencia operacional} = \frac{BOS}{EAC} \quad (2.2.4.2)$$

La distribución de probabilidad de este índice, obtenida de la simulación de @RISK, y permitió seleccionar la alternativa que maximizaba el P95 de la eficiencia operativa. De esta manera, se finalizó el proceso metodológico con la capacidad de seleccionar, bajo un criterio económico-logístico defendible, la alternativa de inversión que maximizaba la robustez y el rendimiento frente a la incertidumbre proyectada.

2.2.5 Análisis de resultados

Finalizada la simulación operativa en SIMIO y la proyección probabilística en @RISK, se procedió a interpretar los indicadores clave de desempeño (KPIs) obtenidos bajo cada escenario de inversión. La evaluación de la alternativa más viable fue determinada mediante la valoración rigurosa del rendimiento predictivo del sistema, utilizando el Percentil 95 (P95) del tiempo de espera en el cuello de botella como métrica rectora. Se analizó el riesgo operacional asociado a cada alternativa, cuantificando su impacto en el volumen procesado (throughput), el tiempo de ciclo por camión y la probabilidad de saturación de los recursos.

La alternativa seleccionada fue aquella que ofreció el mejor equilibrio entre eficiencia logística y capacidad de respuesta, maximizando el volumen procesado y minimizando los tiempos de ciclo, sin comprometer la estabilidad operativa del sistema. Esta decisión fue validada al maximizar el Índice de Eficiencia Operacional, el cual demostró qué inversión ofrecía la mejor mitigación del riesgo (P95) por unidad de costo, fundamentando la recomendación en el desempeño predictivo y la estabilidad económica del sistema.

Esta decisión se fundamentó en los resultados obtenidos en las fases anteriores y en la validación conjunta con el equipo técnico del centro de acopio.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

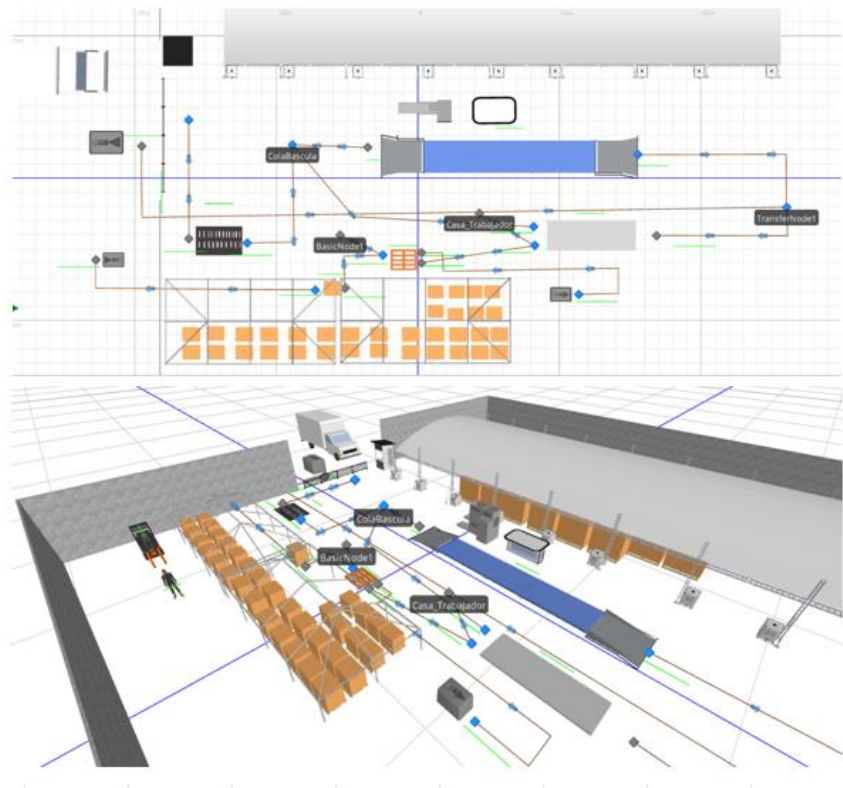
3.1 Metodología de Simulación Empleada

3.1.1 Ejecución de modelo en SIMIO

Para analizar el comportamiento operativo del centro de acopio y evaluar el impacto de las alternativas de inversión, se desarrolló un modelo de Simulación de Eventos Discretos (SED) en la plataforma SIMIO como se puede observar en la Imagen 8. Con esto se pudo representar el flujo real del proceso, incorporando la secuencia lógica de actividades, los recursos involucrados y las restricciones físicas que condicionan el rendimiento del sistema.

Imagen 7

Vista General del Modelo del Proceso en SIMIO.



Nota. Elaboración propia.

La construcción del modelo partió del levantamiento detallado de las actividades ejecutadas en el patio de maniobras, estas consistían en pesaje inicial, descarga y apilamiento de sacos, pesaje final y despacho, así como de los tiempos de proceso asociados a cada uno de estos subprocesos. Con esta base, se configuraron los objetos principales del modelo (sources, servers y sinks), asignando a cada entidad los parámetros obtenidos del histórico 2024–2025 y de las observaciones en campo.

SIMIO permitió capturar la variabilidad natural del sistema, reflejada en los tiempos de servicio, las filas generadas en momentos de alta concurrencia y el uso efectivo de recursos críticos como la báscula, el camión de carga interna y el personal operativo. A partir de esta representación, se generó una simulación del escenario actual del centro, la cual sirvió como línea base para evaluar los cambios en el rendimiento bajo las alternativas de inversión propuestas. Esta simulación permitió obtener indicadores clave como el tiempo de ciclo por camión, utilización de recursos, longitudes de cola y volumen procesado que posteriormente fueron utilizados como insumo para el análisis predictivo en @RISK.

3.2 Modelado y validación de escenario base

3.2.1 Desarrollo del modelo de proceso en SIMIO

El desarrollo del escenario base en SIMIO se estructuró a partir de la operación real del centro de acopio, integrando la lógica del flujo de camiones, la descarga de sacos, la conformación de palets y su posterior traslado a almacenamiento. Cada etapa se parametrizó utilizando datos históricos correspondientes al periodo 2024–2025 y tiempos proporcionados por el departamento de operaciones. El proceso simulado siguió de manera general las etapas que se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9*Etapas Consideradas en el Modelado del Proceso*

#	Etapa del proceso	Tipo de objeto	Descripción
1	Llegada del camión	Source	Generación del camión, asignación de atributos (peso y número de sacos).
2	Espera previa al pesaje	Server “Estacionamiento”	El camión espera para ingresar a báscula.
3	Pesaje Inicial	Server “Báscula”	Registro del peso bruto utilizando tiempos históricos.
4	Nodo de decisión	Transfer Node	Determina si el camión sale del sistema o continúa a descarga.
5	Descarga y separación	Separator	Generación de entidades “Saco” y salida del camión vacío.
6	Transporte manual de sacos	Worker	Movimiento individual de sacos hacia el área de paletizado por parte de los trabajadores.
7	Paletizado	Combiner	Agrupación de sacos en palets de 30 unidades mediante un Combiner.
8	Traslado a almacenamiento	Server “Almacenamiento”	Movilización del palet completo mediante montacargas hacia la zona de almacenamiento.

Nota. Fuente elaboración propia.

El proceso inicia con un *Source* que genera camiones siguiendo la distribución de llegadas ajustada a los registros históricos. A cada entidad se le asignaron atributos operativos como la cantidad de sacos transportados y su peso bruto, los cuales definen la ruta posterior dentro del modelo. Tras su generación, el camión se dirige al área de espera previa al pesaje, representada mediante el *Server* denominado “Estacionamiento”. Este objeto reproduce tanto la

capacidad máxima del área como el tiempo típico de espera. Luego, el camión ingresa al *Server* “Báscula”, cuyo tiempo de procesamiento se configuró seleccionando aleatoriamente uno de los valores contenidos en la tabla de tiempos históricos. Una vez completado el pesaje inicial, un *Transfer Node* determina el recorrido del camión según la condición de peso, Tal como se detalla en la Tabla 10.

Tabla 10

Lógica del Nodo de Decisión Posterior al Pesaje

Condición	Acción
Peso = 0	El camión abandona el sistema (Sink)
Peso > 0	Continúa con el proceso de descarga

Nota. Fuente elaboración propia.

La descarga del camión se modeló mediante un Separator, el cual divide el flujo en dos rutas: el camión vacío avanza hacia el pesaje final, mientras que de manera paralela se generan las entidades “Saco”, según la cantidad registrada en el atributo del vehículo. El tiempo de descarga se definió a partir de una distribución Lognormal ajustada a los datos históricos. Una vez creados, los sacos son trasladados al área de paletizado por un recurso tipo trabajador, cuya capacidad operativa permite movilizar un saco por viaje. Dado que en la operación real participan tres trabajadores, el modelo mantuvo esa misma disponibilidad.

La conformación de palets se representó mediante un Combiner, configurado para agrupar 30 sacos por unidad, siguiendo las prácticas operativas del centro. El tiempo requerido para este proceso se estimó a partir de la información proporcionada por el jefe del departamento de operaciones. Finalmente, el palet completo es llevado a la zona de almacenamiento por un montacargas. En la simulación se consideró un solo equipo, coherente con la capacidad real del centro, y su tiempo de traslado se modeló mediante una distribución triangular. Los parámetros correspondientes a estas etapas se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11*Resumen General del Proceso Modelado en SIMIO*

Recursos	Tipo de objeto	Entidad creada	Atributos Asignados a la entidad	Capacidad	Parámetros asignados en procesamiento
Llegada de camiones	Source	Camión	Número de sacos. Peso por saco Peso total camión	N/A	Datos históricos de 2024 - 2025
Espera previa al pesaje	Server	Camión	Se mantienen atributos de etapa anterior	12 camiones	Random.Triangular(3,5,10)
Pesaje	Server	Camión	Se mantienen atributos de etapa anterior	1 camión	Selección aleatoria de tiempos históricos
Despacho de camión	Separator	Sacos	Peso por saco	Cantidad de sacos según atributo de camión	Random.Lognormal(1.43274, 1.18116)
Paletizado	Combiner	Palet	Peso Palet	30 sacos	Random.Triangular(1, 2, 3)
Trabajador	Worker	N/A	N/A	3 trabajadores	1 Saco por viaje
Montacarga	Vehicle	N/A	N/A	1 montacarga	1 Palet por viaje

Nota. Fuente elaboración propia.

3.2.2 Resultados del escenario base

Al observar la Tabla 12, es irrefutable que la báscula es el gran obstáculo del sistema, en esta se forman las colas más largas, con más de mil camiones acumulados en promedio, y los tiempos de espera más elevados, convirtiéndola en el verdadero cuello de botella del proceso. La razón es simple, está funcionando prácticamente al 100 % de su capacidad. Mientras tanto, la espera previa mantiene un comportamiento estable, con colas y tiempos prácticamente nulos,

aunque con picos ocasionales. Por su parte, el despacho y el paletizado tienen colas pequeñas, tiempos de espera bajos y niveles de utilización bastante menores, con mucho tiempo muerto, lo que evidencia que están subutilizados y que su ritmo depende completamente de lo que ocurre en la báscula. Para mejorar el sistema, tenemos que enfocarnos en aumentar u optimizar la capacidad de la báscula, ya que las demás etapas no representan una obstrucción del flujo del proceso.

Tabla 12

Indicadores de Desempeño del Sistema por Etapa del Proceso

	Espera previa	Báscula	Despacho	Paletizado
Cola promedio	≈ 0 camiones	1355 camiones	0,0448 camiones	0,05 sacos
Cola máxima	3 camiones	2050 camiones	2 camiones	5 sacos
Tiempo de espera promedio	0,002 horas	804 minutos	0.0593 horas	0,18 horas
Tiempo de procesamiento promedio	0.099 horas	0.63 horas	0,01413 horas	0,033 horas
Total entidades procesadas	14656 camiones	25159 camiones	959318 sacos	23898 palets
Utilización	1,52 %	99,65 %	11,45%	6,22%
Tiempo muerto	19432.9 unidades de tiempo	0,344%	14,14%	93,78%

Nota. Fuente elaboración propia.

El análisis del desempeño operativo revela diferencias significativas entre cómo se utilizan los recursos y cómo se comportan las entidades dentro del sistema. En términos generales, la mayor parte de la carga de trabajo recae sobre el recurso humano, mientras que algunos equipos mantienen amplios márgenes de disponibilidad. El montacarga, por ejemplo,

presenta un nivel de utilización bajo y permanece inactivo durante períodos considerables, lo que indica que su capacidad no representa una limitación para el flujo del proceso y que existe suficiente holgura operativa. Por el contrario, los operadores, tanto el general como los operadores 1, 2 y 3, registran niveles de utilización superiores al 97 %, lo que refleja una operación casi continua y una fuerte dependencia del personal para mantener la continuidad del sistema, como puede apreciarse con mayor detalle en la Tabla 13.

Tabla 13

Desempeño de los Recursos del Sistema (Montacarga y Operadores)

	Montacarga	Operador (General)	Trabajadores		
			Operador 1	Operador 2	Operador 3
Utilización	17,087 %	97,40%	97,41%	97,39%	97,39%
Tiempo en utilización	2740,46 minutos	936 910,08 minutos	937998,7 minutos	937808,1 minutos	937808,1 minutos
Tiempo en desuso	132997,09 minutos	25 009,92 minutos	24 913,73 minutos	25 106,11 minutos	25 106,11 minutos
Total de entidades transportadas	29896 palets	298993 sacos	298993 sacos	298993 sacos	298934 sacos

Nota. Fuente elaboración propia.

En cuanto al comportamiento de las entidades, se observan patrones claramente diferenciados según su función en el proceso. El camión es la entidad que permanece más tiempo dentro del sistema, lo cual confirma su dependencia de las etapas iniciales, en particular la báscula y la descarga. El saco, aunque circula en mayor volumen, también presenta un tiempo de permanencia prolongado debido al transporte manual y a la secuencia operativa, lo que genera acumulaciones intermedias. El palet, en cambio, muestra un tiempo de permanencia bajo y un

flujo continuo, sin evidencias de congestión. Estas diferencias en el desempeño y permanencia de las entidades se resumen en la Tabla 14, lo que permite concluir que las principales restricciones del sistema están vinculadas al uso intensivo del recurso humano y a las fases iniciales del proceso, más que a la capacidad de los equipos o las etapas finales.

Tabla 14
Comportamiento de las Entidades Dentro del Sistema

Entidad	Tiempo promedio en sistema	Volumen total	Observación
Camión	1581,25 minutos	12150 procesados	Mayor permanencia; dependiente de báscula y descarga
Saco	376,41 minutos	959318 generados	Tiempo prolongado por transporte manual y flujo secuencial
Palet	bajo	29896 formados	Fluye sin congestión

Nota. Fuente elaboración propia.

3.2.3 Parametrización del modelo en @RISK

Como resultado de la integración de las capacidades de modelado de eventos discretos y el análisis estocástico antes detallado, se consolidó un modelo predictivo estructurado en cuatro zonas de procesamiento. Esta arquitectura constituye el marco técnico que permitió transformar la variabilidad operativa en métricas de decisión financiera para el horizonte 2026.

3.2.3.1 Configuración de Parámetros Base y Referencia (Zona 0)

El modelo se calibró según lo detallado en la Imagen 8 utilizando los resultados de la simulación base (Ver 3.2.2), estableciendo el benchmark de riesgo actual. Se determinó que el Percentil 95 (P95) del tiempo de espera en báscula es de 804.25 minutos, valor que representa el estado de saturación que el sistema debe mitigar. Asimismo, se estableció el valor de la

capacidad recuperada en 15,60 USD/min, derivado de un Costo General Operacional (CGO) de 1,696,471 USD anual (2024).

Imagen 8

Zona 0 Modelo Predictivo: SIMIO Base / Datos de Referencia (Parámetros Fijos)

Variable	Unidades	Fórmula/Origen	Comentarios
Báscula, P95	Minutos		804,25 P95 (Riesgo) extraído de SIMIO.
Costo General Operacional (CGO Anual)	USD		2.696.471 Base para monetizar el riesgo.
Total Minutos Operacionales Programados (Anual)	Minutos		172.800 Estimación Logística.
Costo Operacional por Minuto (CGO)	USD/Minuto		15,60 Valor de la Capacidad Recuperada.
Vida Útil de la Bascula(Años)	Años		5,00 Ingeniería (para amortización (EAC)).
Vida util montacarga (Años)	Años		5,00
N anul (visitas camion anuales)	Unidades		3.000,00 Throughput Anual.
Factor de Crecimiento Mínimo Histórico	%		1,03 Límite inferior de la proyección.

Nota. Elaboración propia.

3.2.3.2 Estructura de Costos de Inversión y Costo Anual Equivalente (EAC) (Zona 1)

Con respecto a la Zona 1, se determinaron los valores de inversión inicial (CAPEX) y sus respectivos Costos Anuales Equivalentes (EAC), los cuales actúan como el denominador en el cálculo de la eficiencia. Los resultados de esta fase de costeo fueron los detallados en la Imagen 9:

Imagen 9

Zona 1 Modelo predictivo: Costos de Inversión y Costo Anual Equivalente (EAC)

Variable	Unidades	Valor/Fórmula	Rol en el Índice
Costo bascula	USD	120.000,00	Inversión Inicial
Costo montacarga	USD	35.000,00	Inversión Inicial
EAC Bascula	USD/Año	24.000,00	Denominador (Costo Anualizado)
EAC Montacarga	USD/Año	7.000,00	Denominador (Costo Anualizado)
Costos personal (costo anual)	USD/Año	5.571,75	Denominador (Costo Recurrente)

Nota. Elaboración propia.

Con respecto a lo antes indicado, los costos de báscula y montacarga fueron considerados en función a la ficha técnica y especificaciones proporcionadas por la compañía. Para asegurar la comparabilidad entre el beneficio operativo y el costo de inversión, se calculó el Costo Anual Equivalente (EAC) mediante amortización lineal simple:

- **Báscula:** Inversión de US\$120.000 con un EAC de US\$24.000/año.
- **Montacarga:** Inversión de US\$35.000 con un EAC de US\$7.000/año.
- **Personal Adicional:** Costo recurrente de US\$5.571,75/año (Considerando el SBGU 2025 + Beneficios de Ley).

3.2.3.3 Parámetros de Incertidumbre (@RISK Inputs) (Zona 2)

En la segunda zona se parametrizaron las distribuciones del modelo de @RISK según lo detallado en la Imagen 10; estos valores no fueron aislados, sino que representan la extensión estocástica de los inputs validados previamente en el modelo de SIMIO. Esta fase permitió que la variabilidad observada en el campo se transformara en distribuciones de probabilidad para la proyección 2026:

Imagen 10

Zona 2 Modelo predictivo: Parámetros de Incertidumbre (@RISK Inputs)

Valor	Variable	Función @RISK
1,066666667	Factor de Crecimiento Demanda (Fcrec)	RiskTriang(Factor de Crecimiento Mínimo Histórico, 1.07, 1.10)
0,5	Factor de Mejora - Báscula (Delta 1)	RiskTriang(0.40, 0.50, 0.60)
0,1	Factor de Mejora - Montacarga (Delta 2)	RiskTriang(0.05, 0.10, 0.15)
0,4	Factor de Mejora - Personal (Delta 3)	RiskTriang(0.30, 0.40, 0.50)

Nota. Elaboración propia.

Tras la ejecución de las 1 de 1000 iteraciones (debido a licencia de @RISK) de Monte Carlo, el análisis de los resultados de esta zona revela una convergencia estadística que valida el escenario de estrés diseñado:

- **Factor de Crecimiento de la Demanda (Fcrec):** Configurado mediante una distribución RiskTriang(1,03; 1,07; 1,10) para actuar como el "estresor" del sistema. Tras la

simulación, alcanzó una **media de 1,066**, lo que confirma que el modelo evaluó de manera predominante el escenario crítico de las **33,954 TM**, situando al sistema en un estado de presión operativa constante.

- **Factores de Mejora Operacional (Δ):** Derivados de las secuencias de tareas y utilización de recursos observados en el modelo base, los resultados detallados en la Tabla 15 muestran una estabilidad en las medias de eficiencia:

Tabla 15
Análisis de Deltas (Δ) Parametrizados del Modelo

Δ	Análisis
Báscula - 50%	Se consolidó en una media del 50%, indicando que el modelo considera este nivel de reducción de tiempos como el escenario más probable tras duplicar la capacidad de pesaje.
Montacargas - 10%	Su mejora marginal estabilizada en 10% confirma, desde un punto de vista predictivo, que esta inversión no altera significativamente la capacidad del sistema frente al cuello de botella identificado en la báscula.
Personal - 40%	Mantuvo una media de mejora del 40%, presentándose como un factor de mitigación robusto, aunque con la dispersión propia de la naturaleza humana del proceso de muestreo

Nota. Fuente elaboración propia.

Este comportamiento estocástico de los parámetros asegura que los resultados del Índice de Eficiencia Operacional (IEO) no sean producto de un caso aislado, sino el reflejo de una tendencia validada con un 95% de confianza. La variabilidad de la demanda y la incertidumbre de la inversión han sido absorbidas por el modelo para entregar una base de decisión sólida y científicamente defendible.

3.2.3.4 Proyección Predictiva y Cálculo del Índice Final (Salida de Decisión) (Zona 3)

La Zona 3 constituye el núcleo de la toma de decisiones del modelo predictivo. En esta fase, se integraron los resultados operativos (Zona 0), los financieros (Zona 1) y los estocásticos (Zona 2) para calcular el Beneficio Operacional Proyectado (BOS) y el Índice de Eficiencia Operacional (IEO).

A diferencia de un análisis estático, el modelo procesó el impacto de la inversión sobre el Percentil 95 (P95) del tiempo de espera, permitiendo monetizar la reducción del riesgo de colapso logístico.

Imagen 11

Zona 3 Modelo predictivo: Proyección Predictiva y Cálculo del Índice Final (Salida de Decisión)

Métrica Proyectada (@RISK Output)	Escenario 1: Báscula	Escenario 2: Montacarga	Escenario 3: Personal Adicional
Tpoy, P95 (Minutos/Evento)	428,93	772,08	514,72
(Delta riesgo minutos) Total anual	1.286.800,00	257.360,00	1.029.440,00
BOP(BENEFICIO OPERATIVO PROYECTADO)	60.239.911.159,72	4.015.994,08	16.063.976,31
Denominador Anualizado	24.000,00	7000	5571,75
Índice de Eficiencia Operacional (FINAL)	250999630%	57371%	288311%
Salida de Decisión (P95)	2.862.701,02	770,46	3.385,44

Nota. Fuente elaboración propia.

Los resultados generales proyectados al 2026 se presentan a continuación:

- **Proyección del Beneficio Operacional Proyectado (BOS):** El BOS representa el valor económico de la capacidad operativa recuperada. El modelo arrojó que la mitigación de la restricción en la báscula genera un ahorro potencial de **US\$60.239.911,59**, una cifra que subraya la magnitud del cuello de botella actual frente a los **US\$16.063.976,30** que ofrecería la mejora en personal y los escasos **US\$4.015.994,07** del montacargas.

- **Comparativa del Índice de Eficiencia Operacional (IEO):** Para normalizar estos beneficios frente al costo de oportunidad, el IEO actuó como el indicador de factibilidad final. Como se detalla en la Imagen 12, el modelo identifica una superioridad absoluta en la inversión de infraestructura de pesaje, logrando un índice de **US\$2.862.701,01** frente a un **US\$3.385,44** en personal y **US\$770,46** en montacargas.

Estos resultados consolidados permiten concluir, con un **95% de nivel de confianza**, que solo la intervención en la restricción primaria garantiza la estabilidad del flujo hacia las **33,954 TM**. Sin embargo, para comprender la robustez de estos números, es necesario analizar el comportamiento probabilístico de cada escenario; esto se realizará en el siguiente apartado por cada alternativa de inversión analizada.

3.3 Análisis predictivo y discusión de Alternativas de inversión

3.3.1 Simulación del escenario 1: Inversión en Báscula

3.3.1.1. Resultados Simio

La incorporación de una segunda báscula genera cambios significativos en el desempeño del sistema, especialmente en las etapas iniciales del proceso. Los resultados muestran una reducción drástica en la cola promedio de la báscula, que disminuye a valores cercanos a 19 camiones, junto con una caída considerable en la cola máxima y en el tiempo de espera promedio, el cual se reduce a poco más de 10 minutos. Este comportamiento evidencia que la congestión observada en el escenario base se atenúa de forma notable, permitiendo un flujo más continuo de los camiones a lo largo del sistema, como se aprecia en la Tabla 16.

Tabla 16*Indicadores de Desempeño del Sistema en el Escenario con Báscula Adicional*

	Espera previa	Báscula	Despacho	Paletizado
Cola promedio	≈ 0 camiones	19 camiones	≈ 0 camiones	0,04 sacos
Cola máxima	2 camiones	175 camiones	17 camiones	3 sacos
Tiempo de espera promedio	≈ 0 horas	10,74 minutos	0.115 horas	0,0007 horas
Tiempo de procesamiento promedio	0,1001 horas	0.64 horas	0,1401 horas	0,0333 horas
Total entidades procesadas	14656 camiones	29206 camiones	1091581 sacos	30273 palets
Utilización	1,52 %	58,47 %	12,78%	6,29%
Tiempo muerto	93,15%	40,61%	87,21%	93,70%

Nota. Fuente elaboración propia.

En términos de utilización, la báscula deja de operar al límite de su capacidad y alcanza un nivel cercano al 58 %, acompañado de un incremento en su tiempo muerto. Este resultado confirma que la restricción principal del sistema se relaja con la adición del segundo recurso, lo que evita acumulaciones excesivas sin generar una sobrecarga innecesaria. Las etapas de despacho y paletizado mantienen niveles de utilización bajos y tiempos de espera reducidos, lo que indica que continúan sin representar cuellos de botella relevantes dentro del proceso.

Respecto a los recursos, el comportamiento del montacarga no presenta variaciones sustanciales y mantiene una utilización baja con tiempos considerables en desuso. En contraste, los operadores siguen registrando niveles de utilización elevados, superiores al 98 %, lo que evidencia que, aun con la mejora en la etapa de pesaje, el recurso humano continúa siendo un

componente crítico del sistema. Esta situación se refleja en los tiempos de utilización y en el volumen total de sacos transportados, información que se resume en la Tabla 17.

Tabla 17

Desempeño de los Recursos del Sistema en el Escenario con Dos Básculas

	Montacarga	Operador (General)	Trabajadores		
			Operador 1	Operador 2	Operador 3
Utilización	17,303 %	98,63%	98,63%	98,63%	98,62%
Tiempo en utilización	0,091 horas	-	684,63 horas	684,62 horas	715,71 horas
Tiempo en desuso	0,43 horas	-	9,49 horas	9,50 horas	9,95 horas
Total entidades transportadas	30273 palets	908208,4 sacos	302743 sacos	302737 sacos	302729 sacos

Nota. Fuente elaboración propia.

El comportamiento de las entidades en el escenario con dos básculas evidencia una mejora en la fluidez del sistema, especialmente en las etapas iniciales del proceso. El camión presenta un tiempo de permanencia promedio de 23,32 horas, lo que indica que, aunque la congestión en la báscula se reduce de forma significativa, su estancia sigue dependiendo en gran medida de las actividades de descarga y coordinación operativa. Por su parte, el saco registra un tiempo en el sistema considerablemente elevado, asociado al transporte manual y a las operaciones de almacenamiento, lo que prolonga su permanencia dentro del proceso. En contraste, el palet mantiene un tiempo de permanencia bajo y un flujo continuo, sin evidencias de congestión, lo que confirma un desempeño estable y eficiente. En conjunto, los resultados presentados en la Tabla 18 muestran que la incorporación de una segunda báscula mejora la

atención a los camiones, aunque persisten oportunidades de optimización en las etapas vinculadas al manejo y transporte de sacos.

Tabla 18

Comportamiento de las Entidades en el Escenario con Dos Básculas

Entidad	Tiempo promedio en sistema	Volumen total	Observación
Camión	23,32 horas	14.656 procesados	Mayor permanencia; dependiente de báscula y descarga
Saco	1.033,85 horas	1.091.581,8 generados	Tiempo prolongado por transporte manual y almacenado
Palet	0,63 horas	908.208,4 formados	Fluye sin congestión

Nota. Fuente elaboración propia.

En conjunto, los resultados del escenario con dos básculas muestran una mejora clara en la fluidez del sistema y una reducción significativa de los tiempos de espera asociados a la báscula. No obstante, el alto nivel de utilización de los operadores sugiere que, aunque la restricción principal se mitiga, persisten oportunidades de mejora relacionadas con la gestión del recurso humano, especialmente ante posibles incrementos en la demanda.

3.3.1.2. Resultados @RISK

Tras validar la mejora operativa en SIMIO, el escenario fue sometido a una simulación de Monte Carlo en @RISK para evaluar su comportamiento frente a la incertidumbre de la demanda y la efectividad técnica al 2026. Los resultados proyectan una transformación del perfil de riesgo del centro de acopio:

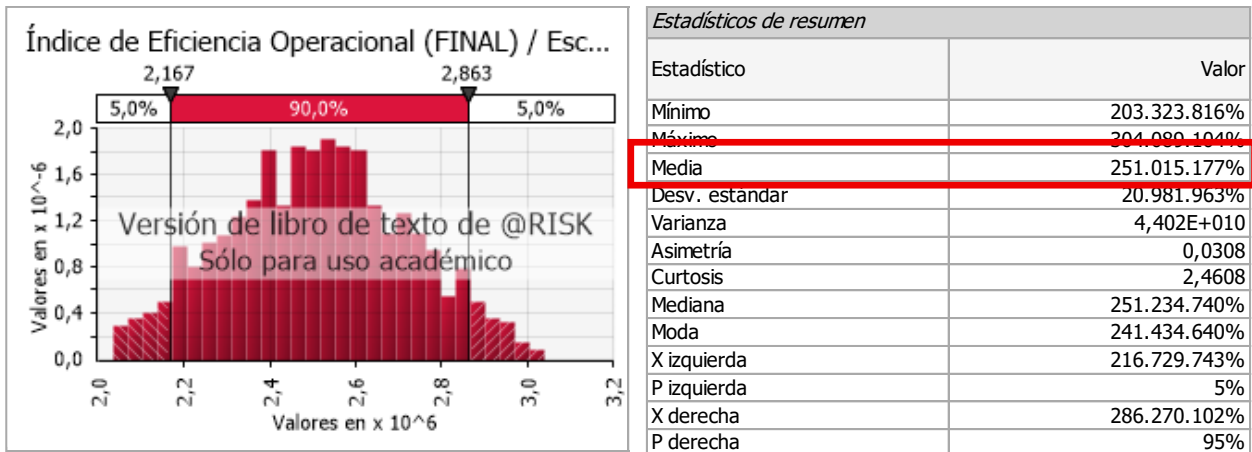
3.3.1.3. Mitigación del Riesgo Operacional (P95)

Al analizar la Imagen 12 el hallazgo más relevante es la reducción del Percentil 95 (P95) del tiempo de espera. Mientras que el escenario base presentaba un riesgo de colapso de 804,25 minutos, la inversión en la báscula logra reducir este indicador a una media de 428,93 minutos (Ver Imagen 11) y obteniendo un IEO medio de 251,015,117%.

Este resultado implica que, incluso en los escenarios de mayor estrés (picos de demanda de 33,954 TM y variabilidad en el pesaje), la báscula garantiza que el tiempo máximo de espera se reduzca casi a la mitad. Estadísticamente, existe un **95% de probabilidad** de que el tiempo de espera no supere los 429 minutos, otorgando una predictibilidad al flujo logístico que la empresa no poseía anteriormente.

Imagen 12

Histograma Escenario 1: Báscula



Nota. Fuente elaboración propia.

3.3.1.3.1. Análisis del Beneficio Operacional Projectado (BOS)

Al monetizar esta reducción de riesgo utilizando el costo de capacidad recuperada (US\$5,78/min), el modelo arroja un Beneficio Operacional Projectado (BOS) de US\$22.340.277.

condiciones de incertidumbre. La simulación de @RISK ratifica que esta es la **solución estructural** que el centro de acopio requiere para escalar sus operaciones sin riesgo de colapso logístico.

3.3.2 Simulación del escenario 2: Inversión en Montacarga

3.3.2.1. Resultados Simio

El escenario de inversión de un montacarga adicional muestra que el desempeño general del sistema no experimenta mejoras significativas en las etapas críticas del proceso. La báscula continúa concentrando altos niveles de congestión, con colas promedio y máximas elevadas, así como tiempos de espera prolongados, lo que confirma que este recurso sigue siendo el principal cuello de botella del sistema. Este comportamiento se refleja claramente en los indicadores operativos presentados en la Tabla 19, donde la utilización de la báscula se mantiene cercana al 100 %.

Tabla 19

Indicadores de Desempeño del Sistema en el Escenario con Montacarga Adicional

	Espera previa	Báscula	Despacho	Paletizado
Cola promedio	≈ 0 camiones	1.459 camiones	≈ 0 camiones	0,02 sacos
Cola máxima	2 camiones	2.685 camiones	10 camiones	3 sacos
Tiempo de espera promedio	0,00001 horas	870, 90 minutos	0,05 horas	0,0004 horas
Tiempo de procesamiento promedio	0,1000 horas	0,64 horas	0,139 horas	0,062 horas
Total entidades procesadas	14.656 camiones	24.932 camiones	952.138 sacos	29.843 palets

Utilización	1,52 %	99,70 %	11,31%	6,20%
Tiempo muerto	93,15%	0,30%	88,69%	93,79%

Nota. Fuente elaboración propia.

En cuanto a los recursos, la información evidencia una subutilización del montacarga adicional. Mientras el montacarga 1 presenta un nivel de utilización moderado, el montacarga 2 registra una utilización prácticamente nula y permanece inactivo durante períodos considerables, lo que pone de manifiesto que la capacidad adicional incorporada no es aprovechada por el sistema. En contraste, los operadores continúan trabajando con niveles de utilización superiores al 97 %, lo que indica que la carga operativa sigue recayendo principalmente en el recurso humano. Estos resultados se detallan en la Tabla 20, donde se observa que la incorporación del nuevo equipo no reduce de manera apreciable la presión sobre los trabajadores.

Tabla 20

Desempeño de los Recursos del Sistema en el Escenario con Montacarga Adicional.

	Montacarga (General)	Montacargas		Operador (General)	Trabajadores		
		Montacarga	Montacarga		Operador	Operador	Operador
		1	2		1	2	3
Utilización	8,52 %	17,05%	0%	97,22%	97,23%	97,22%	97,21%
Tiempo en utilización	-	0,09 horas	0 horas	-	144,38 horas	143,62 horas	145,73 horas
Tiempo en desuso	-	0,44 horas	16037,5 horas	-	4,05 horas	4,04 horas	4,12 horas
Total entidades transportadas	29.843 palets	29.843 palets	0 palets	895.292,8 sacos	298.464 sacos	298.432 sacos	298.396 sacos

Nota. Fuente elaboración propia.

Por su parte, el comportamiento de las entidades refuerza este diagnóstico. El camión mantiene un tiempo de permanencia promedio elevado dentro del sistema, condicionado principalmente por las etapas de báscula y descarga, mientras que el saco continúa registrando tiempos prolongados asociados al transporte manual y al almacenamiento intermedio. En contraste, el palet presenta un tiempo de permanencia bajo y un flujo continuo, sin evidencias de congestión. Estas diferencias se resumen en la Tabla 21, lo que confirma que la inversión en un montacarga adicional no impacta de forma directa en las restricciones estructurales del proceso.

Tabla 21

Comportamiento de las Entidades en el Escenario con Montacarga Adicional.

Entidad	Tiempo promedio en sistema	Volumen total	Observación
Camión	1.705,52 horas	14.656 procesados	Mayor permanencia; dependiente de báscula y descarga
Saco	337,53 horas	952.138,8 generados	Tiempo prolongado por transporte manual y almacenado
Palet	0,64 horas	895.292,2 formados	Fluye sin congestión

Nota. Fuente elaboración propia.

Por tanto, se concluye que la incorporación de un montacarga adicional no resulta una alternativa eficiente para mejorar el desempeño del sistema, dado que no aborda la principal fuente de congestión, concentrada en la etapa de pesaje, ni reduce de manera significativa la alta utilización del recurso humano.

3.3.2.2. Resultados @RISK

Tras el análisis operativo en SIMIO, que demostró una subutilización del nuevo activo (0% en el montacarga 2), la simulación de Monte Carlo en @RISK permite cuantificar la

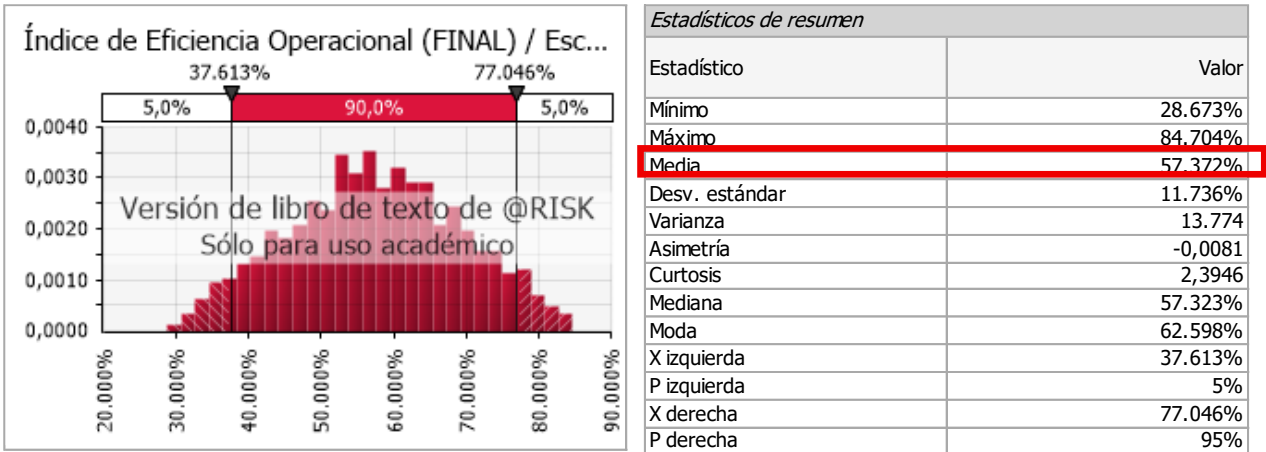
ineficiencia de esta alternativa bajo escenarios de incertidumbre al 2026. Los resultados ratifican que esta inversión no ofrece una solución a la problemática del centro de acopio.

3.3.2.2.1. Mitigación del Riesgo Operacional (P95)

Al observar el histograma de la Imagen 14, se evidencia que la distribución del tiempo proyectado apenas se desplaza respecto al escenario base. El P95 se sitúa en una media de 772,08 minutos (Ver Imagen 11) lo que representa una reducción marginal frente a los 804,25 minutos originales; obteniendo un IEO medio de 57,372%.

Imagen 14

Gráfico de Histograma Escenario 2: Montacarga



Nota. Fuente elaboración propia

Este hallazgo es crítico puesto que, a pesar de la inversión, existe una probabilidad del 95% de que el tiempo de espera siga superando las 12 horas en picos de demanda. El gráfico muestra una masa de probabilidad estancada en niveles de alta congestión, confirmando que el montacarga no tiene la capacidad de "desbloquear" el sistema, ya que la restricción reside en el pesaje y no en el movimiento interno de pallets.

3.3.2.2.2. Beneficio Operacional Proyectado (BOS)

La ineficacia logística se traduce directamente en una pobre recuperación económica. El Beneficio Operacional Proyectado (BOS) para esta alternativa arrojó una media de US\$4.025.994,07.

La Imagen 14 muestra un histograma de BOS con valores significativamente inferiores a los de la Alternativa 1. Al no reducir sustancialmente el tiempo de espera de los camiones, la capacidad productiva recuperada es mínima. Esto demuestra que invertir en un recurso que no es el cuello de botella (siguiendo la Teoría de Restricciones) genera un beneficio operativo que apenas justifica el movimiento contable, pero no resuelve el lucro cesante de la flota de transporte.

3.3.2.2.3. Índice de Eficiencia Operacional (IEO)

El indicador final de factibilidad, el IEO, alcanzó un valor de apenas 212.76. Al compararlo con el costo anualizado (EAC) de US\$7.000, este índice resulta ser el más bajo de todas las alternativas evaluadas.

El Análisis de Sensibilidad (Imagen 15) para este escenario revela que, incluso bajo condiciones óptimas de crecimiento de demanda, el impacto del montacarga en la eficiencia global sigue siendo despreciable. Esto valida estadísticamente la observación de SIMIO: el sistema está saturado en la entrada (báscula), por lo que añadir velocidad en el interior (montacarga) no genera valor agregado, resultando en una inversión no factible desde la perspectiva de eficiencia operativa.

siendo el principal cuello de botella, con una cola promedio de 1.520 camiones y un tiempo de espera de 870,90 minutos. Este recurso opera prácticamente al límite de su capacidad, alcanzando una utilización del 99,72%. Mientras tanto, las etapas de espera previa, despacho y paletizado mantienen colas reducidas, tiempos de espera mínimos y niveles de utilización bajos (1,52%, 11,33% y 6,57% respectivamente), con porcentajes de tiempo muerto superiores al 88%, lo que confirma que estas etapas no representan restricciones para el flujo del sistema.

Tabla 22

Indicadores de Desempeño del Sistema en el Escenario con Operador Adicional.

	Espera previa	Báscula	Despacho	Paletizado
Cola promedio	≈ 0 camiones	1.520 camiones	≈ 0 camiones	0,07 sacos
Cola máxima	2 camiones	2.695 camiones	8 camiones	4 sacos
Tiempo de espera promedio	0,00001 horas	870, 90 minutos	0,04 horas	0,001 horas
Tiempo de procesamiento promedio	0,099 horas	0,64 horas	0,14 horas	0,033 horas
Total entidades procesadas	14.656 camiones	24.908 camiones	950.648 sacos	31.622 palets
Utilización	1,52 %	99,72 %	11,33%	6,57%
Tiempo muerto	93,16%	0,28%	88,67%	93,43%

Nota. Fuente elaboración propia.

En cuanto a los recursos, la Tabla 23 muestra que incorporar un cuarto operador genera una distribución más equilibrada de la carga de trabajo. Los cuatro operadores presentan niveles de utilización similares, alrededor del 77%, con tiempos de utilización que van desde 14,53 hasta 14,81 horas y períodos de desuso entre 4,25 y 4,38 horas. Esta mayor homogeneidad indica que el trabajo se distribuye de forma más equitativa entre el equipo, lo que reduce la presión

individual sobre cada trabajador en comparación con escenarios previos donde la utilización superaba el 97%. El operador general mantiene una utilización del 77,26%, mientras que el montacarga presenta una utilización baja del 18,07%, confirmando que la capacidad del equipo no limita el proceso. Durante el período analizado, el sistema procesó un total de 31.622 palets y 948.678 sacos.

Tabla 23

Desempeño de los Recursos del Sistema en el Escenario con Operador Adicional

	Trabajadores					
	Montacarga	Operador (General)	Operador	Operador	Operador	Operador
			1	2	3	4
Utilización	18,07 %	77,26%	77,37%	77,30%	77,23%	77,16%
Tiempo en utilización	0,091 horas	-	14,53 horas	14,72 horas	14,80 horas	14,81 horas
Tiempo en desuso	0,41 horas	-	4,25 horas	4,32 horas	4,36 horas	4,38 horas
Total entidades transportadas	31.622 palets	948.678 sacos	237.490 sacos	237.268 sacos	237.066 sacos	236.853 sacos

Nota. Fuente elaboración propia.

Por su parte, el comportamiento de las entidades reflejado en la Tabla 24 muestra resultados diferenciados. Los camiones presentan un tiempo promedio de permanencia de 1.786,73 horas, lo que evidencia una dependencia crítica de las etapas de báscula y descarga y confirma que la congestión en el pesaje sigue siendo el factor determinante en su tiempo de estancia. Los sacos registran un tiempo promedio de 21,20 horas, asociado al transporte manual y al almacenamiento intermedio, aunque el sistema logró procesar más de 950.000 sacos. El

palet, en cambio, mantiene un tiempo de permanencia bajo de 0,60 horas y un flujo continuo sin congestión, lo que refleja un desempeño eficiente en esta etapa final del proceso.

Tabla 24

Comportamiento de las Entidades en el Escenario con Operador Adicional

Entidad	Tiempo promedio en sistema	Volumen total	Observación
Camión	1786,73 horas	14.656 procesados	Mayor permanencia; dependiente de báscula y descarga
Saco	21,20 horas	950.648,2 generados	Tiempo prolongado por transporte manual y almacenado
Palet	0,60 horas	948.675 formados	Fluye sin congestión

Nota. Fuente elaboración propia.

Resulta evidente que al añadir un operador mejora el equilibrio interno del equipo y alivia la carga sobre cada trabajador, pero no ataca el verdadero problema del sistema. La báscula sigue operando al borde del colapso, con colas y tiempos de espera que demuestran que ahí está la restricción real. Por más que se mejore la distribución del personal, si los camiones no pueden pasar por el pesaje de manera fluida, el sistema seguirá presentando los mismos niveles de congestión. La inversión en recurso humano tiene su valor, pero queda claro que el siguiente paso debe enfocarse en ampliar la capacidad de la báscula si se busca un impacto verdaderamente significativo en el desempeño global.

3.3.3.2. Resultados @RISK

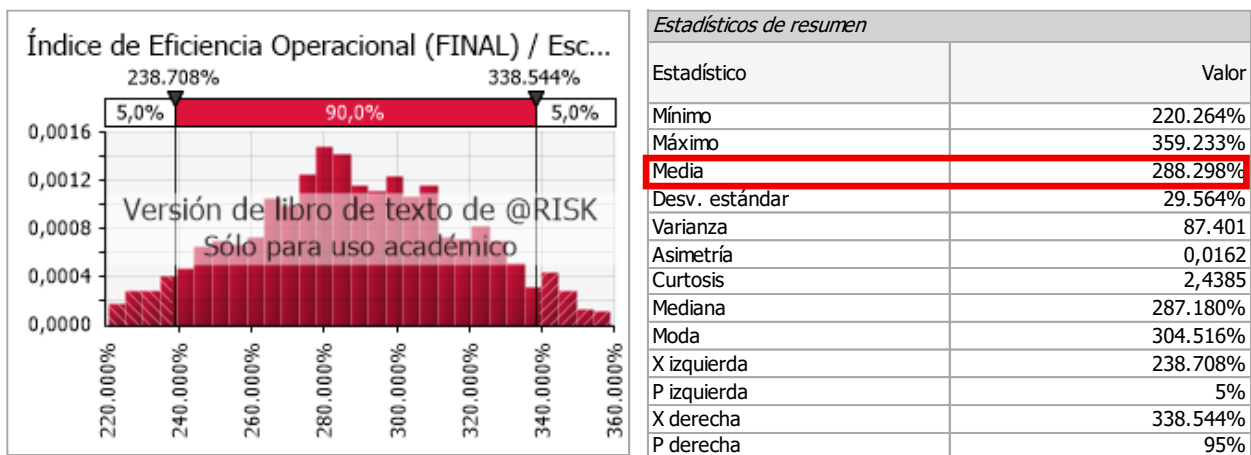
Tras el análisis en SIMIO, que mostró un mejor equilibrio en la carga de trabajo de los operarios (reducción de utilización al 77%), el modelo de @RISK permite evaluar la factibilidad de esta alternativa frente a la incertidumbre proyectada al 2026. Los resultados muestran una solución altamente eficiente en términos de costo, pero con limitaciones operativas.

3.3.3.2.1. Mitigación del Riesgo Operacional (P95)

Como se observa en la Imagen 16, el modelo refleja una reducción moderada del riesgo. El P95 del tiempo de espera se sitúa en una media de 514,72 minutos (Ver Imagen 11), generando un IEO medio de 288.298%.

Imagen 16

Gráfico de Tornado Escenario 3: Personal Adicional



Nota. Fuente elaboración propia

Aunque esta cifra mejora los 804,25 minutos del escenario base, sigue siendo significativamente superior a los 428,93 minutos logrados con la báscula. Esto confirma estadísticamente lo observado en SIMIO: el personal adicional agiliza el flujo interno (muestreo y descarga), pero los camiones siguen encontrando un cuello de botella infranqueable en el nodo de pesaje. Existe un 95% de probabilidad de que las esperas superen las 8.5 horas en periodos de alta demanda.

3.3.3.2.2. Beneficio Operacional Proyectado (BOS)

Debido a su capacidad para agilizar el procesamiento manual, esta alternativa genera un Beneficio Operacional Proyectado (BOS) de US\$5.571,75. En consecuencia, como se ilustra en la Imagen 16 si bien el beneficio es casi cuatro veces superior al del montacarga, representa solo una cuarta parte del beneficio potencial de la báscula. El ahorro monetizado proviene de la mayor fluidez que el cuarto operador aporta a la clasificación del cacao, reduciendo los tiempos muertos entre el pesaje y la descarga definitiva.

3.3.3.2.3. Índice de Eficiencia Operacional (IEO)

El hallazgo más distintivo de esta alternativa es su IEO de US\$3.385,44. Al tener el costo anualizado más bajo de todo el estudio (US\$5.571,75), este escenario arroja el índice de eficiencia relativa más alto.

En consecuencia, como se ilustra en la Imagen 17, el análisis de Sensibilidad muestra que el éxito de esta inversión depende críticamente del factor de eficiencia humana ($\Delta 3$). Esto implica que, aunque es la opción más barata, su desempeño es más volátil y depende de la capacitación y rendimiento del personal, a diferencia de la báscula, cuya mejora es de carácter estructural y tecnológico.

que el Personal Adicional se presenta como una opción de alta eficiencia relativa debido a su bajo costo operativo, su impacto en la reducción del riesgo es limitado frente al crecimiento proyectado. Por el contrario, la inversión en Báscula logra una mitigación del riesgo operacional del 46,6%, desplazando el indicador crítico P95 de 804 a 428 minutos; este hallazgo, respaldado por un IEO de US\$2.862.701,01, demuestra que atacar la restricción primaria de pesaje es la decisión más robusta. Finalmente, se descarta la opción del Montacarga, pues su ínfima mejora del 3.9% ratifica que optimizar procesos internos es irrelevante mientras persista el cuello de botella en el acceso, consolidando a la nueva báscula como la ruta definitiva para transformar la incertidumbre logística en rentabilidad garantizada.

Tabla 25

Resumen Comparativo de Resultados: SIMIO & @RISK

Métrica de Desempeño	Escenario Base	Alternativa 1: Nueva Báscula	Alternativa 2: Montacarga	Alternativa 3: Personal Adicional
Tiempo P95 (Minutos)	804,25	428,93	772,08	514,72
% Utilización de activo crítico (báscula)	99,65%	58,47%	99,70%	99,72%
% Tiempo muerto	0,34%	40,61%	0,30%	0,28%
Mitigación de Riesgo (%)	-	46,6%	3,9%	35,9%
Beneficio Operativo (BOS)	-	US\$60.239.911,59	US\$4.015.994,07	US\$16.063.976,30
Costo Anualizado (EAC)	-	US\$24.000	US\$7.000	US\$5.571,75
Índice de Eficiencia	-	US\$2.862.701	US\$770,46	US\$3.385,44

(IEO)

Nota. Valores obtenidos tras 1 de 1000 iteraciones de Monte Carlo con un 95% de confianza.

CAPÍTULO 4

4. CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

Una vez finalizado el trabajo metodológico propuesto para este proyecto, el cual integró de manera sistemática el modelado de eventos discretos en SIMIO y el análisis estocástico de riesgo en @RISK, se ha logrado transformar una problemática operativa compleja en un marco de decisión cuantitativo. La importancia de este despliegue radica en su capacidad para otorgar visibilidad sobre el comportamiento del centro de acopio ante un horizonte de estrés al año 2026, superando las limitaciones de los métodos de planificación tradicionales que omiten la variabilidad inherente a los flujos logísticos. Al evaluar escenarios que contemplan un volumen de 33.954 TM, este estudio no solo identifica la raíz de las ineficiencias actuales, sino que proporciona una base científica para la asignación de capital (CAPEX), demostrando que la viabilidad del sistema depende estrictamente de la mitigación de la restricción detectada en el área de pesaje

Bajo este contexto, y tras la ejecución de las fases de diagnóstico situacional, modelado estocástico y evaluación financiera, se presentan las siguientes conclusiones:

4.1.1 Conclusiones

- El modelo de simulación predictiva desarrollado mediante la integración de SIMIO y @RISK validó que la expansión de la capacidad de pesaje es la única alternativa capaz de sostener una demanda de 33,954 TM con un 95% de confianza estadística.
- El diagnóstico situacional identificó que el centro de acopio opera al 100% de su capacidad instalada, siendo su zona crítica la zona de pesaje, lo que genera un riesgo de colapso logístico con tiempos de espera de hasta 804,25 minutos.

- El diseño del proceso operativo en SIMIO determinó que la incorporación de una segunda báscula optimiza el sistema al reducir su utilización al 58%, eliminando el cuello de botella estructural y permitiendo un flujo continuo hacia las etapas de despacho y paletizado.
- El análisis de escenarios en @RISK corroboró lo evidenciado en SIMIO; señalando que la inversión en una segunda báscula es la opción de inversión más eficiente al mitigar el riesgo de colas en un 46.6% con un Índice de Eficiencia Operacional (IEO) de US\$930.844,91, superando los resultados marginales obtenidos en las pruebas de montacargas y personal.

4.1.2 Recomendaciones

Tras haber culminado lo planificado en la propuesta de simulación predictiva y considerando los hallazgos técnicos obtenidos, se plantean las siguientes recomendaciones:

- **Realizar un análisis administrativo y financiero exhaustivo** que tome como base los resultados de este estudio para evaluar la viabilidad de la inversión en la nueva báscula, considerando que los datos proyectan esta alternativa como la única solución estructural ante el incremento de demanda al 2026.
- **Adoptar formalmente el Índice de Eficiencia Operacional (IEO)** como una métrica de gestión interna para la evaluación de futuros proyectos de capital (CAPEX), permitiendo que la organización cuente con un indicador estandarizado que mida la mitigación de riesgos logísticos frente al costo de inversión.
- **Socializar los resultados operativos obtenidos** en la simulación con el personal del centro de acopio, con el objetivo de identificar conjuntamente medidas de optimización en los procesos de muestreo y descarga, fomentando una cultura de mejora continua basada en los cuellos de botella detectados.

- **Reestructuración operativa de la nueva bascula adquirida**, considerando su uso dentro de la misma zona de pesaje, pero en la subbase se pesado final del camión que ingresa al centro de acopio-, esto con la finalidad de disminuir y optimizar el uso del tiempo muerto del activo.
- **Ampliar el alcance de este estudio** en fases posteriores mediante la inclusión de variables externas que no fueron abordadas en esta etapa, tales como la estacionalidad climática extrema y la volatilidad de los precios internacionales, para analizar su impacto en el flujo de llegada de camiones y la rentabilidad neta.
- **Explorar la transición hacia un modelo de "Gemelo Digital"** que integre datos en tiempo real de la operación diaria con el modelo de simulación desarrollado, permitiendo realizar ajustes predictivos constantes y mejorar la capacidad de respuesta administrativa ante eventos imprevistos en el patio.

5. REFERENCIAS

- Alotaibi, E. M. (2023). Risk Assessment Using Predictive Analytics. *International Journal of Professional Business Review*, 8(5), e01723. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i5.1723>
- Goldman, K. (2016). Financial liquidity and profitability management in practice of Polish Business. *Financial Environment and Business Development: Proceedings of the 16th Eurasia Business and Economics Society Conference*, 103–112.
- Herrera, T., De la Hoz, E., & Vergara, J. C. (2012). Aplicación de análisis discriminante para evaluar el mejoramiento de los indicadores financieros en las empresas del sector alimento de Barranquilla-Colombia. *Revista Chilena de Ingeniería*, 20(3), 320–330. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=85224980&site=ehost-live>
- Nugent, M., Alberto Luis, M., Quispe, T., Llave, T., Marcelino, A., Morales, F., & Alberto, J. (2019). Universidad del Zulia Venezuela Gestión de cadena de suministro: una mirada desde la perspectiva teórica. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Porter, M. E. (1982). Competitive strategy. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 22(2), 44–46.
- Porter, M. E., & Millar, V. E. (1985). *How information gives you competitive advantage: Harvard Business Review* Cambridge. MA.
- Shmueli, G., & Koppius, O. R. (2011). Predictive analytics in information systems research. *MIS Quarterly*, 553–572.
- Valencia, Andía W. (2011). Indicador de rentabilidad de proyectos: el Valor Actual Neto (VAN) o el Valor Económico Agregado (EVA). *Producción y Gestión — Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 14(1), 15-18. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81622582003.pdf>
- Winston, G. C. (1974). Factor substitution, ex ante and ex post. *Journal of Development Economics*, 1(2), 145–163.

- Alotaibi, E. M. (2023). Risk Assessment Using Predictive Analytics. *International Journal of Professional Business Review*, 8(5), e01723. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i5.1723>
- Baca Urbina, G. (2013). Evaluación de proyectos. In *Editorial McGraw Hill* (7th ed.). The McGraw-Hill.
- Banco Central del Ecuador. (2025). *BOLETÍN ANALÍTICO TRIMESTRAL DE COMERCIO EXTERIOR*. www.bce.ec
- Batarlienė, N., & Jarašūnienė, A. (2024). Improving the Quality of Warehousing Processes in the Context of the Logistics Sector. *Sustainability*, 16(6), 2595. <https://doi.org/10.3390/su16062595>
- Campoverde Jara, J. A., & Colcha Ortiz, A. R. (2025). MODELO DE CRECIMIENTO LOGÍSTICO USANDO SIMULACIÓN MATEMÁTICA MONTE CARLO PARA LA PRODUCCIÓN DE CACAO EN LA PROVINCIA DE EL ORO. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 6(16), 437–453. <https://doi.org/10.56519/8aknne91>
- Chrysafis, K. A., & Papadopoulos, B. K. (2020). Decision Making for Project Appraisal in Uncertain Environments: A Fuzzy-Possibilistic Approach of the Expanded NPV Method. *Symmetry*, 13(1), 27. <https://doi.org/10.3390/sym13010027>
- Correa-Henao, G. J. (2022). Prácticas para estimación de reservas de contingencia en CapEx de proyectos: una revisión literaria. *Cuaderno Activa*, 14(1).
- Ebner, J., Wang, J., Olaitan, O., & Geraghty, J. (2016). Discrete event simulation approach to closed loop supply chain optimization: conceptual design, control strategies and performance metrics. Eurosis ESM, European Simulation and Modelling Conference, Las Palmas University 2016. *Proceedings*, 434–439.
- Fauza, G., Saputri, P., Hisjam, M., Prasetyo, H., & Rahayu, M. (2024). Optimizing sustainable cocoa supply chains: A Closed-loop model considering a profit-sharing policy and value loss during storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1302(1), 012147. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1302/1/012147>
- Fontalvo Herrera, T., de la Hoz Granadillo, E., & Vergara, J. C. (2012). Aplicación de análisis discriminante para evaluar el mejoramiento de los indicadores financieros en las empresas del sector alimento de Barranquilla-Colombia. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 20(3), 320–330. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052012000300006>

- Fragua Niño, F. Á. (2023). *Modelo matemático para la gestión de capacidad instalada en un laboratorio de análisis de aguas*.
- Goldmann, K. (2016). Financial liquidity and profitability management in practice of Polish Business. *Financial Environment and Business Development: Proceedings of the 16th Eurasia Business and Economics Society Conference*, 103–112.
- González Sánchez, C. A. (2022). *Análisis, Simulación y Optimización de las Operaciones en el Lado Aire del Aeropuerto de Sevilla mediante un Modelo de Eventos Discretos*.
- Hopp, Wallace., & Spearman, M. C. (2011). *Factory Physics* (3rd ed.). Ingram.
- Klein, L. R. (1960). Some theoretical issues in the measurement of capacity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 272–286.
- Komarek, A. M., de Pinto, A., & Smith, V. H. (2020). A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 178, 102738. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738>
- Kosenko, V., Gopejenko, V., & Persiyanova, E. (2019). MODELS AND APPLIED INFORMATION TECHNOLOGY FOR SUPPLY LOGISTICS IN THE CONTEXT OF DEMAND SWINGS. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 0(1 (7)), 59–68. <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.059>
- Lara Martínez, O. R., Mijangos López, J. A., & Rincón Zapata, O. J. (2024). La importancia de la cadena de suministros en las empresas. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(5). <https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2791>
- Law, A., & Kelton, D. (2014). *Simulation Modeling and Analysis / A.M. Law, W.D. Kelton*.
- Mejía Cañas, C. A. (2013). El concepto de la capacidad instalada. *Medellin: Planning Consultores Gerenciales*.
- Mosquera Gutierrez, J. C., & Jaramillo Castillo, C. M. (2024). *Modelo de simulación de eventos discretos para reflejar la realidad del sistema logístico de importación de productos perecibles*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14329>
- Motunrayo Oluremi Ibiyemi, & David Olanrewaju Olutimehin. (2024). Utilizing predictive analytics to enhance supply chain efficiency and reduce operational costs.

International Journal of Engineering Research Updates, 7(1), 001–021.

<https://doi.org/10.53430/ijeru.2024.7.1.0029>

- Mundaca, F., Saldarriaga, M., & Virreira, C. (2019). Utilización de la capacidad instalada: Medición y aplicaciones. *Revista Moneda*, 179, 18–24.
- Negri, M., Cagno, E., Colicchia, C., & Sarkis, J. (2021). Integrating sustainability and resilience in the supply chain: A systematic literature review and a research agenda. *Business Strategy and the Environment*, 30(7), 2858–2886.
<https://doi.org/10.1002/bse.2776>
- Novijanto, N., Savitri, D. A., Setiyono, Subroto, G., & Herlina. (2023). Sustainable Supply Chain Management of Cocoa Beans in Indonesia: A Review. *Journal La Bisecoman*, 3(5), 175–196. <https://doi.org/10.37899/journallabisecoman.v3i5.795>
- Nugent, M., Alberto Luis, M., Quispe, T., Llave, T., Marcelino, A., Morales, F., & Alberto, J. (2019). Universidad del Zulia Venezuela Gestión de cadena de suministro: una mirada desde la perspectiva teórica. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Oloruntosin Tolulope Joel, & Vincent Ugochukwu Oguanobi. (2024). Data-driven strategies for business expansion: Utilizing predictive analytics for enhanced profitability and opportunity identification. *International Journal of Frontiers in Engineering and Technology Research*, 6(2), 071–081. <https://doi.org/10.53294/ijfetr.2024.6.2.0035>
- Ortíz, K., & Guilcapi, M. (2021). Manual de procesos de centro de acopio de cacao. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*.
- Porter, M. E. (1982). Competitive strategy. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 22(2), 44–46.
- Porter, M. E., & Millar, V. E. (1985). *How information gives you competitive advantage: Harvard Business Review Cambridge*. MA.
- Quadri, B., & William, E. (2025). *Supply Chain Risk Management Using Predictive Analytics*.
- Shmueli, G., & Koppius, O. R. (2011). Predictive analytics in information systems research. *MIS Quarterly*, 553–572.
- Turin Limo, V. H. (2024). *Propuesta de mejora para la reducción de costos logísticos en el acopio de grano de cacao en la empresa Machu Picchu Foods*.

- Valencia, W. A. (2011). Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el Valor Actual Neto (VAN) o el Valor Económico Agregado (EVA). *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial*.
- Vilani, L., Zanin, A., Lizot, M., Trentin, M. G., Afonso, P., & Lima, J. D. de. (2024). A Framework for Investment and Risk Assessment of Agricultural Projects. *Journal of Risk and Financial Management*, 17(9), 378. <https://doi.org/10.3390/jrfm17090378>
- Winston, G. C. (1974). Factor substitution, ex ante and ex post. *Journal of Development Economics*, 1(2), 145–163.

ANEXOS

6. ANEXOS SIMIO

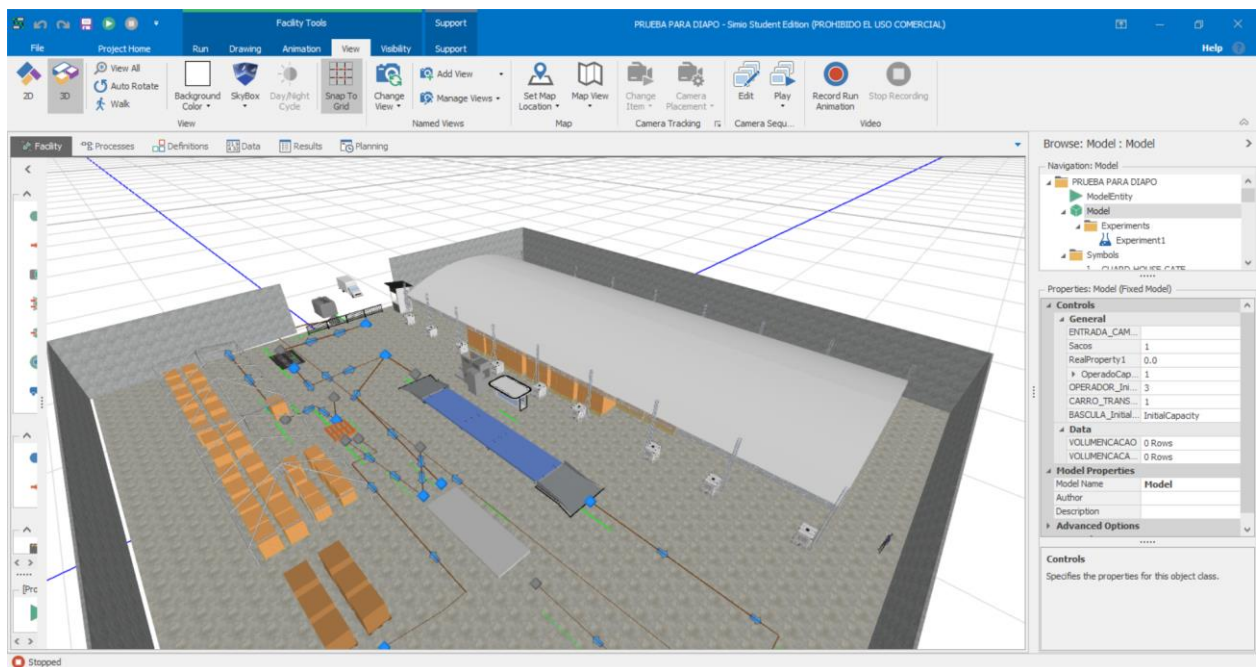
6.1.1 Modelado del proceso

Puede consultar el modelo y funcionamiento de proceso en el siguiente link:

[MODELADO](#)

Imagen 18

Modelado del proceso



Nota. Fuente elaboración propia

6.1.2 Resultados del modelado

Ver resultados completos en:

[Resultados Simulación](#)

Imagen 19

Resultados Modelo Simulación

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	BasculaAdicional				MontacargaAdicional				TrabajadorA						
						Average	Minimum	Maximum	Half Width	Average	Minimum	Maximum	Half Width							
Combiner	PALET	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	6,2912	6,2918	6,2986	0,0078											
				Total (hours)		1.008,9501	1.007,4	1.010,13	1,2443											
				TimeStarved	Average (hou...)	0,4964	0,4964	0,4965	0,0000											
				Occurrences		30,274,0000	30,274,1	30,274,0	0,0000											
				Percent		93,7088	93,7014	93,7182	0,0078											
				Total (hours)		15,028,5499	15,027,1	15,030,0	1,2443											
				MemberInputBuffer	Content	NumberInStation	Average		0,0420	0,0372	0,0435	0,0034								
							Maximum		3,0000	3,0000	3,0000	0,0000								
							HoldingTime	TimeInStation	Average (hou...)	0,0007	0,0007	0,0008	0,0001							
							Maximum (ho...)		64,8539	63,6372	65,4430	0,8877								
							Minimum (hou...)		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000								
							Throughput	NumberEntered	Total	908,205,4000	908,194	908,218,	11,2966							
				OutputBuffer	Content	NumberInStation	Average		0,0157	0,0157	0,0157	0,0000								
							Maximum		1,0000	1,0000	1,0000	0,0000								
HoldingTime	TimeInStation	Average (hou...)	0,0083				0,0083	0,0083	0,0000											
Maximum (ho...)		0,0083	0,0083				0,0083	0,0000												
Minimum (hou...)		0,0083	0,0083				0,0083	0,0000												
Throughput	NumberEntered	Total	30,273,0000				30,273,1	30,273,0	0,0000											
ParentInputBuffer	Content	NumberInStation	Average		0,9602	0,9602	0,9603	0,0001												
			Maximum		1,0000	1,0000	1,0000	0,0000												
			HoldingTime	TimeInStation	Average (hou...)	0,5087	0,5086	0,5087	0,0000											
			Maximum (ho...)		33,8738	33,5181	34,4497	0,4381												
			Minimum (hou...)		0,5076	0,5076	0,5076	0,0000												
			Throughput	NumberEntered	Total	29,842,6000	29,842,6000	29,842,6000	29,842,6000											

Nota. Fuente elaboración propia

7. ANEXOS RISK

7.1.1 Modelado de incertidumbre

Ver video completo en:

https://drive.google.com/file/d/1jpdQkflSbCaCrNoO9T0p9XYqiSWMqakT/view?usp=drive_link

Imagen 20

Modelo Efectuado de Simulación Predictiva

Variable	Unidades	Fórmula/Origen	Comentarios
Bascula P95	Minutos	804,25	P95 (Riesgo) entrada de SIMIO
Costo General Operacional (CGO Anual)	USD	2.636.471	Base para monetizar el riesgo.
Total Minutos Operacionales Programados (Anual)	Minutos	172.800	Estimación Logística.
Costo Operacional por Minuto	USD/Minuto	15,60	Valor de la Capacidad Recuperada.
Vida útil de la Bascula (Años)	Años	5,00	Ingeniería (para amortización (EAC)).
Vida útil montacarga (Años)	Años	5,00	
N anual (vistas camion anuales)	Unidades	3.000,00	Throughput Anual.
Factor de Crecimiento Mínimo Histórico	%	1,03	Límite inferior de la proyección.

Variable	Unidades	Valor/Fórmula	Rol en el Índice
Costo bascula	USD	120.000,00	Inversión Inicial
Costo montacarga	USD	35.000,00	Inversión Inicial
EAC Bascula	USD/Año	24.000,00	Denominador (Costo Anualizado)
EAC Montacarga	USD/Año	7.000,00	Denominador (Costo Anualizado)
Costos personal (costo anual)	USD/Año	5.571,75	Denominador (Costo Recurrente)

Nota. Fuente elaboración propia

Imagen 21

Modelo Efectuado de Simulación Predictiva

Métrica Proyectada (@RISK Output)	Escenario 1: Báscula	Escenario 2: Montacarga	Escenario 3: Personal Adicional
Tproy, P95 (Minutos/Evento)	428.83	772.08	
IDelta riesgo minutos Total anual	1,286,800.00	257,360.00	1,023,440.00
BOP(BENEFICIO OPERATIVO PROYECTADO)	22,340,277,777.78	1,493,351.85	5,357,407.41
Denominador Anualizado	24,000.00	7000	3571.75
Índice de Eficiencia Operacional (FINAL)	9308443%	21276%	938322%
Salida de Decisión (P95)	330,844.91	212.76	1,069.22

Nota. Fuente elaboración propia

Imagen 22

Datos de Simulados Salidas

Iteraciones	Índice de Eficiencia Operacional (FINAL) / Escenario 1: Báscula	Índice de Eficiencia Operacional (FINAL) / Escenario 2: Montacarga	Índice de Eficiencia Operacional (FINAL) / Escenario 3: Personal Adicional
1	241.253.437%	61.749%	294.816%
2	254.686.404%	54.172%	236.973%
3	273.270.332%	49.991%	296.595%
4	256.204.783%	54.422%	309.783%
5	252.000.905%	69.258%	296.920%
6	257.898.721%	43.632%	256.004%
7	252.434.295%	54.762%	293.499%
8	223.868.160%	56.586%	245.341%
9	258.939.270%	56.487%	314.008%

Nota. Fuente elaboración propia

Imagen 23

Datos de Simulados Entradas

Datos de simulación
Generado por: USER
Fecha: jueves, 22 de enero de 2026 22:08:28

Entrada	Factor de Crecimiento Demanda (Frec)	Factor de Mejora - Básica (Delta 1)	Factor de Mejora - Montacarga (Delta 2)	Factor de Mejora - Personal (Delta 3)
Celda	(1-5) Model Simulation!C32	(1-5) Model Simulation!C33	(1-5) Model Simulation!C34	(1-5) Model Simulation!C35
Iteraciones				
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	1	1	0	0
4	1	1	0	0
5	1	0	0	0
6	1	1	0	0
7	1	0	0	0
8	1	0	0	0
9	1	1	0	0
10	1	0	0	0

Nota. Fuente elaboración propia

7.1.2 Resultados de simulación

Imagen 24

Estadísticos Salida

Salidas
Reporte de estadísticos de resumen
Generado por: USER
Fecha: jueves, 22 de enero de 2026

Salida	Celda	Gráficos	Función	Mínimo	Máximo	Media	Desv. est.	1%	99%
Índice de Eficiencia Operativa...	'(1-5) Model Simulation!D48		RiskOutput()	203.323.816 %	304.089.104 %	251.015.177 %	20.981.963 %	206.094.797 %	296.477.838 %
Índice de Eficiencia Operativa...	'(1-5) Model Simulation!E48		RiskOutput()	28.673 %	84.704 %	57.372 %	11.736 %	32.616 %	81.570 %
Índice de Eficiencia Operativa...	'(1-5) Model Simulation!F48		RiskOutput()	220.264 %	359.233 %	288.298 %	29.564 %	226.312 %	349.911 %

Nota. Fuente elaboración propia

Imagen 25

Estadísticos Entrada



Entradas

Reporte:

Reporte de estadísticos de resumen

Generado por:

USER

Fecha:

jueves, 22 de enero de 2026

Estadísticos de resumen									
Entrada	Celda	Gráficos	Función	Mínimo	Máximo	Media	Desv. est.	1%	99%
Factor de Crecimiento D...	'(1-5) Model Simulación!C32		RiskTriang (E16;1,07;1,1;RiskName (D32))	1,031673	1,099064	1,066669	0,014343	1,035185	1,095363
Factor de Mejora - Báscul...	'(1-5) Model Simulación!C33		RiskTriang (0,4;0,5;0,6;RiskName (D33))	0,40286	0,59841	0,50000	0,04085	0,41364	0,58557
Factor de Mejora - Monta...	'(1-5) Model Simulación!C34		RiskTriang (0,05;0,1;0,15;RiskName (D34))	0,051080	0,147820	0,099999	0,020420	0,056718	0,142824
Factor de Mejora - Perso...	'(1-5) Model Simulación!C35		RiskTriang (0,3;0,4;0,5;RiskName (D35))	0,30333	0,49619	0,40000	0,04085	0,31399	0,48543

Nota. Fuente elaboración propia

Ver resultados completos en: <https://drive.google.com/drive/folders/1I3sIQw1G0LkGn9wJ4-S2cEsPlex9B13A?usp=sharing>