

Evaluación por medio de técnicas multivariadas y de simulación de la eficiencia productiva de la cadena de suministro del queso costeño en la región caribe colombiana

Evaluation Using Multivariate and Simulation Techniques of the Productive Efficiency of the Coastal Cheese Supply Chain in the Colombian Caribbean Region

  Leandro Peña Rodríguez¹;  Edwin Causado Rodríguez¹;  Jhon Vargas Sánchez¹

¹Universidad del Magdalena, Santa Marta-Colombia

Correspondencia: leandropenarj@unimagdalena.edu.co

Recibido: 10 Octubre 2024

Aceptado: 27 Agosto 2025

Disponible: 26 Septiembre 2025

Cómo citar / How to cite

L. Peña Rodríguez, E. Causado Rodríguez, and J. Vargas Sánchez "Evaluación por medio de técnicas multivariadas y de simulación de la eficiencia productiva de la cadena de suministro del queso costeño en la región caribe colombiana," *Tecnológicas*, vol. 28, no. 64, e3287, 2025. <https://doi.org/10.22430/22565337.3287>



Resumen

La eficiencia en procesos productivos se entiende como la optimización en el uso de los recursos, a fin de obtener los máximos niveles de producción a los mínimos costos y sin sacrificar la calidad del producto. Razón por la cual, esta investigación tuvo como objetivo, evaluar la eficiencia productiva de la cadena de suministro del queso costeño en los departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira, en la región Caribe Colombiana. Para ello, la metodología empleada consistió en una combinación del modelado de simulación discreta y análisis multivariado; específicamente Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis Multivariante de Varianzas (MANOVA), con el propósito de determinar el comportamiento de los costos de producción, costos de envío y el valor de la producción en los diferentes departamentos enunciados. En este marco, se realizó la aplicación de encuestas para obtener información primaria de productores, comercializadores y clientes finales, lo cual permitió identificar diferencias significativas entre los departamentos del Caribe, en cuanto a su desempeño productivo. Los resultados evidenciaron que Córdoba soporta los mayores costos de producción y las menores utilidades, mientras que Magdalena y La Guajira, con métodos de producción artesanal tradicionales y características logísticas similares, alcanzaron diferencias mínimas, pero mayores niveles de beneficios. El análisis MANOVA confirmó que Córdoba obtuvo un comportamiento distinto, indicando que las soluciones deben ajustarse a las particularidades de cada departamento en la región. Además, se destacó la importancia de incorporar tecnologías y mejorar la logística para aumentar la eficiencia de la cadena. Finalmente, se concluye que el uso de plataformas digitales impacta en la mejora de la comercialización de cualquier bien o servicio (caso queso costeño) mediante integración y fomento de la colaboración entre los actores de la cadena, permitiendo incrementar el valor agregado del producto, mayores utilidades y su competitividad en mercados nacionales e internacionales.

Palabras clave

Análisis multivariado, cadena de suministros, eficiencia productiva, logística, simulación discreta.

Abstract

Efficiency in production processes is understood as the optimization of resources used to obtain maximum production levels at minimum costs and without sacrificing product quality. Therefore, this research aimed to evaluate the productive efficiency of the coastal cheese supply chain in the departments of Magdalena, Córdoba, and La Guajira, in the Colombian Caribbean region. To this end, the methodology employed consisted of a combination of discrete simulation modeling and multivariate analysis, specifically Principal Component Analysis (PCA) and Multivariate Analysis of Variance (MANOVA), to determine the behavior of production costs, shipping costs, and production value in the different departments mentioned. Within this framework, surveys were conducted to collect primary data from producers, marketers, and end customers, allowing us to identify significant differences between Caribbean departments in terms of their productive performance. The results showed that Córdoba pays the highest production costs and the lowest profits, while Magdalena and La Guajira, with traditional artisanal production methods and similar logistic characteristics, achieved minimal differences but higher profits levels. MANOVA analysis confirmed that Córdoba performed differently, indicating that solutions must be tailored to the specific characteristics of each department in the region. Furthermore, the importance of incorporating technologies and improving logistics to increase the efficiency of the supply chain was highlighted. Finally, it is concluded that the use of digital platforms impacts the improvement of the marketing of any good or service (such as coastal cheese) through integration and the promotion of collaboration between chain actors, allowing increased added value, higher profits, and competitiveness in national and international markets.

Keywords

Multivariate analysis, supply chain, productive efficiency, logistics, discrete simulation.

1. INTRODUCCIÓN

La industria láctea desempeña un papel fundamental en la economía y el sustento de muchas regiones alrededor del mundo. Dentro de esta vasta industria, la producción de queso se destaca como una actividad de gran importancia, no solo en términos económicos, sino también en términos alimentarios, y socioculturales [1]. Concretamente, en la región Caribe de Colombia, la elaboración de queso costeño se ha venido trabajando durante siglos, desempeñando un papel crucial no solo como fuente de ingresos principal para una gran cantidad de comunidades, sino también como un aspecto crucial de la identidad cultural local y regional del ser Caribe. En este mismo ámbito, las técnicas tradicionales de elaboración del queso, transmitidas de generación en generación, han permitido la conservación de métodos artesanales tradicionales que reflejan el conocimiento acumulado a lo largo del tiempo y el fortalecimiento del tejido social adherido a esta actividad productiva [2].

Dentro de la gran variedad de productos lácteos que se generan en los departamentos de la región Caribe (Magdalena, Córdoba y La Guajira), sobresalen el suero costeño, el yogurt fresco y el queso costeño; siendo este último, un alimento tradicional y emblemático de la región Caribe [3]. Este queso se caracteriza por ser una variedad de queso semiduro o blando y no madurado, lo que significa que es fresco y se elabora con leche de vaca recién ordeñada. Su sabor es único y distintivo, no ácido, con un nivel de salinidad que puede variar entre moderado y fuerte, lo que le confiere un carácter especial [4]. Además, presenta un alto contenido de materia grasa, lo que contribuye a su textura cremosa y su sabor característico [5], [6].

La producción de queso costeño se realiza mayoritariamente de manera artesanal tradicional, el cual es un proceso que ha venido siendo transmitido de generación en generación. Según estadísticas recientes, el 89,5 % de los fabricantes de queso costeño lo procesan de manera artesanal tradicional, mientras que solo un 10,5 % utiliza métodos industriales o tecnificados, evidenciándose esta situación en el caso del proyecto de fortalecimiento de la capacidad productiva y comercial de la cadena de suministro de queso costeño en el Caribe colombiano en los años 2022 - 2025 [7], [8]. Esta predominancia de procesos artesanales no solo refleja un nivel relativamente bajo de desarrollo tecnológico en el sector, sino que también resalta la importancia de las técnicas tradicionales y el conocimiento ancestral en la elaboración de este producto. Sin embargo, esta situación también coloca de manifiesto la falta de formalización y organización empresarial de los actores de la cadena de

suministro, lo que podría ser un obstáculo para el desarrollo y la modernización del sector, siendo trabajado en el caso de los productores de queso costeño a través de la conformación de 3 asociaciones de productores de queso costeño (Magdalena, Córdoba y La Guajira) y la solicitud de registro de una marca colectiva ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) [9],[10]. A pesar de estos desafíos, el queso costeño sigue siendo un producto muy valorado tanto a nivel local como nacional, apreciado por su sabor auténtico y su conexión con las tradiciones culturales de la región.

El fomento de la cadena de suministro del queso costeño se presenta como una faceta crucial que incluye una serie de procesos tanto de producción como logísticos en diversos niveles [11]-[13]. En una visión estratégica, esto enmarca decisiones relacionadas con la dimensión y ubicación de las instalaciones de producción, los centros de distribución, la configuración de las redes de servicios y el diseño general de la cadena de suministro [14]-[16]. Estos elementos son de gran relevancia para la producción de queso costeño, donde la predominancia de métodos artesanales y la falta de identificación de los actores de la cadena de suministro presenta desafíos únicos. Además, los procedimientos operativos se refieren a la programación y control de la producción, la gestión de inventarios, el manejo de la cadena de frío y el enrutamiento de vehículos, entre otros. En el contexto del queso costeño, la administración eficiente de esta estructura productiva es fundamental para mantener la frescura y calidad del producto, dado que es un queso blando y no madurado; por lo cual en la toma de decisiones en esta área se requieren métodos cualitativos y cuantitativos que permitan optimizar los procesos, reducir los costos y mejorar la satisfacción del cliente [17], [18].

El análisis del sendero logístico del queso costeño representa una etapa trascendental para evaluar su eficiencia productiva [19], [20]. En este contexto, la simulación del sistema, mediante la aplicación de herramientas como la simulación discreta, facilita una comprensión detallada y dinámica de la operatividad de este en la realidad, la cual es posible aplicar de manera expés incluso mediante uso de herramientas de manejo de datos tales como machine learning, entre otras [21]-[23]. Esta mezcla de herramientas contribuye a la identificación de cuellos de botella y áreas de mejora, aportando así a la modernización y desarrollo del sector, sin perder de vista la importancia de las técnicas tradicionales y el conocimiento ancestral en la elaboración de este producto.

En trabajos recientes se ha destacado el uso del software ProModel™ para la simulación en diversas aplicaciones. Estudios han demostrado cómo el diseño del proceso productivo, alineado con la cadena de suministro, puede ayudar a las empresas a producir bienes que satisfagan tanto los requisitos de los clientes como las especificaciones del producto [24], [25], todo ello dentro de los límites de costos y otras restricciones administrativas [26],[27]. Además, las simulaciones de eventos discretos han sido utilizados para respaldar la modelación de operaciones logísticas en diferentes procesos de la cadena, especialmente ante la incertidumbre y variabilidad de la demanda, lo cual se corrobora en nuevos estudios que aplican análisis multivariado, técnicas como el análisis de clúster y el análisis de componentes principales [28]-[30]. Desafortunadamente, la adopción de la simulación en la industria regional y local no es generalizada, lo cual podría deberse al desconocimiento sobre las potencialidades que ofrecen estas herramientas o a la falta de acceso a esta tecnología por parte de dichos actores. Al igual que en estudios aplicados a la cadena de suministro de productos agroalimentarios [31], la simulación permite modelar escenarios específicos que reflejan las particularidades regionales, ajustando las políticas de inventario, rutas de transporte y capacidades de producción para maximizar la eficiencia y reducir los costos. Esta perspectiva es determinante en contextos donde predomina la producción artesanal tradicional, dada la demanda a soluciones adaptadas a la realidad local que permitan garantizar la competitividad del sector [32].

En este contexto, la adaptación del Análisis de Componentes Principales (ACP) y el MANOVA son fundamentales para optimizar la cadena de suministro del queso costeño en la región Caribe [33]. El ACP permite simplificar la gran cantidad de datos obtenidos de la

simulación, ayudando a identificar los factores clave que influyen en la eficiencia de la cadena de suministro en cada departamento [34].

Adicionalmente, el MANOVA permite evaluar de manera conjunta las diferencias entre regiones, analizando cómo las características logísticas y operativas impactan variables como los costos de producción y envío, así como los niveles de producción [35], [36]. Esto es esencial para identificar las variaciones regionales y adaptar soluciones específicas a las necesidades de cada departamento.

En este sentido, el objetivo de la presente investigación se enmarcó en analizar la eficiencia productiva de la cadena de suministro del queso costeño en los departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira, en la región Caribe de Colombia, mediante la aplicación de tecnologías, y herramientas de simulación discreta comparativa entre los departamentos de interés. Propiciando además mediante simulación, una representación detallada y realista de las interacciones entre los distintos actores de la cadena de suministro del queso costeño. Además, se emplean técnicas como el ACP y MANOVA, evaluando las hipótesis relacionadas con las variaciones en el desempeño de la cadena de suministro de queso costeño en diferentes contextos regionales. Estos métodos ofrecen un análisis robusto de las diferencias entre los departamentos, resaltando las particularidades de cada región al interior de estos.

2. METODOLOGÍA

Para garantizar la reproducción de este estudio y el cumplimiento de sus objetivos, se incorporó una descripción detallada de los tipos de datos recolectados, las unidades de medida empleadas y las pruebas estadísticas aplicadas. El estudio se sustentó en datos primarios obtenidos mediante encuestas semiestructuradas dirigidas a los actores clave de la cadena de suministro del queso costeño en los departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira. En total, participaron 78 productores, 45 comercializadores y 37 clientes finales. Posteriormente, se seleccionaron 58 productores y 36 comercializadores para el análisis, con base en criterios de calidad, consistencia y completitud de la información recopilada (Ver Tabla 2).

Las variables analizadas se expresaron en unidades estándar ampliamente aceptadas: los volúmenes de producción se midieron en kilogramos por día, mientras que los costos de producción, costos de envío, valor de la producción y utilidad neta fueron reportados en pesos colombianos. Asimismo, los tiempos de operación, espera y bloqueo de recursos se expresaron como porcentajes del tiempo total simulado, lo que permitió una evaluación precisa del desempeño operativo en cada escenario.

La simulación de la cadena de suministro se llevó a cabo utilizando el software ProModel™ (versión estudiantil 10.13.271), configurado para modelar un periodo continuo de 12 meses. Se realizaron 30 réplicas por escenario con el fin de obtener medidas de desempeño confiables y minimizar el error experimental. Las variables utilizadas en la modelación se clasificaron en variables de entrada, como los tiempos de despacho y capacidad de transporte, y variables de estado, como la cantidad de queso producido, los costos y las utilidades por región.

La metodología propuesta para estructurar un modelo de simulación de eventos discretos y evaluar estas cadenas de suministros consta de las siguientes etapas: (1) descripción del sistema actual de la cadena de suministro, (2) propuesta de simulación de la cadena de suministros, (3) simulación de la cadena (4) utilización de técnicas multivariadas como el análisis de componentes principales (ACP) y MANOVA sobre las variables de la simulación para comparar la eficiencia productiva en la fabricación de queso costeño en los tres departamentos de interés.

2.1 Etapa 1: Descripción del sistema actual de la cadena de suministro

La cadena de suministro del queso costeño es mucho más que un simple proceso productivo; es el reflejo de una tradición arraigada en la región Caribe de Colombia, que involucra a diversos actores clave que trabajan de manera interdependiente para llevar este producto distintivo hasta las mesas de los consumidores a nivel regional y nacional. En la Figura 1, se ilustra el funcionamiento de esta cadena en tres departamentos: Magdalena, Córdoba y La Guajira, donde las particularidades geográficas y económicas influyen directamente en su producción.

En este sentido, el recorrido de la cadena comienza con los proveedores de materias primas, principalmente los ganaderos, quienes suministran la leche fresca y otros insumos necesarios para la producción. Estos proveedores no solo son fundamentales para garantizar la calidad del producto, sino que también forman parte de una economía rural que depende en gran medida de este intercambio; los productores queseros, muchos de ellos pequeños o medianos empresarios locales, se encargan de transformar estos insumos en queso costeño, un producto icónico y apreciado por su sabor y método de producción artesanal. Este proceso requiere tanto habilidad como conocimientos transmitidos de generación en generación, lo que añade un valor cultural único al producto.

Posteriormente, una vez que el queso está listo, los mayoristas entran en escena. Estos actores compran grandes volúmenes de queso directamente de los productores, lo que les permite gestionar el transporte y la distribución hacia diferentes puntos de venta a nivel regional y nacional. Su papel es conectar a los pequeños productores con los mercados, facilitando que el queso costeño llegue a las ciudades y poblaciones en las que tiene una gran demanda. Finalmente, los minoristas reciben el queso de los mayoristas y lo ponen a disposición del consumidor final en mercados locales, en panaderías, centros de abastos, puestos ambulantes, en tiendas y micro mercados.

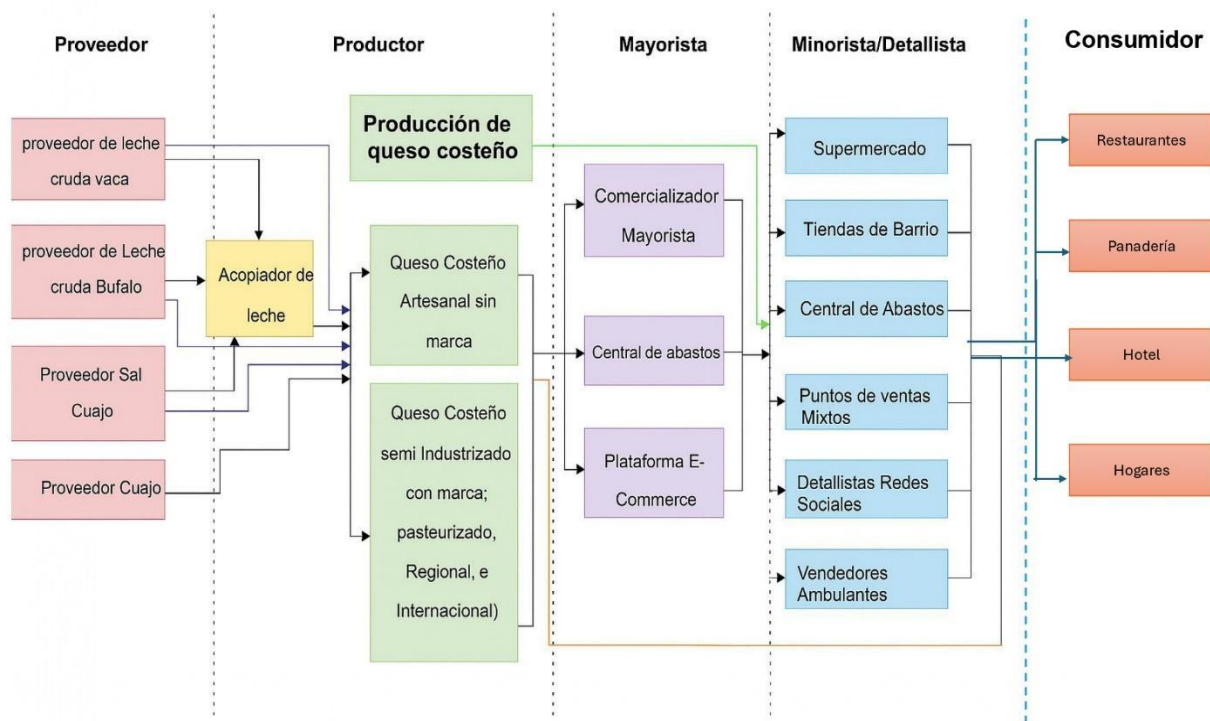


Figura 1. Cadena de suministro queso costeño Fuente: elaboración propia, basada en [10], [13].

Esta cadena de suministro, a pesar de su complejidad, ha logrado adaptarse a las características de cada región, integrando a pequeños y medianos actores que dependen de la producción y comercialización de este producto. Sin embargo, este flujo presenta desafíos relacionados con la eficiencia, los costos y la estructura logística, que afectan tanto a los productores como a los consumidores.

2.2 Etapa 2: Propuesta de simulación de la cadena de suministro

A partir del análisis de la cadena de suministro actual, se ha identificado la necesidad de implementar una propuesta que optimice la distribución del queso costeño, reduciendo el número de intermediarios e impulsando la asociatividad entre los productores [37]. La propuesta, ilustrada en la Figura 2, busca fortalecer la capacidad operativa de los pequeños productores artesanales, mejorando la organización de los centros de acopio y haciendo más eficiente la distribución hacia los centros de consumo masivo.

El propósito principal consistió en simplificar la estructura logística, aumentar la competitividad de los productores locales y asegurar una mayor eficiencia productiva a lo largo de toda la cadena de valor.

En este sentido, el estudio reconoce el rol clave de los proveedores de leche en la cadena del queso costeño, estos no fueron incluidos en la simulación ni en los análisis multivariados. Esta decisión metodológica y estratégica respondió a la intención de delimitar la toma de información y al alcance del estudio, predeterminado en consenso por los investigadores, de acuerdo con el interés y la oportunidad de la información disponible, ya que incorporar a los proveedores habría implicado modelar condiciones geográficas, productivas y de recolección de información muy distintas a las de los demás actores considerados. La comprensión integral de la cadena es fundamental, dado que permite la toma de decisiones informadas y estratégicas para mejorar tanto la capacidad productiva como comercial del queso costeño en los 3 departamentos del Caribe colombiano elegidos; razón por la cual en futuros estudios se ampliará la participación de estos con información veraz.

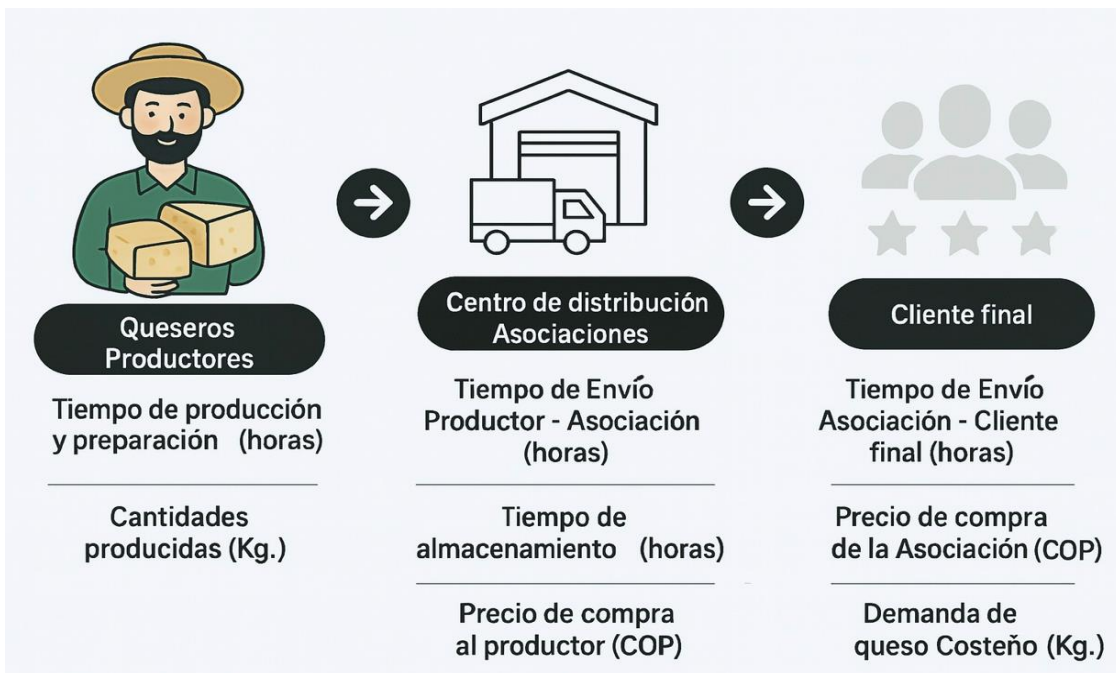


Figura 2. Cadena de suministro de queso costeño propuesta. Fuente: elaboración propia.

2.3 Etapa 3: Simulación de la cadena de suministro

La simulación de eventos discretos representa una herramienta poderosa para analizar, comprender y mejorar las operaciones de un sistema; refiriéndose al proceso de diseño, construcción y experimentación, en lo fundamental para el cubrimiento de la optimización de la cadena de suministro del queso costeño [37]. De acuerdo con esta técnica, un sistema está compuesto por un conjunto de elementos interrelacionados que funcionan en conjunto. El estado del sistema se refiere a la representación de su situación en un momento específico, donde se integran variables claves que determinan su funcionamiento. Un "evento", como la entrada o salida de una entidad en el sistema, altera su estado y permite evaluar su comportamiento en tiempo real, proporcionando una visión más precisa de los procesos involucrados.

Entre las principales ventajas de la simulación de eventos discretos, está su capacidad para prevenir el impacto de posibles cambios sin necesidad de implementarlos directamente en la realidad. Esto permite un análisis profundo de los procesos y la creación de múltiples escenarios que facilitan la toma de decisiones informadas [38].

Para garantizar el éxito de una simulación aplicada a la cadena de suministro del queso costeño, es esencial seguir una serie de pasos clave, el primero es la definición clara del sistema bajo estudio, lo que implica establecer los supuestos y las interrelaciones entre los actores de la cadena. Posteriormente, se debe generar una modelación base que refleje la realidad, seguido de la recolección de datos necesarios para alimentar dicha modelación. Finalmente, la validación de esta modelación es fundamental para asegurar que los resultados sean confiables y que reflejen de manera adecuada las características operativas de cada departamento involucrado en la producción de queso costeño [28]-[30].

Antes de continuar se definen algunos términos en la Tabla 1 utilizadas en ProModel para la modelación de los sistemas:

Tabla 1. Elementos de modelación de los sistemas en ProModel.

Fuente: elaboración propia, basada en [37].

Elemento	Descripción
Sistema	Conjunto de elementos interrelacionados, como piezas, almacenes temporales, operarios y maquinaria, que permiten el funcionamiento integral del proceso.
Entidades	Elementos que representan el flujo de entrada al sistema, como las piezas o materiales que serán procesados.
Estado del sistema	Fotografía de la situación actual del sistema, proporcionando estadísticas y datos en tiempo real sobre el desempeño y condiciones del proceso.
Eventos	Sucesos que alteran el estado del sistema, como el descanso de los operarios o la salida de una pieza después de ser procesada.
Localizaciones	Lugares donde el material o las piezas deben llegar para ser procesados, como almacenes o estaciones de trabajo.
Recursos	Personal o equipos necesarios para el transporte y manejo del material o piezas a lo largo del proceso.
Atributos	Características específicas del material o entidad que está siendo analizada dentro del sistema.
Variables	Categorías o parámetros específicos que se desean estudiar o controlar dentro del proceso, como tiempos de procesamiento o niveles de inventario.

El análisis de la cadena de suministro del queso costeño permitió identificar variables clave que influyen en el desempeño del sistema. Estas variables fueron divididas en dos categorías principales: variables de entrada y variables de estado. A continuación, se describen dichas

variables, junto con su rol en la modelación y su relevancia en la simulación de la cadena de suministro.

Las variables de entrada se refieren a los factores externos que definen las características del sistema real, como las capacidades de los productores, los tiempos de llegada de los camiones, y la demanda en las capitales de los departamentos. Estas variables son esenciales para configurar los escenarios de simulación y determinar los flujos de entrada de productos y recursos dentro del modelo.

- Cantidad transportada camión (CTCi): Esta variable agrupa a los camiones que transportan el queso costeño desde los centros de acopio hasta las ciudades capitales.
 - TGI: Camión Granelero de 8 toneladas.
- Tiempo promedio de despacho: Este tiempo incluye el despacho desde los centros de acopio hacia los puntos de venta.
 - *Tiempo_promedio_Despacho* 1: 25 minutos.
- Demanda: Ubicada en las capitales de los departamentos, la demanda representa la cantidad de queso costeño requerida por los consumidores, de manera preliminar en las ciudades de Santa Marta, Riohacha y Montería.

Las variables de estado son aquellas que reflejan condiciones intermedias o iniciales del sistema, las cuales cambian en función de los eventos que ocurren en el modelo de simulación. Estas variables permiten observar cómo los diferentes actores de la cadena interactúan en tiempo real y cómo el sistema se adapta a los cambios.

- Cantidad de queso producido: Refleja la producción diaria de queso en las distintas subregiones de cada departamento. Esta variable es crítica para evaluar la capacidad productiva de los queseros.
- Tiempos de entrega: Se refiere a los tiempos que toma la entrega de los productos desde los centros de acopio hasta los clientes finales. Este tiempo incluye el traslado y cualquier retraso debido a la limpieza de los vehículos, tiempos de carga o tiempos de espera.
- Costos de producción y envío: Estas variables se calculan por subregión y departamento, representando los costos asociados a la producción de queso y su transporte hasta los puntos de venta.
- Utilidad: Calculada como la diferencia entre los ingresos obtenidos por la venta del queso y los costos totales de producción y envío. La utilidad es una medida clave para determinar la rentabilidad de la cadena de suministro en cada región y departamento.

Para realizar las simulaciones, se configuraron las subregiones en Norte, Centro y Sur por departamento. La Tabla 2 refleja la distribución de productores y centros de acopio entre las diferentes subregiones que facilitaron la información respectiva. Cabe destacar que los clientes finales se encuentran en las ciudades capitales de los departamentos.

Tabla 2. Configuración de productores y centros de acopio de la cadena de suministro de Queso Costeño por departamento en el Caribe colombiano. Fuente: elaboración propia.

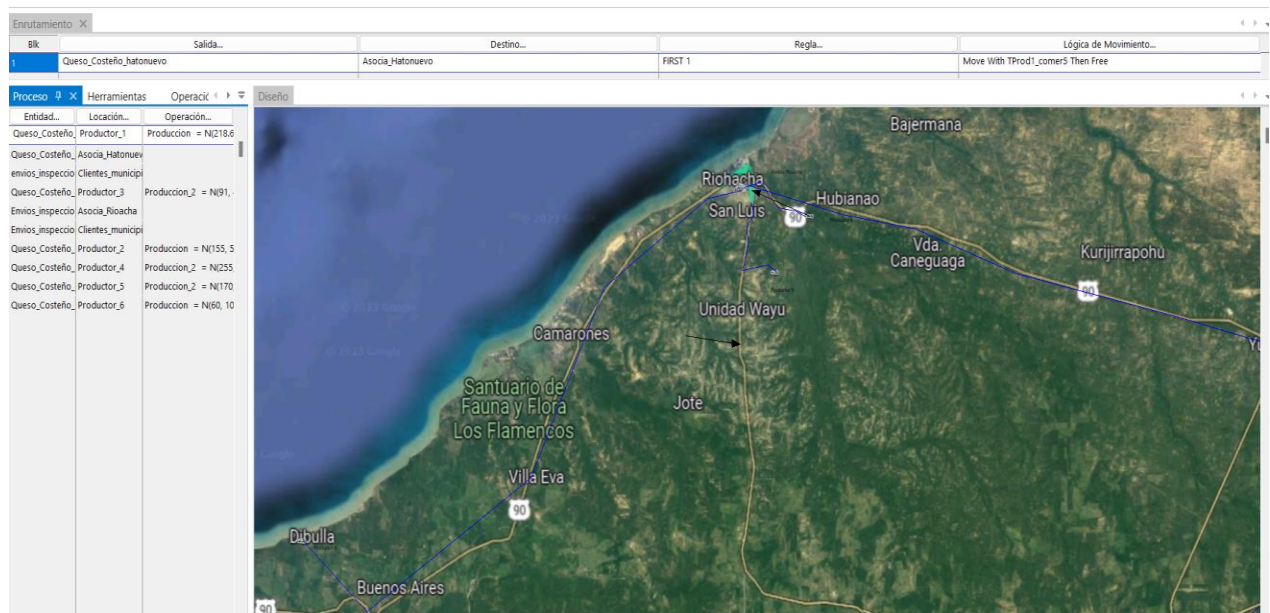
Departamento	Subregiones	Productores Queseros	C. Acopio (asociación)	Cliente Final
Magdalena	Norte	3	3	Santa Marta
	Sur	9	5	
	Centro	12	6	
La Guajira	Norte	6	3	Riohacha
	Sur	6	5	
	Centro	8	4	
Córdoba	Norte	5	3	Montería
	Sur	5	4	
	Centro	4	3	

Con base a la información anterior se proponen escenarios de simulación para cada uno de los territorios departamentales teniendo en cuenta las características propias de cada región, pero considerando ciertas premisas generales aplicables a todos los modelos de simulación de eventos discretos, las cuales se describen a continuación:

- El flujo de productos es unidireccional desde el productor hasta el cliente final.
- Se establecieron precios estándar promedio por subregión de cada uno de los departamentos.
- Se establecieron las capacidades de los productores.
- Los productores se asociaron por zonas geográficas.
- Los centros de acopio se ubicaron en las cabeceras municipales, teniendo en cuenta la cantidad de productores asociados por la cercanía geográfica.
- Se asume que cada asociación cuenta con un vehículo propio para realizar los envíos.
- Se asume que cada centro de acopio cuenta con su propia flota de vehículos para el envío de los productos.
- Los costos asociados a los productores se estimaron por subregión.
- La demanda está ubicada en la capital de cada departamento.

Se propuso una simulación caracterizada por la eliminación de los intermediarios con el fin de recortar la cadena de suministro y generar una comparación de la cadena propuesta con la situación actual (ver Figura 2). La Tabla 2 muestra la configuración de la cadena de suministro teniendo en cuenta a los productores queseros divididos por subregiones correspondientes a cada uno de los departamentos y que aceptaron facilitar la información. En cada simulación se analizaron diversas variables como cantidad de queso elaborado, la demanda de los clientes, los tiempos de entrega y otros aspectos relevantes.

La Figura 3, muestra una de las rutas simuladas por este software en cada subregión de cada departamento seleccionado (Magdalena, Córdoba y La Guajira). Las simulaciones se realizaron en el software ProModel con un periodo temporal de 12 meses.



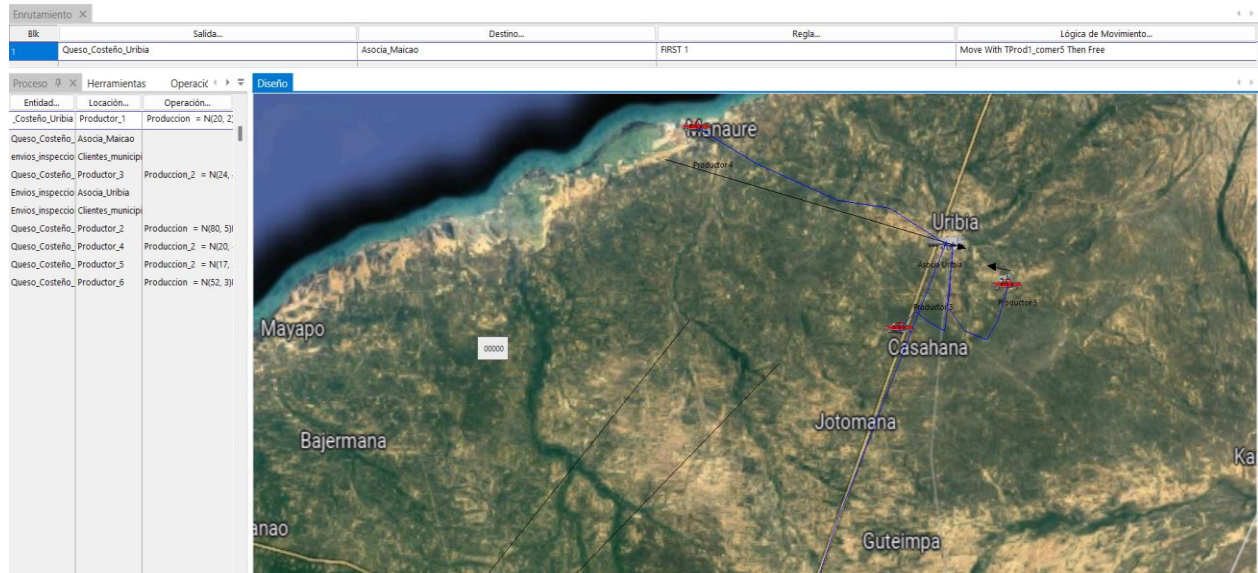


Figura 3. Ejemplo simulación cadena de suministro queso costeño propuesta en el software ProModel en el departamento de La Guajira (Subregiones Centro y Norte). Fuente: elaboración propia.

2.4 Etapa 4: Utilización de técnicas multivariadas como el análisis de componentes principales (ACP) y MANOVA

En esta investigación, se aplicaron diversas técnicas estadísticas de análisis multivariado y de simulación para examinar y mejorar la cadena de suministro del queso costeño en los departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira.

Uno de los métodos clave aplicados fue el Análisis de Componentes Principales (ACP). Esta técnica tiene como objetivo transformar un conjunto de variables correlacionadas en componentes principales no correlacionados, que capturan la mayor parte de la variabilidad en los datos.

El propósito principal del ACP es reducir la dimensionalidad, conservando la mayor cantidad posible de información relevante. La fórmula empleada para calcular un componente principal se expresa en (1), como:

$$Z_j = a_{j1}X_1 + a_{j2}X_2 + \dots + a_{jp}X_p \quad (1)$$

Dónde:

- Z_j es el valor del j -ésimo componente principal.
- a_{ji} son los coeficientes asociados con el i -ésimo valor de la variable X .
- X_1, X_2, \dots, X_p son las variables originales.

En el MANOVA se tienen k poblaciones normales p -variadas, con igual varianza, visibles en (2). Las poblaciones por comparar son los valores aleatorios $X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jk}$. Se Cumple que $X_j \sim N_p(\mu_j, \Sigma)$ para $j = 1, 2, \dots, k$.

$$SSCP = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ji} - \bar{x})'(X_{ji} - \bar{x}) \quad (2)$$

La matriz que se construye con (2) se descompone, en dos matrices cuadradas definidas positivas y de rango completo, en orden $p \times p$, que también representan la suma de cuadrados y de productos cruzados.

Las matrices H y E se calculan mediante las ecuaciones (3) y (4):

$$H = \sum_{j=1}^K (X_{ji} - \bar{x}) (X_{ji} - \bar{x})' \quad (3)$$

$$E = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_j - \bar{x}_j) (X_j - \bar{x}_j)' \quad (4)$$

Estadísticos de prueba en MANOVA: probar las hipótesis de igual medias en un análisis de varianza multivariado se han desarrollado varios estadísticos de prueba, cada uno de ellos tiene una forma de transformarse a una distribución F.

La lambda de Will, denotado Λ , se define como el cociente entre dos determinantes, de tal forma que $\Lambda = \frac{|W|}{|B+W|}$. Valores pequeños de este estadístico causan rechazo de la hipótesis nula (contrario a las decisiones comunes en las pruebas de hipótesis).

Con el fin de probar estas hipótesis, se utilizaron varios estadísticos asociados a MANOVA, tales como la lambda de Wilks, la traza de Pillai y la traza de Lawley-Hotelling. Estos estadísticos transforman los resultados obtenidos en una distribución F, permitiendo determinar si existen diferencias significativas entre las regiones en cuanto a los costos y beneficios asociados a la cadena de suministro del queso costeño.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente estudio aporta un valor significativo al análisis de la cadena de suministro del queso costeño en la región Caribe de Colombia al integrar enfoques cuantitativos mediante técnicas multivariadas (ACP y MANOVA) con simulaciones de eventos discretos aplicadas al contexto artesanal y tradicional del sector lácteo.

Este enfoque combinado no solo permitió visualizar las dinámicas logísticas y productivas de manera más realista, sino que también facilitó la comparación detallada entre los departamentos involucrados. Contrario a investigaciones anteriores centradas en el análisis descriptivo o microbiológico del producto, esta investigación ofrece una mirada sistémica orientada a la eficiencia operativa y económica, generando recomendaciones diferenciadas para Magdalena, Córdoba y La Guajira.

Sin embargo, el estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse; en primer lugar, los datos primarios recolectados por medio de encuestas se limitaron a una muestra focalizada de productores y comercializadores, lo que podría restringir la generalización de los resultados. Asimismo, la simulación asumió condiciones ideales de operación, como la eliminación de intermediarios y disponibilidad constante de vehículos, lo cual, aunque útil para identificar escenarios óptimos, puede no reflejar completamente las restricciones reales del entorno. Además, el modelo no incorporó variables exógenas como condiciones climáticas, políticas de subsidio o fluctuaciones del mercado, que también inciden en la eficiencia de la cadena.

La Tabla 3 muestra los resultados de desempeño operativo de la cadena de suministro en ambos modelos (actual y propuesto). En todos los departamentos evaluados, se observa una mejora notable en la eficiencia operativa con el modelo propuesto. En el departamento de Magdalena, el tiempo operativo aumentó del 67,10 % en el modelo actual al 78,20 % en el

modelo propuesto, lo que indica una mejora significativa en la utilización de los recursos. Simultáneamente, el porcentaje de tiempo bloqueado, que representa los momentos en los que las capacidades de los actores en la cadena alcanzan su límite, fue completamente eliminado en Magdalena y La Guajira, mientras que en Córdoba se redujo del 5,60 % al 1,59 %. Estos resultados reflejan una optimización en la gestión de recursos y una mejora en la coordinación entre los actores de la cadena. A continuación, en la Tabla 3, se muestran los resultados de la simulación de la situación actual y propuesta, haciendo una comparativa entre la modelación actual y propuesta y sus respectivas variables.

Tabla 3. Evaluación de desempeño operativo de la cadena de suministro en las distintas modelaciones. Fuente: elaboración propia.

Departamentos	Modelo	% Tiempo Operación	% Tiempo Desocupado	% Tiempo Bloqueado
Magdalena	Actual	67,10	23,50	9,40
	Propuesto	78,20	16,30	-
La Guajira	Actual	57,10	21,00	17,30
	Propuesto	75,20	14,00	-
Córdoba	Actual	77,80	13,50	5,60
	Propuesto	81,20	9,30	1,59

En la situación actual, la producción en el departamento de Magdalena se concentra principalmente en la región Sur, con un promedio de 1.602,02 kg, lo que la convierte en el principal centro productivo del departamento. La región Centro reporta una producción promedio de 614,63 kg, mientras que la región Norte muestra un rendimiento considerablemente menor con 203,65 kg. Este patrón sugiere que gran parte de la producción se centraliza en áreas específicas, dejando algunas regiones con capacidad subutilizada. En La Guajira, la región Sur también lidera la producción con 407,74 kg, seguida de cerca por la región Centro (374,87 kg), mientras que la región Norte presenta la producción más baja (63,36 kg). Finalmente, en Córdoba, la producción promedio es más equitativa, aunque con niveles relativamente bajos, destacando la región Centro con 209,82 kg, seguida de la región Norte con 156,53 kg y la región Sur con 84,75 kg.

En la situación actual de la cadena de suministro del queso costeño (ver Tabla 4), se observa una considerable variabilidad en los costos y utilidades entre las diferentes regiones. En el departamento del Magdalena, el Sur presenta los mayores costos y, a su vez, las utilidades más altas. En contraste, en La Guajira, aunque los costos de envío y producción son menores en el Norte, las utilidades más elevadas se encuentran en el Sur. En Córdoba, se destaca una situación preocupante en el Centro y Sur donde las utilidades son negativas, en contraste con las utilidades positivas registradas en el Norte.

Tabla 4. Resultados promedios por subregión y departamento en (kg) de la cadena de suministro de Queso Costeño de la situación actual en ProModel. Fuente: elaboración Propia.

Departamento	Centro	Norte	Sur
Magdalena	614.633	203.652	1.602.017
La Guajira	374.866	63.360	407.735
Córdoba	209.822	156.528	84.753

La modelación propuesta muestra una clara mejora en la capacidad productiva en todas las regiones evaluadas. En Magdalena, la producción en la región Sur aumenta a 1.886,38 kg, mientras que en la región Centro crece significativamente hasta 804,21 kg, manteniéndose

estable en la región Norte (203,65 kg). Estos resultados evidencian una distribución más eficiente de la producción, especialmente en las zonas con mayor capacidad. En La Guajira, se observa un aumento notable en la producción de la región Sur, que alcanza los 505,30 kg, mientras que la región Centro sube a 433,40 kg, y la región Norte mejora su rendimiento a 82,87 kg. En Córdoba, las mejoras también son evidentes, con la región Centro alcanzando los 315,09 kg, la región Norte subiendo a 204,38 kg, y la región Sur aumentando a 105,81 kg, lo que indica un uso más eficiente de la capacidad instalada en todas las subregiones.

Así mismo, la modelación propuesta para la cadena de suministro del queso costeño evidencia mejoras significativas en varias métricas financieras (ver Tabla 5). En Magdalena, tanto el valor de producción como las utilidades aumentan de manera notable, especialmente en las regiones del Centro y Sur. En La Guajira, las utilidades mejoran en todas las áreas, siendo el Sur la región con el mayor incremento. Por otro lado, en Córdoba se observa una mejora considerable en las utilidades en todas las regiones, con los mayores aumentos registrados en el Norte y Sur.

Tabla 5. Resultados promedio en (kg) de la cadena de suministro propuesta en ProModel. Fuente: elaboración propia.

Departamento	Centro	Norte	Sur
Magdalena	804.206	203.652	1886.377
La Guajira	433.403	82.873	505.296
Córdoba	315.085	204.375	105.805

Los resultados de la simulación y los análisis estadísticos aplicados proporcionan una apreciación concreta sobre las dinámicas de la cadena de suministro del queso costeño en las regiones de los departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira [2], [9]. Las diferencias observadas en los costos de producción, envío y el valor de la producción resaltan la diversidad de los factores logísticos y operativos que afectan a cada departamento (ver Tabla 6).

Tabla 6. Métricas financieras de los resultados promedios de la cadena de suministro de la situación actual en ProModel. Fuente: elaboración propia.

Departamentos	VARIABLES	Centro	Norte	Sur
Magdalena	Costo de envío	\$ 2.196.625	\$ 904.854	\$ 5.303.769
	Costo de producción	\$ 6.484.383	\$ 2.148.538	\$ 16.901.285
	Valor producción	\$ 9.036.424	\$ 3.134.172	\$ 23.183.581
	utilidad	\$ 355.416	\$ 80.780	\$ 978.527
La Guajira	Costo de envío	\$ 1.692.785	\$ 332.113	\$ 1.874.329
	Costo de producción	\$ 3.842.383	\$ 649.449	\$ 4.179.285
	Valor producción	\$ 6.175.043	\$ 1.067.521	\$ 6.249.844
	Utilidad	\$ 639.875	\$ 85.959	\$ 196.230
Córdoba	Costo de envío	\$ 1.080.915	\$ 610.585	\$ 436.612
	Costo de producción	\$ 2.192.645	\$ 1.635.726	\$ 885.672
	Valor producción	\$ 3.181.921	\$ 2.264.933	\$ 1.152.316
	Utilidad	-\$ 91.639	\$ 18.622	-\$ 169.968

Las Tablas 6 y 7 presentan un resumen de los resultados promedio diarios obtenidos en la cadena de suministro tanto en la situación actual como en la modelación propuesta. Los datos están desglosados por región (Centro, Norte y Sur) en los departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira, y se comparan diferentes métricas financieras, tales como el costo de envío, costo de producción, valor de producción y utilidad.

Tabla 7. Métricas financieras de los resultados promedio de la cadena de suministro propuesta en ProModel. Fuente: elaboración propia.

Departamentos	VARIABLES	Centro	Norte	Sur
Magdalena	Costo de envío	\$ 3.196.625	\$ 904.854	\$ 6.303.769
	Costo de producción	\$ 8.484.383	\$ 2.148.538	\$ 19.901.285
	Valor producción	\$ 12.303.809	\$ 3.198.900	\$ 28.183.581
	utilidad	\$ 622.801	\$ 145.508	\$ 1.978.527
La Guajira	Costo de envío	\$ 1.992.785	\$ 382.113	\$ 1.874.329
	Costo de producción	\$ 4.442.383	\$ 849.449	\$ 5.179.285
	Valor producción	\$ 7.180.819	\$ 1.487.894	\$ 7.953.879
	Utilidad	\$ 745.651	\$ 256.332	\$ 900.265
Córdoba	Costo de envío	\$ 1.080.915	\$ 510.585	\$ 436.612
	Costo de producción	\$ 3.292.645	\$ 2.135.726	\$ 1.105.672
	Valor producción	\$ 4.677.048	\$ 3.057.492	\$ 1.625.174
	Utilidad	\$ 303.488	\$ 411.181	\$ 82.890

Córdoba destaca por sus mayores costos de producción y menores utilidades, lo que puede estar relacionado con una centralización o acaparamiento del manejo de la materia prima (leche) por parte de grandes empresas procesadoras establecidas a lo largo de su territorio, lo cual dificulta al productor artesanal alcanzar rangos de producción que logren niveles de rentabilidad aceptables, en comparación con los otros dos departamentos [7], [8]. Ante esta situación se presentan nuevos retos que requieren de manera urgente la asociatividad de los productores de queso costeño para el logro de mayores niveles de eficiencia; al igual que mayores aportes estatales para la mejora en infraestructura logística y nuevas formas de comercialización mediante el uso de tecnologías de información digital, tales como el e-commerce [14].

Los resultados de la simulación proporcionan una visión detallada de las mejoras operativas y financieras en la cadena de suministro del queso costeño al comparar la modelación actual con la propuesta. Estas mejoras se reflejan en un aumento de la eficiencia operativa y una optimización en el uso de recursos, así como en un incremento significativo de las utilidades en todas las regiones estudiadas. Para profundizar en el análisis de estos resultados, se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP), el cual permitió identificar las relaciones y correlaciones entre las variables clave (Ver Figura 4).

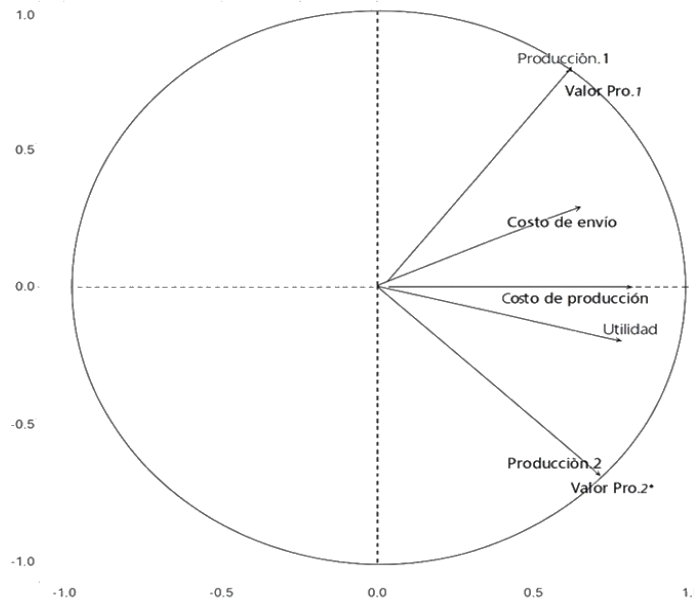


Figura 4. Biplot en dos dimensiones de los factores. Fuente: elaboración propia.

La Figura 4 muestra los resultados obtenidos en R, en donde las variables ValorPro.1 y Producción.1 están altamente correlacionadas, lo que sugiere que una de ellas explica a la otra. Lo mismo ocurre con ValorPro.2 y Producción.2. Debido a esta correlación, se decidió realizar un análisis MANOVA excluyendo las variables de producción y utilizando únicamente los valores correspondientes, es decir, la variable Valor.Pro.1 y Valor.Pro.2.

Así mismo, en la Tabla 8, se presenta la salida del Software R correspondiente a las contribuciones y coordenadas de las variables según el ACP realizado. Esta visualización permite identificar qué variables tienen mayor peso en los componentes principales y cómo se relacionan entre sí en el espacio factorial. Además, se presentan los valores propios obtenidos del ACP. Estos valores evidencian que los dos primeros ejes factoriales capturan una alta varianza, correspondiente al 85,769 % acumulado. Esta da cuenta de la confiabilidad del biplot presentado en la Figura 4.

Tabla 8. Inercia acumulada. Fuente: elaboración propia.

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7
Varianza	3,720	2,284	0,750	0,205	0,022	0,019	0,000
% de varianza	53,139	32,629	10,714	2,931	0,317	0,269	0,000
% acumulado	53,139	85,769	96,483	99,414	99,731	100,000	100,000

En el modelo simulado de la cadena actual, se realizaron 30 réplicas para el periodo de 2023. Los resultados de las medidas de desempeño se agregaron a lo largo del tiempo y se calcularon promedios diarios de los productores asociados. Dado que el modelo evaluó los departamentos en términos de costos de producción, costos de envío y valores de producción, y además es de tipo multinivel, dado que se midió el desempeño tanto de cada eslabón como de la cadena en su totalidad.

Se evaluaron varias medidas de desempeño simultáneamente, lo que requirió la aplicación de un análisis MANOVA para captar diferencias significativas de variables multivariadas. En este sentido, la Tabla 9 muestra los resultados obtenidos en R para otros estadísticos de prueba,

como el test de Hotteling-Lawley, el estadístico de Roy y el estadístico de Wilks. Al igual que el estadístico de Pillai; estos resultados también indican, que al menos un departamento presenta un comportamiento diferente en las cuatro variables estudiadas, ya que su valor es mucho menor que un nivel de significancia de 0,05, reforzando la conclusión de que existen diferencias significativas entre los departamentos.

Tabla 9. Estadísticos de prueba. Fuente: elaboración propia.

Test	Estadístico	Approx F	num Df	den Df	Pr(>F)	Signif.
Hottelling-Lawley	0,58252	6,044	8	166,000	0,0000008127	Significante
Roy	0,4794	10,187	4	85,000	0,0000008725	Significante
Wilks	0,61276	5,827	8	168	0,00000144	Significante

Seguidamente, en la Tabla 10, se identifican las variables responsables de las diferencias detectadas entre los departamentos evaluados.

El análisis MANOVA realizado para cada variable mostró que todas presentan p-valores inferiores al nivel de significancia de 0,05, lo que indica que cada una contribuye significativamente a la variabilidad regional observada. Estos resultados sugieren que las variables evaluadas como costos de producción, costos de envío y valores de producción tienen un impacto importante en las diferencias entre el factor departamento analizado. Nótese que las variables costo de producción y valor de la producción¹, respectivamente, tienen una influencia de casi tres y dos veces, mayores a costo de envío y valor de la producción²; esto se observa en los valores F de esta tabla.

Tabla 10. Análisis de varianza por variable. Fuente: elaboración propia.

Variable	Fuente variabilidad	Grados libertad	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F value	Pr(>F)
Costo envío	Departamento	2	4,5964e+12	2,2982e+12	5,326	0,006576
	Residuales	87	3,7541e+13	4,3151e+11		
Costo producción	Departamento	2	4,9583e+13	2,4792e+13	13,131	1,039e-05
	Residuales	87	1,6426e+14	1,8880e+12		
ValorProd1	Departamento	2	6,6854e+13	3,3427e+13	10,479	8,364e-05
	Residuales	87	2,7752e+14	3,1898e+12		
ValorProd2	Departamento	2	3,8560e+13	1,928e+13	4,8711	0,009881
	Residuales	87	3,4435e+14	3,958e+12		

a. Diferencias entre Córdoba y Magdalena:

En cuanto a comparar las diferencias entre los departamentos de Córdoba y el Magdalena, la Tabla 11 se muestra el análisis de varianza que soporta sus resultados. En este sentido, el análisis multivariado entre los departamentos de Córdoba y Magdalena arrojó un estadístico Pillai de 0,54374, con un valor de F aproximado de 16,387 y un valor p de 6,78e-09. Esta evidencia estadística, con un nivel de significancia altamente inferior a 0,05, permitiendo afirmar que existen diferencias significativas en las variables evaluadas entre estos dos departamentos.

Desde un enfoque productivo, estas diferencias se traducen en mayores niveles de producción en el departamento del Magdalena, que incluso abastece parte del mercado de queso costeño del departamento de Córdoba. Además, el tejido productivo en Magdalena es más robusto y consolidado, lo que se traduce en mayores niveles de utilidad y una mejor sostenibilidad en el tiempo frente a Córdoba.

Tabla 11. Análisis de varianza por departamento. Fuente: elaboración propia.

Variable	Grados libertad	Pillai	Aprox. F	Grados libertad numerador	Grados libertad denominador	Pr(>F)
Córdoba-Magdalena	1 58	0,54374	16,387	4	55	6,777e-09
Córdoba-Guajira	1 58	0,47898	12,641	4	55	2,317e-07
Magdalena-Guajira	1 58	0,12182	1,9075	4	55	0,1222

b. Diferencias entre Córdoba y Guajira:

En este ámbito, en la Tabla 11 se aprecia la comparación estadística entre Córdoba y La Guajira, mostrando diferencias significativas. El estadístico Pillai fue de 0,47898, con un valor de F de 12,641 y un valor p de 2,32e-07, confirmando que las variables analizadas distinguen significativamente a ambos departamentos.

Estas diferencias pueden explicarse por el hecho de que el sistema productivo en La Guajira se encuentra en expansión, mientras que en Córdoba muestra señales de contracción. En particular, los productores cordobeses enfrentan mayores restricciones para el acceso a la materia prima. Además, La Guajira presenta una mayor articulación con el departamento del Magdalena y Cesar y un tejido productivo en crecimiento, lo que se refleja en niveles de utilidad mayores.

c. Diferencias entre La Guajira y Magdalena:

Respecto a las diferencias entre La Guajira y Magdalena, nuevamente en la Tabla 11, contrario a las anteriores comparaciones, el análisis multivariado no reveló diferencias significativas entre La Guajira y Magdalena. El estadístico Pillai fue de 0,2182 con un valor de F de 1,9075 y un valor p de 0,1222, superior al umbral de significancia establecido. Por tanto, no existen evidencias estadísticas suficientes para afirmar que estos departamentos se comportan de forma distinta en las variables evaluadas.

Esta similitud se explica por factores logísticos y estructurales compartidos. Ambos departamentos presentan rutas de transporte con distancias y costos similares, centros de acopio con capacidades comparables y métodos de producción artesanal semejantes. Estas características permiten una eficiencia productiva relativamente homogénea, lo cual refuerza los resultados estadísticos obtenidos.

En términos de política pública para el desarrollo productivo, estos hallazgos sugieren que tanto Magdalena como La Guajira podrían beneficiarse de estrategias conjuntas para fortalecer su cadena de valor, mientras que Córdoba requiere un enfoque diferenciado para superar las limitaciones estructurales actuales y reactivar su sistema productivo quesero.

Por otro lado, los resultados revelan similitudes significativas entre Magdalena y La Guajira, principalmente debido a la homogeneidad en sus métodos de producción artesanal y características logísticas y ambientales compartidas [9]-[11]. La proximidad geográfica entre estos departamentos y las estructuras logísticas similares parecen ser factores que explican las mínimas diferencias en costos de envío y valor de producción. Sin embargo, el predominio de técnicas artesanales limita el potencial de mejora en términos de eficiencia y valor agregado, sugiriendo una oportunidad de mejora mediante la tecnificación moderada del proceso productivo [2], [30].

La comercialización del queso costeño podría beneficiarse significativamente del uso de plataformas digitales; estas herramientas facilitan la conexión directa e inmediata entre productores y consumidores, mejorando la visibilidad del producto en mercados nacionales e

internacionales, permitiendo a los pequeños productores acceder a nuevos canales de distribución [7].

Finalmente, el fomento de la colaboración entre los actores de la cadena de suministro es la clave para el desarrollo de productos diferenciados, la formalización empresarial y la apertura de nuevos mercados. La creación de alianzas entre productores, distribuidores, grandes consumidores, academia y gobiernos locales no solo permitirá una mejor coordinación de la cadena, sino que también potencia el desarrollo de iniciativas que incrementen el valor agregado del producto, como el e-commerce, la marca colectiva, la denominación de origen o el desarrollo de variedades especializadas de queso costeño.

4. CONCLUSIONES

Este estudio ha demostrado que la combinación de técnicas de simulación discreta y análisis multivariado, como el ACP y el MANOVA, resultan esenciales para comprender en detalle y optimizar la cadena de suministro del queso costeño en la región Caribe de Colombia. Estos métodos no solo han permitido identificar las dinámicas operativas y logísticas de cada departamento, sino que también resaltan la importancia de adoptar soluciones a medida para cada región.

El análisis ha revelado diferencias significativas entre las cadenas de suministro de los departamentos del Magdalena, Córdoba y La Guajira. Estas diferencias hacen evidente que no existe una solución única que aborde de manera efectiva los desafíos que enfrenta este sector productivo en cada uno de estos departamentos. En lugar de buscar un enfoque homogéneo, es imprescindible desarrollar estrategias regionalizadas que tomen en cuenta las particularidades culturales, productivas y logísticas de cada territorio.

Futuros proyectos de investigación e inversión, así como las políticas públicas, deberían orientarse hacia la modernización y tecnificación en maquinaria y equipos de estas prácticas artesanales, sin perder de vista el valor cultural que estas representan. La implementación de tecnologías avanzadas en cada eslabón de la cadena, desde la producción hasta la comercialización, aportarán en la mejorar el desempeño, el aumento en la resiliencia y aseguramiento de un crecimiento sostenible y equitativo para toda la región. Es determinante que estas iniciativas también promuevan la inclusión de los pequeños productores, quienes son una pieza clave en la conservación de la identidad productiva del queso costeño, garantizando que puedan competir en un mercado cada vez más globalizado sin perder su esencia.

Finalmente, es importante mencionar que el presente escrito se basa en el estudio de "Fortalecimiento de la capacidad productiva y comercial de la cadena de suministro del Queso Costeño en las Subregiones del Caribe Colombiano, departamentos de Magdalena, Córdoba, La Guajira", siendo el primero que se realiza de carácter científico en este sector productivo, en estos tres territorios de manera simultánea; incluso también el primero en cobertura a lo largo de los 3 departamentos en mención y el primero efectivamente en los departamentos del Magdalena y La Guajira en estas dimensiones, generando información primaria de carácter inédito y de gran aporte al desarrollo productivo, científico y social de estas comunidades; lo cual dificultó las comparaciones con estudios anteriores, porque los hallados no abarcaban las dimensiones de este a nivel científico, ni territorial, solo para un departamento o una ciudad o para una empresa, pero no a nivel del Caribe; por lo cual, este escrito será de gran aporte a futuras investigaciones, al desarrollo productivo de la cadena de suministro de queso costeño en el Caribe colombiano y de base fundamental para la definición de políticas públicas sectoriales y sociales por parte de la institucionalidad local, regional y nacional.

5. AGRADECIMIENTOS Y FINANCIACIÓN

Este trabajo ha sido respaldado por la financiación de actividades de CTeI-SGR y Minciencias; además de la cofinanciación por parte de las universidades del Magdalena, Córdoba y La Guajira en el marco de la ejecución del proyecto denominado “Fortalecimiento de la capacidad productiva y comercial de la cadena de suministro del Queso Costeño en las Subregiones del Caribe Colombiano, departamentos de Magdalena, Córdoba, La Guajira” Código BPIN 2020000100116 SGR.

6. REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). *El desarrollo del sector lechero*. Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/dairy-production-products/socio-economics/dairy-development/es>
- [2] D. Cardona Arbeláez et al., *Logística y cadena de suministro: aproximaciones teórico-prácticas, Núcleo modelo logístico de comercialización y exportación para ganado en pie y productos agrícolas*, Sincelejo, Colombia: Cekar Editorial, 2019. <https://www.cecar.edu.co/documentos/editorial/e-book/logistica-y-cadena-de-suministro-digital.pdf>
- [3] D. Acevedo, J. D. Jaimes, and C. R. Espitia, “Efecto de la adición de lactosuero al queso costeño amasado,” *Inf. Tecnol.*, vol. 26, no. 2, pp. 11-16, Jul. 2015. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200003>
- [4] R. A. Ruíz Pérez, N. Y. Menco Morales, and L. M. Chams Chams, “Valoración microbiológica de queso costeño artesanal y evaluación higiénico-locativa de expendios en Córdoba, Colombia,” *Rev. Salud Pública*, vol. 19, no. 3, pp. 311-317, May. 2017. <https://doi.org/10.15446/rsap.v19n3.54853>
- [5] M. M. Simanca-Sotelo, L. A. Montoya-Restrepo, and I. A. Montoya-Restrepo, “Caracterización de la cadena productiva de lácteos en Córdoba-Colombia,” *Aibi Rev. Inv. Admin. Ingen.*, vol. 9, no 2, pp. 33-39, May. 2021. https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/caracterizacion_de_la_cadena_productiva_de_lacteos_en_cordoba-co
- [6] J. C. Prada Herrera, M. R. Vizcaíno Bermejo, C. C. Bolaños Contreras, T. Jiménez Ochoa, and C. García, “Calidad microbiológica de queso costeño artesanal expendidos en la comuna cuatro de Valledupar-Colombia,” *Ciencia Latina*, vol. 7, no. 2, pp. 1387-1406, Apr. 2023. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5409
- [7] J. L. Barbosa Sanguino, “Mejoramiento de la producción de leche mediante nuevas alternativas alimenticias en la hacienda El Caribe adscrita a la Empresa Ganadería El 24, en Fundación-Magdalena,” Tesis Doctoral, Universidad de la Sabana, Chía, Colombia, 2014. <https://repositorioinstitucional.ufps.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/3267>
- [8] E. Causado-Rodríguez, A. De la Peña Cuao, and I. M. Romero Borja, “Internationalization of Coastal Cheese from the Colombian Caribbean: ‘A Cluster Analysis of The Global Cheese Market’,” *Solovyov Studies ISPU*, vol. 73, no. 7, pp. 37-49, Jul. 2025. <https://doi.org/10.5281/Zenodo.16421740>
- [9] E. Causado-Rodríguez, J. Fonseca, and A. Galindo, *Gestión Empresarial y Asociatividad Productiva para la Cadena de Suministro del Queso Costeño en el Caribe Colombiano*, Riohacha, Colombia: Editorial Uniguajira, 2023. <https://repositorioinst.uniguajira.edu.co/entities/publication/bfa7c11c-53e2-4047-86dd-8c3ab7f72fc5>
- [10] C. Gutiérrez Castañeda, and I. Burbano Caicedo, *La quesería artesanal como herramienta de desarrollo regional: caso queso costeño colombiano y su evolución hacia una marca colectiva*, Barranquilla, Colombia: Universidad Libre, 2015. <https://doi.org/10.18041/978-958-9145-60-9>
- [11] E. Causado-Rodríguez, J. J. Vargas Sánchez, and A. M. Peñaloza Fernández, “Classification and Typification of Costeño Cheese in the Colombian Caribbean Through Multivariate Analysis of Physico-chemical Parameters: Base Study for the department of Magdalena,” *J. Posthum.*, vol. 5, no. 5, pp. 1195-1217, May. 2025. <https://doi.org/10.63332/joph.v5i5.1433>
- [12] V. I. Balza-Franco, and D. A. Cardona-Arbeláez, “La relación entre logística, cadena de suministro y competitividad: una revisión de literatura,” *Rev. Espacios*, vol. 41, no. 19, p. 13, May. 2020. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n19/20411913.html>

- [13] B. L. Santos Hernández, "Gestión del conocimiento y sostenibilidad en la gestión de la cadena de suministro: revisión de literatura," *Telos*, vol. 24, no. 3, pp. 732-748, Sept 2022. <https://doi.org/10.36390/telos243.17>
- [14] E. Gómez-Verjel, A. Pérez-Simancas, M. S. Carrillo-Landazábal, and H. Cohen-Padilla, "Modelo de gestión de la cadena de suministro para el sector lácteo colombiano," *Panorama Econ.*, vol. 26, no. 2, Apr-Jun. 2018. <https://revistas.unicartagena.edu.co/index.php/panoramaeconomico/article/view/2235/1829>
- [15] R. Heema, S. Sivaranjani, and K. S. Gnanalakhmi, "An Insight in to the Automation of the Dairy Industry: A Review," *Asian J. Dairy Food Res.*, vol. 41, no. 2, pp. 125-131, Apr. 2022. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-1856>
- [16] D. Užar, and J. Filipović, "Determinants of consumer purchase intention towards cheeses with geographical indication in a developing country: Extending the theory of planned behavior," *Market-Tržište*, vol. 35, no. 2, pp. 183-204. <https://doi.org/10.22598/mt/2023.35.2.183>
- [17] J. A. Macías Urrego, L. A. Montoya Restrepo, and V. García Pineda, "Discusiones en torno a la industria láctea en un contexto internacional: una revisión sistemática de literatura y agenda de investigación," *EIEI Acofi*, p. 3564. Sep. 2024. <https://doi.org/10.26507/paper.3563>
- [18] A. Taneja et al., "Artificial Intelligence: Implications for the Agri-Food Sector," *Agronomy*, vol. 13, no 5, p. 1397, May. 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051397>
- [19] A. Silvera Sarmiento, A. Corredor Bustamante, H. Bermeo Duque, C. Ramírez Betancur, and N. Van Son, "Centros de desarrollo empresarial zonal: experiencias significativas de desarrollo sostenible en Medellín," *Rev. Lasallista Inv.*, vol. 13, no. 2, pp. 57-79, Dec. 2016. <https://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/rldi/article/view/1212/1009>
- [20] V. Sahni, S. Srivastava, and R. Khan, "Modelling techniques to improve the quality of food using artificial intelligence," *J. Food Qual*, vol. 2021, p. 2140010, Jul. 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2140010>
- [21] N. R. Mavani, J. M. Ali, S. Othman, M.A. Hussain, H. Hashim, and N. A. Rahman, "Application of artificial intelligence in food industry—A guideline," *Food Eng. Rev.*, vol. 14, pp. 134-175, Mar. 2022. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09290-z>
- [22] E. Guzmán, R. Poler, and B. Andrés, "Un análisis de revisiones de modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución de la cadena de suministro," *Dir. Org.*, vol. 70, pp. 28-52, Apr. 2020. <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i70.567>
- [23] Y. Qi, B. Huo, Z. Wang, and H. Jeff Yeung, "The impact of operations and supply chain strategies on integration and performance" *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 185, pp. 162-174, Mar. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.12.028>
- [24] S. Penagos-Arroyave, Y. F. Ceballos, V. V. García-García, and M. Munera-Pulgarín, "Discrete event simulation model to evaluate inventory policies in a specialized restaurant," *Aibi Rev. Inv. Admin. Ing.*, vol. 10, no. 1, pp. 85-92, Jan. 2022. https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/modelo_de_simulacion_discreta_para_evaluar_politicas_de_inventar/2572
- [25] K. A. Constante Paredes, "Mejora en la línea de producción de quesos en la empresa productos lácteos San José basada en tiempos y movimientos," Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2022. <https://es.scribd.com/document/675866275/MEJORA-EN-LA-LINEA-DE-PRODUCCION-DE-QUESOS>
- [26] L. F. Espinoza Parada, "Diseño del proceso productivo de una pyme del sector gastronómico alineado a la cadena de suministro," Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México, 2018. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/16279>
- [27] J. X. Chica Mendoza, C. M. Muñoz Ríos, M. J. Mera Bravo, G. M. Tuárez Zambrano, and J. R. Macías Barberán, "Optimización de la cadena de suministro en la agroindustria de servicio alimentario: Supply Chain Optimization in the Food Service Agribusiness," *Rev. Cient. Multi. G-Nerando*, vol. 5, no. 2, p. 458, Aug. 2024. <https://doi.org/10.60100/rcmq.v5i2.282>
- [28] M. M. Simanca, L. A. Montoya, and C. A. Bernal, "Gestión del Conocimiento en Cadenas Productivas. El Caso de la Cadena Láctea en Colombia," *Inf. Tecnol.*, vol. 27, no. 3, pp. 93-106, 2016. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300009>
- [29] I. Simón-Marmolejo, and J. Medina, "ProModel: Una herramienta alternativa al evaluar el rendimiento de la actividad industrial," *Iberoameric. Journ. Ind. Engin.*, vol. 5, no. 10, pp. 232-250, Nov. 2013. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/104563>
- [30] M. R. Arteaga-Márquez, H. L. Hernández-Hernández, and C. D. Peñate-Quiroz, "Elaboración de un queso procesado tipo untable obtenido a partir de queso costeño," *Inf. Tecnol.*, vol. 31, no. 2, pp. 187-196, Apr. 2020. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000200187>

- [31] J. A. Giraldo García, O. D. Castrillon Gomez, and J. A. Arango Marin, "Simulation of a Sugar Supply Chain," in *20th LACCEI Int. Multi-Conf. Engin. Edu. Technol: Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions*, Boca Raton, USA, 2022. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.558>
- [32] V. Vostriakova, O. Kononova, S. Kravchenko, A. Ruzhytskyi, and N. Sereda, "Optimization of Agri-Food Supply Chain in a Sustainable Way Using Simulation Modeling," *Int. J. Comp. Sci. Net. Secur.*, vol. 21, no. 3, pp. 245-256, Mar. 2021. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2021.21.3.33>
- [33] G. R. Henríquez-Fuentes, D. A. Cardona-Arbeláez, C. Paternina-Arboleda, and A. León-González, "Medición para cadenas de suministro bajo indicadores claves de desempeño (KPI) y tecnologías de información," *Dict. Libre*, vol. 2, no. 23, pp. 61-74, Oct. 2018. <https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.23.5147>
- [34] S. N. Samán Chingay, W. I. Mendoza Alfaro, M. del P. Miranda Guerra, and R. Esparza Huamanchumo, "Resiliencia y competitividad empresarial: Una revisión sistemática, período 2011-2021," *Rev. Cienc. Soc. Venez.*, vol. 28, no. 3, pp. 306-317, Jul. 2022. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/racs/article/view/38476>
- [35] A. Cervera Muñoz, J. Gregorio Medina, and O. Andrés Sierra, "Análisis estadístico multivariado de la gestión en los procesos de la cadena de abastecimiento en empresas de familia de la ciudad de Bogotá. Estudio de caso: empresas de familia del sector de alimentos de la localidad de Chapinero," *Rev. Lasallista Investig.*, vol. 21, no. 2, pp. 138-163, Jan. 2025. <https://doi.org/10.22507/rli.v21n2a3495>
- [36] D. Battacchi, R. Verkerk, N. Pellegrini, V. Fogliano, and B. Steenbekkers, "The state of the art of the evaluation of the naturalness of food ingredients: a review of the proposed approaches and their relationship with consumption trends," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 106, pp. 434-44, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.013>
- [37] E. García Dunna, H. García Reyes, and L. E. Cárdenas Barrón, *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*, México: Pearson Educación-México- Catalogo Editorial, 2013. <https://cffgblog.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/03/libro-simulacion3b3n-y-anc3allisis-de-sistemas-2da-edicion3b3n.pdf>
- [38] A. Morales-González, J. Rojas-Ramírez, L. M. Hernández-Simón, A. Morales-Varela, S. V. Rodríguez-Sánchez, and A. Pérez-Rojas, "Modelación de la cadena de suministro evaluada con el paradigma de manufactura esbelta utilizando simulación," *Científica*, vol. 17, no. 3, p. 1717, Jul-Sep. 2013. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61436206004>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses con respecto a la publicación de este trabajo.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Leandro José Peña Rodríguez, metodología, investigación, redacción-revisión y edición. Edwin Causado Rodríguez, metodología, investigación, redacción-revisión y edición. Jhon Jairo Vargas, conceptualización, metodología, investigación, redacción-revisión y edición.

DECLARATORIA DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los autores bajo la potestad de decir verdad, declaramos que el presente trabajo se ha usado aplicación de inteligencia artificial, como apoyo en redacción, corrección de estilo y traducción, aplicando CHATGPT y DEEPL.