

Integración cadena de valor de la agroindustria azucarera a gestión del conocimiento: mediante modelos matemáticos

Integrating the sugar agro-industry value chain into knowledge management through mathematical models

 Misleydis Quintero León*,  Enrique Pin González and  Darian Samá Muñoz

Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez",
San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: pin@unah.edu.cu, sama@unah.edu.cu

*Autor para correspondencia: Misleydis Quintero León, e-mail: mquintero@unah.edu.cu

RESUMEN: La integración de la cadena de valor de la agroindustria azucarera a la gestión del conocimiento busca potenciar la eficiencia, la innovación y la sostenibilidad en este sector. Este enfoque implica conectar los diferentes eslabones de la cadena de valor desde el campo hasta la comercialización, con estrategias que permitan la captura, análisis, transferencia y el uso efectivo del conocimiento. Esta investigación se enmarcó en el desarrollo del proyecto "Metodología para la gestión integrada de las cadenas de valor del azúcar de la caña y derivados en Empresas Agroindustriales azucareras" que está asociado a un Programa Nacional, con el objetivo de determinar la existencia de una relación y dependencia entre las variables claves mediante modelos matemáticos en la cadena de valor de la agroindustria azucarera. El análisis basado en datos del Grupo AZCUBA, permitió identificar cinco variables dependientes y cinco independientes, de las cuales se generaron cinco modelos lineales. Los resultados muestran que ninguno de los modelos alcanza un nivel óptimo de significancia estadística; sin embargo, tres de ellos (CT - ACI, I - MMA y FL - CP) presentan relaciones débiles que, aunque insuficientes en su estado actual, constituyen aproximaciones iniciales con potencial de mejora mediante transformaciones de las variables o la incorporación de nuevos predictores. Aunque las relaciones encontradas son débiles, el estudio aporta una base metodológica que puede orientar futuros trabajos hacia modelos más robustos y útiles para la gestión integrada de la cadena de valor azucarera.

Palabras clave: agroindustria azucarera, cadena de valor, gestión integrada, modelos de regresión.

ABSTRACT: The integration of the sugar agroindustry value chain into knowledge management seeks to enhance efficiency, innovation, and sustainability in this sector. This approach involves connecting the different links of the value chain, from the field to commercialization, through strategies that enable the capture, analysis, transfer, and effective use of knowledge. This research was framed within the development of the project 'Methodology for the Integrated Management of Sugarcane and Derivatives Value Chains in Sugar Agroindustrial Enterprises', which is associated with a National Program. Its objective was to determine the existence of a relationship and dependency among key variables through mathematical models within the sugar agroindustry value chain. The analysis, based on data from the AZCUBA Group, allowed the identification of five dependent and five independent variables, from which five linear models were generated. The results show that none of the models reached an optimal level of statistical significance; however, three of them (CT - ACI, I - MMA, and FL - CP) present weak relationships that, although insufficient in their current state, constitute initial approximations with potential for improvement through variable transformations or the incorporation of new predictors. Despite the weak relationships found, the study provides a methodological foundation that can guide future work toward more robust and useful models for the integrated management of the sugar value chain.

Keywords: sugar agroindustry, value chain, integrated management, regression models.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones del entorno empresarial actual, caracterizado por una alta complejidad y una fuerte competitividad, han convertido a la gestión del conocimiento en un elemento protagonista de vital importancia para asegurar la sostenibilidad de los negocios

y empresas en el tiempo (Vitale *et al.*, 2020). En este contexto, la agroindustria azucarera se vincula directamente al cumplimiento de varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), aprobados en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y respaldados de forma unánime por actores políticos, económicos, científicos y sociales a nivel global.

Recibido: 13/11/2025

Aceptado: 20/03/2026

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores: Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Metodología, Redacción - borrador inicial, Redacción - revisión y edición, Supervisión: Misleydis Quintero León. Conceptualización, Curación de datos, Metodología: Enrique Pin González. Conceptualización, Curación de datos, Supervisión, Investigación: Darian Samá Muñoz.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



En Cuba, resulta esencial identificar y gestionar la cadena de valor de las producciones primarias, dado que de ella se derivan los aspectos que influyen en el crecimiento productivo y la rentabilidad de las instituciones. La situación actual de la economía y la infraestructura de las empresas estatales sugiere incrementar esfuerzos para minimizar las deficiencias en los procesos productivos y de servicios, con el fin de fomentar la mejora económica del país y de las entidades involucradas.

La cadena de valor en la gestión del conocimiento aplicada a la agroindustria azucarera constituye un tema relevante, pues aborda cómo las empresas pueden optimizar sus procesos y mejorar su competitividad mediante el manejo efectivo del conocimiento. La voluntad política del gobierno cubano para lograr el cumplimiento de los indicadores de desarrollo se expresa en el Modelo Económico y Social de Desarrollo Socialista y en las Bases del Plan de Desarrollo al 2030 del **Partido Comunista de Cuba (2021)**, concebidos a partir de los lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución.

Lograr altos niveles de productividad y calidad en los procesos y productos de la cadena de valor del azúcar crudo es una exigencia de los mercados internos e internacionales, que demandan estándares cada vez más elevados. No obstante, se reconoce un bajo nivel de competitividad derivado de los pobres resultados productivos de los últimos años, sin que existan mediciones específicas para el sector azucarero nacional (**Caballero y Michelena, 2023**).

En este marco, la presente investigación se enmarca en el proyecto «*Metodología para la gestión integrada de las cadenas de valor del azúcar de la caña y derivados en Empresas Agroindustriales azucareras*», asociado a un Programa Nacional. El objetivo principal fue determinar la existencia de relaciones y dependencias entre variables clave de la cadena de valor mediante la aplicación de modelos matemáticos, específicamente modelos de regresión lineal, reconocidos como herramientas fundamentales para describir y analizar relaciones entre variables en diversos campos de la ciencia y la ingeniería (**Montemayor et al., 2017; Fernández et al., 2019**).

Los modelos de regresión lineal constituyen una herramienta metodológica esencial para el análisis de relaciones en sistemas complejos como la cadena de valor de la agroindustria azucarera. Su aplicación permite identificar patrones, estimar dependencias y proyectar escenarios que facilitan la toma de decisiones estratégicas en la gestión integrada del conocimiento. En este sentido, la regresión lineal aporta rigor estadístico y se convierte en un soporte clave para optimizar procesos, mejorar la competitividad y orientar políticas de sostenibilidad en el sector agroindustrial (**García y López, 2023**).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se enfocó como descriptiva - correlacional y enfoque mixto. Se fundamenta en la combinación de herramientas cualitativas y cuantitativas para analizar la cadena de valor de la agroindustria

azucarera desde la perspectiva de la gestión del conocimiento. Como sustentos teóricos se emplearon el modelo de **Sábato y Botana (1970)**, que permite comprender la interacción entre Estado, sector productivo y sistema científico - tecnológico en el desarrollo de la innovación, y el diseño de **Porter (1985)**, utilizado para desagregar y visualizar los procesos de la cadena de valor en eslabones específicos. Estos enfoques proporcionaron la base conceptual para integrar la gestión del conocimiento en el análisis de la competitividad del sector.

Diseño de la cadena de valor por Porter

La conceptualización de la cadena de valor del azúcar crudo en Cuba, adoptada en 2020 (**Figura 1**), permitió identificar los procesos y actores involucrados, así como los riesgos que tienen mayor incidencia en la calidad e inocuidad del producto. **Ruiz y Soto (2022)** identificaron los actores directos (aquellos que intervienen en la transformación o comercialización del producto) y los actores indirectos, aquellos que suministran insumos y servicios, así como entidades reguladoras y certificadoras (**Porter, 2008**).

Modelo triángulo de Sábato

El modelo triángulo (**Figura 2**) de **Sabato y Botana (1970)**, se utilizó como marco de referencia para analizar la interacción entre los factores de producción, la gestión empresarial y el entorno institucional. Este enfoque permitió visualizar las interdependencias y establecer un marco conceptual para la integración de la gestión del conocimiento en la cadena de valor azucarera.

Cotejo de las normas ISO

Se realizó un análisis comparativo de las normas ISO relacionadas con la gestión de la cadena de valor y la calidad en procesos agroindustriales. Se evidenció la falta de implementación efectiva de sistemas de gestión basados en las normas ISO 9000 en el sector azucarero en los últimos veinte años es un elemento que afecta la competitividad. Excepto en la producción de ron, donde la introducción de la gestión de riesgos en esas plantas encontró amplia aplicación y contribuyó a mantener estos productos en el mercado internacional e incrementar el surtido, se evaluó por los expertos que no es visible la utilización de estos modelos en cooperativas, fábricas de azúcar y otras entidades de servicios.

Se elaboró una tabla comparativa (**Tabla 1**) con las normas ISO relacionadas con la gestión de la calidad, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en procesos agroindustriales. Este cotejo permitió identificar los requisitos establecidos por los estándares internacionales y contrastarlos con las prácticas vigentes en la agroindustria azucarera cubana. El análisis se orientó a detectar brechas de cumplimiento, áreas de mejora y oportunidades de alineación con estándares globales, lo cual constituye un insumo metodológico para fortalecer la competitividad y sostenibilidad de la cadena de valor.



Leyenda

- Eslabón de la cadena
- Actores
- Relación
- Retroalimentación

Figura 1. Cadena de valor del azúcar crudo en Cuba. Fuente: Ruiz y Soto (2022)



Figura 2. Esquema del modelo triángulo de Sabato y Botana (1970)

El conocimiento de las familias de normas NC-ISO que impactan en la sostenibilidad y competitividad y de forma particular, la nueva norma NC-ISO 56002: 2019 contribuirá de forma decisiva al cambio de paradigmas en el sector azucarero cubano. (Caballero y Michelena, 2023).

Modelación estadística mediante regresión lineal

La modelación se llevó a cabo utilizando cinco pares de variables clave seleccionadas por expertos del Grupo AZCUBA, quienes validaron su relevancia estratégica para la cadena de valor. Para cada par de variables se ajustaron modelos lineales simples, evaluando la significancia estadística mediante el p - valor y la capacidad explicativa a través del coeficiente de determinación (R^2). Se compararon diferentes formas funcionales (lineal, recíproca, doble recíproca) con el fin de seleccionar el modelo con mejor ajuste. El procedimiento incluyó:

- Definición de variables dependientes e independientes.

- Estimación de parámetros mediante mínimos cuadrados ordinarios.
- Evaluación de supuestos del modelo (normalidad de residuos, ausencia de autocorrelación).
- Selección del modelo con mayor R^2 y análisis de su significancia.

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

- $Y \rightarrow$ la variable dependiente o respuesta.
- $X \rightarrow$ la variable independiente o explicativa.
- $a \rightarrow$ el intercepto o constante. Representa el valor de Y cuando $X = 0$.
- $b \rightarrow$ la pendiente de la recta. Indica cuánto cambia Y por cada unidad que aumenta X .

Este proceso permitió identificar relaciones débiles entre las variables, constituyendo aproximaciones iniciales con potencial de mejora mediante transformaciones o incorporación de nuevos predictores (Montemayor *et al.*, 2017; Fernández *et al.*, 2019; García y López, 2023).

Tabla 1. Cotejo de las Normas ISO relacionadas a la cadena de valor

Norma ISO	Objetivo	Descripción
9001/2015 (Sistemas de Gestión de Calidad)	Incrementar la consciencia organizacional sobre las tareas y el compromiso para satisfacer las necesidades y las expectativas de sus clientes y las partes interesadas, logrando la satisfacción gracias a la calidad de sus productos y servicios.	-Propone un Sistema de Gestión de Calidad bien definido. -Basa en un marco de referencia que integra conceptos, principios, procesos y recursos fundamentales establecidos relativos a la calidad. -Ayuda a las empresas a hacer realidad sus objetivos. -Aplicable a todas las organizaciones
56002/2019 (Gestión de la Innovación)	Ayudar a las organizaciones a utilizar la terminología correcta para la Gestión de la innovación y comunicar de manera consistente sobre sus procesos, logros y rutas de aprendizaje	-Aplicable a todo tipo de organizaciones -Innovaciones: producto, servicio, proceso, modelo y método, desde incrementar hasta radical -Enfoques: actividades de innovación interna y abierta, impulsadas por el usuario, el mercado, la tecnología y el diseño
22301/2019 (Gestión de la continuidad del negocio)	Permitir a las organizaciones mitigar las interrupciones y garantizar la continuidad de sus operaciones frente a incidente	Proporciona un marco para planificar, implementar, operar, supervisar, revisar y mejorar la gestión de la continuidad del negocio, asegurando que se minimicen los impactos de las interrupciones
31000/2018 (Gestión de riesgos)	Gestionar el riesgo al que se enfrentan las organizaciones.	-Usada por cualquier tipo de organización, sin importar el sector al que pertenezca -Ofrece estrategias de decisión, operaciones y procesos para los riesgos y se ajusta a cualquier escenario.
28001/2021 (Gestión de la Seguridad de la Cadena de Suministro)	Mejorar la gestión de la seguridad en la cadena de suministro, estableciendo estándares para identificar y controlar riesgos	-Facilita la integración de la empresa en el mercado, potenciando el comercio y la circulación de mercancías internacionalmente. -Garantiza una gestión más eficiente y refuerza la imagen y credibilidad de la empresa frente a los clientes. -Optimización de los procesos -Mejora el monitoreo del flujo de materias primas, mercancías y bienes.
14001/2015 (Sistemas de Gestión de Medio Ambiente)	Establecer controles para cuidar los aspectos que puedan ser perjudiciales para el medio ambiente, dando el marco legal que se debe seguir en materia ambiental.	-Ayuda a las organizaciones de todos los tamaños en todos los sectores a que sus operaciones diarias sean más sostenibles
22000/2018 (Sistema de Gestión Alimentario)	Asegurar la inocuidad de los alimentos desde el inicio hasta su consumo.	Aplicable a cualquier organización relacionada con la cadena alimentaria, desde la producción primaria, hasta la fabricación de envases o la distribución.
27001/2023 (Sistemas de Gestión de la Seguridad de la Información)	Asegurar las buenas prácticas para evitar riesgos y mejorar procesos de información.	-Requiere de una estrategia alineada con el negocio y sus objetivos, de unos recursos y de un conjunto de actividades dirigidas y coordinadas por una organización de la seguridad que se extienda a través de toda la organización, desde la alta dirección hasta los usuarios finales.

Fuente: elaboración propia

La selección y validación de las variables se realizó mediante el criterio de expertos del Grupo AZCUBA, quienes aportaron conocimiento especializado sobre los procesos productivos y administrativos de la agroindustria azucarera. Este proceso garantizó la pertinencia de las variables utilizadas en los modelos y su relevancia para la gestión integrada de la cadena de valor.

Diagrama causa - efecto

El análisis de la situación del sector azucarero cubano, realizado por un Grupo Temporal de Trabajo, formado por

académicos, especialistas y directivos del sector, propuso un plan de acciones para su rescate. Una de las acciones es diseñar un nuevo modelo de gestión para esta cadena de valor (AZCUBA, 2021).

Según Caballero y Michelena (2023), fueron realizados ejercicios de prospectiva estratégica en todas las empresas azucareras del país y se identificaron las fortalezas y debilidades internas y las amenazas y oportunidades que brinda el entorno. Se ponderaron las mismas y se llegó a concebir los posibles escenarios para el rescate y desarrollo de cada entidad, con sus correspondientes planes específicos de acciones.



Figura. 3. Causa-efecto de la competitividad del sector agroindustrial azucarero. Fuente: Caballero y Michelena (2023)

El análisis reveló como problema central la baja competitividad, asociada a deficiencias en la administración, la fuerza de trabajo, el suministro, la maquinaria, el mercado y el entorno. Este instrumento complementó la modelación estadística al ofrecer una perspectiva cualitativa sobre los factores estructurales que condicionan el desempeño de la cadena de valor.

Selección de expertos y variables clave

La investigación utilizó como insumo metodológico las 10 variables clave [1. Producción de caña (PC), 2. Capital de trabajo (CT), 3. Modelo de gestión (MG), 4. Fuerza laboral (FL), 5. Rentabilidad (R), 6. Innovación (I), 7. Aprovechamiento de la capacidad industrial (ACI), 8. Mantenimiento de la maquinaria agrícola (MMA), 9. Administración de los recursos (AR) y 10. Capacitación del personal (CP)] previamente definidas por expertos del Grupo AZCUBA, quienes cuentan con amplia experiencia en la gestión de procesos productivos y administrativos de la agroindustria azucarera. Estas variables, ya validadas en estudios internos de la institución, fueron clasificadas en dependientes e independientes y se emplearon directamente en la modelación estadística.

La decisión de trabajar con estas variables permitió garantizar la pertinencia del análisis y la coherencia con los objetivos estratégicos del sector. Estas se integraron en cinco pares de relaciones, sobre los cuales se ajustaron modelos de regresión lineal simple. El análisis se centró en evaluar la significancia estadística de los parámetros y la capacidad explicativa de cada modelo, con el fin de determinar la existencia de relaciones y dependencias dentro de la cadena de valor de la agroindustria azucarera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La medición de estas variables no solo proporciona una visión integral del rendimiento de la cadena de valor en la agroindustria azucarera, sino que también permite identificar áreas clave para la mejora a través de la gestión del conocimiento. La integración efectiva de estas variables puede contribuir a una mayor competitividad y sostenibilidad en el sector. Este enfoque fue clave para priorizar intervenciones en mejora continua, basándose en evidencia estadística.

La modelación estadística se realizó con apoyo del Programa Estadístico Statgraphic sobre 10 variables clave previamente definidas por expertos del Grupo AZCUBA, organizadas en dos grupos:

- Variables independientes: Innovación (I), Capital de trabajo (CT), Fuerza laboral (FL), Modelo de gestión (MG) y Rentabilidad (R).
- Variables dependientes: Aprovechamiento de la capacidad industrial (ACI), Mantenimiento de la maquinaria agrícola (MMA), Capacitación del personal (CP), Administración de recursos (AR) y Producción de la caña (PC).

A partir de estas variables se diseñaron cinco modelos de regresión lineal simple, cuyos resultados se presentan a continuación:

Análisis relacional de variables claves

El resultado muestra los resultados del ajuste de un modelo lineal para describir la relación entre R y PC. La ecuación del modelo ajustado es $R = 10,5333 - 0,13333 * PC$

Tabla 2. Análisis de regresión R y PC

Variable dependiente: R					
Variable independiente: PC					
Standard T					
	Parámetro	Estimar	Error	Estadística	Valor P
	Intersección	10,5333	4,73266	2,22567	0,0531
	Pendiente	-0,133333	0,499877	-0,266733	0,7957
Análisis de varianza					
Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	Relación F	Valor P
Modelo	0,0484848	1	0,0484848	0,07	0,7957
Residual	6,13333	9	0,681481		
Total (Corr.)	6,18182	10			

Fuente: programa estadístico Statgraphic (Plus Versión 5 Online).

Tabla 3. Análisis de regresión I y MMA

Variable dependiente: I					
Variable independiente: MMA					
Estándar T					
	Parámetro	Estimar	Error	Estadística	Valor P
	Intersección	7,37097	3,12019	2,36234	0,0424
	Pendiente	0,177419	0,338795	0,523678	0,6132
Análisis de varianza					
Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	Relación F	Valor P
Model	0,177419	1	0,177419	0,27	0,6132
Residual	5,82258	9	0,646953		
Total (Corr.)	6,0	10			

Fuente: programa estadístico Statgraphic (Plus Versión 5 Online).

P-valor $\geq 0,10$, lo que indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre R y PC a un nivel de confianza del 90% (o superior)

Dado que el valor p es superior a 0,05, no hay indicios de autocorrelación serial en los residuos.

De los modelos ajustados, el modelo lineal presenta el valor R-cuadrado más alto, con un 0,784314 %. Este es el modelo seleccionado actualmente.

La relación entre el R con la PC resultó prácticamente nula, con un poder explicativo mínimo. Este hallazgo sugiere que el precio de la materia prima no es un predictor adecuado del rendimiento en las condiciones actuales del sector.

El resultado muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre la I y el MMA. La ecuación del modelo ajustado $I = 7,37097 + 0,177419 * MMA$

P - valor $\geq 0,10$; no existe una relación estadísticamente significativa entre I y MMA con un nivel de confianza del 90% (o superior).

De los modelos ajustados, el modelo doble recíproco presenta el valor R - cuadrado más alto, con un 5,24431%. Esto es un 2,28732% mayor que el del modelo lineal seleccionado.

La relación entre la I con MMA evidenció una dependencia leve. El bajo nivel de significancia estadística indica que el modelo requiere transformaciones de las variables para captar mejor la dinámica entre inversión y modernización tecnológica.

El resultado muestra los resultados del ajuste de un modelo lineal para describir la relación entre CT y ACI. La ecuación del modelo ajustado es $CT = 15,5357 - 0,678571 * ACI$

P - valor en $\geq 0,10$, no existe una relación estadísticamente significativa entre CT y ACI en el nivel de confianza del 90% (o superior).

De los modelos ajustados, el modelo doble recíproco presenta el valor R - cuadrado más alto, con un 23,7509%. Esto es un 2,95595% mayor que el del modelo lineal seleccionado.

El modelo que relaciona el CT con el ACI mostró una relación débil, con bajo coeficiente de determinación (R^2). Aunque insuficiente en su estado actual, constituye una aproximación inicial que sugiere la necesidad de incorporar nuevos predictores para mejorar la capacidad explicativa.

El resultado muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre FL y CP. La ecuación del modelo ajustado es $FL = 7,0 + 0,264706 * CP$

Tabla 4. Análisis de regresión CT y ACI

Variable dependiente: CT					
Variable independiente: ACI					
Estándar T					
	Parámetro	Estimar	Error	Estadística	Valor P
	Intersección	15,5357	4,13894	3,75355	0,0045
	Pendiente	-0,678571	0,44144	-1,53718	0,1586
Análisis de varianza					
Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	Relación F	Valor P
Model	1,17208	1	1,17208	2,36	0,1586
Residual	4,46429	9	0,496032		
Total (Corr.)	5,63636	10			

Fuente: programa estadístico Statgraphic (Plus Versión 5 Online).

Tabla 5. Análisis de regresión FL y CP

Variable dependiente: FL					
Variable independiente: CP					
Estándar T					
	Parámetro	Estimar	Error	Estadística	Valor P
	Intersección	7,0	2,58452	2,70843	0,0241
	Pendiente	0,264706	0,277816	0,952809	0,3656
Análisis de varianza					
Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	Relación F	Valor P
Model	0,433155	1	0,433155	0,91	0,3656
Residual	4,29412	9	0,477124		
Total (Corr.)	4,72727	10			

Fuente: programa estadístico Statgraphic (Plus Versión 5 Online).

Tabla 6. Análisis de regresión MG y AR

Variable dependiente: MG					
Variable independiente: AR					
Estándar T					
	Parámetro	Estimar	Error	Estadística	Valor P
	Intersección	9,56522	3,22891	2,96237	0,0159
	Pendiente	-0,0217391	0,347448	-0,0625679	0,9515
	Análisis de varianza				
Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	Relación F	Valor P
Model	0,00197628	1	0,00197628	0,00	0,9515
Residual	4,54348	9	0,504831		
Total (Corr.)	4,54545	10			

Fuente: programa estadístico Statgraphic (Plus Versión 5 Online).

P - valor en $\geq 0,10$, no existe una relación estadísticamente significativa entre FL y CP en el nivel de confianza del 90% (o superior).

De los modelos ajustados, el modelo lineal presenta el valor R - cuadrado más alto, con un 9,1629%. Este es el modelo seleccionado actualmente.

El modelo que vincula la FL con la CP presentó una relación débil, aunque con cierto potencial de mejora. La baja competitividad identificada en el diagrama causa-

efecto se refleja en este resultado, mostrando que la fuerza de trabajo, en su estado actual, no logra impactar significativamente en la competitividad del producto.

El resultado muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre MG y AR. La ecuación del modelo ajustado es $MG = 9,56522 - 0,0217391 * AR$

P-valor $\geq 0,10$, no existe una relación estadísticamente significativa entre MG y AR con un nivel de confianza del 90% (o superior).

De los modelos ajustados, el modelo Y recíproco presenta el valor R-cuadrado más alto, con un 0,336606%. Esto es un 0,293128% mayor que el modelo lineal seleccionado.

El modelo que relaciona el MG y la AR mostró igualmente un nivel de significancia muy bajo, lo que lo hace inadecuado para describir la relación entre estas variables. Este resultado coincide con las deficiencias administrativas señaladas en el diagrama causa - efecto.

Del conjunto de cinco modelos evaluados, únicamente tres presentan una relación débil entre las variables, lo que indica un potencial de mejora, aunque no alcanzan criterios de significancia estadística. En particular, el modelo doble recíproco para CT - ACI muestra el mayor nivel de ajuste ($R^2 = 23,75\%$), constituyendo la aproximación más prometedora. De manera similar, el modelo doble recíproco para I-MMA ($R^2 = 5,24\%$) y el modelo lineal para FL - CP ($R^2 = 9,16\%$) evidencian relaciones incipientes que podrían fortalecerse mediante transformaciones de las variables o la incorporación de predictores adicionales. Por otro lado, los modelos R - PC y MG - AR presentan valores de R^2 extremadamente bajos (0,78% y 0,33%, respectivamente), lo que refleja una ausencia de capacidad explicativa y los hace inadecuados en su forma actual.

Modelos más adecuados (aunque no óptimos):

- CT - ACI (doble recíproco, $R^2 = 23,75\%$) → mejor ajuste global.
- I - MMA (doble recíproco, $R^2 = 5,24\%$) → ligera mejora frente al lineal.
- FL - CP (lineal, $R^2 = 9,16\%$) → relación débil, pero algo más consistente.
- Modelos menos adecuados:
- R - PC (lineal, $R^2 = 0,78\%$) → casi sin poder explicativo.
- MG - AR (recíproco, $R^2 = 0,33\%$) → ajuste prácticamente inexistente.

Los coeficientes obtenidos en estos modelos indican cómo cambia la variable dependiente ante cambios en las variables independientes que permite identificar qué factores tienen mayor influencia sobre la calidad del producto y la satisfacción del cliente, así como evaluar el impacto ambiental asociado a las prácticas implementadas.

Los resultados evidencian que las relaciones entre las variables clave son débiles y no alcanzan niveles óptimos de significancia estadística. Sin embargo, tres de los modelos (CT - ACI, I - MMA y FL - CP) constituyen aproximaciones iniciales con potencial de mejora mediante transformaciones de las variables o la incorporación de nuevos predictores.

El cotejo de las normas ISO permitió identificar brechas en la aplicación de estándares internacionales, lo que limita la eficiencia y sostenibilidad del sector. Estas brechas explican en parte la debilidad de los modelos, ya que la falta de alineación con prácticas de calidad y gestión reconocidas globalmente afecta la consistencia de los datos y la capacidad de los modelos para captar relaciones significativas.

El diagrama causa - efecto complementó el análisis estadístico al señalar como problema central la baja competitividad, asociada a deficiencias en la administración, la fuerza de trabajo, el suministro, la maquinaria, el mercado y el entorno. Estos factores estructurales condicionan la efectividad de los modelos y ponen de manifiesto la necesidad de una gestión integrada que articule la innovación, la eficiencia operativa y el cumplimiento de normas internacionales.

CONCLUSIONES

Los hallazgos sugieren que la integración de la gestión del conocimiento en la agroindustria azucarera es fundamental para potenciar la innovación, la eficiencia y la sostenibilidad del sector, lo que a su vez podría mejorar la calidad y capacidad explicativa de los modelos.

El cotejo con las normas ISO relacionadas con la gestión de la cadena de valor permitió identificar brechas en la aplicación de estándares internacionales, lo que limita la eficiencia y sostenibilidad del sector. Asimismo, el diagrama causa - efecto reveló como problema central la baja competitividad, asociada a deficiencias estructurales en la administración de recursos, innovación, producción y aprovechamiento de la maquinaria, poco valor agregado a los productos y deficiente encadenamiento. Estos factores estructurales condicionan la efectividad de los modelos y ponen de manifiesto la necesidad de una gestión integrada.

El análisis realizado evidenció que los cinco modelos matemáticos ajustados no alcanzan niveles óptimos de significancia estadística; sin embargo, tres de ellos (CT -ACI, I - MMA y FL - CP) muestran relaciones débiles que constituyen aproximaciones iniciales con potencial de mejora mediante transformaciones de las variables y la incorporación de nuevos predictores. Los modelos R-PC y MG-AR, en contraste, presentan un poder explicativo mínimo, lo que los hace inadecuados en su estado actual. Estos resultados reflejan la necesidad de fortalecer la modelación matemática para lograr una representación más robusta de las interdependencias en la cadena de valor azucarera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZCUBA: *Plan de acción para la implementación de las medidas aprobadas para salvar al sector azucarero*, Inst. Grupo AZCUBA, Publicaciones Azucareras, informe institucional, La Habana, Cuba, 2021.
- CABALLERO, N.A.; MICHELENA, E.: "Competitividad del sector cañero-azucarero cubano: aporte potencial de la normalización a su perfeccionamiento", *Ingeniería Industrial*, 44(3): 77-93, 2023, ISSN: 1815-5936.
- FERNÁNDEZ, C.L.; RANGEL, M. de O.L.; GUERRA, B.C.W.; POZO, F.M.: "Modelación estadístico-matemática en procesos agrarios. Una aplicación en la Ingeniería Agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(2), 2019, ISSN: 2071-0054.
- GARCÍA, P.; LÓPEZ, R.: "Aplicaciones de la regresión lineal en la gestión de cadenas de valor agroindustriales", *Revista Iberoamericana de Estadística Aplicada*, 15(1): 33-48, 2023.

- MONTEMAYOR, T.J.A.; MUNGUÍA, L.J.; SEGURA, C.M.Á.; YESCAS, C.P.; OROZCO, V.J.A.; WOO, R.J.L.: “La regresión lineal en la evaluación de variables de ingeniería de riego agrícola y del cultivo de maíz forrajero”, *Acta universitaria*, 27(1): 40-44, 2017, ISSN: 0188-6266.
- PARTIDO COMUNISTA DE CUBA: *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el periodo 2021-2026*, Inst. Editora Política del Comité Central del Partido Comunista de Cuba, La Habana, Cuba, 2021.
- PORTER, M.E.: “Creating and sustaining superior performance”, *Competitive advantage*, 167: 167-206, 1985.
- PORTER, M.E.: *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*, Ed. Simon and Schuster, 2008, ISBN: 1-4165-9584-8.
- RUIZ, R.; SOTO, I.: “Cadena de valor del azúcar crudo en Cuba”, En: *Memorias del Congreso Internacional Diversificación*, La Habana, Cuba, 2022, ISBN: 978-959-7165-68-2.
- SÁBATO, J.; BOTANA, N.: “La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina”, En: *The World Order Models Conference*, Ed. Instituto de estudios peruanos, Bellagio, Italia, 1970.
- VITALE, A.M.; FERNÁNDEZ, V.E.; CABRERA, S.M.: “Importance of knowledge management for the creation of value in Cuban companies”, 2020.