

CONSULTORÍA

**MODELO PREDICTIVO DE LAS UTILIDADES DE LAS HACIENDAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR
SEGÚN EL TIPO DE CONTRATACIÓN**

AUTORES:

FÉLIX ANDRES MOLINA SERRANO

JAIME ALBERTO MARIN RODRIGUEZ

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
Y ADMINISTRATIVAS
MBA-MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN
SANTIAGO DE CALI**

2023

CONSULTORÍA

**MODELO PREDICTIVO DE LAS UTILIDADES DE LAS HACIENDAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR
SEGÚN EL TIPO DE CONTRATACIÓN**

AUTORES:

FÉLIX ANDRES MOLINA SERRANO

JAIME ALBERTO MARIN RODRIGUEZ

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
MAGISTER EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS**

DIRECTOR: DAVID ARANGO

ESTADISTICO, MAGISTER EN ECONOMÍA

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
Y ADMINISTRATIVAS
MBA-MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN
SANTIAGO DE CALI**

2023

Santiago de Cali, 30 de noviembre de 2023

Doctor

Fabián Fernando Osorio Tinoco

Decano

Facultad De Ciencias Económicas y Administrativas

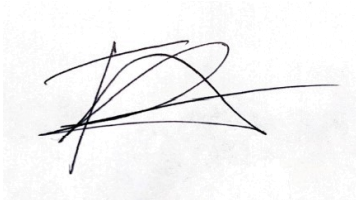
Pontificia Universidad Javeriana

La Ciudad

Por medio de la presente estamos entregando a usted el Trabajo de Grado cuyo título es “Modelo predictivo de las utilidades de las haciendas productoras de caña de azúcar según el tipo de contratación”.

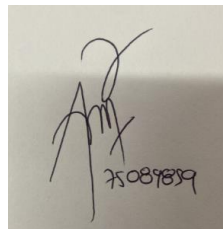
Esperamos que este Trabajo cumpla con los requisitos académicos exigidos y que alcance el propósito para el cual fue elaborado.

Atentamente



Félix Andrés Molina Serrano

C.C. 1.130.614.463



Jaime Alberto Marín Rodríguez

CC. 75.089.859

Santiago de Cali, 30 de noviembre de 2023

Doctor

Fabián Fernando Osorio Tinoco

Decano

Facultad De Ciencias Económicas y Administrativas

Pontificia Universidad Javeriana

La Ciudad

Por medio de la presente me permito comunicarle, que en mi calidad de director de trabajo de grado he leído detenidamente el informe final del estudio titulado “Modelo predictivo de las utilidades de las haciendas productoras de caña de azúcar según el tipo de contratación”, realizado por los estudiantes de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad Javeriana nombres: Félix Andrés Molina Serrano C.C. 1.130.614.463 y Jaime Alberto Marín Rodríguez 75.089.859, y considero que cumple con todos los requisitos requeridos para ser presentada a evaluación.

Atentamente



David Arango Londoño
Director del Trabajo de Grado

ARTÍCULO 23 de la resolución N° 13 de julio 6 de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de Tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque la Tesis no contenga ataques o polémicas puramente personales; antes bien, se vea en ellas al anhelo de buscar la Verdad y la Justicia”.

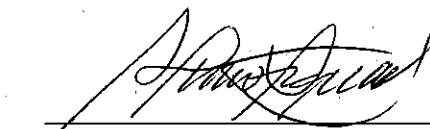
“MODELO PREDICTIVO DE LAS UTILIDADES DE LAS HACIENDAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR SEGÚN EL TIPO DE CONTRATACIÓN” Aprobado por el Comité de Trabajos de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar por el título de Magíster en Administración de Empresas”.



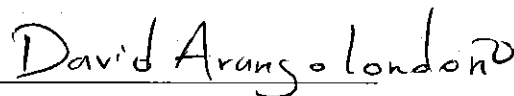
Fabian Fernando Osorio Tinoco
Decano
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas



Gladis Rodriguez Muñoz
Directora de Posgrados



Alvaro Figueroa Cabrera
Jurado



David Arango Londoño
Director del Trabajo de Grado

Santiago de Cali, fecha 07 de febrero de 2024

CONTENIDO

RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
JUSTIFICACIÓN.....	13
OBJETIVOS	14
General	14
Específicos	14
ESTADO DEL ARTE	15
MARCO CONCEPTUAL	17
METODOLOGÍA.....	27
RESULTADOS.....	30
CONCLUSIONES.....	36
RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFIA.....	39

Índice de Tablas

Tabla 1. Variables incluidas en el estudio	27
Tabla 2. Medias y desviaciones estándar de los variables incluidas en el estudio	30
Tabla 3. Resultados de la regresión lineal.....	33

Índice de Figuras

Figura 1. Promedio de productividad, expresado en toneladas de caña por hectarea (tch) de la caña de azúcar en INCAUCA S.A.S, por tipo de contrato, 2012-2022	31
Figura 2. Promedio de rendimiento, expresado en % de azúcar por cada tonelada de caña molida por INCAUCA S.A.S, por tipo de contrato, 2012-2022.....	32
Figura 3. Importancia de las variables	34

RESUMEN

El ingenio INCAUCA S.A.S es una de las empresas más importantes del sector agroindustrial de la caña de azúcar. Constantemente realiza evaluaciones y planes de mejoramiento de todos sus procesos y actividades en campo y fábrica. La disponibilidad de bases de datos históricas facilita el uso de métodos estadísticos de evaluación y predicción de resultados. El presente trabajo parte de la necesidad de establecer criterios para la toma de decisiones sobre la forma de contratación de las haciendas que proveen caña al ingenio INCAUCA S.A.S en modalidades de contratación de Manejo Directo. Se consideró que la rentabilidad de estas haciendas es un criterio clave para definir las acciones necesarias en términos de contratación. Se propone un modelo estadístico de regresión lineal, considerando la rentabilidad como variable dependiente de los costos de producción, la productividad y el rendimiento de la caña de azúcar. Los resultados del análisis muestran que existen diferencias en rendimiento dependiendo del tipo de contrato y estas diferencias están asociadas a los costos de producción y la productividad de la caña.

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera del Valle del Cauca es uno de los impulsores más importantes de la economía Colombiana y puntualmente del suroccidente colombiano. A lo largo de los años ha estudiado y mejorado los diferentes procesos que integran la producción de azúcar, incluso ampliando su oferta a productos como el alcohol carburante y energía. Una de las áreas de estudio crítica es el aspecto financiero que acompaña todas las actividades de producción, desde la preparación del suelo para sembrar la caña en campo hasta el empaquetado final del azúcar. Estos procesos y actividades deben realizarse de forma que minimicen los costos para lograr que sean más eficientes.

Como insumo principal para la producción de azúcar, la caña de azúcar (*Saccharum spp. Hybrid*) juega un papel central en todos los procesos. La provisión de caña debe tener en cuenta los procesos en campo (siembra y mantenimiento del cultivo), cosecha (recolección y entrega al ingenio) y fábrica (recepción de la caña, mediciones de calidad y producto final). En este sentido, la contratación de la provisión de caña es vital para lograr los objetivos de producción de la industria.

Los tipos de contratos para la adquisición de caña de azúcar pueden ser determinantes para los ingenios azucareros, así como también el de los propietarios de la tierra pues establecen quien realiza cada una de las actividades de campo y cosecha. En los contratos de arrendamiento es el ingenio azucarero quien administra la tierra y realiza todas las actividades, mientras que en los contratos en cuentas en participación las actividades son compartidas entre el ingenio y el propietario de la tierra. Estas diferencias en la responsabilidad y el manejo técnico de la producción de caña pueden tener implicaciones en las utilidades que genera cada hacienda cañicultora.

Dada la extensión de los contratos para la provisión de caña, que pueden ser de entre 8 y 10 años, es necesario evaluar sistemáticamente los aspectos tanto técnicos como financieros de la producción de caña. En este trabajo realizamos una primera evaluación y contrastamos las diferencias en costos,

rendimiento y utilidades de 253 haciendas que proveen caña al Ingenio INCAUCA S.A.S Además, propone un modelo para la proyección de las utilidades de estas haciendas, basados en una serie de tiempo que incluye los aspectos financieros más relevantes para la determinación de la utilidad operativa.

INCAUCA S.A.S es una de las empresas más representativas del sector azucarero de Colombia, es una empresa que ha liderado los avances, tanto técnicos como financieros del sector. En el marco de su objetivo de mejoramiento constante, este trabajo tiene como propósito final, entregar al ingenio una herramienta que permita mejorar el proceso de seguimiento a los contratos de proveeduría de caña.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agroindustria de la caña tiene una enorme importancia para Colombia y específicamente para la región suroccidental del país. Con exportaciones de más de 500 toneladas de azúcar al año, más de 280 mil empleos directos e indirectos y una contribución al PIB agrícola de 2.8%, al PIB industrial de 2.4% y 0.6 de PIB nacional (Gómez, 2022). En cuanto a la participación en el mercado internacional, Colombia representa el 1.3% del mercado mundial de caña de azúcar, con un valor de exportaciones de 350 millones de dólares (Cuartas, 2022).

En 2022 el sector azucarero tuvo una disminución en varios indicadores relacionados con la productividad. El área sembrada tuvo una disminución de 2.6%, las toneladas de caña por hectárea (TCH) bajaron un 7.5% y las toneladas de azúcar por hectárea cayeron 9,0%, con respecto a 2021 (Asocaña, 2023). Una de las explicaciones para esta tendencia es el factor climático, específicamente el fenómeno de la niña que se evidenció en un aumento de la lluvia en el Valle geográfico del río Cauca de 35,9% por encima del promedio histórico para la zona (Asocaña, 2023). Sin embargo, es posible que las variaciones en la productividad también se puedan explicar por otro tipo de factores relacionados directamente con el cultivo y la cosecha de la caña.

La productividad, a su vez impacta la rentabilidad de la agroindustria de caña, es así como la rentabilidad se refiere a la capacidad de una empresa para generar utilidades o ganancias financieras a partir de sus actividades comerciales (Marcillo Cedeño et al., 2021). Los indicadores de rentabilidad son claves para medir hasta qué punto una empresa puede obtener un excedente después de cubrir sus costos y gastos. La rentabilidad es crucial para la sostenibilidad y el crecimiento de una empresa y, a menudo, es un objetivo principal para las empresas (Reyes & M, 2010). En este sentido, es crucial conocer el punto en el cual los costos son iguales a los ingresos, es decir el punto de equilibrio de los costos, de modo que

sea posible establecer los rangos en los cuales las operaciones de la empresa requieren de alguna intervención para lograr estar por encima del punto de equilibrio y generar rentabilidad.

La rentabilidad en la industria azucarera depende de varios factores como la productividad del cultivo, el clima, la calidad del suelo, la demanda del mercado, entre otros. La productividad es uno de los indicadores con los cuales se evalúan los contratos que se realizan con los proveedores de caña.

Los ingenios azucareros adquieren la caña necesaria para la producción de azúcar a través de contratos con productores o a quienes compran directamente la caña o arriendan la tierra para el cultivo de la caña. En la modalidad de contratos para uso de la tierra son importantes los contratos de arrendamiento y los de cuentas en participación. En los contratos de arrendamiento el ingenio se encarga de todo el proceso de cultivo y cosecha de caña en el terreno arrendado mientras que en el contrato de cuentas en participación los riesgos asumidos en las labores de cultivo y cosecha de la caña son compartidos entre el dueño del terreno y el ingenio.

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA) ha resaltado la necesidad de aumentar los controles para reducir las áreas clasificadas como baja y media productividad (Posada Contreras et al., 2023). Uno de los retos de la cadena productiva de la caña de azúcar es fortalecer la proveeduría eficiente de caña (Romero Perdomo, 2023). Esto requiere el diseño de procesos e indicadores que permitan evaluar en el tiempo, tanto el rendimiento como la rentabilidad de las diferentes formas de adquisición de la caña. En este sentido, este trabajo pretende contribuir a mejorar los procesos de seguimiento a los contratos de proveeduría de caña a través de la propuesta de un modelo que permita la predicción de la rentabilidad de una finca durante el tiempo de vinculación con la empresa INCAUCA S.A.S

JUSTIFICACIÓN

INCAUCA S.A.S. es una empresa agroindustrial del sector privado y su principal materia prima es la caña de azúcar que transforma para sus cuatro líneas de negocio: producción de azúcar, alcohol, energía y compostaje. En 2022 tuvo una producción de 346,389 toneladas de azúcar, más de 72 millones de litros de alcohol, 91,238 toneladas de compostaje y produjo 303,449 Mw/hora de energía. Las ventas totales de 2022 superaron los 1.200 millones (valor muy bajo) de pesos y actualmente cuenta con 3.716 empleados (INCAUCA, 2023).

En su informe de sostenibilidad de 2022 INCAUCA evidencia un desempeño económico favorable que se evidencia en el aumento de los ingresos por venta de energía, el aumento del precio promedio del azúcar y el etanol en los diferentes mercados y el aumento del precio de los quintales exportados debido a una tasa de cambio favorable (INCAUCA, 2023). Lo anterior visibiliza que la rentabilidad de la empresa se ha favorecido por factores diferentes al proceso de producción y esto indica la necesidad de evaluar cada uno de los factores relacionados con el cultivo y la cosecha de la caña. En este sentido, este trabajo busca evaluar y proponer un indicador que permita hacer seguimiento específicamente a los contratos de proveeduría. Se propone un indicador de rentabilidad de las fincas durante la ejecución del contrato y así tomar las acciones necesarias que permitan la definición de un plan de acción para mejorar la productividad y en consecuencia la rentabilidad en cada finca.

OBJETIVOS

General

Proponer un indicador que permita mejorar el proceso de seguimiento a los contratos de proveeduría de caña para la toma de decisiones con base en la rentabilidad de los predios.

Específicos

1. Describir el comportamiento de la productividad y rentabilidad de las fincas cañicultoras en el período 2012 a 2022.
2. Desarrollar y evaluar un modelo estadístico para la predicción de la rentabilidad de las fincas cañicultoras.

ESTADO DEL ARTE

La rentabilidad del sector agrícola depende de una compleja interacción de factores, incluidos el rendimiento de los cultivos, la dinámica del mercado, los costos de los insumos, el manejo de cultivos, las condiciones climáticas y las políticas comerciales globales. La industria azucarera no es una excepción a estos factores.

Se debe reconocer la importancia de calcular el costo real de producción para fundamentar la elección de decisiones racionales basadas en la rentabilidad. Estrategias como la de estimar el valor actual neto (VAN) de ingresos y costos futuros, son cruciales en el análisis de costos y rentabilidad, destacando la relevancia de la rentabilidad como una contribución de capital positiva al negocio. Es esencial un proceso educativo para los agricultores, promoviendo el intercambio de experiencias y conocimientos acerca de la interconexión entre producción, costos y rentabilidad. Esto habilita al productor a planificar, supervisar y tomar decisiones acertadas para el avance de su próxima cosecha (Paredes, 2017).

Un análisis de la producción y rentabilidad empresarial en el sector agrícola realizó una estimación de la función de producción de tipo Cobb-Douglas para calcular la productividad total de los factores. En el modelo tradicional de Cobb-Douglas, la producción se determina por los bienes intermedios, los insumos de capital, el terreno y el trabajo. La rentabilidad se modeló a través del método de mínimos cuadrados ordinarios. Una de las conclusiones más relevantes es que la productividad total de los factores tiene un efecto positivo sobre la rentabilidad de las empresas del sector agrícola (Arboleda et al., 2022).

Otro estudio en México realizó una estimación de la rentabilidad agrícola comparando municipios, a través de modelos de regresión lineal múltiple y mínimos cuadrados ordinarios. El estudio incluyó variables como ingreso de la agricultura en el municipio, ingreso promedio de la agricultura por hectárea, superficie cultivada, entre otros (Puente et al., 2021).

Otro estudio en la Unión Europea buscó los determinantes de la rentabilidad de granjas agrícolas usando estrategias econométricas. Establecieron la rentabilidad como variable dependiente y como variables independientes usaron: la rotación de acciones, un índice de especialización, participación de los costos externos, proporción de gastos generales agrícolas, proporción de trabajo remunerado y subsidios. El análisis demostró que las decisiones administrativas son importantes para la rentabilidad de la granja y recomiendan el asesoramiento como estrategia para la toma de decisiones adecuadas (Kryszak et al., 2021).

Una de las decisiones administrativas importantes y que puede tener un impacto sobre la rentabilidad, es la forma en la que se adquieren los insumos. En el caso de los ingenios azucareros el principal insumo es la caña que se adquiere en gran parte a través de agricultura de contrato. De acuerdo con Key & Runsten, (1999), la agricultura de contrato es una forma de acuerdo que permite a las empresas participar del proceso de producción (siembra y cosecha) sin ser dueños del suelo (Key & Runsten, 1999). Mencionan tres tipos de contrato: de especificación de mercado que son acuerdos previos a la cosecha en donde se establecen las condiciones de compra; Contratos de suministro de recursos en el cual la empresa provee los suministros, la asesoría o el crédito para que el agricultor realice los procesos de siembra y cosecha; y contratos de administración de la producción en el cual el agricultor debe seguir un método particular de producción (Key & Runsten, 1999).

Existen varias modalidades en los que se presenta la agricultura de contrato. En Perú, por ejemplo, se presenta una figura intermediaria que se encarga de suplir las necesidades de caña de los ingenios con sus propias cosechas o comprando a pequeños agricultores, así los ingenios sólo interactúan con grandes proveedores de caña (Almeida et al., 2022).

MARCO CONCEPTUAL

La rentabilidad en la agricultura se refiere a la capacidad de una operación agrícola para generar un retorno financiero positivo de la inversión después de contabilizar todos los costos y gastos de producción (Paredes, 2017). Es una medida clave de la salud financiera y la sostenibilidad de las actividades agrícolas. La rentabilidad es esencial para que los agricultores cubran costos, reinviertan en sus operaciones y logren el éxito a largo plazo en el sector agrícola (Paredes, 2017).

La rentabilidad en agricultura puede ser analizada desde algunos puntos claves como el rendimiento (Duque et al., 2015; Klima et al., 2020) los precios de mercado (Becerra Gualdrón & Gallardo Sánchez, 2015), los precios de los insumos (Asrol et al., 2020), la sostenibilidad (Aguilar-Rivera, 2019) y la tecnología (Grass Ramírez et al., 2023). Está estrechamente ligada a los conceptos de productividad y rendimiento, especialmente en cultivos como el de la caña de azúcar.

La productividad y el rendimiento se refieren a la eficacia y la efectividad con la cual las plantas de caña de azúcar convierten recursos como la luz solar, el agua y los nutrientes en el suelo, en biomasa cosechable, principalmente en forma de azúcar. La productividad se puede medir de varias formas: Toneladas de caña por hectárea (TCH), contenido de azúcar (rendimiento), tasa de crecimiento, eficiencia de los recursos, entre otros.

En el contexto de este trabajo, la productividad se referirá a la cantidad de un cultivo o producto específico que se cosecha en un área determinada de tierra dentro de un período de tiempo definido (Fischer et al., 2014). Es una medida crítica de la eficiencia y productividad de las prácticas agrícolas, ya que cuantifica la producción de los cultivos, que puede usarse para evaluar el desempeño de las operaciones agrícolas. La productividad alta y constante es esencial para garantizar la seguridad alimentaria, la viabilidad económica y la sostenibilidad en la agricultura (Cook et al., 2011).

Una de las medidas más comunes para estimar la productividad es dividiendo el peso total de un cultivo específico cosechado en un área específica (generalmente una hectárea) por el tamaño del área. El resultado normalmente se expresa en kilogramos por hectárea (kg/ha) o toneladas métricas por hectárea (t/ha) (Fischer et al., 2014).

La productividad de los cultivos juega un papel vital en la determinación de la rentabilidad de la agricultura, especialmente en la industria azucarera (Aguilar-Rivera, 2019). Factores como el clima, la calidad del suelo y la aplicación de prácticas agrícolas modernas afectan la productividad. Los avances tecnológicos en la agricultura, incluido el uso de cultivos genéticamente modificados, la agricultura de precisión y mejores métodos de riego, han contribuido a mayores rendimientos (Bianchi et al., 2017). Las prácticas efectivas de manejo de cultivos conducen a mayores rendimientos, lo que impacta directamente en la rentabilidad. En la industria de la caña de azúcar, esto incluye programas optimizados de siembra, manejo de plagas y técnicas de riego.

Es importante señalar que medir la productividad con precisión es esencial para evaluar la efectividad de las prácticas agrícolas, optimizar el uso de recursos y tomar decisiones informadas para mejorar la producción de cultivos. Además, la productividad puede verse influenciada por varios factores, incluido el clima, la calidad del suelo, el riego, la variedad de cultivos y el manejo de plagas (Rodríguez Borray et al., 2020). Como resultado, los agricultores suelen trabajar para maximizar el rendimiento manteniendo al mismo tiempo la calidad y la sostenibilidad de los cultivos.

Pronosticar la productividad de los cultivos es una tarea prioritaria en la agricultura, ya que ayuda a los agricultores, a los formuladores de políticas y a las partes interesadas a tomar decisiones informadas relacionadas con la siembra, la cosecha y la gestión de los recursos; Aunado a lo anterior, se utilizan diversas metodologías y enfoques para pronosticar el rendimiento de los cultivos, y se pueden clasificar

en términos generales en técnicas estadísticas, de teledetección y de modelización. A continuación, se muestran algunas metodologías comunes:

1. **Análisis de series temporales:** este método implica analizar datos históricos de rendimiento de cultivos durante varios años para identificar tendencias y patrones. Se pueden utilizar técnicas estadísticas como promedios móviles, suavizado exponencial y modelos de promedio móvil integrado autorregresivo (ARIMA) para hacer pronósticos basados en datos de rendimiento pasados (Ruiz-Ramírez et al., 2011).
2. **Teledetección e imágenes satelitales:**
 - a. **Teledetección e imágenes satelitales:** ampliamente utilizada que mide la salud y el vigor de los cultivos en función de la reflectancia de la luz visible y del infrarrojo cercano. Los cambios en el NDVI pueden ser indicativos de la salud del cultivo y del potencial de rendimiento (López Bravo et al., 2022).
 - b. **Temperatura de la superficie terrestre (LST):** el monitoreo de la temperatura de la superficie terrestre puede ayudar a identificar el estrés en los cultivos, lo que puede ser un indicador temprano de posibles pérdidas de rendimiento (Frąckiewicz, 2023).
 - c. **SAR (radar de apertura sintética):** los datos del SAR pueden proporcionar información sobre los niveles de humedad del suelo, lo que puede ser fundamental para los pronósticos del rendimiento de los cultivos, especialmente en regiones propensas a la sequía (García et al., 2021).
3. **Modelos de crecimiento de cultivos:**
 - a. **Modelos de simulación:** estos modelos, como el Simulador de sistemas de producción agrícola (APSIM) y el Sistema de apoyo a la decisión para la transferencia de agrotecnología (DSSAT), simulan el crecimiento y desarrollo de cultivos basándose en diversos insumos, como datos climáticos, características del suelo y prácticas de manejo

de cultivos. Estos modelos proyectan el rendimiento en función de cómo responde el cultivo a las condiciones cambiantes (Marin et al., 2018).

- b. Modelos de aprendizaje automático: las técnicas de aprendizaje automático, como el análisis de regresión, los árboles de decisión y las redes neuronales, se pueden aplicar a datos históricos de cultivos para identificar los factores clave que influyen en el rendimiento y hacer predicciones basadas en las condiciones actuales (García-López et al., 2022).

4. Datos meteorológicos y modelos climáticos:

- a. Pronósticos basados en el clima: Los pronósticos de rendimiento de los cultivos pueden verse influenciados por las condiciones climáticas. Los datos meteorológicos históricos y los pronósticos meteorológicos a corto plazo se pueden utilizar para evaluar el impacto potencial de la temperatura, las precipitaciones y los fenómenos meteorológicos extremos en los cultivos.
- b. Modelos climáticos: los modelos climáticos pueden proporcionar información sobre las tendencias climáticas a largo plazo, que pueden afectar el rendimiento de los cultivos durante varias temporadas. Comprender cómo el cambio climático podría afectar la agricultura es esencial para realizar pronósticos a largo plazo.

- 5. Encuestas de campo y recopilación de datos: los agricultores y los funcionarios de extensión agrícola pueden recopilar datos sobre el terreno sobre las condiciones de los cultivos, la incidencia de plagas y enfermedades y las prácticas de manejo de cultivos. Esta información puede complementar otros métodos de pronóstico y proporcionar una perspectiva en tiempo real.
- 6. Consultas de expertos: consultar con agrónomos, economistas agrícolas y agricultores experimentados puede proporcionar información cualitativa sobre los pronósticos de

rendimiento de los cultivos. Los expertos pueden considerar varios factores, incluido el conocimiento local y la dinámica del mercado.

7. Combinación de Métodos: A menudo, los pronósticos más precisos se logran combinando múltiples metodologías. Por ejemplo, una combinación de análisis de datos históricos, teledetección y modelización de cultivos puede proporcionar un pronóstico de rendimiento más completo y preciso.

Es importante señalar que la elección de la metodología depende del cultivo específico, la región y la disponibilidad de datos. La previsión precisa del rendimiento de los cultivos es fundamental para optimizar la asignación de recursos, mitigar los riesgos y garantizar la seguridad alimentaria en los sistemas agrícolas.

Por otro lado, encontramos el rendimiento de los cultivos que, en el contexto de la industria azucarera del Valle del Cauca, se refiere al azúcar recuperable por unidad de peso de caña (Cock et al., 1993). Durante el proceso de producción del azúcar, se pueden determinar varios indicadores de rendimiento que dan cuenta de la proporción de sacarosa o azúcar que se puede extraer por unidad de caña cultivada, cosechada y de los diferentes productos que se extraen de la caña (Briceño B. et al., 2002). Antes de la cosecha de la caña se puede calcular la sacarosa de la caña en pie ($sacarosa \% caña(S_0) = \frac{\text{toneladas de sacarosa}}{\text{toneladas de caña}} \times 100$), durante la cosecha se calcula la sacarosa en la caña recién cortada, antes del alce y el transporte a la fábrica ($sacarosa \% caña(S_f) = \frac{\text{toneladas de sacarosa}}{\text{toneladas de caña}} \times 100$). En Fabrica se mide la sacarosa en caña después de pasar por la báscula ($sacarosa \% caña(S_f) = \frac{\text{toneladas de sacarosa}}{\text{toneladas de caña}} \times 100$), la que entra a la estación de preparación (Briceño B. et al., 2002). En la estación de molienda se mide la sacarosa en los jugos de primera extracción y diluido y en el bagazo; En el proceso de producción de azúcar se mide la sacarosa en las estaciones de clarificación, filtración, evaporación, cristalización y centrifugación (Briceño B. et al., 2002).

La medición de la sacarosa en todos los procesos mencionados se realiza mediante determinación analítica en el laboratorio o mediante estimaciones a partir de otras mediciones. Finalmente se pueden obtener los índices globales de recuperación de sacarosa en azúcar (O.R. por sus siglas en inglés – Overall recovery), rendimiento comercial y azúcar recuperable estimado (Briceño B. et al., 2002). El O.R. es un indicador de eficiencia en durante el proceso de fábrica y consiste en la proporción porcentual de azúcar recuperada al final del proceso de producción con respecto a la cantidad de sacarosa presente en la caña a su ingreso a fábrica, este indicador generalmente se ubica entre 80 y 90% (Briceño B. et al., 2002). El O.R se calcula de la siguiente forma:

$$O.R = \frac{\text{toneladas de sacarosa recuperadas en azúcar}}{\text{toneladas de sacarosa en caña}} \times 100$$

El rendimiento comercial (Rto.) es un indicador de la cantidad de caña molida que se convierte en azúcar, estos rendimientos generalmente oscilan entre 11 y 13% y su cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$Rto. = \frac{\text{toneladas de azúcar producida}}{\text{toneladas de caña molida}} \times 100$$

El azúcar recuperable estimado se basa en el análisis de la humedad de la caña (Briceño B. et al., 2002).

En el caso de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca, se cuenta con las bases de datos generadas, recolectadas y compartidas de los principales actores del sector azucarero. El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA) cuenta con bases de datos históricas sobre clima que obtiene a partir de su Red Meteorológica automatizada (RMA) y que les permite a los diferentes productores de caña planificar las labores agrícolas (Cenicaña – Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2023). La Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (ASOCAÑA)

cuenta con datos históricos de producción, ventas, existencias y variables agrícolas de azúcar. Además de los precios nacionales e internacionales (Ramírez, 2017).

Adicionalmente los ingenios azucareros cuentan con sus propias bases de datos. En el caso de INCAUCA, cuenta con información histórica de todos sus procesos, desde campo hasta cliente (*Procesos*, 2016). En campo, la información sobre las actividades de levantamiento y cosecha de cultivos son cuantificadas y registradas en cada hacienda; en fábrica, se realizan diferentes mediciones de rendimiento de sacarosa y azúcar que alimentan las bases de datos con las cuales es posible hacer predicciones sobre la producción final de azúcar; finalmente, se cuenta con información de ventas y de consumidores finales de los productos de la empresa.

Contratos de proveeduría de caña

Los contratos de producción de caña de azúcar son fundamentales para establecer los términos del acuerdo entre los productores de caña de azúcar y los ingenios (Almeida et al., 2022). Estos contratos no sólo describen las responsabilidades y expectativas de cada parte, sino que también proporcionan un marco para gestionar los riesgos asociados con el cultivo y procesamiento de la caña de azúcar.

La rentabilidad del sector agrícola, en particular de la industria de la caña de azúcar, está determinada por una multitud de factores que van desde la dinámica del mercado global hasta las prácticas agronómicas locales. Comprender y navegar estos factores es crucial para que las partes interesadas maximicen las ganancias. Los acuerdos contractuales desempeñan un papel fundamental en la gestión de riesgos y garantizan la estabilidad en este sector volátil. A medida que la industria evoluciona, también lo hará la naturaleza y complejidad de estos contratos, lo que refleja las condiciones cambiantes del mercado, los avances tecnológicos y los cambios económicos globales.

En Colombia, los ingenios de caña de azúcar a menudo celebran acuerdos de arrendamiento de tierras con propietarios para el cultivo de caña de azúcar. Estos acuerdos son cruciales para los ingenios

que no poseen suficiente tierra para el cultivo de caña de azúcar o para los propietarios de tierras que carecen de los recursos o la experiencia para cultivar la caña de azúcar por sí mismos. Los tipos de contratos basados en arrendamiento de tierras típicamente utilizados por los ingenios azucareros colombianos incluyen:

1. Contratos Tradicionales de Arrendamiento de Terrenos:

Se trata de contratos de arrendamiento sencillos en los que el ingenio arrienda terrenos al propietario por un período específico y paga un alquiler por el uso del terreno. El ingenio se encarga del cultivo, mantenimiento y cosecha de la caña de azúcar. La renta puede ser una cantidad fija o una parte de las ganancias del cultivo de caña de azúcar.

2. Contratos de cuentas en participación:

Según este acuerdo, el propietario de la tierra y el ingenio de caña de azúcar forma una sociedad en la que el propietario aporta la tierra y el ingenio proporciona la inversión para el cultivo y la experiencia. Las ganancias de la cosecha de caña de azúcar se reparten según los términos acordados en el contrato.

3. Contratos de Administración:

En virtud de un contrato de gestión, el propietario conserva la propiedad de la tierra y contrata al ingenio para gestionar el cultivo de la caña de azúcar. Al ingenio se le paga una tarifa de gestión y el propietario de la tierra recibe las ganancias de la venta de la caña de azúcar, menos los costos de cultivo y gestión.

Manejo Directo por Incauca

Arrendamiento: El Ingenio paga un canon mensual por el área bruta aprovechable para el cultivo y se encarga, a su costo, de realizar las labores (adecuación, preparación, siembra y levante del cultivo),

además de la administración del predio; el Ingenio también se encarga del corte, alce y transporte de la caña. Su pago es mensual en kilos de azúcar por plaza, de acuerdo con el área bruta aprovechable que se recibe para el cultivo de la caña.

Cuentas en Participación: El Ingenio se encarga de la administración de la tierra, la realización de las labores de adecuación, preparación, siembra y levante del cultivo y cosecha (corte, alce y transporte de la caña). El partícipe, quien es dueño o representante del predio, asume un porcentaje de obras primarias si se llegaren a necesitar (obras de riego, drenaje e infraestructura). Su pago está representado en una participación en kilos de azúcar por tonelada de caña producida al momento del corte de la caña.

Manejo de terceros

Caña en la Mata: El proveedor de caña asume el costo del manejo directo del cultivo y entrega al ingenio la caña en la mata; el Ingenio se encarga del corte, alce y transporte de la caña. Su pago es en kilos de azúcar por tonelada de caña producida. Si el ofrecimiento de venta de caña en la mata es por un solo corte o esporádico, se le llama compra ocasional de caña en la mata.

Procesos para la producción de azúcar a partir de Caña de Azúcar

El área de influencia del ingenio INCAUCA se ubica en 14 municipios de los departamentos de Cauca y Valle del Cauca: Florida, Cali, Jamundí, Candelaria, Pradera, Palmira, Padilla, Puerto Tejada, Caloto, Corinto, Guchené, Santander de Quilichao, Villa Rica y Miranda. Su planta de producción se encuentra en el Municipio de Miranda, Cauca, corregimiento El Ortigal.

INCAUCA realiza diferentes procesos para la producción final de Azúcar, alcohol y energía. Específicamente para la producción de azúcar; el primer proceso se denomina **“campo”**, y se refiere a todos los trabajos que se requieren para adecuar el terreno, la siembra y el mantenimiento del cultivo hasta la cosecha. Este proceso incluye costos relacionados con la nivelación del suelo, la construcción de

obras, los insumos para la siembra, riego, entre otros. El proceso de cultivo de caña puede demorar entre 12 y 14 meses (*Procesos*, 2016).

El siguiente proceso es la **“cosecha”**, que se realiza teniendo en cuenta la oportunidad en el suministro de la caña al ingenio, la calidad de la materia prima y la sacarosa contenida en ella y los menores costos posibles. La cosecha incluye las actividades de precosecha, aplicación de madurantes, quema, corte, alce y transporte e incluye todos los costos relacionados a estas actividades (*Procesos*, 2016). Incauca actualmente no realiza quema de caña, debido a que el 95% de su cosecha es mecanizada y se realiza con corte en verde.

Una vez cosechada la caña y transportada al ingenio, inicia el proceso de **“Fábrica”**. Como primer paso se realiza un muestreo de la caña cosechada para determinar su calidad y estimar el rendimiento, posteriormente se pesa y se prepara para la molienda. En la molienda se extrae el jugo y se filtra. El jugo extraído pasa a las etapas de sulfitación, pesaje, alcalización, calentamiento y clarificación. Finalmente, el jugo es evaporado, cristalizado y centrifugado para la producción de mieles y cristales de azúcar. El azúcar producido pasa a las etapas de secado, envase y almacenamiento (*Procesos*, 2016).

METODOLOGÍA

Para responder al objetivo general de este trabajo se construyó una base de datos a partir de datos secundarios y se realizó un análisis cuantitativo de la información. Los datos con los cuales se construyó la base de datos son recolectados por INCAUCA a través de los aplicativos SIAGRI (gestión de cultivos) y SAP (integrador de procesos). La base de datos está estructurada en forma de serie histórica de variables de rendimiento, costos y utilidad operativa de 253 haciendas proveedoras de caña de azúcar, 120 de estas haciendas tienen contrato del tipo cuentas en participación, mientras que las otras 133 tienen un contrato de arrendamiento con INCAUCA S.A.S

Las variables incluidas en la base de datos se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables incluidas en el estudio

Variable	Nombre de la variable	Tipo de variable	Unidad de medida
Año de medición de las variables	Año	discreta	T/h
Hacienda: AXXX corresponde a las haciendas con contrato de arrendamiento; PXXX corresponde a haciendas con contrato de cuentas por participación	Hacienda	cualitativa	hacienda

Utilidad operativa:	Utilidad_Operativa	Cuantitativa continua	Kilos de azúcar
Toneladas de Caña TCH por Hectárea: Productividad de la caña de azúcar		Cuantitativa continua	Toneladas de caña/hectarea
Rendimiento:	Rendimiento	Cuantitativa continua	(Azúcar
Proporción de azúcar producida por tonelada de caña			producid/tonelada de caña)*100
Costos de fábrica	C_Fabrica	Cuantitativa continua	Kilos de azúcar
Costo Administrativos	C_Administrativos	Cuantitativa continua	Kilos de azúcar
Costos de campo	C_Campo	Cuantitativa continua	Kilos de azúcar
Costos de Cosecha	C_Cosecha	Cuantitativa continua	Kilos de azúcar
Costos de Materia Prima	C_MP	Cuantitativa continua	Kilos de azúcar

Análisis estadístico:

Análisis descriptivo

Se calcularon las estadísticas descriptivas simples para cada una de las variables, promedio y desviación estándar; se graficaron las series anuales de productividad por tipo de contrato. Se compararon las estadísticas descriptivas de cada tipo de contrato. Este análisis descriptivo se realizó usando Microsoft Excel.

Desarrollo modelo

El propósito del modelo planteado es la predicción de la rentabilidad de caña de azúcar en haciendas cañicultoras con dos tipos de contrato: Arrendamiento y Cuentas en participación.

Se construyó un modelo de regresión lineal para explorar la relación entre la rentabilidad (Utilidad operativa-variable dependiente) y variables de productividad (TCH y rendimiento) y costos de producción de azúcar (Costos de fábrica, administrativos, de campo, de cosecha) a partir de una serie de tiempo. El modelo de regresión lineal múltiple tiene la forma:

$$Y_i = \beta_0 + X_{i1}\beta_1 + \dots + X_{ip}\beta_p + \varepsilon_i$$

Validación del modelo

La validación del modelo se realizó usando la medida estadística Error Absoluto Medio (EAM), es la varianza media entre los valores reales y los valores predichos. Se calcula como el promedio de los valores absolutos de los errores dividido entre los valores reales (formula xx):

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j - x_i|$$

y_j es el valor observado y x_i corresponde a los valores predichos, n es el número de observaciones.

También se evaluó mediante re-muestreo, el efecto de los parámetros de ajuste del modelo en el desempeño del modelo.

El modelo de regresión y su validación se realizaron con el software estadístico R.

RESULTADOS

Objetivo 1. Describir el comportamiento de la productividad y rentabilidad de las fincas cañicultoras en el período 2012 a 2022

En la Tabla 2 se presentan las estadísticas descriptivas para los costos incluidos en la base de datos.

Tabla 2. Medias y desviaciones estándar de los variables incluidas en el estudio

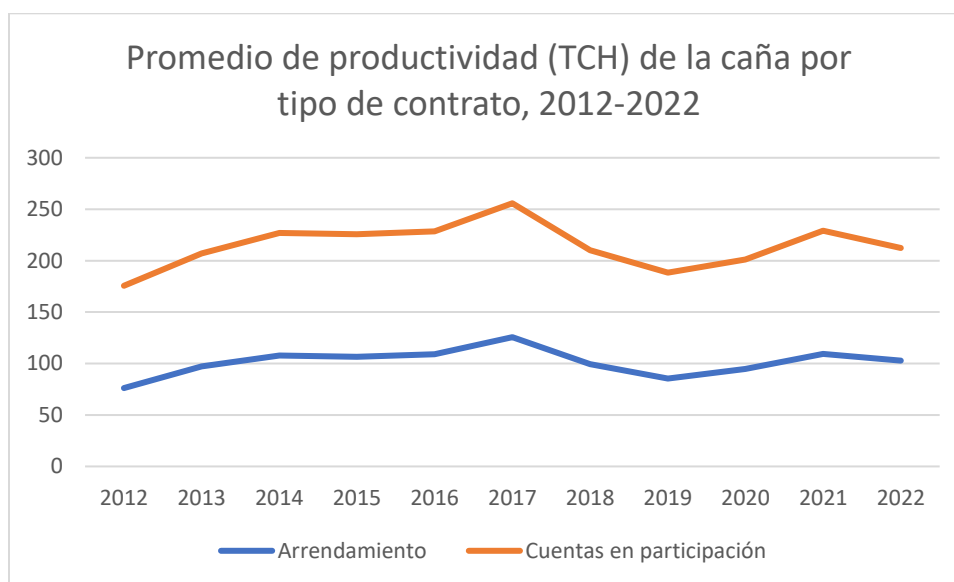
Costos	Arrendamientos media (DS)	Cuentas en participación media (DS)	Total media (DS)
Fabrica	20.69 (±3.09)	19.89 (±2.96)	20,32 (±3.05)
Administrativos	6,30 (±1.17)	6.03 (±1.42)	6,18 (±1.16)
Campo	43.82 (±262.73)	29.48 (±88.27)	37,15 (±201.42)
Cosecha	48.51 (±128.34)	39,92 (±8.62)	44,51 (±94.11)
Materia prima	28.21 (±40.61)	19,97 (±2.88)	24.20 (±88.91)

Fuente: elaboración propia

En promedio, todos los costos son mayores para el tipo de contrato por arrendamiento. Se puede observar que los costos de cosecha en la modalidad de contrato por arrendamiento son mayores, aunque con una alta variabilidad.

En cuanto a la productividad, las haciendas con contrato de arrendamiento producen en promedio 102,10 (± 23.54) toneladas de caña por hectárea y tienen un rendimiento promedio de 10.86% (1.22%) de azúcar por cada tonelada de caña procesada. La productividad promedio en los contratos de participación en cuentas es de 113,30 (± 21.21) toneladas de caña por hectárea y un rendimiento promedio de 10.45% ($\pm 1.07\%$) de azúcar por tonelada de caña.

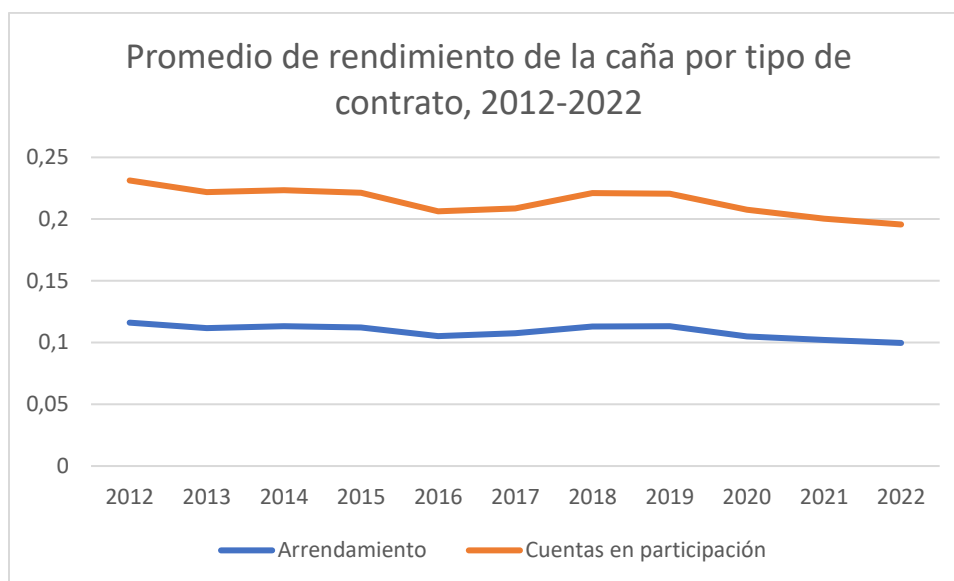
Figura 1. Promedio de productividad, expresado en toneladas de caña por hectárea (tch) de la caña de azúcar en INCAUCA S.A.S, por tipo de contrato, 2012-2022



Fuente: elaboración propia

En términos temporales, como se observa en la Figura 1, la productividad promedio anual en el período de 2012 a 2022 siempre fue mayor en las haciendas con contrato de cuentas en participación, aunque las variaciones son similares en ambos casos con un descenso notorio en 2019, para ambos tipos de contrato.

Figura 2. Promedio de rendimiento, expresado en % de azúcar por cada tonelada de caña molida por INCAUCA S.A.S, por tipo de contrato, 2012-2022



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 2, el rendimiento en ambos tipos de contrato presenta una aparente tendencia a la disminución.

Objetivo 2. Desarrollar y validar un modelo estadístico para la predicción de la rentabilidad de las fincas cañicultoras

Para definir el modelo predictivo se verificaron los supuestos de una regresión lineal (linealidad, independencia, homocedasticidad, normalidad y no colinealidad). Se encontró colinealidad entre las variables de costos de cosecha y costos de materia prima, por tanto, se seleccionó la variable de costos de cosecha para incluir en el modelo porque incluye más actividades y por tanto puede afectar en mayor proporción la variación en las utilidades.

Los coeficientes resultantes al correr el modelo de regresión lineal múltiple se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la regresión lineal

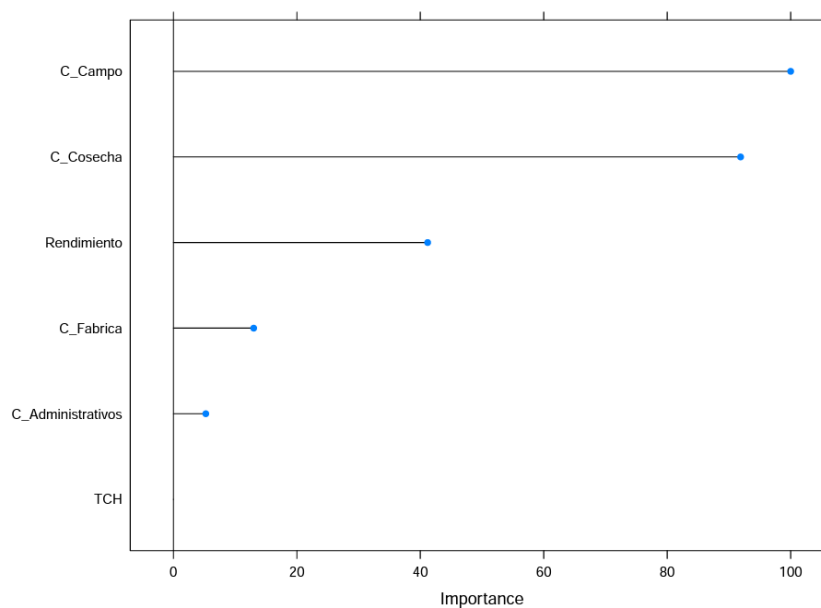
Variable	Estimación	Error Estándar	Valor P
TCH	$0.02 \cdot 10^{-1}$	$0.09 \cdot 10^{-1}$	0.82
Rendimiento	754.75	30.12	$2.00 \cdot 10^{-16}***$
Costos de fábrica	-1.36	0.17	$1.21 \cdot 10^{-15}***$
Costos	1.42	0.42	$0.72 \cdot 10^{-3}***$
administrativos			
Costos de campo	-1.03	0.02	$2 \cdot 10^{-16}***$
Costos de cosecha	-1.19	0.02	$2 \cdot 10^{-16}***$

*** Significancia <0.001

Las variables que tuvieron significancia en el modelo fueron, el rendimiento, los costos de fábrica, administrativos de campo y cosecha. La variable de productividad, toneladas de caña por hectárea no fue significativa (Ver Tabla 3).

La variable con mayor importancia para el modelo fue el de los costos de campo, seguida por los costos de cosecha, esto quiere decir que el modelo usa estas variables para realizar predicciones más exactas (Ver Figura 3).

Figura 3. Importancia de las variables



Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la regresión lineal múltiple se obtuvo el siguiente modelo:

utilidad operativa

$$= 2.41 + 754.75Rendimiento - 1.36C_{Fabrica} + 1.42C_{Administrativos} - 1.03C_{Campo} - 1.19C_{Cosecha} + E$$

Las relaciones directas se dan entre la utilidad operativa y las variables de rendimiento y costos administrativos, es decir que las utilidades aumentan cuando aumentan estas variables pues las mismas se relacionan inversamente con la utilidad operativa las variables de costos de fábrica, campo y cosecha, así pues, decir que un aumento en estas variables representa una disminución en las utilidades.

Las variables predictoras explican el 86.74% de la variación en las utilidades.

Validación del modelo

El cálculo del error absoluto medio (MAE, por sus siglas en inglés) dio como resultado un valor de 4.13, esto indica que en promedio existe una diferencia de 4.13 puntos entre el valor observado y el valor predicho por el modelo de la variable dependiente utilidad operativa.

CONCLUSIONES

El análisis descriptivo muestra mayor productividad en las haciendas cuyo tipo de contratación es de cuentas en participación y rendimientos similares para los dos tipos de contratos. Esto posiblemente se deba a que la mayor parte de las haciendas con contrato de arrendamiento se encuentran en zonas con suelos de baja productividad, mientras que las haciendas con contratos de cuentas en participación se encuentran en suelos con mayor productividad. El tipo de suelo es una variable determinante para la productividad y esto a su vez puede influir en la decisión del proveedor sobre el tipo de contrato que establece con el ingenio. Por tanto, en teoría podemos afirmar que un proveedor con un predio con suelos más productivos optaría por un contrato de cuentas en participación, teniendo en cuenta que sería más rentable para él.

Por otro lado, los costos son mayores en las haciendas con contratos de arrendamiento. Esto quiere decir que se podría esperar mayores utilidades operacionales de las haciendas que tienen contrato de cuentas en participación, pues tienen mayor productividad y menores costos para INCAUCA S.A.S.

En cuanto a las variaciones anuales en la productividad de la caña, es importante resaltar el efecto del fenómeno de la niña que afectó la productividad desde en los años 2018 y 2019. En 2022 se presentó otro descenso en la producción ocasionado por las lluvias que alcanzaron cifras récord con respecto a los últimos 15 años (INCAUCA, 2023). En el análisis descriptivo se evidencia una relación inversa entre la productividad y el rendimiento.

El modelo desarrollado muestra que la disminución de costos, a excepción de los costos administrativos, impacta de forma positiva las utilidades operacionales de la(s) hacienda(s), mientras que el rendimiento debe aumentar con el mismo fin. El coeficiente positivo de los costos administrativos puede deberse a que se trata de un costo fijo que se prorratea entre toda la caña que entra a molienda al

ingenio, sin embargo, su importancia en el modelo es baja, indicando que se requiere una variación muy grande en esta variable para afectar las utilidades.

La variable con mayor importancia es la de costos de campo, es decir que las intervenciones para hacer más eficiente las actividades de preparación, siembra y levantamiento de la caña, en términos financieros, son las que más impactarían de forma positiva en las utilidades operacionales.

El uso de herramientas estadísticas como la regresión lineal permite interpretaciones claras, fáciles de entender y comunicar sobre los diferentes factores que pueden afectar la variable dependiente, en este caso la rentabilidad. Consideramos que el modelo presentado en este trabajo es la base para el desarrollo de modelos de mayor complejidad que aporten a la predicción, no solo de la rentabilidad, sino de variables claves como la productividad y los costos, especialmente en escenarios donde estas variables son determinantes para la toma de decisiones sobre la contratación de los servicios de proveeduría de caña.

RECOMENDACIONES

Existen diferencias en las utilidades, que dependen del tipo de contrato que se realiza. En este sentido, es necesario evaluar las condiciones iniciales con las que se realiza un contrato (tamaño de la hacienda, tipo de suelo, infraestructura presente, etc) y determinar los costos que se requieran para la producción de caña.

El seguimiento a los contratos es crítico para evitar disminución en las utilidades e incluso pérdidas. El uso de modelos predictivos sirve para la toma de decisiones sobre las acciones necesarias para evitar que las haciendas cañicultoras disminuyan tanto la productividad como el rendimiento y que se aumenten los costos de producción

Se requiere la afinación del modelo propuesto en este trabajo, incluyendo otras variables que puedan ser fundamentales para la predicción de las utilidades futuras.

La disponibilidad de bases de datos en INCAUCA puede facilitar la toma de decisiones en diferentes áreas. Es importante que se evalúen las diferentes posibilidades de análisis de los datos existentes que puedan contribuir a mejorar los procesos de la empresa.

Este modelo servirá en la toma de decisiones en la contratación de los contratos en los dos escenarios que se presentan en la compañía, el primero cuando se desea contratar un predio de un proveedor de interés del ingenio, donde conociendo predios vecinos o de condiciones similares que ya estén contratados por proveeduría de caña, se podrá hacer estimaciones de rentabilidad y productividad de manera predictiva que ayudará a realizar un ofrecimiento competitivo y rentable para las dos partes. El segundo escenario es en la renovación de contratos actuales, donde se podrá revisar periódicamente y de manera predictiva saber cómo es la rentabilidad de los predios y no tener que esperar al final del contrato para saberla y poder tomar decisiones, sino que en la vigencia el contrato se podrán tomar decisiones operativas que ayuden a mejorar la rentabilidad de los predios.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar-Rivera, N. (2019). A framework for the analysis of socioeconomic and geographic sugarcane agro industry sustainability. *Socio-Economic Planning Sciences*, 66, 149–160.
<https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.07.006>
- Almeida, P. J. de, Salinas, C. T., Pérez-Huiman, Ó. J., Watanabe, R. R. R., & Marcelo-Aldana, D. (2022). Agrarian contracts, relations between agents, and perception on energy crops in the sugarcane supply chain: The Peruvian case. *Open Agriculture*, 7(1), 581–595. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0112>
- Arboleda, X., Bermúdez-Barrezueta, N., & Camino-Mogro, S. (2022). Producción y rentabilidad empresarial en el sector agrícola del Ecuador. *Revista CEPAL*, 137, 133–157.
- Asocaña. (2023). *Endulzando el futuro de Colombia. Informe anual 2022-2023*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.asocana.org/documentos/2762023-1BF3626D-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3C4B5.pdf>
- Asrol, M., Marimin, Machfud, Yani, M., & Taira, E. (2020). Supply Chain Fair Profit Allocation Based on Risk and Value Added for Sugarcane Agro-industry. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 13(2), 150–165. <https://doi.org/10.31387/oscm0410259>
- Becerra Gualdrón, C. J., & Gallardo Sánchez, C. F. (2015). Competitividad de las empresas agroindustriales de Boyacá. *Criterio Libre*, 13(22), 227–252.
- Bianchi, E., Cabrera, M. C., Hodson de Jaramillo, E., Vammen, K., & Clegg, M. T. (2017). *Oportunidades y desafíos para la investigación sobre la seguridad alimentaria y nutricional en la agricultura de las Américas*. La Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS); Red Mundial de Academias de Ciencias (IAP); El Ministerio Federal de Educación e Investigación Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Academia Nacional Alemana de Ciencias - Leopoldina.

- Briceño B., C. O., Larrahondo A., J. E., & Gil Z., N. J. (2002). Indices más utilizados para el reporte del contenido de sacarosa en procesos de cosecha y fábrica. *Carta Trimestral*, 14.
- Cock, J., Luna, C. A., & Palma, A. (1993). *Tonelaje o rendimiento*. Feriva. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_13/st_13.pdf
- Cook, D. C., Fraser, R. W., Paini, D. R., Warden, A. C., Lonsdale, W. M., & Barro, P. J. D. (2011). Biosecurity and Yield Improvement Technologies Are Strategic Complements in the Fight against Food Insecurity. *PLOS ONE*, 6(10), e26084. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026084>
- Cuartas, J. (2022, October 28). *Colombia tiene una participación del 1,3% en el mercado mundial de la caña de azúcar*. Forbes Colombia. <https://forbes.co/2022/10/28/negocios/colombia-tiene-una-participacion-del-13-en-el-mercado-mundial-de-la-cana-de-azucar/>
- Duque, S. H., Cardona, C. A., & Moncada, J. (2015). Techno-Economic and Environmental Analysis of Ethanol Production from 10 Agroindustrial Residues in Colombia. *Energy & Fuels*, 29(2), 775–783. <https://doi.org/10.1021/ef5019274>
- Fischer, R. A., Byerlee, D., & Edmeades, G. (2014). Crop yields and global food security: Will yield increase continue to feed the world? ACIAR Monograph No. 158. Australian Centre for International Agricultural Research. *Canberra*.
- Frąckiewicz, M. (2023, June 20). Técnicas de Teledetección para el Análisis de la Temperatura de la Superficie Terrestre. *TS2 SPACE*. <https://ts2.space/es/tecnicas-de-teledeteccion-para-el-analisis-de-la-temperatura-de-la-superficie-terrestre/>
- García, R. A., Villazón, J. A., & Rodríguez, A. W. (2021). Sensoramiento remoto del rendimiento agrícola en caña de azúcar en Cacocum, Cuba. *Temas Agrarios*, 26(2), 152–159.
- García-López, Y., González-Sáez, L. Y., & Cabrera-Hernández, J. A. (2022). Aplicaciones de aprendizaje automático para el análisis industrial de la provisión azucarera en Matanzas, Cuba. *Revista*

U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 25(2), Article 2.

<https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2334>

Gómez, J. A. Q. (2022, November 21). Contribución de la Agroindustria de la caña de azúcar en nuestra región. *Procana*. <https://procana.org/site/contribucion-de-la-agroindustria-de-la-cana-de-azucar-en-nuestra-region/>

Grass Ramírez, J. F., Muñoz, R. C., & Zarthá Sossa, J. W. (2023). Innovations and trends in the coconut agroindustry supply chain: A technological surveillance and foresight analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2023.1048450>

INCAUCA. (2023). *Informe de sostenibilidad 2022*. INCAUCA.

Key, N., & Runsten, D. (1999). Contract Farming, Smallholders, and Rural Development in Latin America: The Organization of Agroprocessing Firms and the Scale of Outgrower Production. *World Development*, 27(2), 381–401. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(98\)00144-2](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(98)00144-2)

Klima, K., Kliszcz, A., Puła, J., & Lepiarczyk, A. (2020). Yield and Profitability of Crop Production in Mountain Less Favoured Areas. *Agronomy*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050700>

Kryszak, Ł., Guth, M., & Czyżewski, B. (2021). Determinants of farm profitability in the EU regions. Does farm size matter? *Agricultural Economics (Zemědělská Ekonomika)*, 67(3), 90–100. <https://doi.org/10.17221/415/2020-AGRICECON>

López Bravo, E., Placeres Remior, A., González Cueto, O., Herrera Suárez, M., López Bravo, E., Placeres Remior, A., González Cueto, O., & Herrera Suárez, M. (2022). Monitoreo del cultivo de la caña de azúcar mediante imágenes satelitales. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 31(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542022000300005&lng=pt&nrm=iso&tlng=es

- Marcillo Cedeño, C., Aguilar Guijarro, C., & Gutiérrez Jaramillo, N. (2021). Análisis financiero: Una herramienta clave para la toma de decisiones de gerencia. *593 Digital Publisher CEIT*, 6(3), 87–106.
- Marin, F., Moreno, M. A., Farías, A., Villegas, F., Rodríguez, B. J., & Van, D. B. M. (2018). *Modelación de la caña de azúcar en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización*.
<https://doi.org/10.2760/247719>
- Paredes, O. R. M. de. (2017). Rentabilidad de la producción agrícola desde la perspectiva de los costos reales: Municipios Pueblo Llano y Rangel del estado Mérida, Venezuela. *Visión Gerencial*, 2, 217–232.
- Posada Contreras, C., Moreno Gil, C. A., & Chica, H. A. (2023). *Criterios de análisis económico y estadístico*. <https://www.cenicana.org/criterios-de-analisis-economico-y-estadistico/>
- Procesos*. (2016, May 12). Incauca. <https://www.incauca.com/es/procesos/>
- Puente, G. B., Hortiales, A. R., Sangerman-Jarquín, D. M., Soto, F. P., López, M. G., Muro, L. R., Puente, G. B., Hortiales, A. R., Sangerman-Jarquín, D. M., Soto, F. P., López, M. G., & Muro, L. R. (2021). Estimación de la rentabilidad agrícola de las empresas rurales de la mixteca Oaxaqueña. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1483–1495.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.3067>
- Reyes, G. E., & M, A. B. (2010). Propuesta de modelo financiero para crecimiento corporativo sostenible. *Revista Finanzas y Política Económica*, 2(2), 57–64.
- Rodríguez Borray, G. A., Huertas Carranza, B., Polo Murcia, S. M., González Chavarro, C. F., Tauta Muñoz, J. L., Rodríguez Cortina, J., Ramírez Durán, J., Velásquez Ayala, F. A., Espitia González, J. J., & López Zarazá, R. A. (2020). *Modelo productivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la producción de panela en Cundinamarca*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7403305>

Romero Perdomo, F. (2023). *Contexto de cadena—Caña de azúcar*. AGROSAVIA.

Ruiz-Ramírez, J., Hernández-Rodríguez, G. E., Zulueta-Rodríguez, R., Ruiz-Ramírez, J., Hernández-

Rodríguez, G. E., & Zulueta-Rodríguez, R. (2011). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la producción de caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 29(1), 103–109.