



Modelos de simulación y rentabilidad: un estudio sobre la producción de papa comercializada en Medellín.

Simulation and profitability models: a study on potato production commercialized in Medellín.

Sergio Andrés Sierra-Luján¹, Edwin Andrés Jiménez-Echeverri², Kelly Johanna García-Restrepo³
¹Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín - Colombia

Recibido: 26 de febrero de 2025.

Aceptado: 16 de julio de 2025.

Publicado: 01 de septiembre de 2025.

Resumen- Según la FAO, la papa es el tercer alimento más importante del mundo después del arroz y el trigo. Aunque Colombia no es un actor principal en el mercado internacional, su consumo per cápita de 35 kilos anuales la convierte en un tubérculo clave para la economía y la cultura alimentaria de los hogares. A pesar de su importancia relativa en la economía colombiana, la estabilidad de la rentabilidad para los productores es baja debido a la volatilidad de su precio de mercado, los rendimientos de las cosechas y las tasas de interés. Este estudio se centra en analizar el efecto que tuvieron estas variables sobre la rentabilidad de los productores que comercializaron su papa en el área metropolitana durante el año 2022. Para comprender cómo las fluctuaciones en el mercado y las condiciones agrícolas afectan la rentabilidad de los productores de papa, se diseñó un modelo financiero específico. Este modelo permite analizar el impacto de variables críticas como los precios de venta, los rendimientos de los cultivos y las tasas de interés. Mediante la recopilación de datos históricos y la simulación de Monte Carlo, fue posible reproducir escenarios y analizar cómo las variables interactúan e influyen en la rentabilidad de los productores. Los resultados de la simulación evidencian que los precios de venta y los rendimientos de los cultivos son los principales determinantes de la rentabilidad de los productores de papa. Una disminución en cualquiera de estos factores puede generar una reducción significativa en el margen neto, poniendo en riesgo la sostenibilidad económica de los productores. Aunque las tasas de interés también influyen, su impacto es menos pronunciado. En conclusión, la rentabilidad de los productores de papa es un pilar fundamental para el desarrollo sostenible de las regiones rurales. Para garantizarla, se deben implementar políticas públicas que promuevan la diversificación de cultivos y el apoyo financiero a los productores cuando las condiciones de mercado no son favorables. Asimismo, el fortalecimiento de las organizaciones de productores permitirá mejorar su posición en el mercado, asegurando su estabilidad.

Palabras clave: finanzas agropecuarias, gestión de riesgos, simulación monte carlo, modelación financiera, economía campesina.

Abstract— According to the FAO, potatoes are the third most important food crop in the world after rice and wheat. Although Colombia is not a major player in the international market, its per capita consumption of 35 kilograms per year makes it a key staple for the economy and the food culture of households. Despite its relative importance in the Colombian economy, the profitability of producers remains unstable due to the volatility of market prices, crop yields, and interest rates. This study focuses on analyzing the effect of these variables on the profitability of producers who marketed their potatoes in the metropolitan area during 2022. To understand how market fluctuations and agricultural conditions affect potato producers' profitability, a specific financial model was designed. This model makes it possible to analyze the impact of critical variables such as selling prices, crop yields, and interest rates. By collecting historical data and conducting a Monte Carlo simulation, it was possible to reproduce scenarios and examine how these variables interact and influence producers' profitability. The simulation results show that selling prices and crop yields are the main determinants of potato producers' profitability. A decrease in either of these factors can lead to a significant reduction in net margins, putting the producers' economic sustainability at risk. Although interest rates also play a role, their impact is less pronounced. In conclusion, the profitability of potato producers is a fundamental pillar for the sustainable development of rural regions. To ensure it, public policies should promote crop diversification and financial support for producers when market conditions are unfavorable. Likewise, strengthening producer organizations will improve their position in the market, ensuring greater stability.

Keywords: agricultural finance, risk management, monte carlo simulation, financial modeling, peasant economy.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: sergiosierra@itm.edu.co (Sergio Andrés Sierra Luján).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Este es un artículo bajo la licencia CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Como citar este artículo: S. A. Sierra-Luján, E. A. Jiménez-Echeverri y K. J. García-Restrepo, "Modelos de simulación y rentabilidad: un estudio sobre la producción de papa comercializada en Medellín", Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, vol. 13, no. 3, pp. 01-12 2025, doi: [10.15649/2346030X.4472](https://doi.org/10.15649/2346030X.4472)



I. INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario es considerado fundamental para el desarrollo económico porque contribuye a la reducción de la pobreza y a sostener la seguridad alimentaria. Según Timmer [1], este sector puede representar hasta un cuarto del PIB y emplear a más de la mitad de la población activa en muchos países. Además, como señalan Cervantes y Dewbre [2], la agricultura es un factor clave para mejorar los ingresos y las condiciones de vida de las poblaciones rurales, especialmente en países en desarrollo. Las políticas públicas sólidas pueden impulsar la productividad agrícola y maximizar su impacto en el bienestar social. Asimismo, la agricultura es una actividad multidimensional que va más allá de la producción agrícola. Como indican Fonseca y Bossa [3], esta actividad está intrínsecamente ligada a la seguridad alimentaria, la salud, el desarrollo rural y la calidad de vida de las poblaciones.

La rentabilidad es un componente importante para una gestión financiera sólida de los productores agropecuarios [4]. Comprenderla y gestionarla permite a los productores tomar decisiones estratégicas, optimizar sus cultivos y asegurar la sostenibilidad de sus negocios [5]. Aunque la gestión financiera abarca múltiples dimensiones, enfocarse en la rentabilidad constituye el primer paso para cualquier productor [6]. En esta misma dirección, Vuckovic [7] afirma que es importante medir la rentabilidad de los productores en el sector agropecuario para evaluar la eficiencia de sus operaciones y su capacidad para generar beneficios. Identificar las variables que influyen en la rentabilidad, como los costos operativos, los precios de venta, la productividad y las tasas de descuento, permite a los agricultores tomar decisiones informadas para mejorar su rentabilidad [8]. La comprensión de estos factores es fundamental para optimizar la gestión de recursos y maximizar los resultados económicos en un entorno agrícola competitivo y cambiante, Molina [9].

Entre los factores que inciden en la rentabilidad destacan los precios de venta, los rendimientos y la tasa de interés. Respecto a los precios, Tey y Brindal [4] y Gómez et al. [10] evidencian que su incremento influye de manera determinante en la rentabilidad, pues precios más altos suelen traducirse en mayores beneficios. Con respecto a los rendimientos, un mayor rendimiento por hectárea reduce los costos unitarios y, aunque los agricultores con mayores rendimientos suelen enfrentar costos totales más altos, también obtienen mayores utilidades [11] y [10], lo que demuestra que invertir en mejorar los rendimientos tiene un impacto significativo en el aumento de la rentabilidad [12] y [13]. Finalmente, en lo que concierne a la financiación y las tasas de interés, el acceso al financiamiento impulsa la rentabilidad, ya que permite aumentar el capital de trabajo y mejorar la producción. Existe una correlación positiva entre financiamiento y rentabilidad, lo que subraya la importancia de contar con tasas de interés accesibles para fomentar el crecimiento y los beneficios en el sector agropecuario [14], [15] y [16]. Por su parte, las tasas de interés altas disminuyen la rentabilidad de las empresas, ya que una mayor carga financiera reduce los beneficios. Los análisis muestran que un endeudamiento excesivo, asociado a tasas elevadas, limita la generación de ganancias, especialmente en el sector agropecuario [17] y [18].

Por otro lado, de acuerdo con la FAO [19], la papa es el tercer alimento más importante a nivel mundial después del arroz y el trigo. Colombia no se destaca como uno de los principales actores en el mercado mundial de papa; su consumo per cápita de 35 kilos por año, con una contribución del 3,3% en el PIB agropecuario [20], lo posiciona como un tubérculo de gran importancia para la economía y la cultura alimentaria de los hogares. Dentro de los principales departamentos de Colombia en la producción de papa, se encuentra Antioquia, el cual representa el 5% de la producción nacional, siendo superado por Cundinamarca, Boyacá y Nariño [21]. Adicionalmente, al revisar los planes de desarrollo 2020-2023 de los municipios que conforman el área metropolitana de Medellín [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30] y [31], se evidencia que la papa se encuentra como un cultivo priorizado.

Reconociendo la importancia de la papa a nivel global y nacional, especialmente en su contribución al crecimiento económico y la seguridad alimentaria. También resulta fundamental dar seguimiento a la rentabilidad de los productores y analizar cómo los precios de venta, los rendimientos y las tasas de interés inciden en ella. Se plantea como pregunta de investigación: ¿Cuál ha sido el impacto de los precios de venta, los rendimientos y las tasas de interés en la rentabilidad de los productores de papa del área metropolitana durante el año 2022? Para responder a esta pregunta, la metodología de investigación utilizada fue cuantitativa y analítico-sintética. Se utilizaron fuentes primarias como la matriz de coeficientes técnicos y fuentes secundarias como el sistema de información de precios del sector agropecuario (SIPSA), el Índice de Precios del Consumidor (IPC), el Indicador Bancario de Referencia (IBR), los rendimientos de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVAS) y artículos de investigación. Se aplicaron modelos de imputación y se indexaron los precios de la papa con el IPC. Se construyó un modelo financiero para medir la rentabilidad de los productores, así como el uso de la fórmula del Margen Neto. Se diseñó un modelo de simulación Monte Carlo con 5.000 escenarios y se desarrolló un modelo de regresión lineal para evaluar el efecto de precios, rendimientos y tasas de interés en la rentabilidad de los productores de papa en el área metropolitana en 2022.

Como principales resultados, se obtuvo que los precios de venta pagados a los productores y los rendimientos son variables que tienen un efecto importante sobre su rentabilidad y son estadísticamente significativos, al analizar el porqué, se evidenció que los precios son volátiles y los rendimientos de la papa tienen una alta variabilidad en función de las tecnologías que utilizan los productores. Con respecto a la tasa de interés, se encontró que, aunque inciden en la rentabilidad del productor, su impacto no es significativo; sin embargo, es de aclarar que puede llegar a serlo dependiendo del tamaño de la diferencia entre la tasa de interés y la rentabilidad del productor.

Finalmente, la importancia estratégica de la producción de papa en los planes de desarrollo de los municipios del área metropolitana resalta la necesidad de que tanto las autoridades municipales como los productores implementen medidas efectivas para mitigar los efectos adversos del precio de venta y el rendimiento en la rentabilidad del sector. Estos mecanismos podrían incluir estrategias de gestión de riesgos, como la diversificación de cultivos, la adopción de tecnologías innovadoras para aumentar la eficiencia y la productividad, así como la búsqueda de oportunidades de financiamiento que reduzcan la exposición a fluctuaciones económicas. Asimismo, es importante fomentar la colaboración entre los diferentes actores del sector agrícola, promoviendo el intercambio de conocimientos y buenas prácticas que contribuyan a fortalecer la resiliencia y sostenibilidad de la producción de papa en la región.

II. MARCO TEÓRICO

a. Medición de la rentabilidad del productor

Djokoto y Zigah [32] consideran que la rentabilidad de los productores agropecuarios se puede medir de diferentes formas, mediante diversas métricas financieras ampliamente aceptadas en la literatura. Estas herramientas de medición permiten evaluar la eficiencia y el desempeño financiero de las operaciones agrícolas, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones estratégicas. Entre las principales metodologías de medición de rentabilidad para los productores agropecuarios se encuentran el margen neto, el margen bruto, la TIR (Tasa Interna de Retorno), el ROA (Return on Assets), el margen EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization), entre otros.

De acuerdo con Robles et al. [33], la rentabilidad en el sector agropecuario de Colombia, concretamente en Antioquia, se ha estudiado en relación con diversos factores que inciden en su variabilidad. La evaluación del impacto de los precios, los rendimientos, los cambios climáticos y las tasas de interés emerge como un aspecto importante para comprender y mejorar la rentabilidad de los cultivos como el de la papa. La interacción compleja entre estos elementos y su influencia en los resultados económicos de los agricultores plantean desafíos significativos en la toma de decisiones y la planificación estratégica en el sector.

Dentro de las metodologías mencionadas, se han evidenciado aplicaciones como la de Anton et al. [34], quienes utilizaron cinco indicadores financieros asociados a la medición de la rentabilidad. Margen Neto y Rentabilidad de los Activos, para las empresas agrícolas que cotizan en la bolsa de valores de la India. Asimismo, Medina y Córdova [35] utilizaron estos mismos indicadores junto con la rentabilidad del patrimonio para medir la rentabilidad de los productores de papa de Cajamarca, Perú.

Por su parte, Vuckovic [7] analizó las causas de la diversa rentabilidad del sector agrícola, para lo cual, utilizó cinco empresas y calculó el EBIT, EBITDA y beneficio neto como indicadores de rentabilidad, concluyendo que las fuentes de financiación, la estructura de costos y la diversidad de cultivos son factores importantes que inciden sobre los indicadores. Fabian [36] utilizó la utilidad neta como indicador de rentabilidad para evaluar qué estrategias de producción, costos, financiación y toma de decisiones tienen mayor impacto en la rentabilidad de los productores de papa en el distrito de Huasahuasi, Perú.

Por otro lado, Bustamante [37] analizó el impacto de los costos de producción en la rentabilidad de los productores de papa en la comunidad del Mirador, Perú, utilizando indicadores como el margen bruto, el margen de rentabilidad, el margen operativo y el margen neto. En comparación, Mejía y Castellanos [38] llevaron a cabo un estudio similar, pero centrado en los productores de papa en Zacapoaxtla, Puebla, y emplearon la utilidad bruta como único indicador de rentabilidad.

Adicionalmente, el trabajo de Tey y Brindal [4] se centra en los factores que afectan la rentabilidad de las explotaciones agrícolas. A través de estudios realizados en Estados Unidos, se analizaron sectores productivos tales como el lácteo, la soja, el maíz y las explotaciones agrícolas generales. Los resultados sugieren que la escala operativa, la eficiencia operativa y los precios de salida tienen un impacto significativo en las ganancias. Por ejemplo, las granjas más grandes tienden a tener costos unitarios más bajos y, por lo tanto, una mayor rentabilidad.

Bumbescu [39] explora diversos modelos de análisis para evaluar la rentabilidad en la agricultura. Proporciona una visión detallada de cómo se pueden medir y comparar los niveles de rentabilidad en diferentes contextos agrícolas. Los modelos incluyen enfoques como el análisis de costos, el análisis de ingresos y el análisis de márgenes, los cuales ayudan a los agricultores y formuladores de políticas a comprender mejor las dinámicas financieras en el sector.

En este contexto, la rentabilidad en el sector agropecuario se mide mediante diversos indicadores y metodologías, como se ha descrito anteriormente. Estos métodos permiten evaluar la eficiencia financiera en función de las variaciones en precios, rendimientos y factores climáticos. Comprender estos indicadores y factores operativos ofrece una visión integral que facilita la toma de decisiones estratégicas y contribuye a mejorar los resultados económicos en la agricultura.

b. Simulación Montecarlo aplicado en el análisis de rentabilidad

La agricultura enfrenta desafíos únicos bajo condiciones de incertidumbre. Estos desafíos incluyen la variabilidad climática, los cambios en los mercados globales, las plagas y enfermedades emergentes, y las innovaciones tecnológicas. Lledó y Rivarola [40] plantean que la toma de decisiones en este contexto requiere no solo entender las complejidades inherentes al sector, sino también la implementación de herramientas avanzadas y estrategias proactivas para gestionar la incertidumbre y asegurar la sostenibilidad y la productividad a largo plazo.

La simulación de Monte Carlo permite tomar variables críticas como el precio, el rendimiento, el costo por hectárea, entre otros, y su impacto en la rentabilidad del sector agropecuario medido a través del Valor Presente o Tasa interna de retorno, como se evidencia en el estudio de [41]. En esta dirección, Lledó y Rivarola [40] consideran que el método Monte Carlo simula los resultados que puede asumir alguna variable dependiente del proyecto, como la rentabilidad en el sector agropecuario. A través de la asignación aleatoria de un valor a cada variable independiente que la afecta.

Sobre esta base, se han evidenciado diferentes aplicaciones en el contexto agropecuario como lo es el trabajo de Emhart et al. [42] Quienes analizaron la rentabilidad del cultivo de yerba mate tomando como variables de entrada los rendimientos, el precio de venta, el costo de producción, la tasa de cambio y el clima. Se encuentra que la rentabilidad de los cultivos de yerba mate presenta una sensibilidad considerable frente a las variaciones en el rendimiento y los precios de venta. Bajo ciertos escenarios climáticos o cambios en los precios, la rentabilidad puede verse afectada significativamente.

Así mismo, Saha et al. [43] aplicaron la simulación de Monte Carlo en el análisis de los beneficios de la acuicultura de pangasius y tilapia. Utilizando variables estocásticas como el precio del alimento, el rendimiento y el precio de salida, realizaron 1000 iteraciones. Los resultados

indicaron que el beneficio promedio fue de USD 4875.42 ha⁻¹ para pangasius y de USD 2099.15 ha⁻¹ para tilapia, con una probabilidad de pérdida significativa del 39% y 33%, respectivamente.

Finalmente, Frías [44] utiliza la simulación Monte Carlo para estudiar la rentabilidad de la papa blanca comercial y nativa. Para ello, utilizaron variables como el precio, el rendimiento y los costos de insumos. Los resultados mostraron que el precio en chacra y el rendimiento influyen positivamente en la rentabilidad, ya que aumentos en ambos factores incrementan los beneficios. En cambio, los costos de insumos como fungicidas, plaguicidas y semillas afectan negativamente, reduciendo los márgenes de ganancia.

Lo anterior demuestra que la simulación de Monte Carlo es una herramienta clave para evaluar el impacto de diversas variables en la rentabilidad de los productores agropecuarios. Al permitir la incorporación de factores como el precio, el rendimiento y los costos de insumos de manera estocástica, ofrece una visión más precisa de los posibles escenarios económicos, ayudando a los productores a gestionar la incertidumbre y tomar decisiones más informadas para mejorar su sostenibilidad y maximizar sus beneficios bajo diferentes condiciones del mercado y el clima.

III. METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTOS

La investigación se centró en analizar el efecto de los precios, los rendimientos y las tasas de interés sobre la rentabilidad de los productores, lo que implica ir más allá de la descripción de las variables para establecer relaciones de causalidad entre ellas; por tanto, la investigación es explicativa [45]. El tipo de investigación seleccionado permitió utilizar métodos cuantitativos para medir el efecto de los precios, tasas de interés y rendimientos, sobre la rentabilidad de los productores de papa del área metropolitana. Por otro lado, el método de investigación es analítico-sintético, ya que se analizaron de forma individual las variables: precios, rendimientos y tasas de interés, para luego estudiarlas de manera integral de tal forma que permita determinar el impacto sobre la rentabilidad de los productores.

Con respecto a las fuentes de información, se tienen fuentes primarias y secundarias. La fuente de información primaria es la matriz de coeficientes técnicos, en la cual se identifican las cantidades de insumos, mano de obra y costos indirectos, para la producción de una hectárea. Adicionalmente, las fuentes secundarias son: el Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario (SIPSA), el Índice de Precio del Consumidor (IPC), el Índice Bancario de Referencia (IBR), los rendimientos de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVAS), la información de las empresas agropecuarias reportadas en la SuperSociedades y artículos de investigación. Para el tratamiento de los datos, se utilizarán modelos de imputación para obtener series de tiempo completas.

Para el desarrollo del trabajo, se inició con la descarga de la información de SIPSA, IPC, IBR y las EVAS. Estos datos se imputaron estos datos, en caso de ser necesario, utilizando la metodología descrita por Castaño [46], quien demuestra que tratar los datos faltantes como innovaciones aditivas y recrear la estructura de la serie de tiempo con un modelo ARIMA (específicamente un modelo AR con un orden P alto) permite una imputación más efectiva en comparación con métodos tradicionales como el promedio. Luego, se indexaron los precios de la papa con el IPC, con el fin de evitar sesgos en el ejercicio de simulación. Posteriormente, se utilizó la información de las EVAS para obtener los rendimientos históricos de la papa en el área metropolitana.

Como segundo punto, se construyó un modelo financiero que permite medir la rentabilidad de los productores de papa del área metropolitana. Para esto, se realizó un trabajo de campo donde se recolectó la información asociada con las cantidades de insumos y mano de obra requeridos para el desarrollo de la actividad productiva. Luego se construyó un estado de resultados con la información recolectada. Con respecto al componente de financiación, se tomaron las estadísticas de FINAGRO para determinar cuáles son las necesidades de financiación más importantes de los productores de papa en el área metropolitana. Posteriormente, se midió la rentabilidad del productor utilizando la fórmula del Margen Neto que se presenta en la ecuación 1, debido a que es aquel indicador de rentabilidad que relaciona las variables críticas seleccionadas.

$$\text{Margen Neto} = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Ingresos}} \quad (1)$$

Posteriormente, se diseñó la arquitectura del modelo de Simulación Monte Carlo, iniciando con la identificación de las distribuciones de probabilidad asociadas al precio de venta, el rendimiento por hectárea y la tasa de interés de los productores. Para esto, se aplicaron pruebas de bondad de ajuste como Chi-cuadrado, Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling. Conociendo las distribuciones que siguen las variables críticas, se ejecutó la simulación Monte Carlo con 5.000 escenarios. Con los resultados de la simulación se desarrolló un modelo de regresión lineal, en el que la rentabilidad fue la variable dependiente y los precios, rendimientos y tasas de interés las variables explicativas. Este modelo permitió evaluar el impacto de dichas variables en la rentabilidad de los productores de papa del área metropolitana en 2022.

IV. RESULTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

En la Tabla 1 se presentan las variables que se utilizarán para el desarrollo de la investigación, describiendo su origen, unidad de medida, frecuencia con la que se presenta la información y disponibilidad temporal del dato.

Tabla 1: Variables asociadas para el desarrollo de la investigación.

Variable	Descripción de los datos	Unidades
Precios papa superior central mayorista de Antioquia	Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Frecuencia: Semanal. Disponibilidad: Información desde noviembre de 2012 hasta abril de 2024.	Pesos por Kilo (\$ Kg)
Rendimiento papa área metropolitana	Fuente: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Frecuencia: Semestral. Disponibilidad: Información desde enero de 2015 hasta diciembre de 2023.	Tonelada por hectárea (Ton / Ha)
Índice Bancario de Referencia	Fuente: Banco de la República. Frecuencia: Diaria. Disponibilidad: Información desde noviembre de 2012 hasta abril de 2024. Tipo: IBR Semestral	Porcentaje (%)
Índice de precios al consumidor	Fuente: Banco de la República. Frecuencia: Mensual. Disponibilidad: Información desde noviembre de 2012 hasta abril de 2024.	Porcentaje (%)
Matrices de coeficientes técnicos.	Fuente: Consulta con productores.	No aplica

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [47], [48], [49], [50].

El primer resultado de la tesis es la depuración de las bases de datos relacionadas con los precios de venta, el rendimiento del cultivo de la papa y la tasa de interés IBR mediante el análisis de datos faltantes. Se observó que los datos de rendimientos y tasas de interés no presentaban valores faltantes, como se muestra en las figuras 1 y 2. Por lo tanto, no fue necesario aplicar el modelo de imputación de datos.

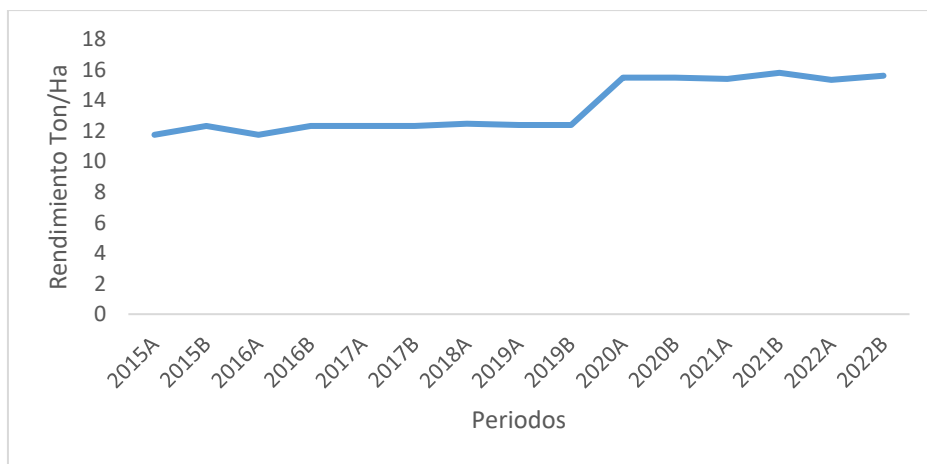


Figura 1: Rendimiento papa área metropolitana.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) reportados por [48].

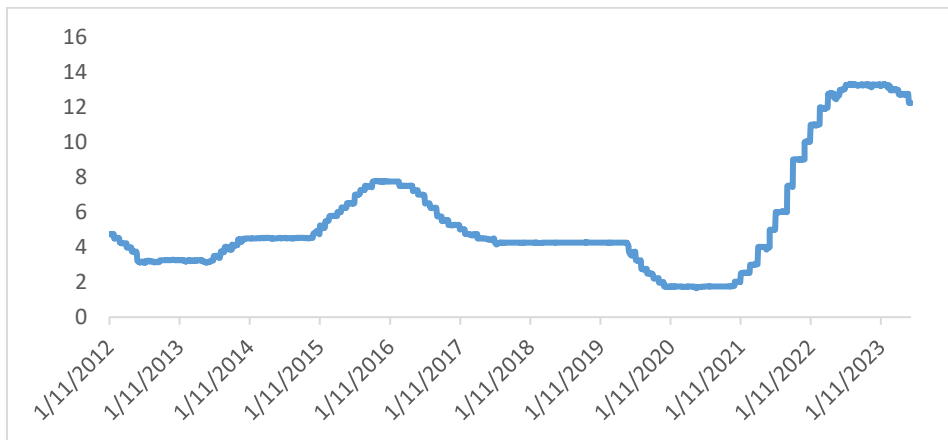


Figura 2: Índice Bancario de Referencia Semestral.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [49].

En la serie de precios se identificaron datos faltantes, como se muestra en la figura 3. Para imputar estos datos, se utilizó un modelo ARP de orden alto, específicamente un ARIMA(5,1,0). Este modelo generó un total de 13 variables regresoras para los valores faltantes de la serie. Los resultados se pueden observar en la figura 4.

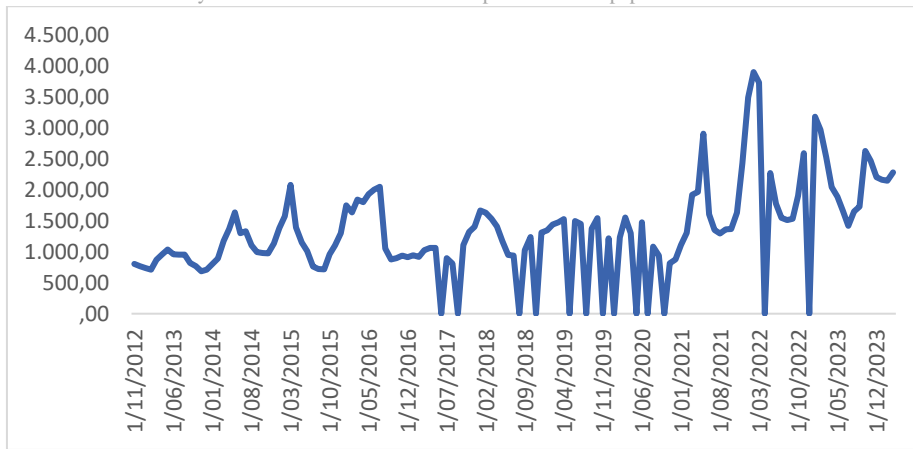


Figura 3: Precios papa Central Mayorista de Antioquia con datos faltantes.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SIPSA reportado por [47].

```

Regression with ARIMA(5,1,0) errors

Coefficients:
  ar1      ar2      ar3      ar4      ar5      xreg1      xreg2      xreg3      xreg4
  0.1599  0.1622 -0.1736 -0.1710 -0.2205 -962.9019 -940.7347 -967.6662 -1282.1708
s.e.      0.0850  0.0861  0.0847  0.0869  0.0853  169.0675  169.4054  168.8603  169.8074
  xreg5      xreg6      xreg7      xreg8      xreg9      xreg10     xreg11     xreg12
-1497.475 -1438.4400 -1390.7250 -1242.3476 -1486.1478 -1342.0222 -790.3062 -3118.682
s.e.      170.864  173.0908  176.7711  174.9211  175.7042  176.7361  173.4764  171.278
  xreg13
-2965.8474
s.e.      169.3292

sigma^2 = 81426: log likelihood = -952.62
AIC=1943.24 AICc=1949.79 BIC=1998.58

Training set error measures:
              ME      RMSE      MAE MPE MAPE      MASE      ACF1
Training set 14.37698 264.8278 166.3363 NaN  Inf  0.3704654 -0.06498242
    
```

Figura 4: Modelo ARP para imputación de datos.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SIPSA reportado por [47].

Luego de hacer la imputación, se obtuvo como resultado la serie de tiempo de los precios de la papa completa, el cual, se observa en la figura 5.

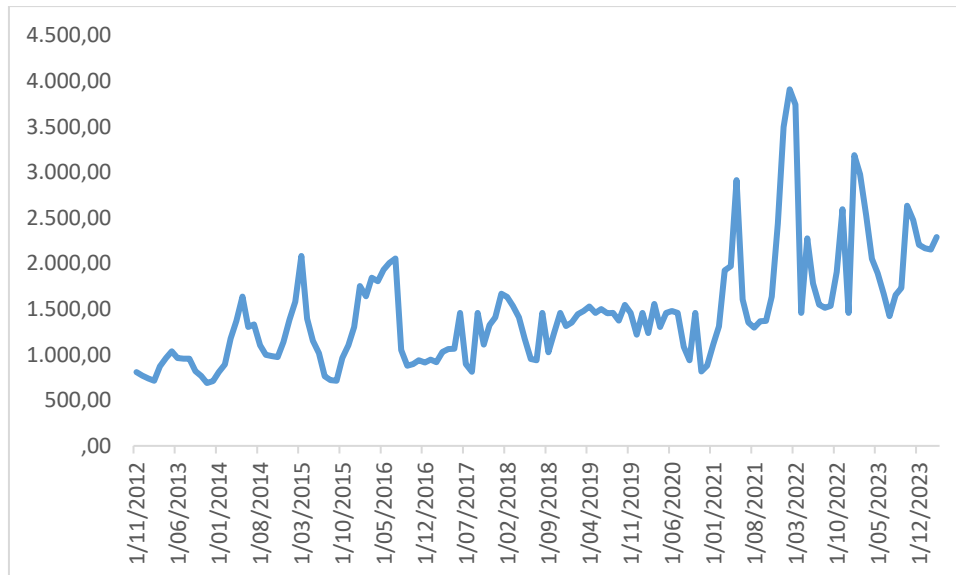


Figura 5: Precios papa Central Mayorista de Antioquia imputados con modelo ARP.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SIPSA reportados por [47].

Con las series de tiempo completas, se determinaron las variables de entrada necesarias para que el modelo financiero pudiera calcular la rentabilidad del productor a través del margen neto. La Tabla 2 detalla las variables de entrada y explica cómo se determinó cada una.

Tabla 2: Modelo Financiero Productores de Papa del Área Metropolitana.

Variable de Entrada	Valor inicial	Forma de cálculo	Vínculo con el modelo financiero
Precio de venta	1491 Kg/Ha	Se deflactaron los precios utilizando el IPC, luego se calculó el precio promedio de la serie y finalmente se aplicó un margen del 30% para obtener el precio del productor, ya que los precios del SIPSA corresponden a precios de centrales mayoristas.	Se vincula directamente en el cálculo de los ingresos.
Rendimiento	16 Ton/Ha	Promedio del rendimiento reportado en las EVAS del área metropolitana durante los últimos 5 años.	Se vincula directamente en el cálculo de los ingresos.
Número de hectáreas	561 Ha	Suma de las áreas sembradas reportadas en las EVAS del área metropolitana del último año.	Se vincula en el cálculo del ingreso y costo total.
Número de ciclos	2	Información de expertos y productores de papa.	Se vincula en el cálculo del ingreso y costo total.
Costo de producción	18.924.244 Ha/Ciclo	Información de SuperSociedades de las empresas agropecuarias, información de expertos y productores de papa.	Se vincula directamente en el cálculo de los costos de producción total.
Gastos operacionales	3.000.000 Ha	Se tomó el dato del SIPSA asociado a insumos agropecuarios.	Se vincula en el cálculo de los gastos operacionales.
Tasa de interés	11,74% EA + 6.7	Se tomó el dato IBR semestral del Banco de la República. Debido a que los créditos en el sector agropecuario se financian semestralmente debido al flujo de caja de los sistemas productivos.	Se vincula en el cálculo del gasto financiero.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [47], [48], [49], [50].

Con las variables de entrada claramente definidas y su relación con el modelo financiero establecido, se procedió a la construcción del modelo. Este se centró exclusivamente en el componente del estado de resultados, ya que permite medir la rentabilidad del productor a través del margen neto. La estructura y funcionamiento del modelo se ilustran en la tabla 3.

Tabla 3: Variables utilizadas para el modelo financiero.

Estado de Resultados		
Ingresos Operacionales	\$ 26.766.432.000	100%
Costo de Mercancía Vendida	\$ 21.233.001.338	79%
Utilidad Bruta	\$ 5.533.430.662	21%
Gastos Operacionales	\$ 1.683.000.000	6%
EBITDA	\$ 3.850.430.662	14%
Depreciaciones y Amortizaciones	\$ 0	0%
Utilidad Operacional	\$ 3.850.430.662	14%
Gastos Financieros	\$ 1.124.942.614	4%
Utilidad Antes de Impuestos	\$ 2.725.488.048	10%
Impuesto de Renta y complementos	\$ 0	0%
Utilidad Neta del Ejercicio	\$ 2.725.488.048	10%
MARGEN NETO	10,18%	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [47], [48], [49], [50].

En la tabla 3 se observa que los productores de papa del área metropolitana generan, en promedio, un margen EBITDA del 14%. Este es un indicador aceptable desde el punto de vista del flujo de caja operativo que generan los productores. Además, el margen neto promedio de los productores es del 10,18%, el cual solo se ve afectado por el gasto financiero. Cabe destacar que el modelo no incluyó el componente impositivo, debido a que en el sector agropecuario este puede variar considerablemente según varios factores, como el tamaño del productor. Por esta razón, se decidió excluir este componente del análisis.

Con el modelo financiero estructurado para los productores, se inició el proceso de simulación de Monte Carlo. El primer paso consistió en realizar pruebas de bondad de ajuste a las variables de precio de venta, rendimiento y tasa de interés, con el objetivo de determinar la distribución de probabilidad de cada una. Las distribuciones obtenidas se muestran en la figura 6.

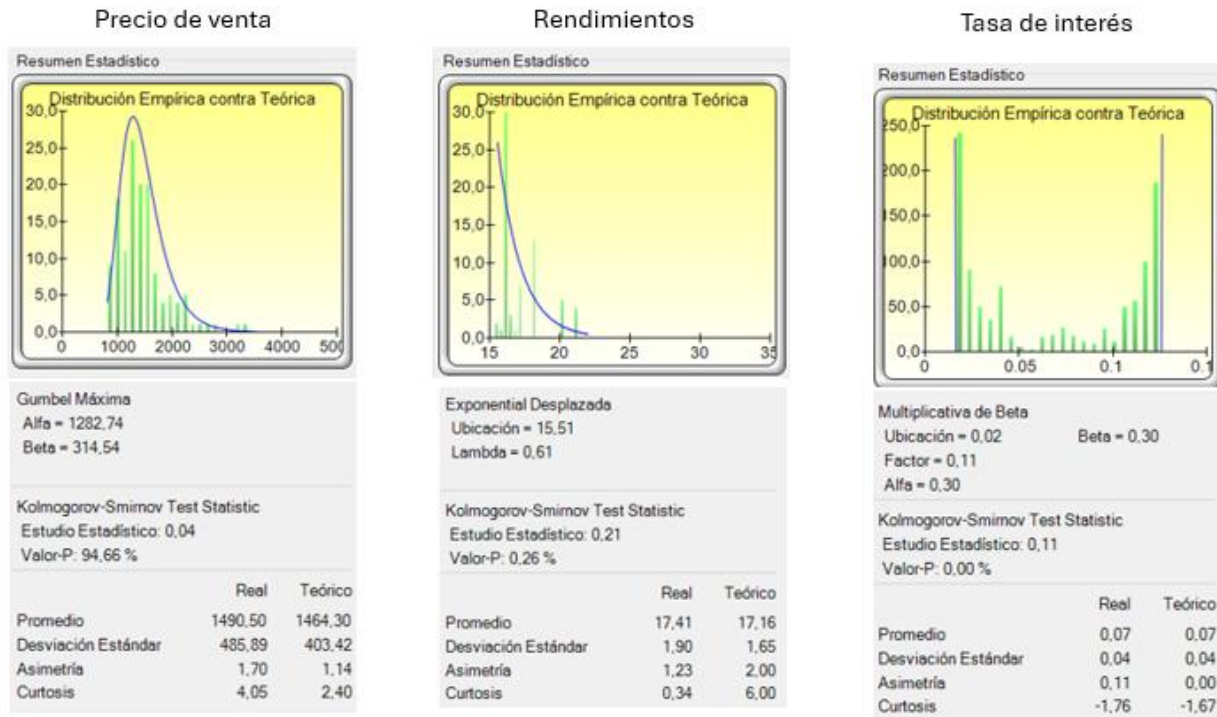


Figura 6: Pruebas de bondad de ajuste para variables críticas.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [47], [48], [49], [50].

De acuerdo con la figura 6, se determina que los precios de venta siguen una distribución Gumbel máxima con estimadores $\alpha = 1285,74$ y $\beta = 314,54$. En cuanto a los rendimientos, estos siguen una distribución exponencial desplazada con una ubicación de 15,51 y una lambda de 0,61. Por último, la tasa de interés IBR sigue una distribución multiplicativa de beta con los siguientes estimadores: ubicación = 0,02, factor = 0,11, $\alpha = 0,3$ y $\beta = 0,3$.

Después de definir las distribuciones de probabilidad de las variables críticas, se llevó a cabo la simulación Monte Carlo con 5,000 iteraciones, centrándose en el margen neto como variable crítica. Los resultados de la simulación que se observan en la figura 7 mostraron que la rentabilidad media del productor es del 8%, con una desviación estándar del 0,25. Esto evidencia una alta variabilidad en los resultados de la simulación, lo que sugiere la hipótesis de una amplia variabilidad en la rentabilidad causada por la alta volatilidad de las variables de entrada. Además, se observó que la rentabilidad oscila entre un valor de -6,8% y 26% entre los percentiles 25 y 75.

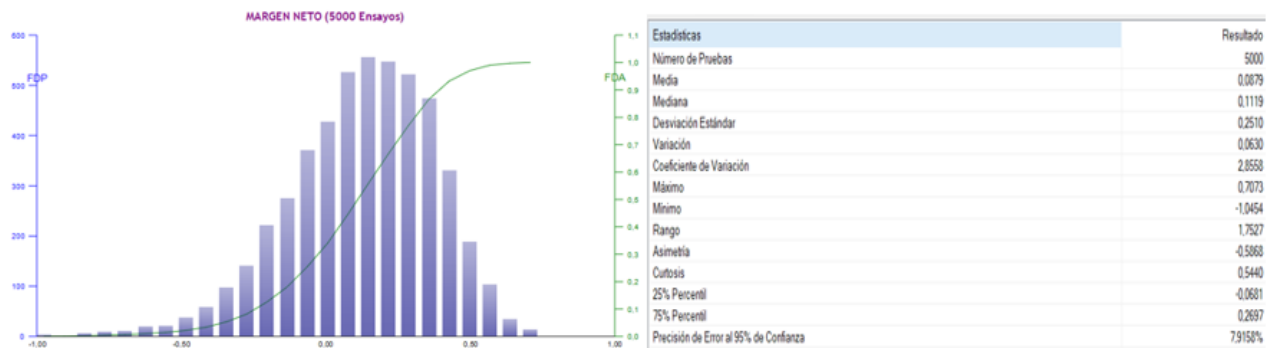


Figura 7: Resultados de la simulación Monte Carlo.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [47], [48], [49], [50].

Para un análisis más detallado de los resultados de la simulación, se incluyó un gráfico de tornado en la figura 8. En este gráfico se muestra claramente que las variables que tienen un mayor impacto en el margen neto son, en orden descendente, el precio de venta, seguido por el rendimiento y finalmente la tasa de interés. Específicamente, se observó que, en un rango de precios entre 1.300 y 1.600, el impacto en la rentabilidad oscila entre 0% y 20%. En cuanto al rendimiento, niveles entre el 14% y el 17% mostraron un impacto en la rentabilidad que variaba entre 0% y 17%. Por último, en relación con la tasa de interés, un intervalo del 10% al 12% conllevaba una oscilación en la rentabilidad entre el 6% y el 12%. Lo anterior denota que la alta volatilidad de los precios y los rendimientos tiene una incidencia importante en la rentabilidad de los productores de papa del área metropolitana.

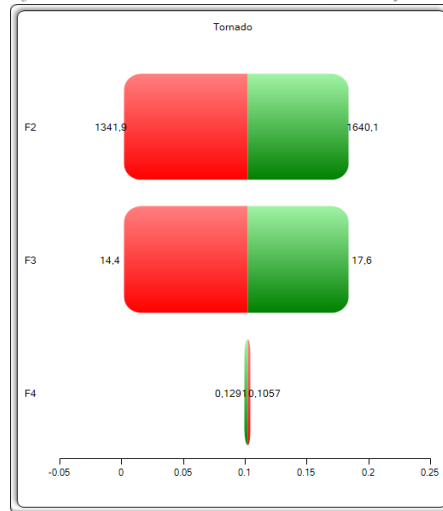


Figura 8: Análisis de Gráfico de Tornado.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [47], [48], [49], [50].

Por último, para finalizar el análisis de los resultados de la simulación, se realizó el modelo de regresión lineal que se observa en la figura 9. Previo al análisis de los resultados, se realizaron las validaciones de la no autocorrelación, colinealidad, normalidad y homocedasticidad. Las cuales, se evidencian en la tabla 4.

```
Call:
lm(formula = Margen_Neto ~ ., data = db_analisis)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.92687 -0.02205  0.03287  0.05697  0.06945

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.453e+00  1.406e-02 -103.359 < 2e-16 ***
`Precio de Venta`  5.321e-04  3.097e-06  171.807 < 2e-16 ***
Rendimiento      4.541e-02  7.617e-04   59.620 < 2e-16 ***
Tasa             -2.161e-01  2.896e-02  -7.463  9.93e-14 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.08945 on 4996 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8685,    Adjusted R-squared:  0.8684
F-statistic: 1.1e+04 on 3 and 4996 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Figura 9: Modelo de regresión lineal.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [47], [48], [49], [50].

Tabla 4: Validación de supuesto del modelo de regresión lineal múltiple.

Supuesto	Prueba realizada	P valor (menos para el VIF)	Conclusión
No Autocorrelación	Durbin Watson	1.862846e-01	No hay autocorrelación en el error.
Colinealidad	Valor inflado de la varianza	Precio de venta: 1.000141 Rendimiento: 1.000085 Tasa: 1.000169	No hay multicolinealidad.
Normalidad	Shapiro Wilks	1.663904e-69	Los errores no siguen una distribución normal.
Normalidad	Anderson Darling	3.700000e-24	Los errores no siguen una distribución normal.
Homocedasticidad	Breusch-Pagan	5.961376e-26	Los errores son heterocedásticos

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [47], [48], [49], [50].

De la Tabla 4, se muestra que no se presenta autocorrelación de los residuos según la prueba de Durbin-Watson, lo que indica independencia entre los errores. Asimismo, los valores del factor de inflación de la varianza (VIF) se encuentran cercanos a 1, lo cual descarta problemas de multicolinealidad entre las variables explicativas. Sin embargo, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y Anderson-Darling rechazan la hipótesis nula de normalidad, evidenciando que los residuos no siguen una distribución normal. Dado este escenario, se optó por ajustar el modelo mediante la matriz de Wald con errores estándar robustos, lo que permite realizar inferencias válidas aún bajo heterocedasticidad y no normalidad. Este procedimiento se fundamenta en los resultados de la teoría asintótica, según la cual, bajo supuestos débiles de regularidad, los estimadores de Mínimos Cuadrados Ordinarios son consistentes y asintóticamente normales, de modo que la inferencia sobre los parámetros sigue siendo válida en grandes muestras, como se ilustra en la Figura 10.

t test of coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)							
(Intercept)	-1.4528e+00	2.0598e-02	-70.5312	< 2.2e-16 ***							
`Precio de Venta`	5.3207e-04	8.7666e-06	60.6929	< 2.2e-16 ***							
Rendimiento	4.5414e-02	8.3691e-04	54.2641	< 2.2e-16 ***							
Tasa	-2.1613e-01	2.8726e-02	-7.5236	6.283e-14 ***							

Signif. codes:	0	'***'	0.001	'**'	0.01	'*'	0.05	'.'	0.1	' '	1

Figura 10: Modelo de regresión lineal ajustado con la matriz de Wald con errores robustos.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [47], [48], [49], [50].

Las Figuras 9 y 10 muestran que las variables seleccionadas tienen un impacto estadísticamente significativo sobre la rentabilidad de los productores de papa. Asimismo, se observa un coeficiente de determinación (R^2) aceptable y una prueba de significancia global que no rechaza la hipótesis nula, por lo que el modelo realizado es estadísticamente significativo.

Los betas del modelo muestran que los precios de venta y los rendimientos tienen, en general, un impacto positivo en la rentabilidad. Esto significa que un aumento en el precio o en el rendimiento se traducirá en un aumento en la rentabilidad del productor, según un análisis ceteris paribus. Por otro lado, en relación con la tasa de interés, se observa que un aumento en esta variable resultará en una disminución de la rentabilidad del productor, siempre y cuando las demás variables se mantengan constantes. Este hallazgo es consistente ya que un aumento en los costos financieros, manteniendo constantes las demás variables, implicará una disminución en la rentabilidad.

Los hallazgos de este estudio confirman que los precios de venta y los rendimientos son las variables más determinantes de la rentabilidad de los productores de papa en el área metropolitana de Medellín. Este resultado es consistente con lo señalado por Gómez et al. [10] en el caso peruano y por Tey y Brindal [4] en el contexto estadounidense, quienes identifican que la rentabilidad agrícola depende en gran medida de la dinámica de los precios y de la productividad por hectárea. No obstante, a diferencia de lo planteado por Bustamante [37], donde los costos de producción aparecían como el factor crítico en comunidades rurales del Perú, en el presente estudio dichos costos no sobresalen frente a la influencia de la volatilidad de precios y rendimientos, lo cual evidencia diferencias regionales en las estructuras productivas y de mercado que afectan los resultados económicos de los agricultores.

De manera general, los resultados también muestran que, aunque las tasas de interés inciden en la rentabilidad, su efecto no es estadísticamente significativo en el caso analizado. Este hallazgo difiere de lo encontrado por Benjamin y David [14] y Alarcón [15], quienes destacan el financiamiento como un factor clave en el desempeño agrícola. La diferencia puede explicarse por la relativa estabilidad del acceso al crédito agropecuario en la región estudiada y por el mayor peso de la variabilidad productiva frente a la financiera. En conjunto, el análisis refuerza la idea de que la rentabilidad de la papa en Medellín responde a una interacción compleja entre precios, rendimientos y financiamiento, donde las condiciones locales, las tecnologías de producción y la estructura de mercado determinan un patrón propio que, aunque dialoga con la literatura internacional, aporta una evidencia diferenciada para comprender la sostenibilidad económica de los productores en contextos urbanos y periurbanos.

Finalmente, al comparar los resultados obtenidos con la literatura revisada, se observa que las simulaciones y el modelo de regresión utilizados en este estudio no solo validan hallazgos previos, sino que también aportan una perspectiva integral sobre cómo interactúan las variables críticas de la rentabilidad agrícola. La volatilidad de precios y rendimientos identificada en Medellín coincide con las dinámicas reportadas en otros países latinoamericanos [35] y [44], pero introduce la particularidad de un mercado urbano con planes de desarrollo municipal que priorizan el cultivo de papa como eje estratégico. Esto permite concluir que los resultados no solo fortalecen la comprensión teórica sobre la rentabilidad agropecuaria, sino que también ofrecen insumos prácticos para orientar políticas públicas y estrategias de gestión que aumenten la resiliencia de los productores frente a escenarios de incertidumbre.

V. CONCLUSIONES

- La rentabilidad de los productores de papa del área metropolitana está determinada de manera predominante por el precio de venta y los rendimientos obtenidos por hectárea. Estas dos variables son las que explican en mayor medida las variaciones observadas en los márgenes netos de los productores, reflejando su condición de determinantes centrales en la sostenibilidad económica del cultivo. En contraste, la tasa de interés presenta un efecto de menor magnitud, cuya incidencia sobre la rentabilidad no resultó estadísticamente significativa en el modelo aplicado.
- Las mediciones realizadas constituyen un insumo técnico que permite identificar de manera clara los efectos del precio de venta y los rendimientos sobre la rentabilidad de los productores. Al disponer de estimaciones cuantitativas, se facilita la evaluación objetiva de las condiciones económicas del cultivo en el área metropolitana. Estos resultados configuran una base sólida para la planeación sectorial y la gestión productiva, en tanto aportan un panorama confiable del comportamiento de las variables críticas en la generación de ingresos.
- Las federaciones, los gremios del sector de la papa y el DANE disponen de un acervo de información detallada, actualizada y de acceso continuo que posibilita la realización de análisis de rentabilidad con rigor técnico. La existencia de estos datos asegura la calidad de las estimaciones y permite el desarrollo de estudios que caracterizan con precisión las condiciones del sector. Esta disponibilidad constituye, además, un factor clave para consolidar la validez de los resultados y la continuidad de futuras evaluaciones sobre la rentabilidad agrícola.

VI. RECOMENDACIONES

A modo de recomendación, para replicar este estudio en otros sectores productivos, es crucial primero evaluar si el sistema productivo es un bien transable. De ser así, además de las variables tradicionales como el precio y el rendimiento, se sugiere incluir factores adicionales como la tasa representativa del mercado y los precios internacionales del producto. Estas variables permiten capturar con mayor precisión las dinámicas del comercio global, lo que es esencial para obtener estimaciones más ajustadas de la rentabilidad. La inclusión de estas variables es especialmente relevante en sectores donde los precios y rendimientos están fuertemente influenciados por fluctuaciones en los mercados internacionales y las tasas de cambio.

Con base en las conclusiones del estudio sobre los productores de papa del área metropolitana, donde la rentabilidad está directamente vinculada al precio de venta y los rendimientos, esta metodología puede ser adaptada a otros cultivos o sectores que compartan características similares. Dado que la volatilidad en los precios y la variabilidad de los rendimientos, impulsadas por las tecnologías empleadas, son factores clave, es importante incluir también elementos que consideren la evolución tecnológica y las fluctuaciones del mercado internacional. Aunque el impacto de la tasa de interés no fue significativo en el caso de los productores de papa, en otros sectores donde el acceso a financiamiento es más limitado o dependiente de condiciones internacionales, esta variable podría tener un mayor peso y, por tanto, debe ser analizada con detalle.

VII. REFERENCIAS

- [1] C. P. Timmer, "Chapter 29 Agriculture and economic development," 2002, pp. 1487–1546. doi: [10.1016/S1574-0072\(02\)10011-9](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(02)10011-9).
- [2] D. Cervantes and J. Dewbre, "Economic importance of agriculture for poverty reduction," OECD Food, Agric. Fish. Pap., vol. 23, 2010, doi: <http://dx.doi.org/10.1787/5kmmv9s20944-en>.
- [3] N. Fonseca and K. Bossa, "La Agricultura y su incidencia en la Seguridad y la Soberanía Alimentaria. Una revisión," Rev. Científica Profundidad Construyendo Futur., vol. 17, no. 17, pp. 79–95, 2022, doi: [10.22463/24221783.3833](https://doi.org/10.22463/24221783.3833).
- [4] Y. S. Tey and M. Brindal, "Factors Influencing Farm Profitability," Sustain. Agric. Rev., pp. 235–255, 2015, doi: [10.1007/978-3-319-09132-7_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_5).
- [5] M. T. Hayden, R. Mattimoe, and L. Jack, "Sensemaking and financial management in the decision-making process of farmers," J. Account. Organ. Chang., vol. 18, no. 4, pp. 529–552, 2022, doi: [10.1108/JAOC-11-2020-0186](https://doi.org/10.1108/JAOC-11-2020-0186).
- [6] G. Malorgio and F. Marangon, "Agricultural business economics: the challenge of sustainability," Agric. Food Econ., vol. 9, no. 1, pp. 4–7, 2021, doi: [10.1186/s40100-021-00179-3](https://doi.org/10.1186/s40100-021-00179-3).
- [7] B. Vuckovic, "Causes of different profitability of agricultural sector," Ekon. Poljopr., vol. 63, no. 1, pp. 123–141, 2016, doi: [10.5937/ekopolj1601123v](https://doi.org/10.5937/ekopolj1601123v).
- [8] A.-C. Matei and M. Onofrei, "Financial Management Practices for Farm Profitability," J. Public Adm. Financ. Law, no. 21, pp. 33–38, 2021, doi: [10.47743/jopafl-2021-21-04](https://doi.org/10.47743/jopafl-2021-21-04).
- [9] O. Molina, "Rentabilidad de la producción agrícola desde la perspectiva de los costos reales: municipios Pueblo Llano y Rangel del estado Mérida, Venezuela," Visión Gerenc., no. 2, pp. 217–232, 2017, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/4655/465552407013/465552407013.pdf>.
- [10] R. Gómez, R. Diez, M. Anderson, and P. López, "Rentabilidad y riesgos en la producción de papa blanca (*Solanum tuberosum*) en Ayacucho y Lima," An. Científicos, vol. 82, no. 2, pp. 279–287, 2021, doi: [10.21704/ac.v82i2.1790](https://doi.org/10.21704/ac.v82i2.1790).
- [11] A. V. Ayala, R. Schwentesius, M. De la O-Olán, P. Preciado, G. Almaguer, and P. Rivas, "Análisis de rentabilidad de la producción de maíz en la región de Tulancingo, Hidalgo, México.," Agric. Soc. y Desarro., vol. 10, no. 4, p. 381, 2013, [Online]. Available: <https://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v10n4/v10n4a1.pdf>.
- [12] M. F. García, A. Sandoval, V. Robledo, A. Benavides, A. Robledo, and M. Cabrera, "Rentabilidad y rendimiento agronómico de lechuga acuapónica," Rev. Mex. Ciencias Agrícolas, no. 26, pp. 119–130, 2021, doi: [10.29312/remexca.v0i26.2942](https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2942).
- [13] G. Rodríguez, E. Pinedo, and F. Sulca, "Efecto del aporque en el rendimiento y la rentabilidad en cultivos nativos de papa," Cienc. Tecnol. Agropecu., vol. 21, no. 3, pp. 1–14, 2020, [Online]. Available: <https://scholar.google.es/citations?user=NSRTE90AAAAJ&hl=es&oi=sra>.
- [14] S. Benjamin and A. David, "The effect of credit-use on the profitability of smallholder maize-farming in Ghana," Glob. Sci., vol. 8, no. 5, pp. 1049–1067, 2020.
- [15] I. Alarcon, "El financiamiento y su impacto en la rentabilidad de las cooperativas agrarias de café, Chanchamayo, año 2023," Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2023. [Online]. Available: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/21748>.
- [16] K. Tenecela and Y. Palacios, "Apalancamiento financiero y su impacto sobre la rentabilidad, en la producción agrícola-cultivo de banano-cantón Pasaje 2022," Universidad técnica de Machala, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/21974/1/Trabajo_Titulacion_2048.pdf.
- [17] R. Rodríguez, "La rentabilidad en el sector agrícola de EEUU en el período 1980-2023: una explicación a partir de la dinámica y tendencias de la estructura de capital, el costo de financiamiento y el riesgo del sector," Universitat Oberta de Catalunya, 2024.
- [18] J. Izurieta, "Las tasas de interés en el sistema financiero ecuatorina y su impacto en la competitividad del sector avícola," Universidad nacional de Chimborazo, 2021.
- [19] FAO, "Día Internacional de la Papa: en su primera celebración, la FAO resalta la importancia del tubérculo y desvela su potencial." [Online]. Available: <https://www.fao.org/newsroom/detail/international-day-of-potato--at-inaugural-celebration--fao-highlights-crop-significance-and-further-potential/es>.
- [20] Fedepapa, "Datos Específicos de la papa." [Online]. Available: <https://observatoriofnfp.com/estadisticas/>.
- [21] W. Granados and H. Villareal, "Cadena de la Papa, Indicadores e instrumentos," 2019. [Online]. Available: https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2019-03-31_Cifras_Sectoriales.pdf.
- [22] Alcaldía de Barbosa, "Municipio De Barbosa Concejo El Plan De Desarrollo," 2020. [Online]. Available: www.concejo-barbosa-antioquia.gov.co/.
- [23] Alcaldía de Bello, "Plan de Desarrollo Bello: 2020-2023," 2020. [Online]. Available: <https://www.bello.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-por-el-bello-que-queremos>.
- [24] Alcaldía de Caldas, "Plan de Desarrollo Municipio de Caldas," 2020. [Online]. Available: https://www.caldasantioquia.gov.co/wp-content/uploads/2021/05/bd874-plan_desarrollo_caldas_2020_2023.pdf.

- [25] Alcaldía de Copacabana, “Plan de Desarrollo Municipio de Copacabana,” 2020. [Online]. Available: <https://www.copacabana.gov.co/MiMunicipio/ProgramadeGobierno/Plan%20de%20Desarrollo%20Copacabana%20con%20Seguridad%202020%202023.pdf>.
- [26] Alcaldía de Envigado, “Plan de Desarrollo 2020-2023. Juntos Sumamos por Envigado,” 2020. [Online]. Available: <https://www.concejoenvigado.gov.co/wp-content/uploads/2020/05/Plan-de-desarrollo.pdf>.
- [27] Alcaldía de Girardota, “Plan de Desarrollo Territorial ¡Ahora SÍ! Girardota para todos,” 2020. [Online]. Available: <https://www.girardota.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionYControl/Plan%20de%20Desarrollo%20Territorial%20%C2%A1Ahora%20S%C3%8D!%20Girardota%20para%20todos.pdf>.
- [28] Alcaldía de Itagüí, “Plan de Desarrollo Itagüí 2020-2023,” 2020. [Online]. Available: https://itagui.gov.co/uploads/micrositios/files/c745b-pdt_itaguei_20200602.pdf.
- [29] Alcaldía de La Estrella, “Plan de Desarrollo Territorial 2020-2023 Siempre con la gente,” 2020. [Online]. Available: https://www.laestrella.gov.co/alcaldia/plan_estrategico.
- [30] Alcaldía de Medellín, “Plan de Desarrollo Medellín Futuro: 2020-2023,” 2020. [Online]. Available: https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/medellin/Temas/PlanDesarrollo/Publicaciones/Shared.Content/Documentos/2020/DocumentoFinal_PlanDesarrolloMedellin2020-2023_MedellinFuturo.pdf.
- [31] Alcaldía de Sabaneta, “Plan de Desarrollo Sabaneta, Todos Somos Sabaneta 2020- 2023,” 2020. [Online]. Available: <https://www.sabaneta.gov.co/programas-y-proyectos/plan-de-desarrollo/>.
- [32] J. G. Djokoto and D. E. Zigah, “Journal of Agriculture and Food Research,” *J. Agric. Food Res.*, vol. 5, no. 100177, pp. 1–7, 2021.
- [33] M. E. Robles, S. Alarcon, and J. J. Fera, “Rentabilidad de las empresas agrarias colombianas y sus determinantes sectoriales y de localización,” *Espacios*, vol. 41, no. 45, pp. 1–9, 2020, doi: [10.48082/espacios-a20v41n45p01](https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n45p01).
- [34] Anton, S. Lorensa, I. Purnama, P. Eddy, and Andi, “Net Profit Margin, Earnings per Share, Return on Asset, Debt Equity Ratio, and Current Ratio on Firm Value in Agricultural Sector Companies Listed on Indonesia Stock Exchange 2016-2021,” *J. Appl. Bus. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 155–167, 2023, doi: [10.35145/jabt.v4i2.131](https://doi.org/10.35145/jabt.v4i2.131).
- [35] E. Medina and L. Córdova, “Propuesta de producción planificada del cultivo de papa y formalización para mejorar la rentabilidad de los agricultores de los caseríos de Carhuacruz y Corrales del Distrito de Cutervo - Cajamarca - 2014,” Universidad católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2015. [Online]. Available: <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/892>.
- [36] G. Fabian, “Estrategias de comercialización para mejorar la rentabilidad de la papa única en el Distrito de Huasahuasi, Tarma, Junín 2019,” Universidad Norbert Wiener, 2019. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.13053/4100>.
- [37] K. Bustamante, “Costos de producción y su incidencia en la rentabilidad de los productores de papa en la comunidad del Mirador, Chota,” Universidad César Vallejo, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/110620>.
- [38] G. Mejía y J. A. Castellanos, “Costos de producción y rentabilidad del cultivo de la papa en el municipio de Zacapoxtla, Puebla,” *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. 9, no. 8, pp. 1651–1661, 2018, doi: [10.29312/remexca.v9i8.1721](https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1721).
- [39] S. Bumbescu, “Analysis models of profitability in agriculture,” *Bull. Taras Shevchenko Natl. Univ. Kyiv Econ.*, no. 174, pp. 37–42, 2015, doi: [10.17721/1728-2667.2015/174-9/6](https://doi.org/10.17721/1728-2667.2015/174-9/6).
- [40] P. Lledó y G. Rivarola, *Gestión de proyectos*, Primera Ed. 2007.
- [41] FAO, “Estudio de ampliación de potencial de irrigación en Argentina,” 2014. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/15440/0Apapers://ae99785b-2213-416d-aa7e-3a12880cc9b9/Paper/p18311>.
- [42] M. Emhart Nirich, G. Nuñez, A. P. Maidana, and A. T. Delvalle, “La simulación de Montecarlo en el estudio de rentabilidad de cultivos de Yerba Mate,” *+Ingenio*, no. Enero-Junio 2019 Vol.1-N1, pp. 25–36, Jun. 2019, doi: [10.36995/j.masingenio.2019.01.01.002](https://doi.org/10.36995/j.masingenio.2019.01.01.002).
- [43] P. Saha, M. E. Hossain, M. M. H. Prodhana, M. T. Rahman, M. Nielsen, and M. A. Khan, “Profit and loss dynamics of aquaculture farming,” *Aquaculture*, vol. 561, 2022, doi: [10.1016/j.aquaculture.2022.738619](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738619).
- [44] J. Frías, “Rentabilidad y Riesgos en la Producción de Papa Blanca Comercial y Nativa en el Distrito Huasahuasi, Tarma, Junín,” Universidad San Ignacio de Loyola, 2020. doi: <https://dx.doi.org/10.20511/USIL.thesis/10909>.
- [45] C. E. Méndez, *Metodología de la Investigación. Diseño y desarrollo del proceso de investigación en ciencias empresariales*, Quinta Ed. Bogotá D.C: Alpha Editorial, 2020.
- [46] E. Castaño, “Reconstrucción de datos de series de tiempo: Una aplicación a la demanda horaria de la electricidad,” *Rev. Colomb. Estad.*, vol. 30, no. 2, pp. 247–263, 2007.
- [47] DANE, “Boletín semanal precios mayoristas.” [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/mayoristas-boletin-semanal-1>.
- [48] UPRA, “Evaluaciones Agropecuarias Municipales.” [Online]. Available: <https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva.aspx>.
- [49] Banco de la República, “Indicador bancario de referencia.” [Online]. Available: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indicador-bancario-referencia-ibr>.
- [50] Banco de la República, “Índice de precios al consumidor.” [Online]. Available: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indice-precios-consumidor-ipc>.