

Fecha de recibido: 31 de julio de 2025
Fecha de aceptado: 25 de marzo de 2026
DOI: 10.22490/21456453.10108

ANÁLISIS COMPARATIVO DE TÉCNICAS DE PRONÓSTICO PARA VARIABLES DE PRODUCCIÓN Y PRECIOS DE CAFÉ COLOMBIANO

COMPARATIVE ANALYSIS OF FORECAST TECHNIQUES FOR PRODUCTION VARIABLES AND PRICES OF COLOMBIAN COFFEE

Ximena Cifuentes Wchima¹

Luis Miguel Mejía Giraldo²

Citación: Cifuentes Wchima, X., Mejía Giraldo, L.M. (2026). Análisis comparativo de técnicas de pronóstico para variables de producción y precios de café colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 17(2), 139-158.
<https://doi.org/10.22490/21456453.10108>

¹ Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Decana de la Facultad de Ingenierías Universidad La Gran Colombia, Armenia, Colombia, defingenieria@ugca.edu.co.
orcid.org/0000-0001-5392-4483

² Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Líder de Investigaciones de la Facultad de Ingenierías Universidad La Gran Colombia, Armenia, Colombia, mejiagluismiguel@miugca.edu.co.
orcid.org/0000-0003-2940-0115

RESUMEN

El presente trabajo de investigación gira en torno a la modelación estocástica de regresión simple y múltiple de variables asociadas al negocio de café, encontrándose modelos no lineales simples altamente significativos (valor $p = 0,0000$) de variables como consumo doméstico en miles de sacos, las existencias iniciales brutas, el precio pagado a productores y el precio del café en bolsa de Nueva York. A su vez, se aprecia que se consolidan modelos de regresión múltiples altamente significativos entre las variables

precio pagado a productores, precio de café en bolsa de Nueva York y la diferencia entre ambos precios (valor $p = 0,0000$), quienes a su vez denotan su alta bondad de ajuste y potencial para la proyección predictiva de dichas variables desde el contexto estocástico sin olvidar la importancia del razonamiento propio de las dinámicas de mercado propio del análisis fundamental del mismo.

Palabras clave: Coffea, modelamiento, regresión, no linealidad.

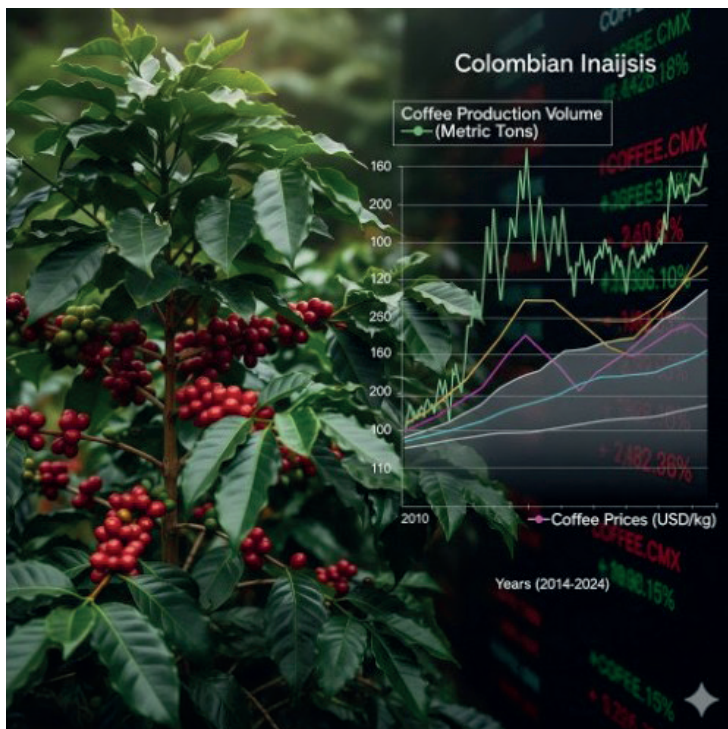
ABSTRACT

This research work revolves around the stochastic modeling of simple and multiple regression of variables associated with the coffee business; finding highly significant simple nonlinear models (p value = 0.0000) of variables such as domestic consumption in thousands of bags, initial gross stocks, the price paid to producers and the price of coffee on the New York stock exchange. In turn, it can be seen that highly significant multiple regression models are consolidated between the variables price paid to produ-

cers, price of coffee on the New York Stock Exchange and the difference between both prices (value $p=0.0000$), who in turn denote its high goodness of fit and potential for the predictive projection of said variables from the stochastic context without forgetting the importance of the reasoning of the market dynamics of its fundamental analysis.

Keywords: *Coffea*, Modeling, Regression, Nonlinearity.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores (2025).

1 INTRODUCCIÓN

Lograr un rendimiento agrícola sostenible requiere no solo promover el crecimiento agrícola sino también reducir la inestabilidad de la producción. La agricultura, un sector clave para garantizar la seguridad alimentaria y mantener la estabilidad macroeconómica para muchos países productores de café, incluida Colombia, es vulnerable a los desastres naturales, como fenómenos climáticos y ataque de plagas y enfermedades (Swain, 2014; FAO, 2021), lo cual conlleva a una inestabilidad en la producción que, a su vez, aumenta la inestabilidad de los precios y la vulnerabilidad de los productores del

campo, exponiéndolos a las fuerzas del mercado, sumado a que esto trae consigo un impacto en la gestión alimentaria y la estabilidad macroeconómica de un país tal como lo resaltan Chand y Raju (2009) y FAO (2015).

Es importante agregar que el crecimiento agrícola es crucial para el desarrollo económico de los países en desarrollo, donde la política para el crecimiento agrícola se puede lograr a través de la expansión de la misma, tanto a nivel horizontal como vertical, lo que implica, además, expandir el área de tierras con enfoque agroindustrial e introducir

tecnologías modernas que ayuden a aumentar la productividad, lo que aseveran Pretty y Bharucha (2014) y El-Rasoul et al. (2020). No obstante, se ha planteado la hipótesis de que la producción en campo debe ser mediada principalmente por el uso de tecnologías agrícolas modernas, como una mejor estrategia en contraposición a la expansión de la frontera agrícola, ya que esto conduce a fenómenos de deforestación (Angelsen & Kaimowitz, 2001; Azadi et al., 2011; Laurant et al., 2014). En consecuencia, se cree que el avance y uso de la tecnología agrícola contribuye a un sistema agrícola más sostenible que promueve la mejora continua de la producción agrícola.

Sin embargo, numerosos investigadores en el ámbito de la producción agrícola enfatizan que el crecimiento económico —entendido dentro de un marco de sostenibilidad—, así como la variabilidad climática y de precios, se han consolidado como indicadores clave para evaluar el desempeño de este sector, tal como lo resalta Sen (1967), quien primero observó un vínculo causal entre el crecimiento de la productividad agrícola y la inestabilidad y planteó la hipótesis de que la variabilidad en la producción aumenta a medida que el cultivo se expande a tierras marginales y aumenta el uso de insumos comprados, sumado a lo planteado por Rao (1975), quien argumentó que el crecimiento basado en la productividad da como resultado una mayor variabilidad de la producción porque la variabilidad de la productividad es mucho mayor que la variabilidad del área. Posteriormente, Narain (1977) también cuestionó si la tecnología de semillas y fertilizantes aumenta o no la pro-

ductividad y disminuía la variabilidad de la producción, ya que de manera similar, algunos estudios recientes, como los de Chand & Raju (2009), Ayalew & Sekar (2016), Ikue-monisan et al. (2020) y Sadiq et al. (2020), que examinaron los impactos del cultivo en tierras marginales adicionales y la adopción de tecnologías mejoradas en la variabilidad de la producción de cultivos, mostrándose una menor variabilidad de la producción debido a la adopción de tecnología moderna sumado a la expansión marginal de la tierra, mientras que otros, como Mahir & Abdela-ziz (2011); Hemant (2015) y Deb & Soumitra (2015), informaron lo contrario, lo cual sigue dejando abierto el debate con respecto a la búsqueda de una productividad sostenible para los agricultores.

Desde una mirada territorial, la agricultura juega un papel clave en la economía colombiana, contribuyendo positiva y significativamente con el PIB y en la campaña comercial 2020/21. Destacándose que, el país ganó 4406 millones de dólares estadounidenses por concepto de exportaciones agrícolas (MAC, 2021) y donde la industria del café en Colombia posee un rol históricamente preponderante, dada su contribución a la economía nacional en general y a las exportaciones en particular (FCC, 2021), reportando un crecimiento del 21,4 % para 2021, apoyando sustancialmente a la producción agrícola total.

Es de resaltar que el café es una bebida no solo apreciada en países que tienen tradición en su comercio. Debido a la importancia de su comercialización, la industria del café es expresiva de la economía mundial (Novanda

et al., 2018) y de acuerdo con la información más reciente proporcionada por la Organización Internacional del Café, el consumo de la cosecha de café de abril de 2019 a marzo de 2020 fue de 164,2 millones de sacos de 60 kg en el mundo y la previsión, y se proyectó un aumento de 1,3 % para el próximo año (OIC, 2020).

El consumo interno de café y la exportación han movido la balanza comercial internacional; sin embargo, las exportaciones de café están sujetas a fluctuaciones de precios, lo que genera riesgos para los agricultores, importadores, instituciones de comercialización y consumidores (Novanda et al., 2018). Según Consuegra & Garcia-Verdugo (2017), así como Cuaresma et al. (2018), esto se debe a la volatilidad causada por los cambios en las tendencias de los precios del mercado mundial.

Los mismos autores afirman que las metodologías utilizadas para predecir los precios de las materias primas son cada vez más importantes, a pesar de las dificultades intrínsecas relacionadas con este tema. Cuando los resultados generados son consistentes, ayudan no solo a la toma de decisiones, sino a toda la cadena productiva, tal como lo resaltan Bacci et al. (2019). Por lo tanto, se vuelve relevante investigar nuevas estrategias y herramientas para superar este problema y, debido a la importancia del tema, se han desarrollado estudios relevantes sobre la previsión del precio del café en diferentes lugares del mundo, siendo los modelos estadísticos y el análisis cuantitativo una alternativa para la búsqueda de patrones para la toma de decisión en aspectos económicos.

Tal es el caso de Milas et al. (2004) que desarrollaron modelos de corrección de errores lineales y no lineales para los precios al contado de cuatro tipos diferentes de café, como son arábica sin lavar (Brasil), arábica suave colombiano (Colombia), otros arábica suave (de otros países de América Latina) y robusta (de África y Asia). Por otro lado, autores como Naveena (2017) y Naveena et al. (2017) utilizaron modelos lineales como enfoques exponenciales (modelo de Holt, modelo de tendencia lineal de Brown, método de suavizado exponencial estacional de Winter, Holt-Winters, ARIMA, GARCH), redes neuronales artificiales y cadenas de Markov para el pronóstico del precio y la posterior exportación del café indio.

Ayyanathan & Kannammal (2014) utilizaron una red neuronal artificial (ANN) y una máquina de vectores de soporte (SVM) para la predicción de precios de una empresa líder en exportación de café verde en el mercado de valores indio. Los mismos autores desarrollaron un sistema de soporte de decisiones cognitivas para la cadena de suministro de café verde indio basado en modelos ARIMA y Least Square SVR para resolver el mismo problema. Además, enfoques lineales como los modelos de media móvil integrada autorregresiva (ARIMA) han sido ampliamente utilizados para la previsión del precio del café en estudios como los de Ayyanathan & Kannammal (2014), Fousekis (2017) y Yashavanth et al. (2017) y, si bien estas investigaciones demuestran la viabilidad de dichas metodologías estadísticas para el seguimiento y la inteligencia de negocios en el sector cafetero, la literatura aún presenta vacíos en cuanto a la aplicación y compara-

ción sistemática de técnicas de regresión — tanto simples como múltiples, lineales y no lineales— específicamente para variables de producción y precios del café colombiano. En particular, se ha prestado menor atención a la modelación estocástica que integre simultáneamente variables clave como el precio pagado al productor, el precio en bolsa y sus diferencias, así como a la evaluación de su capacidad predictiva en el contexto de la volatilidad del mercado local. Este estudio busca abordar dicha brecha, proponiendo y validando modelos de regresión adaptados a la dinámica propia del café colombiano, con el fin de ofrecer herramientas robustas para la toma de decisiones estratégicas en el sector.

Es de agregar que el presente estudio gira en torno a desarrollar y evaluar modelos de regresión simple y múltiple para pronosticar variables de producción y precios del café colombiano, con el fin de contribuir a la toma de decisiones estratégicas en el sec-

tor cafetero, soportado en tres objetivos específicos esenciales que son, en primera instancia, identificar y modelar relaciones no lineales significativas entre variables clave del sector cafetero (como consumo doméstico, existencias iniciales brutas, precio pagado a productores y precio en bolsa de Nueva York) y el tiempo, mediante técnicas de regresión simple. Posteriormente, construir y validar modelos de regresión múltiple que expliquen la variabilidad del precio pagado a productores y del precio en bolsa del café colombiano, considerando variables predictoras como producción total, consumo doméstico, exportaciones y diferencias de precios y, finalmente, analizar la capacidad predictiva y la bondad de ajuste de los modelos propuestos, contrastando los resultados con hallazgos previos en la literatura y reflexionando sobre su aplicabilidad en el contexto del mercado cafetero colombiano.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Datos y fuentes de datos

Este estudio utiliza datos secundarios obtenidos de la Organización Internacional del Café de datos de precios mundiales/internacionales del café colombiano para el periodo comprendido desde 1990 hasta 2020 para los datos anuales de las variables producción total (número de sacos de 60 kg), consumo doméstico (número de sacos de 60 kg), existencias iniciales brutas (número de sacos de

60 kg), exportaciones de todas las formas de café (número de sacos de 60 kg), precio pagado a cultivador (centavos de dólar por libra), precio en bolsa de Nueva York (centavos de dólar por libra), así como la diferencia del precio del café en bolsa menos el precio al productor, reportadas en las bases de dicha organización por medio de su website https://www.ico.org/es/new_historical_c.asp, respectivamente.

Modelos de pronóstico

Modelos de regresión simple

El método de regresión simple se soporta en el criterio de una variable Y_i (producción total, consumo doméstico, existencias iniciales brutas, exportaciones de todas las formas de café, precio pagado a cultivador, precio en bolsa de Nueva York), en función de una variable X_i y dicho modelo puede ser de tipo lineal o no lineal (cuadrática, curva S, logarítmica, etc.), para modelar variables individuales (como consumo, existencias y precios), en función del tiempo, respectivamente, el cual se validó para cada variable de análisis en función de la variable X_i tiempo en años:

$$Y_i = f(X_i, \text{tiempo en años})$$

Y su validación se llevó a cabo con base en el análisis de varianza y coeficiente de determinación R^2 .

Bajo un criterio algebraico es de la presente forma:

$$\hat{\beta} = \left(\begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix} \right)^{-1} \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}$$

Y su validación, al igual que en regresión lineal simple, se llevó a cabo con base en el análisis de varianza y coeficiente de determinación R^2 , como se mencionó con antelación.

Para el presente estudio, los modelos de regresión múltiples desarrollados fueron:

Modelos de regresión múltiple

Adicionalmente, se utilizaron modelos de regresión lineal múltiple, mediante el método Forward para identificar las variables predictoras más significativas (como precio en bolsa y diferencia de precios), validando los modelos mediante análisis de varianza (ANOVA) y coeficiente de determinación R^2 .

Esta tipología de modelos se soporta en el criterio que una variable y_i se analiza a partir de dos o más variables predictoras x_i , siendo de la siguiente forma:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i$$

Indica que, existen diversas variables independientes x_i que explican a y_i .

Para la estimación de los betas o parámetros del modelo se resuelve a través de la siguiente forma:

$$\hat{\beta} = (x'x)^{-1} * (x'y)$$

- Precio pagado a productores (US) en función de las variables predictoras o independientes: año, producción total (miles de sacos), consumo doméstico (miles de sacos), existencias iniciales brutas, exportaciones de todas las formas de café, precio en bolsa café colombiano y diferencia entre precios, respectivamente.

- Precio en bolsa café colombiano en función de las variables predictoras: año, producción total (miles de sacos, consumo doméstico (miles de sacos), Existencias iniciales brutas, exportaciones de todas las formas de café, precio pagado a productores (US) y diferencia entre precios, respectivamente.

Es importante resaltar que se aplicaron pruebas del tipo Forward (paso a paso) para cada modelo de regresión, con el fin de obtener el modelo que mayor significancia alcanzaba con el menor número de variables predictoras (criterio de parsimonia).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelos de regresión simple

Al realizar los respectivos modelos de regresión producción total, consumo doméstico, existencias iniciales brutas, exportaciones de todas las formas de café, pre-

cio pagado a cultivador, precio en bolsa de Nueva York, el presente cuadro resume la variable en función del tiempo en años, el modelo, su significancia y coeficiente de determinación (R^2), respectivamente (Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1.

Resumen de modelos de regresión para las diferentes variables

Variable	Tipo	Modelo	Valor p	R2
Producción total (miles de sacos)	Cuadrado-Y inversa de X	$\text{Produccion total} = \sqrt{-1,55509 \text{ E}9 + \frac{3,41581 \text{ E}12}{\text{Año}}}$	0,4816	1,78
Consumo doméstico (miles de sacos)	Cuadrado doble	$\text{Consumo Doméstico} = \sqrt{5,39665 \text{ E}7 + 13,9366 * \text{Año}^2}$	0,0000**	53,23
Existencias iniciales brutas	Curva S	$\text{Existencias iniciales brutas} = e^{-132,305 + \frac{280242}{\text{Año}}}$	0,0000**	82,74
Exportaciones de todas las formas de café	Doble inverso	$\text{Exportaciones} = \frac{1}{0,000953793 - \frac{1,7238}{\text{Año}}}$	0,2792	4,17
Precio pagado a productores (US centavos)	Curva S	$\text{Precio} = e^{60,8937 - \frac{112907}{\text{Año}}}$	0,0003**	35,52
Precio en bolsa de Nueva York (US centavos)	Log Y - Cuadrado X	$\text{Precio bolsa} = e^{-79,5375 + 1,88473 * \sqrt{\text{Año}}}$	0,0071**	20,43

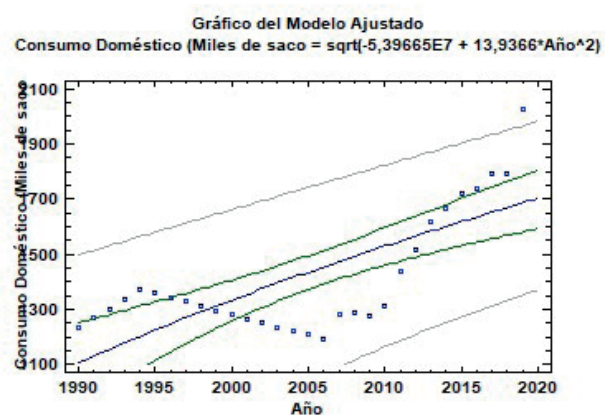
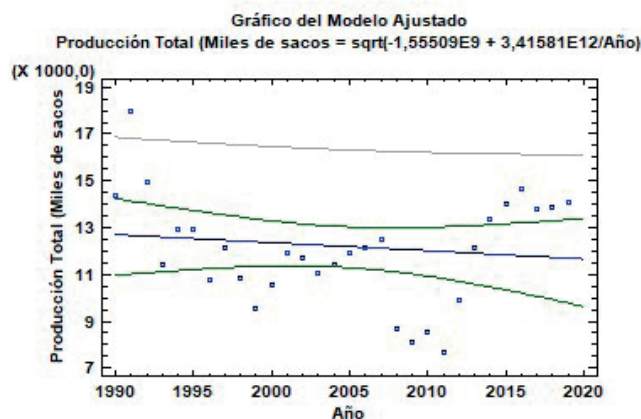
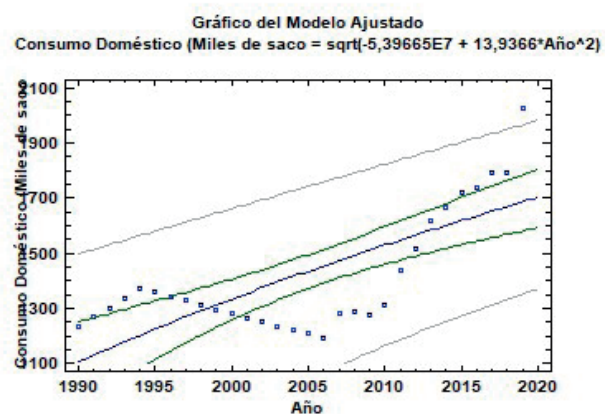
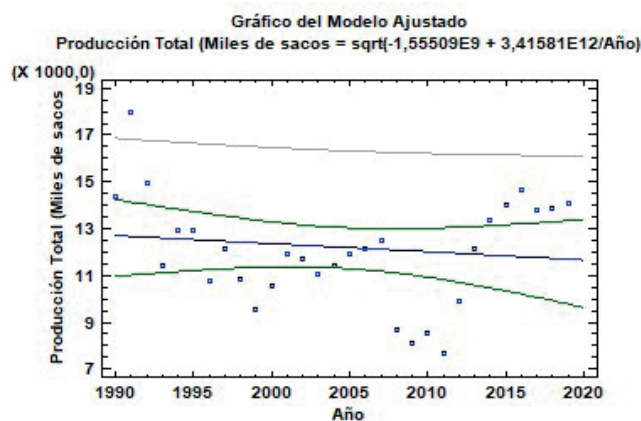
** Efecto altamente significativo

Fuente: autores (2022).

Como se aprecia en la tabla 1, los modelos para consumo doméstico, existencias iniciales brutas, precio pagado a productores y precio en bolsa de Nueva York son altamente significativos, lo cual brinda la posibilidad de pronósticos en función del tiempo en años, que corrobora lo planteado por Sen (1967), Rao (1975), Chand & Raju (2009), FAO (2015), Novanda et al. (2018) y Consuegra y Garcia-Verdugo (2017), quienes también resaltan dichos aspectos. Por otro

lado, la producción total y las exportaciones de todas las formas de café no son significativas, denotando su falta de representatividad estadística, posiblemente por aspectos de volatilidad de mercados y la inestabilidad de la producción por factores climáticos, como lo resaltan Cuaresma et al. (2018).

Como se mencionó con antelación, para todos los casos, los modelos son no lineales, lo cual se evidencia en la figura 1.



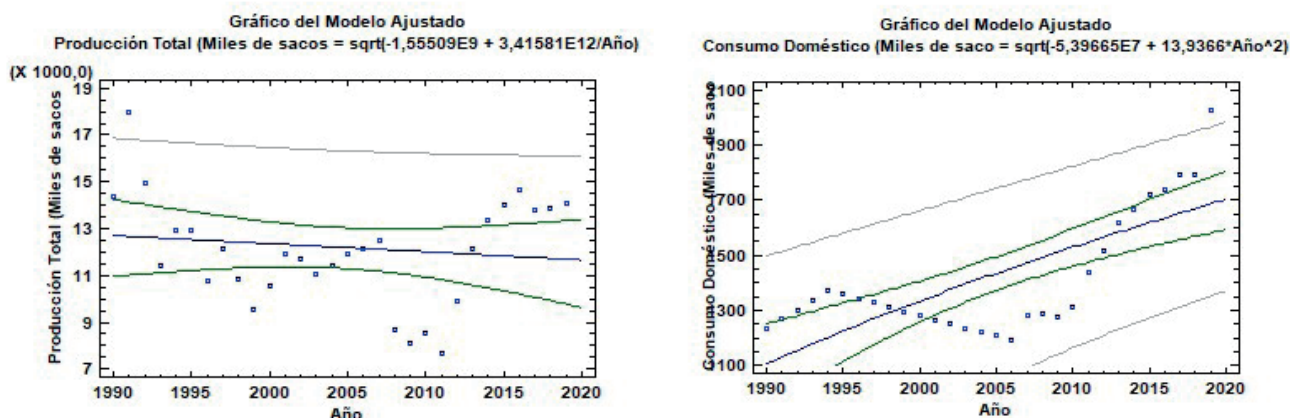


Figura 1. Tipologías de modelos para producción de café

Fuente: Los autores (2022)

De lo anterior, se evidencia la no linealidad del comportamiento de las diferentes variables en función del tiempo en años; no obstante, solo se aprecia una disminución en la variable “existencias iniciales brutas”, mientras que en las demás variables se encontró un comportamiento discernible no lineal, lo cual conlleva a la necesidad de análisis de las series temporales en su respectiva descomposición en tendencia, ciclo, estacional e irregular con el fin de determinar posibles patrones temporales y potenciales anomalías estadísticas, corroborando así lo planteado previamente con respecto a los diferentes autores mencionados para el seguimiento de inteligencia analítica de café.

Regresiones lineales múltiples

Regresión lineal múltiple para precio pagado a productores (US)

La variable “precio pagado a productores” se contrastó con las variables predictoras año, producción total (miles de sacos), consumo doméstico (miles de sacos), existencias iniciales brutas, exportaciones de todas las formas de café, precio en bolsa café colombiano y diferencia entre precios, respectivamente.

Al realizar el análisis del modelo de regresión lineal múltiple con base en el método Forward se encontró que las variables de mayor representatividad sobre el precio pagado a los productores son el precio en bolsa del café colombiano y la diferencia entre precios (Tabla 2), siendo ambas altamente significativas.

Tabla 2.

Variables representativas del modelo

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
CONSTANTE	0,0015759	0,00156216	1,0088	0,3220
Precio en bolsa café colombiano	0,999978	0,000014213	70356,7	0,0000**
Diferencia entre precios	-0,999947	0,0000520976	-19193,7	0,0000**

** Efecto altamente significativo

Fuente: autores (2022).

A su vez, al realizar el respectivo análisis de varianza (Tabla 3), se aprecia que el modelo es altamente significativo (valor p = 0,0000).

Tabla 3.

Análisis de varianza para precio pagado a productores

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	54449,7	2	27224,8	3229324077,86	0,0000**
Residuo	0,000227624	27	0,0000084305		
Total (Corr.)	54449,7	29			

** Efecto altamente significativo

Fuente: autores (2022).

Es de resaltar, además, que el coeficiente de determinación R-cuadrado fue igual a 100 %, demostrándose que el precio pagado a productores depende esencialmente de las

variables de precio en bolsa del café colombiano y la respectiva diferencia entre precios y cuyo modelo de regresión es:

$$\text{Precio pagado a productores (US)} = 0,0015759 + 0,999978 * \text{Precio en bolsa café colombiano} - 0,999947 * \text{Diferencia entre precios}$$

Al realizar el análisis entre los valores observados (datos históricos) y los predichos (generados por el modelo de regresión al remplazar los valores de las variables pre-

dictoras en la ecuación) se observa una alta bondad de ajuste que ratifica la idoneidad del modelo (Figura 2).

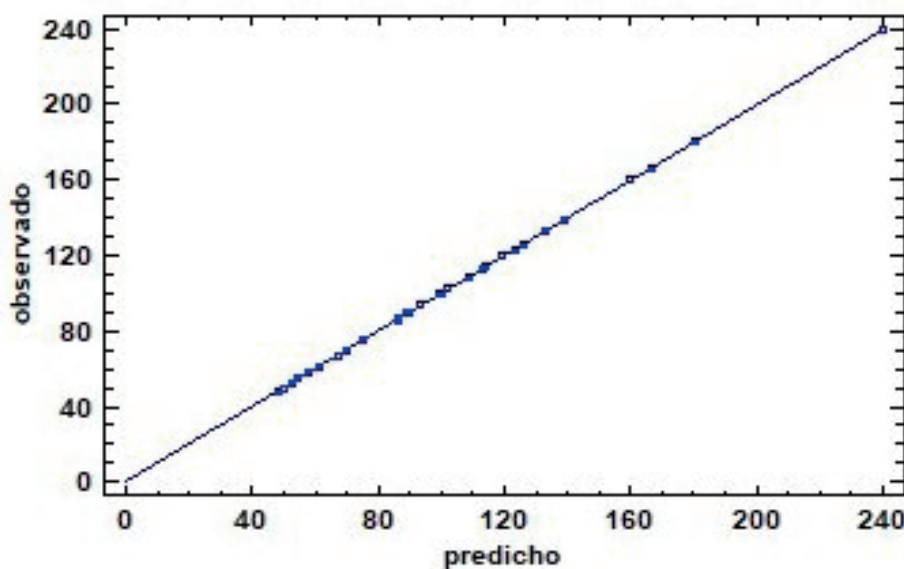


Figura 2. Gráfico de precio pagado a productores

Regresión lineal múltiple para precio en bolsa café colombiano

La variable “precio en bolsa café colombiano” se contrastó con las variables predictoras año, producción total (miles de sacos), consumo doméstico (miles de sacos), existencias iniciales brutas, exportaciones de todas las formas y precio pagado a productores (US), respectivamente.

Al realizar el análisis del modelo de regresión lineal múltiple con base en el método Forward se encontró que las variables de mayor representatividad sobre el precio en bolsa del café colombiano son el precio pagado a productores (US) y la diferencia entre precios en bolsa del café colombiano son el precio pagado a los proveedores; así como la diferencia entre precios (Tabla 4), siendo ambas altamente significativas.

Tabla 4.

Variables representativas del modelo

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
CONSTANTE	-0,00157563	0,0015622	-1,00859	0,3221

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
Precio pagado a productores (US)	1,00002	0,0000142136	70356,7	0,0000**
Diferencia entre precios	0,999969	0,000043722	22871,1	0,0000**

** Efecto altamente significativo

Fuente: autores (2022).

A su vez, al realizar el respectivo análisis de varianza (Tabla 5), se aprecia que el modelo es altamente significativo (valor p = 0,0000).

Tabla 5.

Análisis de varianza para precio pagado a productores

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	77315,7	2	38657,8	4585271260,46	0,0000**
Residuo	0,000227634	27	0,00000843087		
Total (Corr.)	77315,7	29			

** Efecto altamente significativo

Fuente: autores (2022).

Es de resaltar, además, que el coeficiente de determinación R-cuadrado fue igual a 100 %, demostrándose que el precio en bolsa del café colombiano depende esencialmente

de las variables de precio pagado a productores y la respectiva diferencia entre precios y cuyo modelo de regresión es:

$$\text{Precio en bolsa café colombiano} = -0,00157563 + 1,00002 * \text{Precio pagado a productores (US)} + 0,999969 * \text{Diferencia entre precios}$$

Al realizar el análisis entre los valores observados (datos históricos) y los predichos (generados por el modelo de regresión al remplazar los valores de las variables pre-

dictoras en la ecuación) se observa una alta bondad de ajuste que ratifica la idoneidad del modelo (Figura 3).

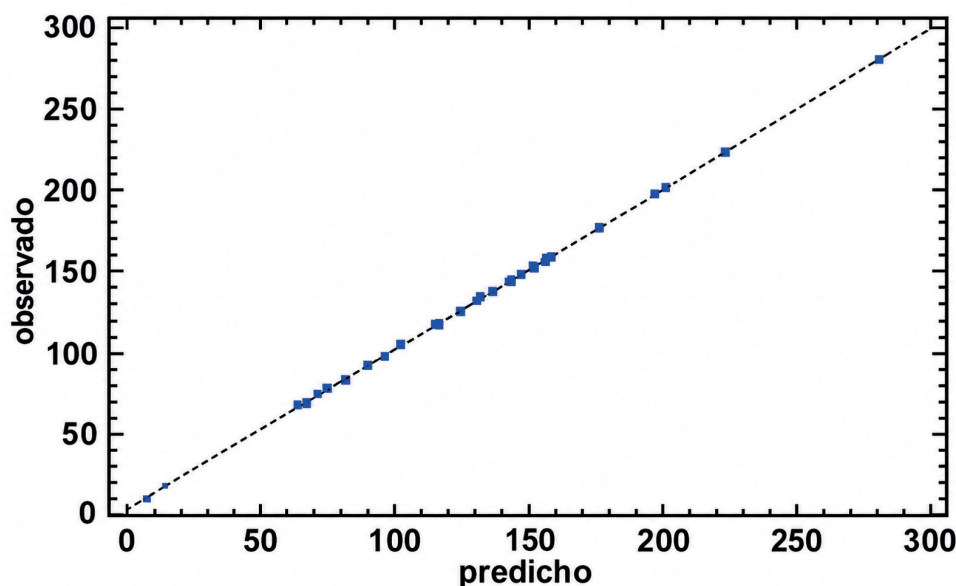


Figura 3. Gráfico de precio en bolsa de café colombiano

Al realizar un ejercicio reflexivo de ambos modelos de regresión lineales múltiples, se corrobora lo mencionado por autores como Sen (1967), Rao (1975), Chand y Raju (2009), FAO (2021), Novanda et al. (2018) y Consuegra y Garcia-Verdugo (2017), así como por Bacci et al. (2019), Milas, Otero y Panagiotidis (2004), Naveena (2015) y Naveena et al. (2017), quienes destacan la bondad de ajuste de los modelos estocásticos en el ámbito agrícola. Sin embargo, la contribución distintiva de este trabajo radica en la aplicación sistemática de modelos no lineales simples y múltiples para variables específicas del café colombiano, lo que permite cuantificar con precisión relaciones que estudios previos habían abordado principalmente desde enfoques lineales o genéricos.

Además, este estudio evidencia metodológicamente que, en el contexto colombiano, el precio pagado al productor no solo se correlaciona con el precio en bolsa de Nueva York, sino que depende funcional y casi determinadamente de este y de la diferencia entre ambos precios, con un ajuste del 100 % en los modelos múltiples. Esto no solo valida hipótesis anteriores, sino que proporciona un marco cuantitativo robusto para la planificación estratégica de la agroindustria cafetera local, destacando la importancia de modelar explícitamente la no linealidad y las interacciones entre variables, lo cual puede orientar políticas de estabilidad de precios y mitigación de riesgos para los productores.

4 CONCLUSIONES

Con base en los análisis en el presente estudio se puede concluir que:

- Los modelos de regresión simple no lineal desarrollados para variables como el consumo doméstico, las existencias iniciales brutas, el precio pagado a productores y el precio en bolsa de Nueva York resultaron estadísticamente significativos ($p < 0.01$), lo que valida su utilidad para realizar pronósticos temporales de estas variables en el sector cafetero colombiano.
- Por el contrario, los modelos de regresión simple para la producción total y las exportaciones de café no fueron estadísticamente significativos, lo que sugiere que estas variables presentan una alta volatilidad y están influenciadas por factores no capturados por el tiempo, como condiciones climáticas, dinámicas de mercado global y competencia internacional.
- Los modelos de regresión múltiple demostraron que el precio pagado a los productores puede explicarse casi en su totalidad (R^2 aproximado al 100 %) por el precio en bolsa del café colombiano y la diferencia entre ambos precios. De igual forma, el precio en bolsa se explica principalmente por el precio al productor y dicha diferencia, confirmando una relación estructural fuerte entre estas variables.
- Desde una perspectiva contextual, se corrobora que en el mercado cafetero colombiano el precio al productor está funcionalmente determinado por el precio de referencia en la bolsa de Nueva York, lo que resalta la importancia de este indicador externo para la planificación estratégica y la toma de decisiones en la agroindustria cafetera local.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Autor 1: investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

Autor 2: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la doctora Bibiana Vélez Medina, rectora delegataria y a la doctora María Angélica Ortiz Salazar, líder de investigaciones de la Universidad La Gran Colombia, por siempre animarnos a

investigar y promover la cultura investigativa en los estudiantes de nuestra universidad.

Asimismo, deseamos rendir un sentido homenaje póstumo a Luis Alfonso Giraldo

González, quien fuera un gran conocedor y amante del café y que, a su vez, fue pieza

esencial del desarrollo cafetero de Buenavista, Quindío (Colombia).

FINANCIAMIENTO

El presente trabajo hace parte del proyecto “Establecimiento de factores de sostenibilidad para la agroindustria de cafés de

origen del departamento del Quindío” financiado por la Universidad La Gran Colombia, Sede Armenia, para la vigencia 2024.

USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Fue utilizada la inteligencia artificial en la generación del resumen gráfico, a través de la plataforma Gemini.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

LITERATURA CITADA

cAngelsen, A. & Kaimowitz, D. (Eds.), (2001). *Agricultural Technologies and Tropical Deforestation*. CABI.

Ayalew, B. & Sekar, I. (2016). Trends and regional disparity of maize production. *India. J. Development and Agricultural Economics*, 8(9), 193-199. https://www.researchgate.net/publication/308741013_Trends_and_regional_disparity_of_maize_production_in_India

Ayyanathan, N. & Kannammal, A. (2014). Share price time series forecasting for effective supply chain information exchange. *International Journal of Logistics Sys-*

tems and Management, 18(1), 139-158. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2014.062125>

Azadi, H., Ho, P. & Hasfiati, L. (2011). Agricultural land conversion drivers: a comparison between less developed, developing and developed countries. *Land Degradation & Development*, 22(6), 596-604. https://www.researchgate.net/publication/227698151_Agricultural_land_conversion_drivers_A_comparison_between_less_developed_developing_and_developed_countries

Bacci L. A., Mello L. G., Incerti T., Paiva A. P. & Balestrassi P. P. (2019). Optimization of combined time series methods to

- forecast the demand for coffee in Brazil: A new approach using Normal Boundary Intersection coupled with mixture designs of experiments and rotated factor scores. *International Journal of Production Economics*, 212, 186-211. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527319300878>
- Chand, R. & Raju, S. S. (2009). Instability in Indian agriculture during different phases of technology and policy. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 64(2), 188-207.
- Consuegra M. & Garcia-Verdugo J. (2017). Measuring the functional efficiency of agricultural futures markets. *Australian Agricultural and Resource Economics Society*, 61(2), 232-46.
- Cuaresma, C. J., Hlouskova, J. & Obersteiner, M. (2018). Fundamentals, speculation or macroeconomic conditions? Modeling and forecasting Arabica coffee prices. *European Review of Agricultural Economics*, 45, 583-615.
- Deb, U. & Soumitra, P. (2015). Groundnut production performance in Bangladesh: a district level analysis. *Economic Affairs*, 60(3), 391-400.
- El-Rasoul, A. A. E. Y., Shehab, S. M. H. & Maghraby, H. E. S. (2020). Trends and Decomposition Growth Analysis of the Most Important Cereal Crops in Egypt. MPRA Paper No. 100231. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclcfndmkaj/https://mpra.ub.uni-muenchen.de/100231/8/MPRA_paper_100231.pdf](https://www.mpra.ub.uni-muenchen.de/100231/8/MPRA_paper_100231.pdf)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2015). Climate Change and Food Security: Risks and Responses. <http://www.fao.org/3/i5188e/i5188e.pdf>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2021). The Impact of Disasters and Crises on Agriculture and Food Security. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclcfndmkaj/https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/30c0d98d-1c21-48ef-b5d9-8d988e6fa6f2/content](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/30c0d98d-1c21-48ef-b5d9-8d988e6fa6f2/content)
- Federación de Cafeteros de Colombia [FCC]. 2021. <https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/cafe-crece-214-en-primer-trimestre-y-jalona-pib-agropecuario-de-33/#:~:text=Bogot%C3%A1%2C%20mayo%2018%20de%202021,agropecuario%20de%203%2C%25>
- Fousekis, P. (2017). Price co-movement and the hedger's value-at-risk in the futures markets for coffee. *Agricultural Economics Review*, 18, 35-47.
- Hemant, S. (2015). Growth and instability of wheat production in Rajasthan. *Indian Journal of Economics and Development*, 11(4), 945-950. https://www.researchgate.net/publication/283478760_Growth_and_instability_of_wheat_production_in_Rajasthan
- Ikuemonisan, E. S., Mafimisebi, T. E., Ajibefun, I. & Adenegan, K. (2020). Cassava production in Nigeria: trends, instability and decomposition analysis (1970-2018). *Heliyon*, 6(10), e05089. <https://www>

- sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020319320
- Laurance, W. F., Sayer, J. & Cassman, K. G. (2014). *Agricultural expansion and its impacts on tropical nature*. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(2), 107-116. https://www.researchgate.net/publication/259586244_Agricultural_expansion_and_its_impacts_on_tropical_nature
- Mahir, M. E. & Abdelaziz, H. H. (2011). Analysis of agricultural production instability in the Gezira scheme. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(2), 53-58. https://www.researchgate.net/publication/271882478_Analysis_of_agricultural_production_instability_in_the_Gezira_scheme
- Milas C., Otero J. & Panagiotidis, T. (2004). Forecasting the spot prices of various coffee types using linear and non-linear error correction models. *International Journal of Finance and Economics*, 9, 227-88.
- Ministerio de Agricultura de Colombia [MAC]. (2021). <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-creci%C3%B3-3,8-en-el-PIB-del-segundo-trimestre-de-2021.aspx>
- Narain, D. (1977). Growth of productivity in Indian agriculture. *Indian Society of Agricultural Economics*, 32(01), 1-44.
- Naveena K. (2017). Statistical modelling for forecasting of price and export of Indian coffee Doctoral dissertation. India: Institute of Agricultural Sciences, Banaras Hindu University; 2015. [8] Naveena K, Singh S, Singh A. Hybrid time series modelling for forecasting the price of washed coffee (Arabica Plantation Coffee) in India. *International Journal of Agriculture Sciences*, 9(10), 4004-7.
- Naveena K., Singh Subedar, Rathod Santosha, Singh Abhishek. (2017). Hybrid ARIMA-ANN modelling for forecasting the price of Robusta coffee in India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 1721-6.
- Novanda R. R., Sumartono E., Asriani P. S., Yuliarti E., Sukiyono K., Priyono B. S., Irnad, Reswita, Suryanty, M. & Octalia, V. (2018). A comparison of various forecasting techniques for coffee prices. *Journal of Physics.: Conf. Ser.* 1114:012119. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1114/1/012119>
- Organización Internacional del Café [OIC]. (2020). *Coffee Market Report*. http://dev.ico.org/show_news.asp?id=747
- Pretty, J. & Bharucha, Z. P. (2014). Sustainable intensification in agricultural systems. *Annals of Botany*, 114(8), 1571-1596. <https://academic.oup.com/aob/article-abstract/114/8/1571/210078?redirected-From=fulltext>
- Rao, C. H. (1975). Technological Change and Distribution of Gains in Indian Agriculture. Institute of Economic Growth. The Macmillan Co.
- Sadiq, M. S., Singh, I. P. & Ahmad, M. M. (2020). A paradigm shift from area-led to productivity-led production of maize in Nigeria. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 5(2). <https://doi.org/10.20372/jaes.v5i2.451>

Sen, S. R. (1967). Growth and Instability in Indian Agriculture. Address to the 20th Annual Conference of the Indian Society of Agricultural Statistics, <http://isas.org.in/jisas/volume/1-%2520GROWTH%2520AND%2520INSTABILITY%2520IN%2520INDIAN.pdf>

Swain, M. (2014). Sources of growth and instability in agricultural production in western Odisha, India. *Asian Journal of Agricultural Development*, 11(2), 51-70. <https://ajad.searca.org/article?p=467>

Yashavanth B. S., Singh K. N., Paul A. & Paul R. K. (2017). Forecasting prices of coffee seeds using Vector Autoregressive Time Series Model. *Indian Journal of Agricultural Science*, 87(6), 754-8. <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAgS/article/view/70960>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.