

## ORIGINAL ARTICLE

**Prediction of the export price of pitahaya in Ecuador using the SARIMAX model*****Predicción del precio de pitahaya para exportación en Ecuador mediante el modelo SARIMAX***Elían Jesús García Bailón<sup>1</sup>    
Sonia Monserrate Párraga Muñoz<sup>1</sup>  <sup>1</sup>Universidad San Gregorio de Portoviejo, Ecuador.**How to cite:** García, E. J., & Párraga, S. M. (2026). Prediction of the export price of pitahaya in Ecuador using the SARIMAX model. *Revista San Gregorio*, 1(66), 100-110. <http://dx.doi.org/10.36097/rsan.v1i66.3862>

Received: 05-09-2025

Accepted: 08-06-2026

Published: 30-06-2026

**ABSTRACT**

This study aims to predict the export price of dragon fruit in Ecuador through the application of the SARIMAX model, using variables associated with the historical behavior of prices and monthly export volume, to generate useful information for producers' decision-making. The research adopted a quantitative approach, with a predictive scope and a non-experimental design. Monthly time series of the average price per kilogram of dragon fruit were analyzed for the period from September 2021 to May 2025, based on records from producers in the province of Manabí. A SARIMAX model with an annual seasonal component was estimated, incorporating monthly export volume as an exogenous variable. The model made it possible to identify seasonal patterns and price variations associated with exportable supply. The inclusion of the exogenous variable provided greater sensitivity to market changes, especially during periods of higher product availability. The metrics obtained showed acceptable performance for predictive purposes, with a MAPE of 12.45%. It is concluded that the SARIMAX model constitutes a useful statistical tool for anticipating price fluctuation scenarios in dragon fruit exports. Its application may contribute to improving production and commercial planning, although the incorporation of additional external variables is recommended to strengthen its predictive accuracy.

**Keywords:** Dragon fruit; Price forecasting; Time series; Agricultural exports; Ecuador.**RESUMEN**

El presente estudio se propone predecir el precio de la pitahaya de exportación en Ecuador mediante la aplicación del modelo SARIMAX, con variables asociadas al comportamiento histórico del precio y al volumen mensual exportado, para generar información útil para la toma de decisiones de los productores. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, de alcance predictivo y diseño no experimental. Se analizaron series temporales mensuales del precio promedio por kilogramo de pitahaya, correspondientes al periodo septiembre de 2021-mayo de 2025, a partir de registros de productores de la provincia de Manabí. Se estimó un modelo SARIMAX con componente estacional anual e incorporación del volumen mensual exportado como variable exógena. El modelo permitió identificar patrones estacionales y variaciones del precio asociadas a la oferta exportable. La inclusión de la variable exógena aportó mayor sensibilidad a los cambios del mercado, especialmente en periodos de mayor disponibilidad del producto. Las métricas obtenidas evidenciaron un desempeño aceptable para fines predictivos, con un MAPE de 12,45 %. Se concluye que el modelo SARIMAX constituye una herramienta estadística útil para anticipar escenarios de fluctuación del precio de la pitahaya de exportación. Su aplicación puede contribuir a mejorar la planificación productiva y comercial, aunque se recomienda incorporar nuevas variables externas para fortalecer su precisión predictiva.

**Palabras clave:** Pitahaya; Predicción de precios; Series temporales; Exportación agrícola; Ecuador.

## INTRODUCCIÓN

La pitahaya es una fruta de creciente reconocimiento internacional, atribuible tanto a sus propiedades nutricionales como a sus potenciales beneficios para la salud. Este interés sostenido ha impulsado oportunidades para que diversos países fortalezcan sus procesos de producción, comercialización y exportación, consolidando a este producto como un rubro agrícola con impacto en los mercados globales (Debnath et al., 2024). El informe sobre el mercado mundial de la pitahaya elaborado por Mordor Intelligence (2025) señala que, en 2025, este mercado superaría los USD 25.000 millones, con una proyección de crecimiento hasta alcanzar los USD 30.720 millones en 2030 y una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 4,10 % durante el periodo 2025-2030. Estas cifras evidencian un escenario favorable para la expansión de la producción y exportación de pitahaya en distintos países. En el caso ecuatoriano, Agrocalidad (2025) reportó que, durante 2024, “desde el Ecuador se enviaron 47.798,80 toneladas de pitahaya en más de 8.000 envíos a 20 destinos” (p. 1), lo que posiciona a esta fruta como un producto de creciente relevancia dentro de la oferta exportable nacional.

Debido al incremento de la demanda internacional, Ecuador compete actualmente con otros países exportadores de pitahaya, lo que exige a los productores nacionales fortalecer la calidad, presentación y trazabilidad de la fruta para responder a los requerimientos de los mercados externos y satisfacer las preferencias de los consumidores. No obstante, en determinados periodos se generan escenarios en los que la oferta supera a la demanda, que provoca una disminución del precio de venta y, en consecuencia, afectaciones económicas para los productores. Esta situación se agrava cuando el precio recibido por kilogramo resulta inferior al costo de producción.

En este contexto, la presente investigación se centra en analizar la importancia de la ciencia de datos como herramienta de predicción aplicada a los procesos de producción, comercialización y exportación de pitahaya. La ciencia de datos la definen Dinh et al. (2025) como la integración de la computación, estadísticas, matemáticas para la extracción de información para establecer soluciones a partir de los datos.

Este planteamiento coincide con lo señalado por Ullah et al. (2025), quienes conciben la ciencia de datos como una herramienta interdisciplinaria orientada al diagnóstico, la predicción y la descripción de fenómenos mediante la recolección, almacenamiento, acceso y gestión de datos. Desde esta perspectiva, su aplicación permite comprender eventos pasados, administrar sus consecuencias y anticipar escenarios futuros a través de modelos predictivos. En el ámbito agrícola, estas capacidades ofrecen a los productores información útil para prever rendimientos, fluctuaciones de precios y riesgos asociados a la producción de cultivos.

En Ecuador, la limitada disponibilidad de herramientas predictivas accesibles dificulta la anticipación de estos escenarios y la planificación de estrategias oportunas de manejo productivo y comercial. Ante esta situación, surge la alternativa de emplear modelos de series temporales, como SARIMA y SARIMAX, para estimar el comportamiento futuro del precio de la pitahaya. En particular, el modelo SARIMAX permite incorporar variables exógenas relacionadas con el comercio internacional, los volúmenes de exportación u otros factores externos que pueden influir en la dinámica del mercado. Su aplicación contribuye a identificar patrones estacionales y a generar información relevante para apoyar la toma de decisiones de los productores, orientada a equilibrar la cantidad ofertada con la demanda y reducir los riesgos económicos asociados a la producción.

El presente estudio propone predecir el precio de la pitahaya de exportación en Ecuador mediante la aplicación del modelo SARIMAX, con variables asociadas al comportamiento histórico del precio y al volumen mensual exportado, para generar información útil para la toma de decisiones de los productores.

### *Revisión de literatura*

#### *Modelos predictivos y variabilidad de precios en la agricultura*

Incorporar tecnologías de la información y la comunicación (TICS) en los procesos de cultivo, ha sido estudiado por décadas, y ha facilitado la creación de herramientas con fines específicos ya sean para análisis de mejoramiento de cultivo o para la producción. Estudios recientes ya denotan la incorporación de las ciencias de datos para procesar información como clima, tiempo atmosférico y demás factores como mano de obra, fertilización, etc.; que ayuden a predecir los costos que demandan cultivar un producto agrícola (de Lima et al., 2010; Zhai et al., 2022).

En el ámbito agrícola, uno de los primeros referentes gubernamentales de almacenes de datos fue el Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, el cual integró información procedente de encuestas, censos del sector ganadero, agrícola y agroindustrial, así como de fuentes secundarias nacionales (Nilakanta et al., 2008). Este tipo de repositorios permitió consolidar información histórica sobre producción, zonas de cultivo, comportamiento del mercado y precios de venta en distintos periodos.

Actualmente, diversos países han replicado este tipo de sistemas de información agrícola, orientados tanto a los cultivos de consumo interno como a los productos destinados a la exportación, porque ofrecen un insumo estratégico para la estimación y predicción agrícola. Gandge (2017), en su estudio sobre técnicas de minería de datos para la predicción del rendimiento de los cultivos, demostró lo ventajoso que es la incorporación de las tecnologías en los procesos de producción de cultivos. Asimismo, Tran et al. (2017) mencionó en su

investigación, “que en la agricultura, la estimación de los productos agrícolas es la parte importante en el proceso de cosecha” (p. 132).

En el ámbito agrícola, el precio final del producto constituye un factor determinante para evaluar la viabilidad económica de la siembra, justificar los costos de producción y garantizar márgenes de rentabilidad adecuados. Sin embargo, la estabilidad de los precios depende de múltiples factores asociados a la oferta, la demanda, la estacionalidad, las condiciones del mercado y la disponibilidad de información. En determinados escenarios, estas fluctuaciones pueden generar pérdidas económicas e incluso ocasionar el desperdicio de la producción. En este sentido, Chen et al. (2021) señalan que “la inestabilidad del precio de los productos agrícolas debido al exceso de oferta o la falta de demanda provoca un desperdicio innecesario de alimentos” (p.376).

Una de las causas que profundiza esta problemática es la limitada disponibilidad de información oportuna y precisa para los productores. Al respecto, Selvaraj et al. (2024) sostienen que “los agricultores desconocen la variabilidad del mercado, las tendencias de costos, la demanda y los mecanismos de ganancias y pérdidas en tiempo real” (p. 422). Esta situación evidencia la necesidad de incorporar herramientas tecnológicas basadas en ciencia de datos y análisis estadístico, capaces de identificar patrones históricos, tendencias de mercado y comportamientos recurrentes en determinados periodos.

### ***Producción de pitahaya global y en Ecuador***

Ecuador posee una amplia diversidad agrícola, orientada tanto al consumo interno como a la exportación. Dentro de esta oferta productiva, la pitahaya ha adquirido una creciente relevancia en los mercados internacionales. Según Vivar (2024), en 2023 las exportaciones ecuatorianas de pitahaya alcanzaron USD 172 millones y 54.380 toneladas, lo que evidencia el posicionamiento progresivo de esta fruta en la oferta exportable nacional. Asimismo, se señala que, durante los últimos siete años, el volumen exportado ha registrado un crecimiento aproximado del 1,22 %, permitiendo que la pitahaya ecuatoriana llegue a cerca de 22 países.

Actualmente, este cultivo se desarrolla en varias provincias del país, entre las cuales Manabí destaca como una de las principales zonas productoras y exportadoras de pitahaya roja. En concordancia con ello, López (2019) señala que la provincia contaba con 15 cantones dedicados al cultivo de pitahaya, 64 productores, de los cuales 38 estaban certificados, y 225 hectáreas monitoreadas, aunque solo 105 de ellas se encontraban certificadas para exportación en ese periodo.

Posteriormente, estos indicadores han mostrado una tendencia creciente. Granoble Chancay & Acuría Moran (2022) sostienen que “el 80 % de los productores en el sur de Manabí producen la pitahaya roja; el 46,67 % contienen alrededor de entre 6 a 10 hectáreas de cultivo de este fruto” (p. 23). No obstante, el incremento del número de productores certificados también ha generado escenarios de sobreproducción, especialmente en determinados periodos de cosecha. Esta situación incide directamente en la reducción del precio de venta y afecta la rentabilidad de los productores.

Al respecto, Lucero Arévalo & Vallejo Yucci (2024) señalan que el precio más alto de la pitahaya se registró en 2015, cuando alcanzó aproximadamente USD 10 por kilogramo; sin embargo, con el aumento progresivo de productores, el precio experimentó una disminución considerable. En este contexto, la expansión de la superficie cultivada y el aumento de la oferta nacional han contribuido a la generación de pérdidas económicas asociadas a la caída de precios. Huachi et al. (2015) respalda esta afirmación al indicar que los productores y exportadores se enfrentan a las suspicacias con los compradores que saben que hay mucha fruta y la tendencia del precio es a la baja. Por tanto, el crecimiento acelerado de la producción, sin una adecuada planificación de la oferta, configura uno de los principales desafíos que enfrentan actualmente los productores de pitahaya en Ecuador.

## **METODOLOGÍA**

### ***Diseño metodológico***

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de alcance predictivo y con diseño no experimental, basado en el análisis de series temporales mensuales del precio de la pitahaya destinada a la exportación. El estudio tuvo como propósito estimar el comportamiento futuro del precio promedio por kilogramo mediante la aplicación del modelo SARIMAX, el cual permite incorporar patrones autorregresivos, componentes estacionales y variables exógenas asociadas a la dinámica del mercado.

De acuerdo con Phaphan et al. (2024), SARIMAX corresponde a un modelo autorregresivo integrado de media móvil con variables exógenas. Asimismo, Guo et al. (2023) señalan que este tipo de modelo permite capturar dependencias de corto y largo plazo en datos de series temporales, considerando la influencia de factores externos sobre la variable analizada. En este estudio, dicha característica resulta pertinente, debido a que el precio de la pitahaya puede estar condicionado no solo por su comportamiento histórico, sino también por variaciones en la oferta exportable.

### **Área de estudio y unidad de análisis**

El estudio se centró en la provincia de Manabí, Ecuador, debido a su relevancia en la producción y exportación de pitahaya roja. La unidad de análisis estuvo conformada por cuatro productores con predios certificados para exportación, ubicados en distintos cantones de la provincia. En conjunto, las unidades productivas consideradas comprenden una superficie aproximada de 32 hectáreas cultivadas, con un promedio estimado de 8 hectáreas por productor.

La selección de estos productores respondió a la disponibilidad de registros históricos relacionados con la comercialización de pitahaya, específicamente datos de fecha de venta, kilogramos vendidos y precio recibido por kilogramo.

### **Fuentes de información y periodo de análisis**

La base de datos principal estuvo conformada por registros mensuales obtenidos de los cuatro productores participantes, correspondientes al periodo comprendido entre septiembre de 2021 y mayo de 2025. Estos registros incluyeron información sobre:

- fecha de venta;
- volumen vendido, expresado en kilogramos;
- precio recibido por kilogramo, expresado en dólares estadounidenses.

Adicionalmente, se incorporó como variable exógena el volumen mensual nacional exportado de pitahaya, expresado en kilogramos. Esta variable fue utilizada como aproximación de la oferta exportable agregada, con el propósito de evaluar su posible influencia sobre la variación del precio recibido por los productores.

De esta manera, la variable dependiente del modelo fue el precio promedio mensual por kilogramo de pitahaya, mientras que la variable exógena correspondió al volumen mensual exportado de pitahaya a nivel nacional.

### **Preparación y procesamiento de los datos**

Previo a la estimación del modelo, los registros fueron depurados, organizados y agregados a frecuencia mensual. Para ello, se calcularon los kilogramos totales vendidos por mes y el precio promedio mensual por kilogramo. Este procedimiento permitió estandarizar la información proveniente de los distintos productores y construir una serie temporal homogénea.

El procesamiento de datos incluyó las siguientes etapas:

1. organización cronológica de los registros;
2. agregación mensual de los datos de venta;
3. cálculo del precio promedio mensual por kilogramo;
4. verificación de valores atípicos o inconsistentes;
5. integración de la variable exógena correspondiente al volumen mensual exportado;
6. construcción de la serie temporal para la estimación del modelo SARIMAX.

La estandarización de los datos fue necesaria para reducir distorsiones en la serie y garantizar que el modelo trabajara con observaciones comparables en el tiempo.

### **Especificación del modelo SARIMAX**

Para la predicción del precio promedio mensual de la pitahaya se empleó un modelo SARIMAX, cuya estructura general se expresa como: SARIMAX (p, d, q) × (P, D, Q, s)

Donde:

- p representa el orden autorregresivo no estacional;
- d corresponde al grado de diferenciación regular;
- q indica el orden de media móvil no estacional;
- P representa el componente autorregresivo estacional;
- D corresponde al grado de diferenciación estacional;
- Q indica el componente de media móvil estacional;
- s representa la periodicidad estacional de la serie.

Con base en la estructura mensual de los datos y en la presencia de patrones estacionales asociados a los ciclos de producción y comercialización de la pitahaya, se estableció una periodicidad de  $s = 12$  meses. El modelo final estimado fue: SARIMAX (1, 1, 1) × (1, 1, 1, 12). Esta especificación permitió incorporar un componente autorregresivo, una diferenciación regular, un componente de media móvil, así como componentes estacionales asociados al comportamiento anual de la serie.

### **Justificación de los parámetros del modelo**

La serie original presentó indicios de no estacionariedad en media y presencia de comportamiento estacional. Por esta razón, se aplicó una primera diferenciación regular ( $d = 1$ ) y una diferenciación estacional anual ( $D = 1$ ) con periodicidad de doce meses.

El componente autorregresivo no estacional ( $p = 1$ ) se justificó a partir del comportamiento observado en la función de autocorrelación parcial, en la cual se identificó influencia del rezago inmediato sobre el valor actual de la serie. Esto permitió considerar que el precio del mes anterior aporta información relevante para estimar el precio del mes siguiente.

El componente de media móvil no estacional ( $q = 1$ ) se incorporó debido a la presencia de autocorrelación en los errores de predicción de corto plazo, lo que permite ajustar el valor estimado a partir del error observado en el periodo anterior.

En cuanto a la estructura estacional, se incluyeron los parámetros  $P = 1$  y  $Q = 1$ , debido a la presencia de patrones en los rezagos asociados a la periodicidad anual de la serie. Esta especificación permitió capturar efectos recurrentes vinculados a temporadas de mayor y menor producción.

### **Incorporación de la variable exógena**

La variable exógena incorporada al modelo fue el volumen mensual nacional exportado de pitahaya, expresado en kilogramos. Esta variable fue seleccionada debido a que representa una aproximación de la oferta exportable disponible en el mercado y puede incidir en el comportamiento del precio recibido por los productores.

La inclusión de esta variable permitió estimar el precio de la pitahaya considerando su comportamiento histórico, y el efecto de la oferta agregada sobre la dinámica del mercado. En términos económicos, se asumió que incrementos significativos en el volumen exportado pueden estar asociados con presiones a la baja sobre el precio, mientras que reducciones en la oferta podrían relacionarse con incrementos en el valor de comercialización.

### **Validación del modelo y métricas de evaluación**

La evaluación del desempeño predictivo del modelo se realizó mediante métricas de error ampliamente utilizadas en modelos de series temporales. Estas métricas permitieron comparar el desempeño del modelo con y sin la incorporación de la variable exógena, a fin de determinar si el volumen mensual exportado mejora la capacidad predictiva del modelo. Se consideraron las siguientes:

- Error absoluto medio (MAE): permitió medir la magnitud promedio del error entre los valores observados y los valores estimados.
- Raíz del error cuadrático medio (RMSE): se utilizó como métrica principal de evaluación, debido a su sensibilidad ante errores de mayor magnitud. Esta característica resulta relevante en mercados agrícolas con alta volatilidad de precios.
- Error porcentual absoluto medio (MAPE): permitió expresar el error de predicción en términos porcentuales, facilitando la interpretación del desempeño del modelo.
- Criterio de información de Akaike (AIC): se empleó para evaluar la calidad relativa del modelo, considerando el equilibrio entre ajuste y complejidad.

### **Herramientas computacionales**

El procesamiento de los datos y la estimación del modelo se realizaron en el entorno virtual Google Colab. Se utilizó el lenguaje de programación Python, debido a su capacidad para el procesamiento, análisis y modelado de datos. Para la gestión, limpieza y transformación de los datos se emplearon librerías especializadas en análisis de datos y series temporales. Asimismo, se utilizó Matplotlib para la visualización gráfica de las series históricas y de las proyecciones generadas.

### **Limitaciones del estudio**

La metodología propuesta permitió estimar el comportamiento futuro del precio de la pitahaya a partir de información histórica de productores y de una variable exógena asociada al volumen exportado. No obstante, el modelo se limita a las variables disponibles en la base de datos analizada. Por tanto, factores como condiciones climáticas, costos de producción, demanda internacional, calidad del fruto, logística de exportación y precios de competidores externos no fueron incorporados en esta etapa del estudio. En consecuencia, los resultados deben interpretarse como una herramienta de apoyo estadístico para la toma de decisiones, y no como una predicción determinística del precio futuro. La incorporación de nuevas variables en investigaciones posteriores permitiría fortalecer la capacidad explicativa y predictiva del modelo.

## RESULTADOS

### Predicción del precio de pitahaya sin variable exógena

En una primera etapa, se estimó el comportamiento del precio promedio mensual de la pitahaya mediante un modelo SARIMAX sin la incorporación de variables exógenas. Este primer escenario permitió analizar la dinámica histórica del precio a partir de sus propios patrones temporales, considerando la tendencia, la estacionalidad y los rezagos de la serie.

Los resultados de la Figura 1 evidenciaron una tendencia decreciente del precio durante el segundo semestre de 2025. La proyección mostró que el precio por kilogramo alcanzaría uno de sus niveles más bajos entre los meses de noviembre y diciembre de 2025, con valores cercanos a USD 1,99/kg. Posteriormente, a partir de los primeros meses de 2026, se observó una recuperación progresiva del precio, hasta alcanzar aproximadamente USD 3,79/kg en junio de 2026.

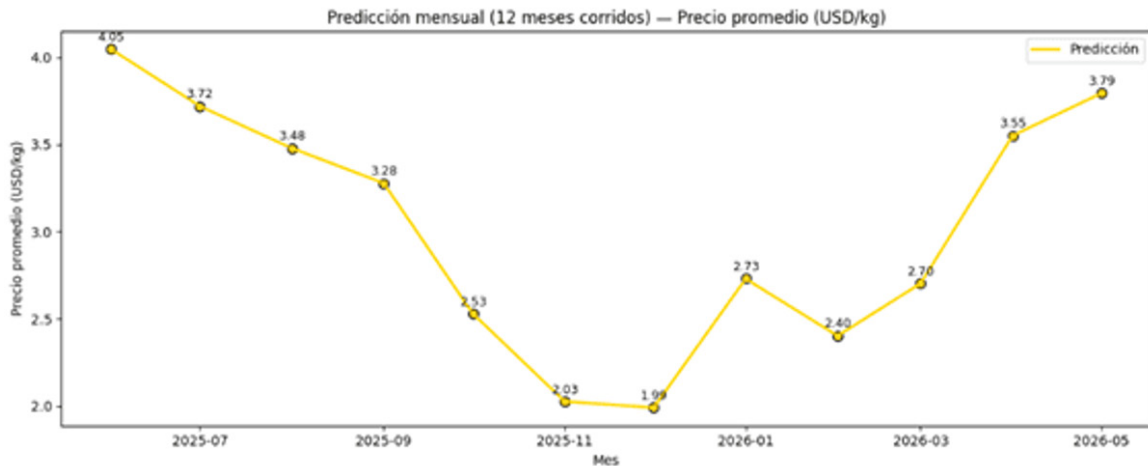


Figura 1. Predicción del precio de pitahaya sin variable exógena.

Nota. Se muestra la proyección mensual del precio promedio por kilogramo de pitahaya a partir del modelo SARIMAX estimado únicamente con la serie histórica de precios.

### Predicción del precio de pitahaya con variable exógena

En una segunda etapa, se incorporó al modelo SARIMAX una variable exógena correspondiente al volumen mensual nacional exportado de pitahaya, expresado en kilogramos. Esta variable fue incluida con el propósito de evaluar si la oferta exportable agregada influye en la estimación del precio recibido por los productores.

Los resultados expresados en la Figura 2 mostraron un comportamiento más sensible a las variaciones de la oferta exportable. En particular, se observó que los meses con mayor disponibilidad de producto tienden a asociarse con una reducción del precio estimado. Este resultado es coherente con la lógica de mercado agrícola, en la cual un aumento de la oferta puede ejercer presión a la baja sobre el precio de comercialización. La incorporación de la variable exógena permitió representar con mayor detalle la relación entre volumen exportado y precio, especialmente en periodos de alta producción. En este escenario, el modelo identificó una disminución marcada del precio durante los últimos meses de 2025, lo que sugiere la existencia de una presión de oferta sobre el mercado.

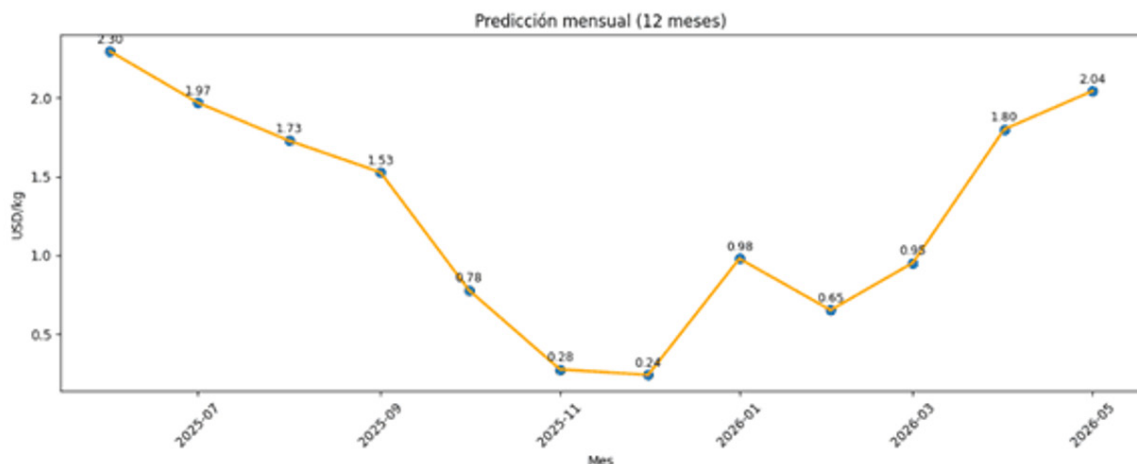


Figura 2. Predicción del precio de pitahaya con variable exógena.

Nota. Se muestra la proyección del precio promedio por kilogramo de pitahaya considerando como variable exógena el volumen mensual nacional exportado.

**Comparación entre los modelos con y sin variable exógena**

En términos generales, como se observa en la Figura 3 ambos modelos mostraron una tendencia descendente en determinados meses del periodo proyectado. Sin embargo, el modelo con variable exógena presentó una mayor sensibilidad ante los incrementos de la oferta, que permitió representar de manera más directa la presión que ejerce el volumen exportado sobre el precio de venta.

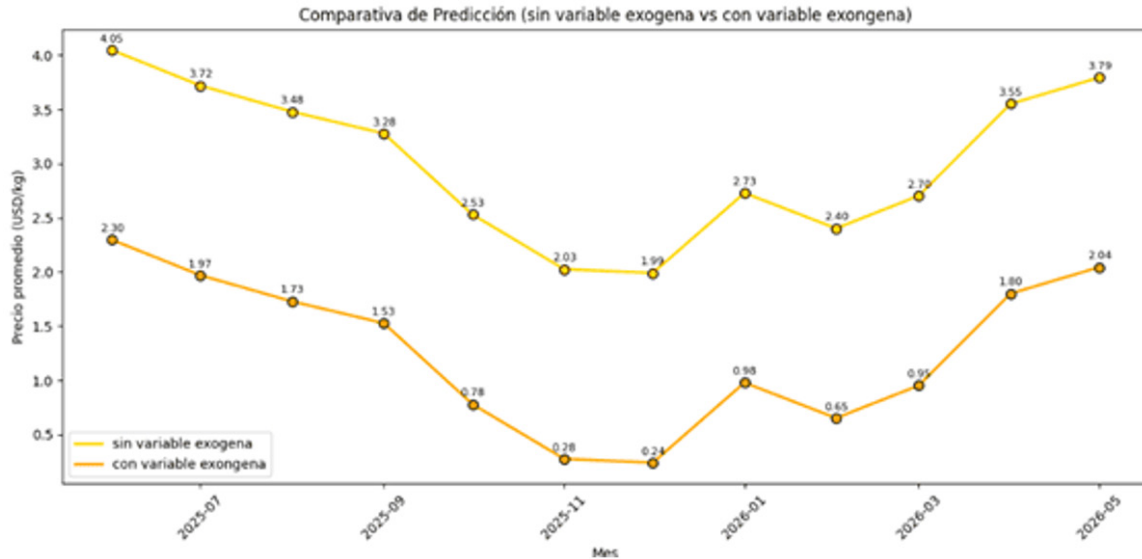


Figura 3. Comparación de la predicción del precio de pitahaya con y sin variable exógena. Nota. Se compara las proyecciones mediante el modelo SARIMAX sin variable exógena y el modelo SARIMAX con incorporación del volumen mensual exportado.

**Evaluación del desempeño del modelo**

Con el propósito de evaluar la estructura estadística del modelo estimado, se analizaron los parámetros obtenidos mediante el modelo SARIMAX (1, 1, 1) × (1, 1, 1, 12), aplicado a la serie mensual del precio promedio por kilogramo de pitahaya. La estimación se realizó con 45 observaciones, correspondientes al periodo comprendido entre septiembre de 2021 y mayo de 2025. Los resultados permiten identificar el comportamiento de los componentes autorregresivos, de media móvil y estacionales incluidos en el modelo.

Los resultados de la Tabla 1 muestran que el modelo SARIMAX incorpora adecuadamente la estructura temporal y estacional de la serie de precios. El valor del Criterio de Información de Akaike (AIC) fue de 50,825, mientras que el Criterio de Información Bayesiano (BIC) alcanzó 55,277, indicadores que permiten evaluar el equilibrio entre ajuste y complejidad del modelo. Aunque varios coeficientes no resultaron estadísticamente significativos al nivel del 5 %, el componente autorregresivo estacional presentó un p-valor de 0,060, lo que sugiere una posible influencia estacional cercana al umbral convencional de significancia.

En cuanto al diagnóstico de residuos, la prueba de Ljung-Box presentó un p-valor de 0,62, que indica ausencia de autocorrelación significativa en los residuos. Asimismo, la prueba de Jarque-Bera obtuvo un p-valor de 0,94, resultado que sugiere normalidad aproximada. Por su parte, la prueba de heterocedasticidad mostró un p-valor de 0,93, por lo que no se identifican problemas relevantes de varianza no constante. Se evidencia que el modelo presenta un comportamiento estadístico aceptable para fines predictivos. Sin embargo, debido al tamaño reducido de la serie temporal y a la baja significancia de algunos parámetros, sus resultados deben interpretarse como una aproximación estadística útil para apoyar la toma de decisiones, más que como una predicción definitiva del comportamiento futuro del precio.

Tabla 1. Resultados de estimación y diagnóstico del modelo SARIMAX para el precio promedio de pitahaya.

<b>Resultados de estimación del modelo SARIMAX para el precio promedio de pitahaya</b>									
<b>Indicador general</b>		<b>Valor</b>							
Variable dependiente		Precio promedio por kilogramo							
Número de observaciones		45							
Modelo estimado		SARIMAX (1, 1, 1) × (1, 1, 1, 12)							
Periodo analizado		Septiembre de 2021 - mayo de 2025							
Log likelihood		-20,412							
AIC		50,825							
BIC		55,277							
HQIC		51,439							
Tipo de covarianza		OPG							
<b>Parámetros estimados del modelo</b>									
Parámetro	Coefficiente	Error estándar	Estadístico z	p-valor	IC 95 % inferior	IC 95 superior			
AR (1)	-0,5257	0,607	-0,867	0,386	-	0,663			
MA (1)	1,0000	8570,713	0,000	1,000	-	16800,000			
AR estacional (12)	-0,4684	0,249	-1,882	0,060	-	0,019			
MA estacional (12)	-0,3781	0,913	-0,414	0,679	-	1,411			
Varianza del error	0,4714	4040,661	0,000	1,000	-	7920,022			
					7919,080				
<b>Pruebas diagnósticas de residuos</b>									
<b>Prueba diagnóstica</b>			<b>Estadístico</b>		<b>p-valor</b>				
Ljung-Box Q (1)			0,24		0,62				
Jarque-Bera			0,13		0,94				
Heterocedasticidad H			0,93		0,93				
Asimetría			0,00		-				
Curtosis			2,59		-				

Nota. (AR) componente autorregresivo; (MA) componente de media móvil; (AIC) Criterio de Información de Akaike; (BIC) Criterio de Información Bayesiano; (HQIC) Criterio de Información de Hannan-Quinn; (OPG) producto externo de gradientes; (IC 95 %) intervalo de confianza; (Log likelihood) logaritmo de la verosimilitud; (Ljung-Box Q) prueba diagnóstica de autocorrelación de residuos; (Jarque-Bera) prueba de normalidad de los residuos; (H) prueba de heterocedasticidad; (z) estadístico de contraste de los coeficientes estimados; (p-valor) nivel de significancia estadística asociado a cada parámetro o prueba.

## DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que el precio de la pitahaya de exportación presenta un comportamiento variable y sensible a los ciclos de producción, a la disponibilidad de oferta y a las condiciones propias del mercado agrícola. Esta dinámica confirma la pertinencia de aplicar modelos de series temporales para analizar la evolución del precio, especialmente en productos con marcada estacionalidad y alta exposición a fluctuaciones comerciales. En este sentido, el uso del modelo SARIMAX resultó adecuado, debido a que permite capturar patrones temporales y estacionales, así como incorporar variables exógenas que pueden incidir en el comportamiento de la variable dependiente (Guo et al., 2023; Phaphan et al., 2024).

La predicción realizada sin variable exógena permitió identificar la tendencia del precio a partir de su propio comportamiento histórico. Este primer escenario mostró una reducción del precio durante determinados meses del periodo proyectado, seguida de una recuperación progresiva. Sin embargo, al incorporar el volumen mensual exportado como variable exógena, el modelo reflejó una mayor sensibilidad frente a los cambios en la oferta agregada. Este resultado es coherente con la lógica económica de los mercados agrícolas, donde el incremento de la disponibilidad del producto puede generar presión a la baja sobre los precios. Al respecto, Chen et al.

(2021) sostienen que la inestabilidad del precio de los productos agrícolas puede estar asociada al exceso de oferta o a la disminución de la demanda, generando incluso desperdicio de alimentos. De igual manera, Huachi et al. (2015) advierte que la abundancia de fruta en el mercado genera expectativas de reducción de precios entre compradores y exportadores.

Los resultados del modelo también permiten evidenciar que la variabilidad del precio no solo depende de la producción individual de cada finca, sino también del comportamiento agregado de la oferta nacional y de las condiciones de comercialización. En este contexto, Selvaraj et al. (2024) señalan que generalmente los agricultores desconocen la variabilidad del mercado, las tendencias de costos, la demanda y los mecanismos de ganancias y pérdidas en tiempo real. Por tanto, el uso de herramientas predictivas basadas en ciencia de datos puede contribuir a reducir la incertidumbre y mejorar la planificación productiva y comercial.

No obstante, la interpretación de los resultados debe realizarse con cautela. La estimación del modelo SARIMAX presentó algunos coeficientes sin significancia estadística al nivel convencional del 5 %, que sugiere la necesidad de continuar ajustando la especificación del modelo y ampliar la base de datos. A pesar de ello, las pruebas diagnósticas de residuos no evidenciaron autocorrelación significativa, problemas relevantes de normalidad ni heterocedasticidad, lo cual indica que el modelo presenta condiciones estadísticas aceptables para una aproximación inicial. En consecuencia, el modelo puede considerarse útil como instrumento de análisis, siempre que sus resultados sean complementados con información técnica, productiva y comercial.

La incorporación de la variable exógena vinculada al volumen exportado representa un aporte relevante, ya que permite relacionar el comportamiento del precio con la dinámica de la oferta agregada. Esta característica diferencia al modelo SARIMAX de otros modelos univariados, debido a que no se limita únicamente al análisis histórico de la variable dependiente. En mercados agrícolas de exportación, donde los precios pueden verse afectados por factores externos, la inclusión de variables exógenas fortalece la capacidad explicativa del modelo. Alharbi & Csala (2022) destacan que la incorporación de factores externos en modelos SARIMAX puede contribuir a reducir errores de predicción y mejorar el desempeño del pronóstico.

Desde el punto de vista práctico, los resultados del estudio pueden servir como insumo para que los productores de pitahaya planifiquen de manera más estratégica los periodos de cultivo, cosecha y comercialización. La identificación de meses con posible disminución de precios permite anticipar escenarios de riesgo y adoptar decisiones relacionadas con la programación de cosechas, negociación con compradores, manejo de volúmenes y diversificación de mercados. En este sentido, la ciencia de datos se posiciona como una herramienta relevante para fortalecer la gestión agrícola (Ullah et al., 2025).

Sin embargo, el estudio presenta limitaciones que deben ser consideradas. El modelo fue construido con información de cuatro productores de Manabí y con una serie temporal de 45 observaciones mensuales, que restringe el alcance de generalización de los resultados. Además, no se incorporaron variables como condiciones climáticas, costos de producción, calidad del fruto, demanda internacional, precios de competidores, costos logísticos o restricciones fitosanitarias. Estos factores pueden influir de manera significativa en el precio final de exportación y deberían ser considerados en futuras investigaciones.

Futuras investigaciones podrían ampliar el alcance del modelo predictivo mediante la incorporación de un mayor número de productores, zonas geográficas y periodos de análisis. Asimismo, se recomienda incorporar nuevas variables exógenas que puedan incidir en la formación del precio de exportación, tales como condiciones climáticas, costos de producción, calidad del fruto, volumen de oferta internacional, demanda de los principales países importadores, costos logísticos, restricciones fitosanitarias y precios de competidores externos.

También sería pertinente desarrollar sistemas de información o plataformas digitales de apoyo a la toma de decisiones para productores, asociaciones y exportadores de pitahaya. Estas herramientas podrían integrar datos históricos, predicciones de precios, alertas de sobreoferta y escenarios de riesgo comercial, y contribuir a una planificación más eficiente de los periodos de cultivo, cosecha y comercialización.

## **CONCLUSIONES**

Se demostró que el modelo SARIMAX constituye una herramienta útil para la predicción del precio de la pitahaya de exportación en Ecuador porque permite identificar patrones estacionales y variaciones asociadas a la oferta disponible en el mercado. Los resultados muestran que la inclusión de información externa fortalece la interpretación del comportamiento del precio, especialmente en periodos de mayor producción, donde la sobreoferta puede generar presiones a la baja sobre el valor de comercialización.

En este sentido, la aplicación del modelo proporciona información relevante para apoyar la toma de decisiones de los productores, al permitir anticipar escenarios de fluctuación de precios y planificar con mayor precisión los periodos de cultivo, cosecha y comercialización. No obstante, los resultados deben interpretarse como una aproximación estadística de apoyo y no como una predicción definitiva, debido a las limitaciones asociadas al tamaño de la serie y a la ausencia de otras variables externas, como condiciones climáticas, costos de producción, demanda internacional y precios de competidores. Por tanto, el estudio demuestra la pertinencia

del uso de modelos predictivos basados en ciencia de datos para reducir la incertidumbre económica en la producción de pitahaya y fortalecer la planificación comercial del sector exportador.

## REFERENCIAS

- Agrocalidad. (2025). Aguacate Hass y pitahaya ecuatoriana llegan por primera vez a mercados argentinos. Agrocalidad. <https://www.agrocalidad.gob.ec/aguacate-hass-y-pitahaya-ecuatoriana-llegan-por-primera-vez-a-mercados-argentinos/>
- Alharbi, F. R., & Csala, D. (2022). A seasonal autoregressive integrated moving average with exogenous factors (SARIMAX) forecasting model-based time series approach. *Inventions*, 7(4), 94. <https://doi.org/10.3390/inventions7040094>
- Chen, Z., Goh, H. S., Sin, K. L., Lim, K., Chung, N. K. H., & Liew, X. Y. (2021). Automated agriculture commodity price prediction system with machine learning techniques. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal (ASTESJ)*, 6(4), 376-384. <https://doi.org/10.25046/aj060442>
- de Lima, G. H. E. L., e Silva, L. C., & Neto, P. F. R. (2010). WSN as a tool for supporting agriculture in the precision irrigation. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Networking and Services* (pp. 137-142). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNS.2010.26>
- Debnath, A., Malek, M. A., Ahamed, M. S., & Reya, S. S. (2024). Vision transformer based classification system for classifying fresh and diseased dragon fruit. In *Proceedings of the International Conference on Recent Progresses in Science, Engineering and Technology (ICRPSET)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRPSET64863.2024.10955870>
- Dinh, T., Wong, H., Lisik, D., Koren, M., Tran, D., Yu, P. S., & Torres-Sospedra, J. (2025). Data clustering: A fundamental method in data science and management. *Data Science and Management*. <https://doi.org/10.1016/10.1016/j.dsm.2025.08.001>
- Gandge, Y. (2017). A study on various data mining techniques for crop yield prediction. In *Proceedings of the 10th International Conference on Orange Technology (ICOT)* (pp. 420-423). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICECCOT.2017.8284541>
- Granoble Chancay, P. E., & Acuría Moran, J. P. (2022). La producción de pitahaya roja “*hylocereus undatus*” incide en su exportación en el de Manabí. *E-IDEA 4.0. Revista Multidisciplinar*, 4(12), 14-32. <https://doi.org/10.53734/mj.vol4.id241>
- Guo, Y., Lai, X., & Gan, M. (2023). Cyanobacterial biomass prediction in a shallow lake using the time series SARIMAX models. *Ecological Informatics*, 78, 102292. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102292>
- Huachi, L., Yugsi, E., Paredes, M. F., Coronel, D., Verdugo, K., & Santamaría, P. C. (2015). Desarrollo de la pitahaya (*Cereus sp.*) en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 22(2), 50-58. <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047267005.pdf>
- López, K. (2019). Manabí produce el 90% de la pitahaya exportable. CAMAE. <https://www.camae.org/comercio-exterior/manabi-produce-el-90-de-la-pitahaya-exportable/>
- Lucero Arevalo, E. T., & Vallejo Yucci, T. E. (2024). Análisis del comportamiento en las exportaciones de la pitahaya ecuatoriana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 4593-4610. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i5.13915](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13915)
- Mordor Intelligence. (2025). Dragon Fruit Market Size, Growth Trends Report 2025 - 2030. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/dragon-fruit-market>
- Nilakanta, S., Scheibe, K., & Rai, A. (2008). Dimensional issues in agricultural data warehouse designs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60(2), 263-278. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.09.009>
- Phaphan, W., Jitpattanakul, A., Huadsri, S., Budsaba, K., Phapan, W., & Mekruksavanich, S. (2024). Modeling life insurance business growth in Thailand using SARIMAX and multilayer perceptron. In *Proceedings of the 16th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)* (pp. 146-151). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCAE59995.2024.10569323>
- Selvaraj, R., Sanmati, M., Sudharshan, K., Surithika, R., & Prasanth, S. (2024). Demand prediction of agricultural crops using artificial intelligence. In *Proceedings of the International Conference on Automation and Computation (AUTOCOM)* (pp. 422-425). IEEE. <https://doi.org/10.1109/AUTOCOM60220.2024.10486079>
- Tran, C. C., Nguyen, D. T., Dang Le, H., Truong, Q. B., & Dinh Truong, Q. (2017). (2017). Automatic dragon fruit counting using adaptive thresholds for image segmentation and shape analysis. In *Proceedings of the 4th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science* (pp. 132-137). IEEE. <https://doi.org/10.1109/NAFOSTED.2017.8108052> (doi.org in Bing)
- Ullah, I., Adhikari, D., Su, X., Palmieri, F., Wu, C., & Choi, C. (2025). Integration of data science with the intelligent IoT (IIoT): Current challenges and future perspectives. *Digital Communications and Networks*, 11(2), 280-298. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2024.02.007>

- Vivar, E. (2024). Los 10 principales destinos de la pitahaya ecuatoriana. Forbes Ecuador. <https://www.forbes.com.ec/rankings/los-10-principales-destinos>
- Zhai, X., Chen, C., Chen, Z., Lin, Y., & Tseng, S. (2022). Design and implementation of one-stop analysis and prediction platform for agricultural big data. Paper presented at the 2022 10th International Conference on Orange Technology (ICOT), 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICOT56925.2022.10008189>.

**Conflicts of Interest:**

The authors declare no conflicts of interest.

**Author Contributions:**

The authors were responsible for all aspects of the study, including conceptualization, methodology, analysis, and writing.

**Disclaimer/Publisher's Note:**

The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the authors and individual contributors and not of Revista San Gregorio or the editors. Revista San Gregorio and/or the editors disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.