



ARIMA: UN MODELO PREDICTIVO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA ECUATORIANA

ARIMA: A PREDICTIVE MODEL FOR THE ESTIMATION OF ECUADORIAN AGRICULTURAL PRODUCTION

ARIMA: UM MODELO PREDITIVO PARA A ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA EQUATORIANA

1

Cristóbal Puyi Peñaherrera Chang

masterpuyioh@gmail.com

Master Universitario en Investigación en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias experimentales sociales y matemáticas

Universidad Estatal de Quevedo

<https://orcid.org/0000-0002-5266-1578>

Verónica del Cisne Segovia Montesdeoca

vsegoviam@uteq.edu.ec

Master Universitario en Investigación en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias experimentales sociales y matemáticas

Universidad Estatal de Quevedo

<https://orcid.org/0000-0002-0783-5751>

Recibido: 05/07/23

Aceptado: 10/08/23

Publicado: 05/09/23

Correspondencia: masterpuyioh@gmail.

RESUMEN

El manejo de bases de datos es una herramienta importante para la toma de decisiones si se complementa con herramientas matemáticas que permitan la modelización de estos con el propósito de predecir el comportamiento de los datos en el futuro y tomar de daciones para la planificación, particularmente en un sector con tanta incertidumbre como el agrícola. Uno de los modelos que se han utilizado con mayor éxito es el ARIMA el cual se basa en la interpretación de datos estadísticos mediante análisis de regresión, permitiendo hacer predicciones con una gran eficiencia. Para analizar el alcance de sus aplicaciones en el campo agrícola se hizo una revisión sistemática empleando la metodología PRISMA mediante la revisión de 180 artículos en base de datos científicas como Scopus, Scielo, Latindex, Redalyc y google evidencio, de los cuales se seleccionaron 24 artículos de acuerdo a los criterios de inclusión empleados en la búsqueda, Los resultados muestran que el modelo ARIMA ha sido empleado con éxito para a estimación de rendimientos y precios en la producciones de cereales como el maíz y la quina y en cultivos de gran importancia para el Ecuador como es en el cacao y café, donde la estimación de los rendimientos y variación de los precios es vital debido a su papel en el comercio exterior. A pesar d que han surgido nuevos modelos basados en lógica difusa redes neuronales e inteligencia artificial, el modelo ARIMA resulta ser eficiente al ser comparado con estos modelos, con la ventaja de que su manejo e implementación resulta sencillo para la mayoría de los usuarios.

Palabras claves: eficiencia, incertidumbre, regresión, rendimientos, simulación.

ABSTRACT

Database management is an important tool for decision-making if it is complemented with mathematical tools that allow their modeling with the purpose of predicting the behavior of the data in the future and taking data for planning, particularly in a sector with as much uncertainty as agriculture. One of the models that have been used with the greatest success is ARIMA, which is based on the interpretation of statistical data through regression analysis, allowing predictions to be made with great efficiency. To analyze the scope of its applications in the agricultural field, a systematic review was made using the PRISMA methodology by reviewing 180 articles in scientific databases such as Scopus, Scielo, Latindex, Redalyc and google evidence, of which 24 articles were selected. According to the inclusion criteria used in the search, the results show that the ARIMA model has been successfully used to estimate yields and prices in the production of cereals such as corn and cinchona and in crops of great importance for the Ecuador as it is in cocoa and coffee, where the estimation of yields and price variations is vital due to its role in foreign trade. Despite the fact that new models based on fuzzy logic, neural networks and artificial intelligence have emerged, the ARIMA model turns out to be efficient when compared with these models, with



the advantage that its management and implementation is easy for most users.

Keywords: efficiency, uncertainty, regression, returns, simulation.

RESUMO

El manejo de bases de datos é uma ferramenta importante para a tomada de decisões, desde que seja complementada com ferramentas matemáticas que permitam a modelização das mesmas, com o propósito de prever o comportamento dos dados no futuro e tomar decisões para o planejamento, especialmente em um setor tão incerto como o agrícola. Um dos modelos que tem sido utilizado com maior sucesso é o ARIMA, que se baseia na interpretação de dados estatísticos por meio de análise de regressão, permitindo fazer previsões com grande eficiência. Para analisar o alcance de suas aplicações no campo agrícola, foi realizada uma revisão sistemática utilizando a metodologia PRISMA, por meio da revisão de 180 artigos em bases de dados científicas como Scopus, Scielo, Latindex, Redalyc e Google Scholar. Dos quais foram selecionados 24 artigos de acordo com os critérios de inclusão utilizados na pesquisa. Os resultados mostram que o modelo ARIMA tem sido empregado com sucesso na estimativa de rendimentos e preços na produção de cereais como milho e quinoa, e em cultivos de grande importância para o Equador, como cacau e café, onde a estimativa de rendimentos e variação de preços é vital devido ao seu papel no comércio exterior. Apesar de terem surgido novos modelos baseados em lógica difusa, redes neurais e inteligência artificial, o modelo ARIMA continua sendo eficiente quando comparado a esses modelos, com a vantagem de que sua gestão e implementação são simples para a maioria dos usuários

Palavras-chave: eficiência, incerteza, regressão, rendimentos, simulação.

1. INTRODUCCIÓN

La matemática es una ciencia que a pesar de que su aplicabilidad pudiese resultar abstracto, su uso es amplio para la resolución de problemas cotidianas, quizás una de las tareas más difíciles para la humanidad es predecir el comportamiento a futuro y poder tomar decisiones acertadas en el presente para que en el corto o mediano plazo se logre aumentar la producción industrial (Guerrero et al., 2019), agrícola (Pazmiño et al., 2022), mitigar los problemas ambientales (Domínguez et al., 2019) o describir el comportamiento de una enfermedad, para evaluar la eficacia de los tratamientos (Luceron et al., 2022) o para determinar la probabilidad de que aumenten los riesgos de fallecimiento (Yupari et al., 2021).

Para la predicción del comportamiento de los datos se deben modelar los mismos bien sea mediante la aplicación de ecuaciones de regresión (Arellano y Peña, 2020), análisis multivariado (Pérez et al., 2021), uso de lógica (Rodas et al., 2019) o redes neuronales (Cuesta et al., 2023) de tal manera de obtener una predicción cuyos datos estimados sean los más parecidos a los valores observados, la modelización de datos cobro gran auge durante la pandemia de COVID-19, debido a la necesidad de predecir el aumento o disminución del número de casos, para evaluar la eficiencia de las vacunas desarrolladas y de las medidas sanitarias adoptadas.

Uno de los modelos que fuera más empleado durante ese periodo de pandemia fue implementación del modelo Autorregresivo Integrado de Promedio Móvil (ARIMA) el cual fue de éxito en la predicción del comportamiento de la pandemia por COVID-19, el cual fue empleado con regularidad en la planificación de las medidas sanitarias en diverso países de la región como Colombia (Pinzón, 2020), Perú (Sotomayor y Carlos, 2021), Brasil (Ribeiro et al., 2020) y Ecuador (Pilacuan et al., 2022), sin embargo, su aplicación no se limita la área sanitaria, sino que el mismo puede ser usado para la predicción y estimación de los rendimientos y precios en el área agrícola

Considerando lo expuesto anteriormente su empleo en el campo agrícola, cobra gran auge en el Ecuador, debido a que en el país los principales ingresos del producto interno bruto (PIB) procede del sector agrícola, siendo los rubros más importantes además de banano, el café y cacao (León et al., 2020), así como cereales (Bonilla y Siñanga, y Velásquez et al., 2023), por lo cual se hace necesario predecir el comportamiento de estos rubros de tal manera de garantizar de que las practicas agronómicas empleadas hagan más competitivo el sector agrícola ecuatoriano, aumentando los rendimientos y procurando un desarrollo sostenible que minimice el impacto ambiental.

Una de las ventajas que posee el estado ecuatoriano para el uso de cualquier modelo de simulación matemático, es que posee una basa de datos robusta, sin embargo en el campo agrícola debido a la variabilidad ambiental que influye sobre los rendimientos y lo cambiante del mercado agrícola (Sánchez y Montenegro, 2020), es difícil la predicción, por lo que se deben buscar



alternativas que permitan una acertada estimación tanto de los precios como de rendimientos, de tal manera de optimizar la planificación de las políticas públicas.

Dado que el modelo ARIMA resultó eficiente en el campo sanitario y en virtud de la importancia de las predicciones en el sector agrícola, se realizó una revisión bibliográfica mediante la búsqueda sistemática de artículos científicos durante el periodo 2018-2023 con el propósito de describir cual ha sido el uso del modelo ARIMA y su eficacia para la modelización de datos con fines predictivos en rubros estratégicos para el país como son los relacionados a la producción de cereales, café y cacao.

1.1. Revisión sistemática de bibliografía

Se hizo una revisión sistemática basada sobre la importancia y aplicación del uso del modelo matemático de simulación ARIMA para la predicción de rendimientos precios con énfasis en los rubros prioritarios del Ecuador como son cereales, cacao y café, así como la eficiencia del mismo y su análisis comparativos con otros modelos, esta revisión fue llevada a cabo siguiendo las normas y procedimientos establecidos en PRISMA revisando en las revistas registradas en bases de datos como en Scopus, Dialnet, Scielo y Google Académico.

1.2. Descripción de la investigación

El tema central para la búsqueda de la investigación fue la aplicación del modelo matemático de simulación ARIMA para la predicción de rendimientos precios con énfasis en los rubros prioritarios del Ecuador como son cereales, cacao y café, además de la evaluación de su eficiencia en comparación a otros modelos usados en el área agrícola.

1.3. Proceso de recolección de datos

Se recolectaron artículos científicos donde se aplica el modelo ARIMA, para la estimación y variación de precios en los cultivos de cereales, café, cacao, además de aquellos artículos donde se evalúa su eficiencia para la estimación de rendimientos en diferentes rubros agrícolas, incluso al compararse con otros modelos de simulación, incluso aplicando otros procedimientos matemáticos. Los datos recolectados corresponden a un periodo de 5 años y se seleccionaron los trabajos de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión establecidos por los investigadores.

1.4. Criterios de inclusión

Artículos en español e inglés, donde se aborda la predicción de rendimientos y variación de precios en los rubros cereales, café, cacao mediante el uso del modelo ARIMA, aquellos artículos, donde se evalúa la eficiencia del

modelo e incluso cuando se compara con modelos basados en lógica difusa, redes neuronales e inteligencia artificial.

1.5. Criterio de exclusión

Artículos con solo resumen, datos generados de 5 años o más, publicaciones no indexadas en base de datos reconocidas y que solo presenten resúmenes.

1.6. Parámetros seleccionados para la búsqueda

Los parámetros usados para la búsqueda fueron: simulación matemática, ARIMA, predicción, eficiencia, variabilidad, estimación y rendimientos agrícolas.

1.7. Variables evaluadas

Se evaluó en primer lugar la estimación de rendimientos expresados en Kg/ha de los rubros cereales, café y cacao, seguido de la estimación de precios en los mismos rubros, para determinar posteriormente la eficiencia del modelo al comparar los datos esperados con los observados y finalmente se comparó mediante el análisis de algunos parámetros estadísticos, este modelo con aquellos que están basados en lógica difusa, redes neuronales e inteligencia artificial.

1.8. Selección de las publicaciones

Para la selección se hizo una revisión donde se verificó en primer lugar el resumen, seleccionando los artículos que cumplieron con los criterios de búsquedas establecidas, previamente, los trabajos rechazados a nivel de resumen fueron pasados a una segunda revisión donde se evaluó el texto completo, aquellos trabajos con información duplicada fueron eliminados. Para la revisión se analizaron artículos desde 01-01-2018 hasta el 28-02-2023.

2. RESULTADOS Y DISCUSION

Para analizar la importancia y aplicación del uso del modelo matemático de simulación ARIMA para la predicción de rendimientos precios con énfasis en los rubros prioritarios del Ecuador como son cereales, cacao y café se consultaron 180 artículos de los cuales se seleccionaron 60 artículos a texto completo, de estos 36 fueron rechazados, 30 por no cumplir los criterios de inclusión establecidos en la metodología, 4 por ser trabajos no correspondientes a publicaciones científicas y 2 por ser resúmenes. En total se seleccionaron 24 trabajos, en los cuales en 6 se analiza el uso de ARIMA para la predicción de la producción de cereales, 4 en la producción de Cacao, 4 en la producción de café; en 4 artículos se evalúa la eficiencia del modelo ARIMA en la producción agrícola

y en 6 se compara el uso de ARIMA con otros modelos empelados para la estimación de rendimientos agrícolas, como se observa en la figura 1.

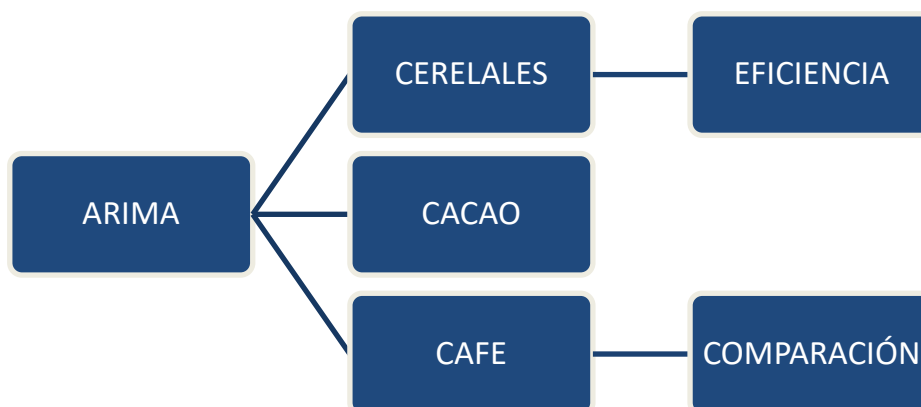


Figura 1. Revisión sistemática del uso del modelo ARIMA para la estimación de rendimientos y precios en el área agrícola.

Los primeros de trabajo de aplicación del modelo ARIMA, se refieren a su uso para la predicción de la producción de cereales, cuyos principales hallazgos se presentan en la tabla 1, presentando un total de 6 trabajos, en cultivos como el maíz y la quinua los cuales se describen a continuación:

Tabla 1. Predicción de producción de cereales mediante el uso del modelo matemático ARIMA.

Titulo	Año	Autores	Revista-Base de datos
Forecasting Maize Production in India using ARIMA Model	2018	Kumar et al.,	Agroeconomist-google académico
Aplicações do modelo ARIMA para estatística na análise de dados em série temporal	2019	Bandura et al.,	Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia-Scielo
On the forecast of cereals production in Nigeria	2020	Akanni Adeniyy	y Fuw trends in science & technology journal-google académico
Modelamiento de la producción de quinua aplicando ARIMA en Puno-Perú	2020	Laurence	Fides Et Ratio-Scielo

Predicción del precio de maíz en México	2021	Lopez et al.,	Agrociencias-Scopus
An application of time series ARIMA forecasting model for predicting nutri cereals area in India	2022	Shankar et al.,	The Pharma Innovation Journal- google académico

Los hallazgos de Kumar et al., 2018 llegan a la conclusión de que el modelo ARIMA puede ser considerado el mejor modelo, cuando se trabaja que contengan al menos 50 datos, tal como lo observo al aplicar el mismo para estimar la producción de maíz en la India, cuya aplicación permitió estimar la producción de maíz durante su periodo de 5 años, donde se esperaba un incremento de la producción de 1.950.000 Tn métricas a 2. 2137,000 Tn métricas al comparar los valores de la producción del año 2018 a 2020

Así mismo Bandura et al., 2019 en este mismo orden de ideas encontraron un gran cantidad de aplicación del modelo ARIMA y aquellos derivados del mismo como SARIMA, el cual ha sido empleados además de las ciencias agrarias, en las ciencias naturales, ingeniería e informática, constituyendo una herramienta fundamental para la descripción del comportamiento de series temporales de datos, como las que se muestra con frecuencia en el ámbito agrícola y cuya análisis permite hacer predicciones de las tendencias futuras, con una gran precisión.

La importancia de su uso ha sido ratificada por Akanni y Adeniyy 2020, quienes señalan que el uso del modelo tiene importantes implicaciones para la formulación de políticas gubernamentales, especialmente para la producción potencial de cereales, el cual forma parte clase de la economía de Nigeria, sin embargo, consideran que además del análisis mediante este modelo, la predicción puede ser complementado, mediante análisis multivariado

La aplicación del modelo no se restringe a cultivo de cereales tradicionales, sin que puede ser usado para cultivos autóctonos, por ejemplo Laurence 2020 aplicaron ARIMA para el modelamiento de la producción de quinua en la región de Puno en el Perú utilizando datos anuales obtenidas en el periodo comprendido entre 1951 a 2017 Los resultados muestran que el modelo ARIMA resulto ser el más el más apropiado para capturar el comportamiento de la producción de quinua en la región de Puno, con esto hallazgos evidenciaron que el uso del modelo permitirá hacer una mejor planificación de las actividades de producción de quinua, el cual es un cultivo clave y de gran potencial en las

regiones andinas.

Aunque en párrafos anteriores se mencionó que el modelo ARIMA puede ser complementado con el uso de análisis multivariado, autores como López et al., 2021 al aplicar el moldeo ARIMA para la predicción de la producción de maíz en México señalan que en este caso no resultó benéfico el uso de modelos multivariados, estos autores resaltaron que el uso de modelos como ARIMA son útiles para realizar pronósticos como estimador del precio sin recurrir a información de otras variables y aportan evidencia de la influencia del mercado internacional

Dado los resultados encontrados para estimar la producción de cereales, en los ejemplos correspondientes al cultivo de maíz y quinua es que autores como Shankar et al., 2022 se atreven a afirmar que el modelo ARIMA puede ser elegido como el mejor modelo candidato para producir pronósticos de hasta diez años para el área de cereales utilizando una serie de datos de 70 años, tal como lo demostró en estudios llevados en la India, en este estudio. Se eligió ARIMA por su capacidad de anticipación utilizando datos de series de tiempo, que permitió estudiar con precisión pérdidas en el área destinada a la siembra de cereales.

El segundo grupo de trabajo de aplicación del modelo ARIMA, se refieren a su uso para la predicción de la producción de cacao, cuyos principales hallazgos se presentan en la tabla 2, presentando un total de 4 trabajos, en este cultivo, los cuales se describen a continuación:

Tabla 2. Predicción de producción de cacao mediante el uso del modelo matemático ARIMA.

Titulo	Año	Autores	Base de datos
Forecasting cocoa production of six major producers through ARIMA and grey models	2020	Quartey	Esmerald-google académico
Modelling annual cocoa production using ARIMA time series Model	2021	Oni et al.,	African Journal of Mathematics and Statistics Studies-Researchgate
Autoregressive integrated moving average for Cocoa production in Sulawesi island 2021-2030	2021	Tenriawaru et al.,	AGRISEP- google académico
Simulating cocoa production: A review of modelling approaches and gaps	2023	Tosto et al.,	Agricultural Systems-Scopus

A pesar de las bondades del modelo ARIMA para la producción de cereales, autores como Quartey 2020, sugieren que, en el caso de la estimación de la producción de cacao, los modelos estadísticos tradicionales como ARIMA pueden ser menos apropiados. Como muestran los resultados, dado que tiende a subestimar el rendimiento del cultivo cuando los valores se estiman usando ARIMA con valores inferiores a los reportados cuando se emplean, la razón es que los pronósticos de producción de cacao usando esos modelos son mejores cuando los datos no están disponibles, dado que la eficiencia de ARIMA es limitada en series largas de datos.

Tal como lo señalan Oni et al., 2021, quienes al usar ARIMA usando serie de datos del cultivo para un periodo de 7 años (2018-2025) seleccionaron ARIMA como el mejor modelo candidato para el análisis de la serie temporales al poder predecir diferencias de la producción de cacao considerando el Criterio de Información de Akaike (AIC), encontrando que la producción de cacao caería más de un 20% en 2025 en comparación con 2018.

Resultados similares fueron reportados por Tenriawaru et al., 2021, quienes al usar ARIMA para el análisis de la producción de cacao hasta el 2030 en la isla de Sulawesi pudieron determinar que en esta región que el mayor potencial para aumentar la producción se encuentra en la provincia de Sulawesi Sudoriental con una superficie total de 445,91 ha en 2030 y el centro de producción en 2030 es Sulawesi Central con una producción de 151,68 t/ha, lo que permitía tomar decisiones para destinar los recursos y mejorar los procesos agronómicos en las áreas con mayor potencial productivo.

A pesar de la eficiencia del uso del modelo ARIMA, el mismo puede presentar limitaciones, como lo señalan Tosto et al., 2023, quienes afirman que la disponibilidad de datos en muchos casos dificulta un mayor desarrollo de la modelización del cacao, usando este modelo, por lo que sugieren que para desarrollar sistemas de apoyo a las decisiones de gestión para el cultivo de cacao, se debe comprender cómo varía la eficiencia del uso de la radiación en diferentes condiciones ambientales y cómo responden los árboles de cacao a las prácticas de gestión.

También es necesario mejorar los métodos para obtener de manera efectiva datos confiables en la finca o al menos dentro de la región, donde se desee aplicar el modelo. El tercer grupo de trabajo de aplicación del modelo ARIMA, se refieren a su uso para la predicción de la producción de café, cuyos principales hallazgos se presentan en la tabla 3, presentando un total de 4 trabajos, en este cultivo, los cuales se describen a continuación:

Tabla 3. Predicción de producción de café mediante el uso del modelo matemático ARIMA.

Titulo	Año	Autores	Base de datos
Forecasting of Coffee Production in India Using ARIMA Model	2019	Gopinath et al.,	International Journal of Science,

			Engineering and Management (IJSEM-Researchgate)
Forecasting Models Based on Fuzzy Logic: An Application on International Coffee Prices	2022	Fatih	Ekonometria-google académico
Dynamics of coffee output in Nigeria	2022	Chigozirim et al.,	Gestão & Produção-Scielo
Forecasting the Coffee Consumption Demand in Vietnam Based on Grey Forecasting Model	2022	Thang et al.,	Vietnam Journal of Computer Science-google académico

Para el caso del café Gopinath et al., 2019 uso del modelo ARIMA para la predicción de la producción de café para un periodo de 9 años comprendido entre 2015 a 2026, el cual permitió estimar de forma precisa la producción futura de café y los cambios en la producción futura, observando que ocurrirá una disminución paulatina de la producción de café; por lo que es necesario tomar las medidas necesarias para mejorar la producción.

Además de ARIMA autores como Fatih 2022 han usado otros modelos basado en lógica difusa para la estimación de los precios de café, encontrando que estos modelos contribuyen a llenar el vacío en el campo de la predicción de series temporales y se considera un método competitivo y alternativo a los modelos de regresión como el ARIMA en la predicción, esta investigación es clave, dado que las fluctuaciones de los precios de los productos básicos agrícolas son un importante generador de pobreza e inseguridad alimentaria, y favorecieron a los países exportadores netos al aumentar sus ingresos, situación que amplía la desigualdad económica entre las naciones.

El uso de modelos de acuerdo con Chigozirim et al., 2022 tiene algunas implicaciones prácticas para los productores y otras partes interesadas en el ecosistema alimentario del café, dado que existe una tendencia decreciente en la producción de café tiene un impacto negativo para los ingresos nacionales, las oportunidades de empleo y el crecimiento de la economía de Nigeria, así como para el manejo adecuado de insumos y servicios agrícolas, en función de los requerimientos de manejo agronómico, para el mantenimiento de la producción.

Además de la lógica difusa otra de las alternativas es el uso de modelo grises como lo demuestra un estudio llevado a cabo en Vietnam por Thang et al., 2022 quienes al evaluar tres modelos grises denominados GM, DGM y GVM para pronosticar la demanda de consumo de café, encontraron que los mismos son una buena herramienta para los tomadores de decisiones en la construcción de modelos para pronosticar la demanda de consumo de café para reducir el riesgo en la producción de café y promover el desarrollo sostenible de la industria del café en el futuro, concluyendo que se pueden usar modelos de pronóstico más grises para pronosticar la demanda de consumo de café para encontrar un modelo predictivo más preciso.

El cuarto grupo de artículos se refieren a la determinación de la eficiencia del modelo ARIMA para la predicción de la producción de diferentes rubros agrícolas, cuyos principales hallazgos se presentan en la tabla 4, presentando un total de 4 trabajos, en diferentes cultivos, que demuestra la eficiencia de este modelo. los cuales se describen a continuación:

Tabla 4. Eficiencia del modelo matemático ARIMA para la estimación de la producción agrícola.

Titulo	Año	Autores	Base de datos
Predictive Efficiency of ARIMA and ANN Models: A Case Analysis of Nifty Fifty in Indian Stock Market	2019	Pandey y Bajpai	International Journal of Applied Engineering Research-Scopus
Efficient Dynamic Latent Variable Analysis for High Dimensional Time Series Data	2019	Dong et al.,	IEEE Transactions on Industrial Informatics-google académico
An Efficient Network Method for Time Series Forecasting Based on the DC Algorithm and Visibility Relation	2020	Zhao et al	IEEE Transactions on Industrial Informatics-google académico
Minimizing the Error Gap in Smart Framing by Forecasting Production and Demand Using ARIMA Model	2022	Gopalrao et al	Journal of Food Quality-Scopus

La eficiencia de ARIMA ha sido demuestra por autores como Pandey y Bajpai 2019 incluso al compáralo con modelos de redes neuronales que tiene una mejor capacidad predictiva en el caso de un período de tiempo prolongado y series volátiles no lineales como el índice de precios en el mercado Indio y aunque las redes neuronales tienen ventajas sobre los modelos ARIMA, aun así son capaces de proporcionar una análisis adecuado de la información usando serie datos mensuales, semanales y diarios, donde la predicción con redes neuronales no fue contundente por deberse a un ruido excesivo en los datos

Dong et al., 2019 también demostraron la eficiencia del modelo ARIMA al compararlo con los algoritmos DiCCA para el manejo de series largas de datos,

las pruebas en los datos de la planta de Eastman muestran que los modelos ARIMA usan muchos menos parámetros que los modelos AR de alto orden mientras logran una precisión de modelo equivalente. Además, los factores integrantes se construyen explícitamente en los modelos ARIMA si existen en los modelos de variables latentes, lo que no es posible lograr con los modelos AR,

Dado el interés de mostrar la eficiencia del modelo ARIMA, autores como Zhao et al 2020 han evaluado el uso de redes neuronales y algoritmo DC, Para verificar el rendimiento de predicción de este método, encontrando que los buenos resultados experimentales indican que este método puede mejorar la precisión de la predicción en comparación con muchos métodos, incluyendo ARIMA y tiene una buena aplicabilidad. Al mismo tiempo, la complejidad temporal del método propuesto es mucho menor y se utilizan más relaciones entre datos históricos para hacer predicciones, por lo que puede ser usado de manera complementaria.

La eficiencia de ARIMA de acuerdo con Gopalrao et al 2022 sugieren que este modelo puede utilizarse para mostrar y pronosticar el interés futuro en la formulación de raciones para la alimentación animal, sin embargo, en un futuro es necesario comparar estos resultados con el enfoque de organización neuronal para controlar el contraste que muestra con respecto al resultado de ARIMA y conducir de mejor manera aquellos procesos basados en el manejo de una gran cantidad de datos.

Finalmente el último grupo de artículos se refieren a la comparación del modelo ARIMA para la predicción de la producción de diferentes rubros agrícolas con otros modelos matemáticos desarrollados recientemente cuyos principales hallazgos se presentan en la tabla 5, presentando un total de 6 trabajos, en este diferentes cultivos, que demuestra la eficiencia de este modelo en comparación a otros desarrollados en los últimos años, los cuales se describen a continuación:

Tabla 5. Comparación del modelo ARIMA con otros modelos matemáticos para la estimación de la producción agrícola.

Titulo	Año	Autores	Base de datos
A Comparison Between Major Artificial Intelligence Models for Crop Yield Prediction: Case Study of the Midwestern United States, 2006–2015	2019	Kim et al.,	International journal of geo-information-google académico
Performance Evaluation of Best Feature Subsets for Crop Yield Prediction Using Machine Learning Algorithms	2019	Gopal y Bhagavi	Applied Artificial Intelligence-Scopus
Application of Artificial Neural Network for Predicting Maize Production in South Africa	2019	Adisa et al.,	Sustainability journal-Scopus



Comparison of Artificial Neural Network and Regression Models for Prediction of Body Weight in Raini Cashmere Goat	2019	Khorshidi et al.,	Iranian Journal of Applied Animal Science (IJAS)-Scopus
Crop Yield Prediction through Proximal Sensing and Machine Learning Algorithms	2020	Abbas et al.,	Agronomy-Scopus
The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems	2021	Jung et al.,	Current Opinion in Biotechnology-Scopus

Kim et al., 2019 al comparar diferentes modelos para estimar la producción de cultivos en los estados unidos encontraron que los modelos basados en inteligencia artificial (IA) para la predicción del rendimiento de cultivos, permitirá una mejor precisión en los resultados dado que se llevó a cabo un proceso de optimización para garantizar las mejores configuraciones para la estructura de capas, la función de costo, el optimizador, la función de activación y la tasa de abandono, lo que es un valor agregado en cuanto a las salidas que ofrecen modelos como ARIMA.

Otros modelos empleado es el uso de algoritmo de aprendizaje automático, el cual es un tipo de aplicación de inteligencia artificial y el cual es descrito por Gopal y Bhagavi 2019, quienes encontraron que las características seleccionadas por estos algoritmo producen la mayor precisión, así mismo Adisa et al., 2019 han evaluada el uso de modelos basados en el uso de redes neuronales para estimar la producción de maíz en Sudáfrica, encontrando que considerando que las diferentes variables climáticas y/o sus combinaciones sirven como principales impulsores de la producción de maíz en las diferentes provincia, con un adecuado nivel de precisión de la predicción obtenida entre la producción de maíz real y la prevista para cada provincia dada por el valor R2 ajustado que vario entre 0,75 y 0,83 dependiendo de la región, lo que garantiza predicciones futura de la producción de maíz.

Las redes neuronales, también ha sido empleados para la predicción de rendimientos en la producción animal como lo demuestra Khorshidi et al., 2019



cuyos resultados demostraron que, para la predicción del peso corporal en cabras Raini Cashmere, las redes neuronales artificiales son mejores y más precisas que los modelos de regresión múltiple debido al R^2 más alto y al coeficiente de correlación de Pearson y a la desviación estándar y el error cuadrático medio más bajos en comparación con los modelos de regresión múltiple.

Mientras que Abbas et al., 2020 usaron el uso de algoritmos automatizados para la estimación de la producción de cultivos como la papa, encontrando que el 40 % de las variaciones observadas en los parámetros estimados puede provenir de factores externos, como el cambio climático y ambientales. Además, los conjuntos de datos más grandes pueden generar resultados precisos y precisos utilizando cualquiera de los modelos, tal como habida sido observado cuando se empleó el modelo ARIMA para el manejo de serie de datos temporales superiores a los 10 años.

Finamente a pesar de las ventajas del modelo ARIMA y su facilidad de aplicación, especialmente en países como Ecuador que anejan grandes bases de datos, al tendencia futura es al uso de la inteligencia artificial como lo señalan Jung et al., 2021, sin embargo para el éxito en el desarrollo de estos modelos de simulación de cultivos es necesario prestar mucha atención al desarrollo de equipos multidisciplinarios capaces de abordar diversos problemas en las disciplinas de ciencias biológicas, ambientales e informáticas. También debemos dedicar esfuerzos a largo plazo para crear protocolos estándar de recopilación, procesamiento y análisis de datos, así como la calidad de los mismos. En este sentido Ecuador posee una venta competitiva dado el manejo adecuado de los sistemas de información y las bases de datos por los organismos nacionales, cuyas aplicaciones se pierde de vista.

3. CONCLUSIONES

El modelo ARIMA permite el manejo adecuado de los datos para la predicción y estimación acertado de rendimientos y precios de productos claves para a economía ecuatoriana como los cereales, café, cacao, reduciendo la incertidumbre y garantizando la toma de decisiones para un manejo agronómico sostenible, que mejore la competitividad de los rubros analizados en el mercado internacional.

A pesar del surgimiento de nuevos métodos de predicción basados en la inteligencia artificial, el uso de redes neuronales y la lógica difusa, cuando se compara el modelo ARIMA con estas últimas aplicaciones, el mismo sigue siendo eficiente, por lo que su uso se recomienda para el manejo de big data con total seguridad y con la ventaja adicional de que el miso resulta de mayor facilidad para el manejo de la mayoría de los usuarios.

Lo resultados muestran la importancia del uso de las matemáticas aplicado en este caso a modelización el campo agrícola, particularmente en esta actividad donde la variabilidad tanto en el comportamiento de los precios como de las variables ambientales hace mucho más difícil la predicción sin embargo los

resultados expuestos demuestran que los valores simulados son similares a los valores observados en la realidad, lo que aumenta la seguridad en la toma de decisiones para maximizar la eficiencia y los beneficios de los rubros agrícolas de interés para el Ecuador.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abbas, F., Afzaal, H., Farooque, A. A., & Tang, S. (2020). Crop yield prediction through proximal sensing and machine learning algorithms. *Agronomy*, 10(7), 1046.
- Adisa, O. M., Botai, J. O., Adeola, A. M., Hassen, A., Botai, C. M., Darkey, D., & Tesfamariam, E. (2019). Application of artificial neural network for predicting maize production in South Africa. *Sustainability*, 11(4), 1145.
- Akanni, S. B., & Adeniyi, O. I. (2020). On the forecast of cereals production in Nigeria. *Federal University Wukari Trends in Science and Technology Journal, FSTJ*, 216.
- Arellano, A., & Peña, D. (2020). Modelos de regresión lineal para predecir el consumo de agua potable. *Revista Digital Novasinergia*, 3(1), 27-36.
- Bandura, E., Bueno, J. C. M., Jadoski, G. S., & Ribeiro Junior, G. F. (2019). Aplicações do modelo SARIMA para estatística na análise de dados em série temporal. *Pesqui Aplic Agrotec*, 12(3), 145-50.
- Bonilla Bolaños, A. G., & Singaña Tapia, D. A. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 70-83.
- Cuesta, M., Constante, J., & Jijón, D. (2023). Modelos de Predicción de Radiación Solar y Temperatura Ambiente mediante Redes Neuronales Recurrentes. *Revista Técnica" energía"*, 19(2), 81-89.
- Domínguez-Guevara, R., del Carmen Cabrera-Hernández, M., Aceves-Fernández, M. A., & Ortega, J. C. P. (2019). Propuesta de red neuronal convolutiva para la predicción de partículas contaminantes PM10. *Res. Comput. Sci.*, 148(7), 51-63.
- Dong, Y., Liu, Y., & Qin, S. J. (2019). Efficient dynamic latent variable analysis for high-dimensional time series data. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(6), 4068-4076.
- Fatih, C. (2022). Forecasting Models Based on Fuzzy Logic: An Application on International Coffee Prices. https://dbc.wroc.pl/Content/119933/Fatih_Forecasting_Models_Based_on_Fuzzy.pdf
- García, M. D. R. L., Damián, M. Á. M., & Coronado, J. J. A. (2021). Predicción del precio de maíz en México. *Agrociencia*, 55(8), 733-746.
- Gopal, P., Bhagarvi, R. (2019). Performance evaluation of best feature subsets for crop yield prediction using machine learning algorithms. *Applied Artificial Intelligence*, 33(7), 621-642.



- Gopinath, M: Sweka, S., Vishalakshi, S. (2019). Forecasting of Coffee Production in India Using ARIMA Model. *International Journal of Science, Engineering and Management (IJSEM)* 14 (10): 94-100
- Guerrero, M., Luque Sendra, A., & Lama-Ruiz, J. R. (2019). Técnicas de predicción mediante minería de datos en la industria alimentaria bajo el paradigma de Industria 4.0. *Avances en la Investigación en Ciencia e Ingeniería; Área de Innovación y Desarrollo*, SL, Ed, 149-157.
- Kim, N., Ha, K. J., Park, N. W., Cho, J., Hong, S., & Lee, Y. W. (2019). A comparison between major artificial intelligence models for crop yield prediction: Case study of the midwestern United States, 2006–2015. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(5), 240.
- Khorshidi-Jalali, M., Mohammadabadi, M., Koshkooieh, A. E., Barazandeh, A., & Babenko, O. (2019). Comparison of artificial neural network and regression models for prediction of body weight in Raini Cashmere goat.
- Jung, J., Maeda, M., Chang, A., Bhandari, M., Ashapure, A., & Landivar-Bowles, J. (2021). The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 70, 15-22.
- Laurente Blanco, L. F., & Mamani Huanacuni, A. (2020). Modelamiento de la producción de quinua aplicando ARIMA en Puno-Perú. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 19(19), 205-230.
- León-Serrano, L. A., Matailo-Pinta, A. M., Romero-Ramón, A. A., & Portalanza-Chavarría, C. A. (2020). Ecuador: producción de banano, café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016. *Revista Científica UISRAEL*, 7(3), 103-121.
- Lucerón, M. D. C. O., Domingo, J. D., Singh, D. E., Soler, D. M., Mellado, J. L. A., Pedreño, J. A., & Sánchez, M. A. L. (2022). Predicciones de tres modelos matemáticos en relación a la estrategia de vacunación frente a la COVID-19 en España. Junio de 2021. *Revista española de salud pública*, (96), 23.
- Nguyen, N. T., Phan, V. T., Nguyen, V. Đ., Le, T. H., & Pham, T. V. (2022). Forecasting the Coffee Consumption Demand in Vietnam Based on Grey Forecasting Model. *Vietnam Journal of Computer Science*, 9(03), 245-259.
- Oni O.V., Oni O.A., Akanle Y.O., Ogunleye T.B. (2021), Modelling Annual Cocoa Production Using ARIMA Time Series Model. *African Journal of Mathematics and Statistics Studies* 4(3), 135- 144.
- Onwusiribe, N. C., Mbanasor, J. A., & Oteh, O. U. (2022). Dynamics of coffee output in Nigeria. *Gestão & Produção*, 29.
- Pandey, V. S., & Bajpai, A. (2019). Predictive efficiency of ARIMA and ANN models: a case analysis of nifty fifty in Indian stock market. *International Journal of Applied Engineering Research*. ISSN, 0973-4562.
- Pazmiño, M. E. G., Saltos, E. Á. S., & Blacio, L. L. M. (2022). Modelado matemático para la predicción de biomasa residual del café. *Revista de Investigación Talentos*, 9(1), 33-44.



- Pérez, J. R. M., Leyva, E. H. P., Fernández, Y. F., & Cordoví, L. L. B. (2021). Análisis predictivo de la deserción estudiantil en la carrera de Medicina. *EduMeCentro*, 13(3), 217-236.
- Pilacuan, L., Gallegos, D., & Salmon, B. (2022). SARS-CoV-2 representación multivariable entre países de América del Sur mediante Biplot dinámico y modelado ARIMA de contagios y letalidad. *EASI: Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Industria*, 1(2), 46-52.
- Pinzón, J. E. D. (2020). Perspectiva del COVID-19 en Colombia para el año 2021. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 128-133.
- Quartey-Papafio, T. K., Javed, S. A., & Liu, S. (2021). Forecasting cocoa production of six major producers through ARIMA and grey models. *Grey Systems: Theory and Application*, 11(3), 434-462.
- Ribeiro, M. H. D. M., da Silva, R. G., Mariani, V. C., & dos Santos Coelho, L. (2020). Short-term forecasting COVID-19 cumulative confirmed cases: Perspectives for Brazil. *Chaos, Solitons & Fractals*, 135, 109853.
- Rodas, P., Guamán, R., Colina Morles, E., Peña, M., & Siguenza-Guzman, L. (2019). Modelo matemático basado en programación lineal y lógica difusa para predicción de tiempos en industrias de ensamble de bicicletas. *RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información)*, (E19), 581-594.
- Sánchez, J. M., Rodríguez, J. P., & Montenegro, C. E. (2020). La relevancia de la variabilidad climática en la formulación de políticas públicas agrarias en los países tropicales. *Revista ESPACIOS*, 41(08).
- Sharma, P. K., Dwivedi, S., Ali, L., & Arora, R. K. (2018). Forecasting maize production in India using ARIMA model. *Agro-Economist*, 5(1), 1-6.
- Sotomayor, D. A. C., & Carlos, F. B. S. M. (2021). Aplicación del método autorregresivo integrado de medias móviles para el análisis de series de casos de covid-19 en Perú. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 21(1), 65-74.
- Tenriawaru, N., Amiruddin, A., Arsyad, M., Mahyuddin, M., Kharisma, N., Nie, F., & Ridwan, M. (2022). Autoregressive integrated moving average for cocoa production in sulawesi island 2021-2030. *Journal AGRISEP: Kajian Masalah Sosial Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 425-436.
- Tosto, A., Morales, A., Rahn, E., Evers, J. B., Zuidema, P. A., & Anten, N. P. (2023). Simulating cocoa production: A review of modelling approaches and gaps. *Agricultural Systems*, 206, 103614.
- Velásquez, A. A. I., Flores, L. C. R., Villamar, J. M., & Moreno, L. E. Z. (2023). Análisis de la cadena agroalimentaria del maíz en Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 8(1), 1862-1873.
- Wawale, S. G., Jawarneh, M., Kumar, P. N., Felix, T., Bhola, J., Raj, R., ... & Boddu, R. (2022). Minimizing the error gap in smart framing by forecasting production and demand using ARIMA model. *Journal of Food Quality*, 2022.
- Yadav, R. S., Mehta, V., & Tiwari, A. (2022). An application of time series ARIMA



forecasting model for predicting nutri cereals area in India.
<https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue3S/PartQ/S-11-3-85-221.pdf>

Yupari-Azabache, I., Bardales-Aguirre, L., Rodriguez-Azabache, J., Barros-Sevillano, J. S., & Rodríguez-Díaz, Á. (2021). Factores de riesgo de mortalidad por COVID-19 en pacientes hospitalizados: Un modelo de regresión logística. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 21(1), 19-27.

Zhao, J., Mo, H., & Deng, Y. (2020). An efficient network method for time series forecasting based on the DC algorithm and visibility relation. *IEEE Access*, 8, 7598-7608.