

APLICACIÓN DEL MODELO ARIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE LA PAPA EN LA REGIÓN DE PUNO-PERÚ

Application of the ARIMA model for the production of potatoes in Puno-Perú region

Luis Francisco Laurente Blanco¹; Frans Laurente Quiñonez²

RESUMEN

La producción de la papa es de importancia económica y social para la población de la región de Puno, que se encuentra ubicada junto al lago Titicaca (lago navegable más alto del mundo) a una altitud entre 3500 y 4100 m s.n.m. al sur del Perú. Para el año 2017, la producción de papa representó el 15% del PBI regional, además es el sustento de aproximadamente 100 mil familias rurales de la región donde según cifras del último censo, la región de Puno en una de las regiones más pobres del Perú con una tasa de pobreza de 24.2%. En este sentido, la producción de papa en la región de Puno funciona como un "termómetro" de la pobreza ya que a más de 3500 m s.n.m. no existen muchas opciones de cultivos y a la presencia de una mala campaña agrícola empeoraría el grado de pobreza que se vive en la región. Por este motivo es necesario realizar estudios de proyección con la finalidad de planificar las actividades de producción de la papa ya que el crecimiento de la población, cambio climático, problemas tecnológicos, problemas en los precios y los problemas en la oferta dificultan la previsión de la producción en el futuro para la región de Puno. El objetivo de esta investigación fue aplicar un modelo ARIMA para el modelamiento y proyección de la producción de papa en Puno utilizando la metodología de Box-Jenkins. El estudio considera datos anuales entre los años 1950 a 2017 extraídos del MINAGRI y BCRP (Puno). El mejor modelo que se encontró para la producción de papa en Puno fue ARIMA (3, 0, 4) utilizando los criterios AIC (Akaike) y SC (Schwarz). Luego, el estudio es de utilidad para la planificación de las actividades de producción de la papa y decisiones de política en el sector agropecuario.

Palabras clave: agropecuario, ARIMA, proyección, Perú, *Solanum tuberosum*.

ABSTRACT

Potato production is of economic and social importance for the population of the Puno region, which is located next to Lake Titicaca (highest navigable lake in the world) at an altitude between 3500 and 4100 meters above sea level in southern Peru. For the year 2017, potato production represented 15% of the regional GDP, in addition it is the livelihood of approximately 100 thousand rural families in the region where according to figures from the last census, the region of Puno in one of the poorest regions of Peru with a poverty rate of 24.2%. In this sense, potato production in the Puno region works as a "thermometer" of poverty since more than 3500 masl there are not many crop options and the presence of a bad agricultural campaign would worsen the degree of poverty live in the region. For this reason, it is necessary to carry out projection studies in order to plan potato production activities since population growth, climate change, technological problems, problems in prices and supply problems make it difficult to predict production in the future for the Puno region. The objective of this research is to apply an ARIMA model for the modeling and projection of potato production in Puno using the Box-Jenkins methodology. The study considers annual data between the years 1950 to 2017 extracted from MINAGRI and BCRP (Puno). The best model found for potato production in Puno was ARIMA (3, 0, 4) using the criteria AIC (Akaike) and SC (Schwarz). Then, the study is useful for the planning of potato production activities and policy decisions in the agricultural sector.

Keywords: Agricultural, ARIMA, projection, Peru, *Solanum tuberosum*.

¹ Universidad Nacional del Altiplano-Perú (UNAP), Grupo Fibonacci de Ciencias Económicas (GRFICE), Perú. flaurenteblanco@gmail.com

² Universidad Nacional del Altiplano-Perú (UNAP), IES. José Gálvez, Perú.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*) es un alimento energético fuente de carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales, que otros cultivos como el arroz o el trigo no la poseen, es así que en aproximadamente 70 gramos de papa se encuentra cerca de la mitad de vitamina C necesaria para el organismo de una persona adulta. La papa es baja en grasas donde es igual a sólo 5% del total de la grasa del trigo y 25% de las calorías que contiene el pan, la papa sancochada contiene más proteínas y cerca del doble de calcio que el maíz (INFOODS, 2010). La papa es fuente de energía y debido a su combinación con otros tipos de alimentos permite disfrutar de su sabor y sus propiedades alimenticias, de este modo al combinarse con carnes o legumbres es posible completar las proteínas necesarias para el organismo del ser humano (FAO, 2010).

Respecto a la producción, la región de Puno produce la mayor cantidad de papa en el Perú (MINAGRI, 2018)

esta región cuenta con una temperatura media de 9°C y está ubicada en una altitud entre 3500 y 4100 m s.n.m. (MINCETUR, 2014). En Puno hay cerca de 800 variedades de papa (Figura 1), se cultiva en 19 de los 24 departamentos del Perú principalmente en la región Andina a una altitud de 2300 y 4100 m s.n.m. representando un 84% de la producción total (Ponce, 2013). La producción de papa se debe a diversos factores como el clima, presencia de heladas, precipitaciones pluviales, tipo de suelo, disponibilidad hídrica y demás, respecto a la cosecha, en la región de Puno, se obtiene una vez por año debido que la siembra se realiza en los meses de noviembre y diciembre y la cosecha entre los meses de abril y junio (Julca, 2016).

La papa es de importancia económica y social en la región de Puno ya que para el año 2017 representó el 15% del PBI regional y es el sustento de numerosas familias, especialmente del medio rural de la región donde cifras del último censo ubica a la región de Puno en una de las regiones más pobres del Perú con una tasa de pobreza de 24.2% (INEI, 2017b).



Figura 1. Algunas variedades de papa producidas en Puno.

Fuente: Araneta (2010).

La producción de papa en la región de Puno se destina para diferentes usos y según variedad que se trate, además de su uso para el consumo humano y su comercialización, se utiliza para semilla y procesamiento de sus derivados como el chuño blanco (denominado también tunta) o chuño negro. Al respecto, Julca (2016) estimó los porcentajes de distribución de la producción de la papa para la región de Puno, donde indica que el 8% se destina para semilla, 30% para autoconsumo, 37% para comercialización y 25% para la producción de tunta y chuño negro. La papa producida en Puno es comercializada en los principales mercados locales

y nacionales directamente por los agricultores para su consumo en las ciudades, existe cerca de 10 mil productores y más de 100 mil familias rurales en la región de Puno que se benefician directamente de la agricultura y el comercio de papa, esta población rural que dentro de sus actividades primarias es la agricultura, representa el 46.2% de la población total de la región (INEI, 2017a).

En la actualidad, la producción de papa presenta diversos problemas de tipo agroindustrial, de infraestructura para el acceso a los mercados, falta de organización y bajos niveles de productividad lo que

dificulta su competitividad (PROEXPANSION, 2011). La oferta de un producto agroindustrial, está altamente influenciada por los factores climáticos, los cuales afectan los volúmenes disponibles ya que suelen ser imprescindibles como es el caso de las sequías, granizos y heladas que se viven en la región. A diferencia del clima, los cambios tecnológicos que también afectan a la oferta de la papa no son tan recurrentes según afirma Zegarra y Tuesta (2009), es principalmente por falta de empleo de técnicas modernas y por el alejamiento de los mercados, que el rendimiento de los cultivos en la Sierra depende en gran medida de las condiciones climáticas y del suelo.

De este modo, el Ministerio de Agricultura (MINAGRI) del Perú con oficinas regionales se esfuerzan por corregir esta falla de mercado proporcionando información sobre las intenciones de siembra de cada zona productiva, dando recomendaciones sobre las hectáreas que deberían dedicarse a cada cultivo y el momento oportuno para iniciar la siembra, aunque en muchos casos, la información no es oportuna o tiene poco alcance debido a las distancias y la comunicación entre los productores agrícolas (PROEXPANSION, 2011).

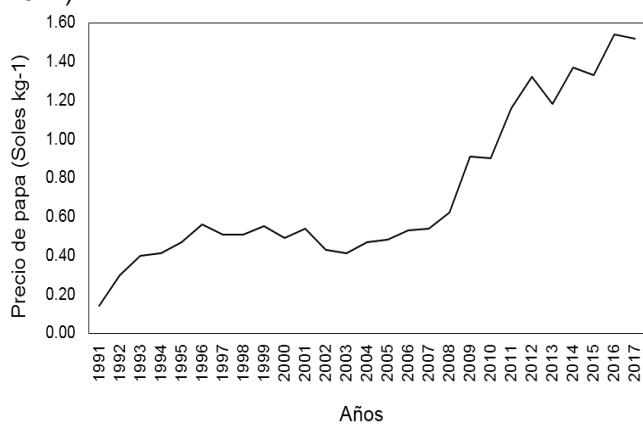


Figura 2. Evolución del precio de la papa en Puno (soles kg⁻¹), 1991-2017.

Otro problema que se identifica está relacionado a la siembra, ésta se ve influenciada por factores climáticos y también por las decisiones de los productores en relación al comportamiento del mercado especialmente relacionado a los precios de venta de la papa, es así que los precios de la papa en el Perú en general suben ante un exceso de demanda y caen cuando se presenta un exceso de oferta. En este sentido, ante la presencia de variaciones de los precios de los insumos de producción, los agricultores deciden en reducir su nivel de producción o disminuir la calidad de la papa.

Los costos de transacción y de transporte empeoran la situación de la oferta debido que han tenido un efecto importante en la determinación del precio, esto es, cuando los precios de los fertilizantes, pesticidas o el precio de transporte aumenta no tiene efecto sobre el aumento en el precio, más bien debido al mínimo poder de negociación que tienen los pequeños productores de papa, hace que los incrementos en los costos se trasladen directamente al agricultor disminuyendo su rentabilidad. La situación se complica para los productores que dependen del riego extraída mediante bombas a base de petróleo, a lo que se suma el precio del petróleo al gasto total (CEPES, 2005).

Es así que en el país y en sus regiones, los agricultores reclaman sobre la intervención del Estado debido que los precios sufren una amplia variación y al no existir una protección se determinan únicamente por fuerzas del mercado poniendo en peligro a la oferta de la papa, en los meses de abril de 2000, mayo de 2002 y marzo de 2005, los precios de venta por kilo de la papa fueron en promedio de 0.49, 0.43 y 0.48 Soles kg⁻¹ (Figura 2), respectivamente lo que llevó a un número de protestas con la finalidad que los organismos de gobierno compran directamente la producción de la papa (PROEXPANSION, 2011) y en ese sentido garantizar los retornos y el incentivo de producción a los agricultores. La demanda de la papa es más estable que la oferta ya que está determinada básicamente por las variables como los ingresos familiares, los gustos y preferencias de los consumidores y estos no son volátiles en el corto plazo.

La producción de papa en la región de Puno y en todas la regiones del Perú funciona como un “termómetro” de la pobreza especialmente para la Sierra debido que a más de 3500 m s.n.m. no existen muchas opciones de cultivos y a la presencia de una mala campaña agrícola empeoraría el grado de pobreza que se vive en la región (PROEXPANSION, 2011). Por este motivo es necesario realizar estudios de proyección con la finalidad de planificar las actividades de producción de la papa ya que el crecimiento de la población, cambio climático, problemas tecnológicos, problemas en los precios y los problemas en la oferta dificultan la previsión de la producción de la papa en el futuro para la región de Puno.

El objetivo principal de esta investigación fue identificar un modelo ARIMA propuesto por Box y Jenkins (1976) que será usado para el modelamiento y la proyección de la producción de papa en la región de Puno. Al

respecto se mencionan algunos trabajos que utilizan esta metodología para el modelamiento de la producción de papa y productos comestibles con modelos ARIMA, se encuentran los trabajos de Moyazzem y Abdulla (2015), Singh, Kumar y Prabakaran (2013), Erikson (1993), Laurente (2018), Hossian y Abdulla (2015), Hossain, Samad y Ali (2008), Paul et al., (2013), Shuhla y Jharkharia (2015); aplicación de modelos ARIMA para el precio de la papa están las investigaciones de Dhakre y Bhattacharya (2014), Anwar et al. (2015), Alioune (2008) y Amiri, Bakhshoodeh y Najafi (2011). Trabajos relacionados a las temperatura de producción de papa y latitudes el trabajo de Haverkort (1990); respecto del cambio climático el trabajo de Hijmans (2003); respecto de la historia y descripción de la papa en el Perú los trabajos de Sánchez (2016), Chávez (2008), MINAGRI (2017); relacionados a la evolución del cultivo los trabajos de Spooner y Hetterscheid (2005) y Rodriguez (2010); respecto a las variedades se encuentran los trabajos de Ponce (2013) y Cahuana y Arcos (2002); información nutricional se encuentra en Peña (2015), Loyola et al., (2010) y Muñoz (2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

La selección de los materiales y métodos para la presente investigación comprende de dos partes: la descripción de los datos a utilizar y la metodología ARIMA de Box y Jenkins (1976) para la aplicación del modelo ARIMA para la producción de la papa en Puno.

Se utilizó información estadística con período anual para la producción de papa en el departamento de Puno para el período 1950 a 2017 que fueron extraídos de la página web del Ministerio de Agricultura (MINAGRI, 2018) y del Banco Central de Reserva del Perú-Sucursal Puno (BCRP, 2018). Para el análisis econométrico y la aplicación del modelamiento ARIMA se empleó el software Eviews 9.

o en su forma compacta,

$$(1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - L - \phi_p L^p)(1 - L)^d Y_t = (1 - \theta_1 L - \theta_2 L^2 - L - \theta_q L^q) \varepsilon_t \quad (4)$$

Las series con tendencia secular y variaciones cíclicas pueden representarse con los modelos ARIMA (p, d, q) (P, D, Q). El primer paréntesis se refiere a la tendencia

El presente trabajo utilizó el modelo ARIMA propuesto por Box y Jenkins (1976) que sugiere como procedimiento: un análisis preliminar a los datos de la variable de estudio, de tal modo que sea un proceso estocástico estacionario; la identificación de un modelo tentativo especificando el orden (p, d, q) del modelo ARIMA, haciendo uso de las funciones de autocorrelación y correlación parcial de la serie; la estimación de los modelos ARIMA identificados en el paso previo, para ello se utilizó el método de mínimos cuadrados o el método de máxima verosimilitud. Luego, para la selección de los modelos ARIMA identificados se hizo uso del Criterio de Información de Akaike (AIC) debido a Akaike (1974) y Criterio de Información Bayesiano de Schwarz (SBIC) debido a Schwarz (1978). Para el diagnóstico de los resultados de la estimación, se utilizó los tests estadísticos de significancia individual y conjunta, entre otros que fueron útiles para contrastar la significancia estadística de los parámetros y residuos del modelo. Finalmente, se realizó la proyección con el modelo ARIMA seleccionado para una adecuado modelamiento y proyección de la serie estadística.

Para la representación matemática del modelo ARIMA, se definen los procesos AR (p) y MA (q) (Ecuación 1 y 2).

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$Y_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} \quad (2)$$

Un modelo ARIMA (0, d, 0) es una serie temporal que se convierte en un proceso de ruido blanco después de ser diferenciada "d" veces. El modelo ARIMA (0, d, 0) se expresa como $(1 - L)^d Y_t = \varepsilon_t$ o lo que es lo mismo como $Y_t - Y_{t-d} = \varepsilon_t$. La formulación general de un modelo ARIMA (p, d, q) se denomina proceso integrado de medias móviles de orden (p, d, q) y se escribe como:

$$Y_t - Y_{t-d} = \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} \quad (3)$$

secular o parte regular y el segundo paréntesis a las variaciones estacionales o parte cíclica de la serie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis preliminar, la Figura 3 muestra la evolución de la producción de papa en la región de Puno en toneladas métricas (TM) donde en promedio en los períodos 1950 a 2017 se tuvo un valor promedio de 282286.63 TM con un mínimo de 35788.00 TM y un máximo de 742914.01 TM, presentando un crecimiento acelerado desde el año 1995 a 2017.

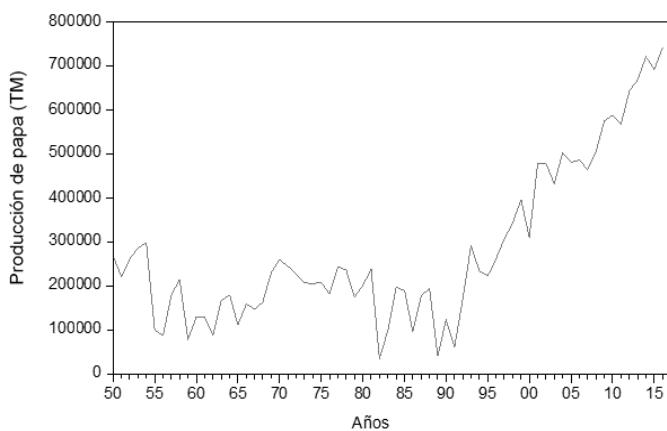


Figura 3. Producción de papa en Puno (TM), 1950-2017.

Como primer paso, se determina si la serie es estacionaria, para ello se utilizan los test de estacionariedad ADF de Dickey y Fuller (1979) y PP de Phillips y Perron (1988) que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tests de estacionariedad.

| Variable | Con intercepto | | Con intercepto y tendencia | |
|-------------|----------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| | Nivel | Primera diferencia | Nivel | Primera diferencia |
| Test de ADF | 1.3455 | -9.2130* | -0.8919 | -10.0959* |
| Test de PP | -0.1434 | -11.2231* | -2.2503 | -14.2039* |

Asterisco (*) denota serie estacionaria al 1% de significancia.

La Tabla 1 muestra los resultados de los test de estacionariedad a un nivel de 1% de significancia y se concluye que la producción de papa es no estacionaria en niveles al 1% de significancia. Para este propósito se calculó la serie en primera diferencia y para los test de ADF y PP, la serie es estacionaria o I(0) a un 1% de significancia, de este modo la variable producción de papa en niveles es I(1). Para la estimación se utilizó varios modelos autoregresivos (AR), medias móviles (MA) y modelos autoregresivos integrados y de medias móviles (ARIMA) utilizando la metodología de mínimos cuadrados mostrados en la Tabla 2 para determinar el comportamiento de la producción de papa en Puno para el período 1950-2017.

Tabla 2. Estimación de modelos ARIMA para la producción de papa en Puno.

| Variable | Coeficiente | t-Statistic | AIC/SBC | DW |
|-----------------|-------------|-------------|---------------|--------|
| Modelo 1 | | | | |
| AR(1) | 0.9968 | 126.4496 | AIC = 25.1442 | 1.9051 |
| MA(1) | -0.3752 | -2.7258 | SC = 25.2421 | |
| Modelo 2 | | | | |
| Constante | 356873.7 | 2.0772 | AIC = 25.2095 | |
| AR(1) | 0.9489 | 18.3235 | SC = 25.3074 | 2.3719 |
| Modelo 3 | | | | |
| Constante | 398213.1000 | 1.7919 | | |
| AR(2) | 0.5225 | 3.6267 | | |
| AR(3) | 0.4213 | 3.1366 | AIC = 25.1230 | 1.9255 |
| MA(1) | 0.6548 | 4.9142 | SC = 25.3188 | |
| MA(4) | 0.2479 | 2.3857 | | |
| Modelo 4 | | | | |
| Constante | 350984.8 | 3.7192 | | |
| AR(3) | 0.8402 | 11.1604 | AIC = 25.4187 | |
| MA(1) | 0.4451 | 4.2910 | SC = 25.5819 | 1.5702 |
| MA(4) | 0.2539 | 2.0584 | | |
| Modelo 5 | | | | |
| Constante | 401811.9 | 1.7834 | | |
| AR(2) | 0.5614 | 3.7913 | AIC = 25.1515 | |
| AR(3) | 0.3892 | 2.8759 | SC = 25.3147 | 2.0097 |
| MA(1) | 0.6840 | 4.6429 | | |

AIC y SBIC = Criterio de Información de Akaike y Criterio de Schwarz; DW = estadístico Durbin-Watson de autocorrelación.

Para la elección del mejor modelo ARIMA se utilizó el Criterio de Información de Akaike (AIC) debido a Akaike (1974) y Criterio de Información de Schwarz (SC) debido a Schwarz (1978) que indican que el mejor modelo con sus determinantes estadísticamente significativos, es aquel que posee el menor valor de los estadísticos de AIC y SC, donde se tiene que el modelo 3 de la Tabla 2, identificado como ARIMA (3, 0, 4) o ARMA (3, 4), es el mejor para representar la producción de papa en la región Puno. Al respecto, Laurente (2018) encontró que para la misma región con datos mensuales la producción de papa sigue un modelo SARIMA (1, 1, 2)(1, 0, 1)₁₂ o ARIMA estacional, lo que sugiere que para modelar la producción de papa en la región Puno para valores mensuales es más adecuado utilizar un modelo ARIMA estacional (o SARIMA), mientras que para un modelamiento y proyección con información anual de la papa, es más adecuado utilizar un modelo ARIMA que se encontró líneas arriba.

Para el diagnóstico del modelo ARIMA (3, 0, 4), la Figura 4 muestra que las raíces de todos los AR y MA se encuentran dentro del círculo unitario debido que son menores a 1, lo que muestra que el modelo ARIMA (3, 0, 4) es estable al igual que los errores, luego el modelo se puede usar para modelar y proyectar la producción de papa en la región de Puno.

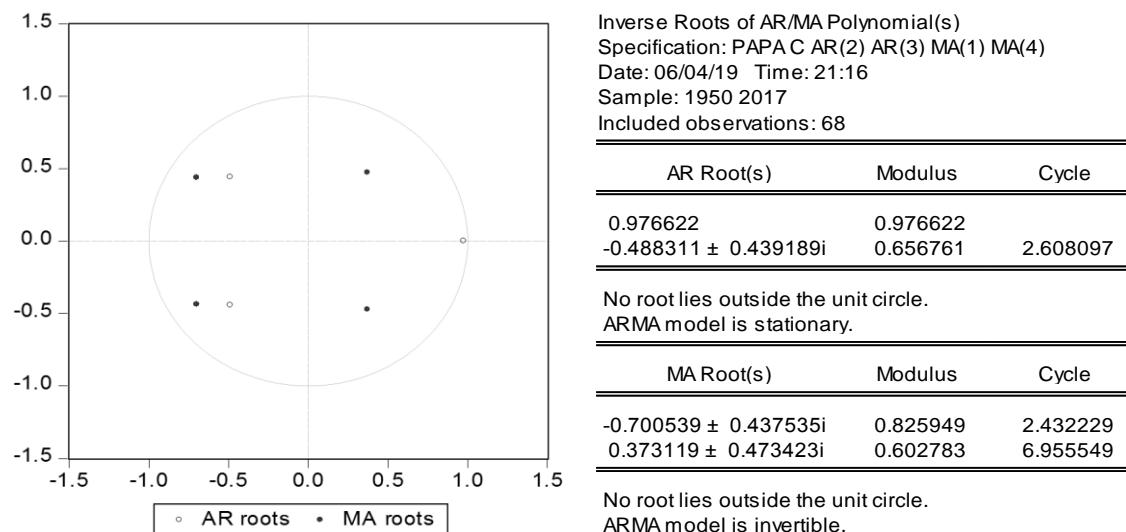


Figura 4. Raíces inversas de los polinomios AR/MA.

La Figura 5 muestra los valores actuales, los valores proyectados y los residuos del modelo ARIMA (3, 0, 4). Para la evaluación de la existencia de correlación serial al modelo ARIMA (3, 0, 4), la Figura 6 muestra el correlograma para el modelo mediante el estadístico Q de Ljung-Box (Ljung y Box, 1978), que indica que hay ausencia de autocorrelación en los residuos, es decir, el comportamiento se asemeja al de un ruido blanco. Se observa que todos los coeficientes caen dentro de la banda de confianza al 95% y los p-valores asociados

al estadístico Q de Ljung-Box para cada retardo (p-value) son los suficientemente grandes como para no rechazar la hipótesis nula que todos los coeficientes son nulos. Asimismo, de la Tabla 2 se observa que el modelo 3 dado por ARIMA (3, 0, 4) no presenta problemas de autocorrelación debido que el estadístico de Durbin-Watson (DW) se encuentra cerca de 2 (Durbin y Watson, 1950, 1971b, 1971a). En consecuencia los residuos del modelo ARIMA (3, 0, 4) se encuentran no correlacionados.

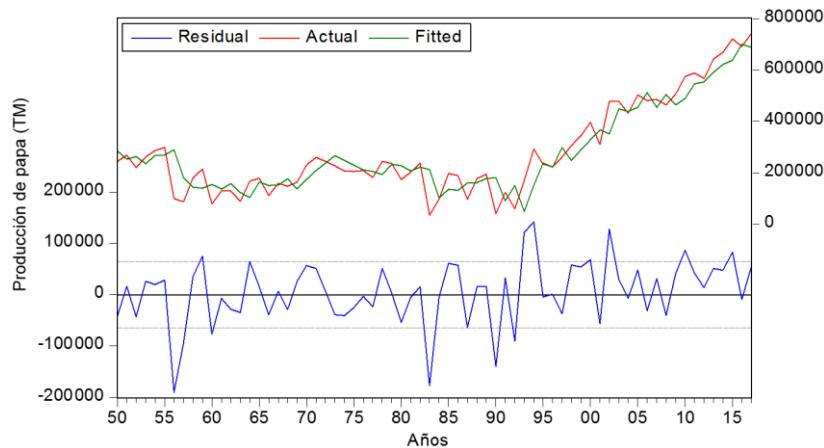


Figura 5. Valores actuales, proyectados y residuales del modelo ARIMA (3, 0, 4).

| Sample: 1950 2017 Included observations: 68 Q-statistic probabilities adjusted for 4 ARMA terms | | | | | | |
|---|---------------------|--------|--------|--------|------|--|
| Autocorrelation | Partial Correlation | AC | PAC | Q-Stat | Prob | |
| 1 | 0.022 | 0.022 | 0.0331 | | | |
| 2 | -0.075 | -0.075 | 0.4388 | | | |
| 3 | -0.045 | -0.042 | 0.5893 | | | |
| 4 | 0.038 | 0.035 | 0.6991 | | | |
| 5 | 0.094 | 0.087 | 1.3697 | 0.242 | | |
| 6 | 0.095 | 0.097 | 2.0665 | 0.356 | | |
| 7 | 0.162 | 0.180 | 4.1225 | 0.249 | | |
| 8 | 0.036 | 0.059 | 4.2276 | 0.376 | | |
| 9 | 0.133 | 0.172 | 5.6523 | 0.342 | | |
| 10 | -0.051 | -0.042 | 5.8679 | 0.438 | | |
| 11 | 0.012 | 0.015 | 5.8808 | 0.554 | | |
| 12 | -0.032 | -0.081 | 5.9688 | 0.651 | | |
| 13 | -0.048 | -0.118 | 6.1654 | 0.723 | | |
| 14 | 0.003 | -0.089 | 6.1661 | 0.801 | | |
| 15 | -0.013 | -0.090 | 6.1802 | 0.861 | | |

| | | | | |
|----|--------|--------|--------|-------|
| 16 | 0.119 | 0.061 | 7.4826 | 0.824 |
| 17 | 0.130 | 0.162 | 9.0509 | 0.769 |
| 18 | 0.043 | 0.106 | 9.2273 | 0.816 |
| 19 | -0.147 | -0.028 | 11.320 | 0.730 |
| 20 | -0.054 | 0.008 | 11.609 | 0.770 |
| 21 | 0.049 | 0.045 | 11.856 | 0.809 |
| 22 | -0.059 | -0.123 | 12.213 | 0.836 |
| 23 | 0.051 | -0.039 | 12.487 | 0.864 |
| 24 | 0.118 | 0.054 | 14.005 | 0.830 |
| 25 | -0.085 | -0.162 | 14.808 | 0.832 |
| 26 | -0.024 | -0.011 | 14.871 | 0.868 |
| 27 | 0.100 | 0.140 | 16.031 | 0.854 |
| 28 | -0.094 | -0.059 | 17.072 | 0.846 |
| 29 | -0.003 | 0.084 | 17.073 | 0.879 |
| 30 | -0.011 | 0.028 | 17.089 | 0.906 |
| 31 | 0.002 | 0.016 | 17.090 | 0.929 |
| 32 | -0.054 | -0.100 | 17.482 | 0.938 |
| 33 | 0.015 | -0.063 | 17.511 | 0.954 |
| 34 | 0.014 | -0.057 | 17.538 | 0.966 |
| 35 | 0.066 | 0.048 | 18.166 | 0.967 |
| 36 | -0.019 | 0.013 | 18.218 | 0.976 |

Figura 6. Correlograma de los residuos del modelo ARIMA (3, 0, 4).

Para la prueba de normalidad de los errores se utilizó el estadístico de Jarque-Bera propuesto por Jarque y Bera (1980, 1981, 1987). Es una prueba de bondad de ajuste para verificar que los residuos del modelo se comportan como una función normal. En la Figura 7 se muestran los resultados del estadístico de Jarque-Bera que dieron un valor de su probabilidad igual a cero lo

que indica el rechazo de la hipótesis de normalidad de los errores. Sin embargo, pese a la ausencia de normalidad en los errores se puede concluir que por el teorema central del límite los errores se comportan como una función normal conforme se incrementa el número de información (Laurente y Poma, 2016).

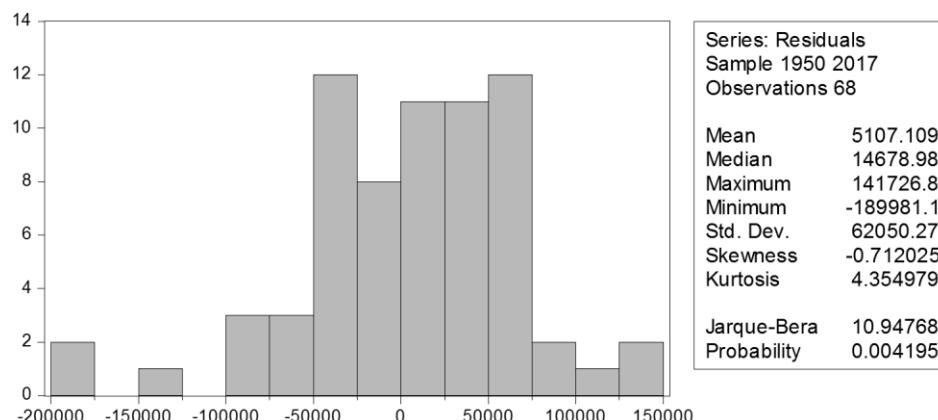


Figura 7. Prueba de normalidad del modelo ARIMA (3, 0, 4).

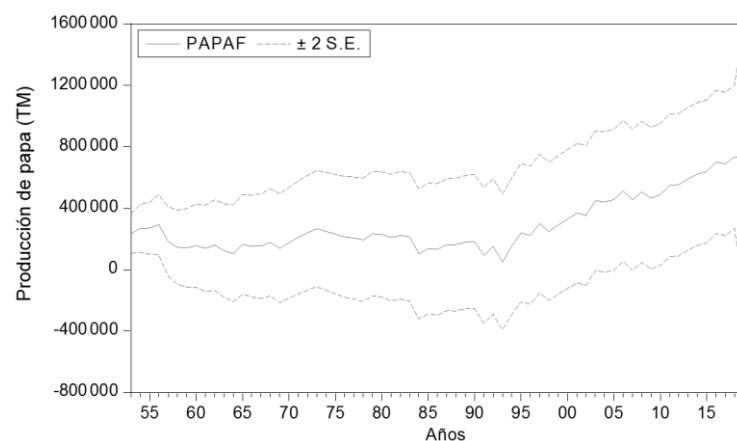


Figura 8. Proyección de la producción de papa en Puno.

Después del examen de diagnóstico realizado al modelo ARIMA (3, 0, 4), se realizó la proyección de la variable de estudio (Box y Jenkins, 1976). Tales resultados se muestran en la Figura 8 donde la variable PAPAF es la proyección con el modelo ARIMA de la variable producción de papa en Puno.

CONCLUSIONES

El presente trabajo aplica modelos ARIMA para la producción de papa en la región de Puno utilizando datos anuales para los períodos 1950 a 2017. Basado en Criterio de Información de Akaike (AIC) y Criterio de Información de Schwarz (SC) se seleccionó el mejor modelo ARIMA de Box y Jenkins (1976) para la proyección de la producción de papa en Puno. Los resultados muestran que el modelo ARIMA (3, 0, 4) es el más apropiado para capturar el comportamiento y la proyección de la producción de papa en Puno cuando se trabaja con información anual. Debido que en la región de Puno, como en todas las regiones del Perú, la producción de papa funciona como un “termómetro” de la pobreza, los resultados de esta investigación ayudarán a planificar las actividades de producción de la papa mediante el modelamiento debido que considera información pasada donde muestra los problemas de precios, oferta, cambio climático, entre otros que afectan a la producción de la papa en Puno.

Como trabajos futuros se pretende utilizar otros métodos de modelamiento y proyección para los principales cultivos del departamento de Puno y que tales resultados sirvan como base de comparación y promueva la investigación en temas agropecuarios en esta región del Perú.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Dios por la guía y bendición. Asimismo, agradecen a los revisores anónimos que contribuyeron con sus aportaciones para la mejora del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Akaike, H. 1974. A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>

Alioune, D. 2008. Alternative forecasting techniques for vegetable prices in Senegal. *Bureau d'analyses Macro-*

Économiques (BAME). Disponible en: http://www.bameinfopol.info/IMG/pdf/Dieng_MP_1_.pdf

Amiri, A., Bakhshoodeh, M., Najafi, B. 2011. Forecasting seasonality in prices of potatoes and onions: challenge between geostatistical models, neuro fuzzy approach and Winter method. *Munich Personal RePEc Archive*, (44017). Disponible en: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/34093/>

Anwar, M., Shabbir, G., Shahid, H., Samreen, W. 2015. Determinants of potato prices and its forecasting: A Case Study of Punjab, Pakistan. *Munich Personal RePEc Archive*, (41193). Disponible en: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/66678/>

Araneta, G. 2010. Fotografía profesional: “Reina de los Andes” la papa Solanum tuberosum Disponible en: <http://gloria-araneta.blogspot.com/2010/05/reina-de-los-andes-la-papa-solanum.html>.

BCRP. 2018. Síntesis de actividad económica de Puno, producción agropecuaria, varios años. Disponible en: <http://www.bcrp.gob.pe/51-sucursales/sede-regional-puno.html>. Consultado el 23 febrero 2018.

Box, G., Jenkins, G. M. 1976. *Time Series Analysis: forecasting and control*. Oakland, California: Holden-Day.

Cahuana, R., Arcos, J. 2002. Variedades nativas y mejoradas de papa en Puno. INIA. Disponible en: http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/898/1/Cahuana-Variedades_nativas_Papa.pdf

CEPES. 2005. Papa: ¿Por qué caen los precios? *La Revista Agraria*. Disponible en: <https://larevistaagrariaperu.org/2005-2/>

Chávez, P. 2008. La papa, tesoro de los Andes. Disponible en: http://fci.uib.es/digitalAssets/177/177040_peru.pdf

Dhakre, D. S., Bhattacharya, D. 2014. Price behaviour of potato in agra market - a statistical analysis. *Society of Extension Education*. Disponible en: <https://www.seea.org.in/vol14-2-2014/03.pdf>

Dickey, D. A., Fuller, W. A. 1979. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/2286348>

- Durbin, J., Watson, G. S. 1950. Testing for serial correlation in least squares regression. I. Biometrika Trust. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/2332391>
- Durbin, J., Watson, G. S. 1971a. Testing for serial correlation in least squares regression. III. Biometrika. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/biomet/58.1.1>
- Durbin, J., Watson, G. S. 1971b. Testing for serial correlation in least squares regression. II. Biometrika. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/biomet/58.1.1>
- Erikson, G. R. 1993. A Comparison of Models to Forecast Annual Average Potato Prices in Utah. Utah State University. Disponible en: <https://digitalcommons.usu.edu/etd>
- FAO. 2010. La papa un alimento con tradición, nutrición y sabor. Recetario de Platillos Tradicionales del Altiplano Marquense. Disponible en: <http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/6/12880327433890/recetariocorregidoabajaresolucionfinal.pdf>
- Haverkort, A. J. 1990. Ecology of potato cropping systems in relation to latitude and altitude. Agricultural Systems. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(90\)90004-A](https://doi.org/10.1016/0308-521X(90)90004-A)
- Hijmans, R. 2003. The effect of climate change on global potato production. American Journal of Potato Research, 2100, 271–279. Disponible en: https://saiplatform.org/uploads/Library/Climate_change_potato.pdf
- Hossain, Z., Samad, Q., Ali, Z. 2008. ARIMA model and forecasting with three types of pulse prices in Bangladesh: a case study. International Journal of Social Economics. Disponible en: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/03068290610651652>
- Hossian, M., Abdulla, F. 2015. A Time Series analysis for the pineapple production in Bangladesh. Jahangirnagar University Journal of Science. Disponible en: <https://doi.org/10.3844/jmss.2015.93.98>
- INEI. 2017a. Perú: Perfil sociodemográfico. Lima, Perú. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/
- INEI. 2017b. Perú Instituto Nacional de Estadística e Informática - Estadísticas de pobreza. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/living-conditions-and-poverty/>. Consultado el 21 marzo de 2019.
- INFOODS. 2010. Tablas peruanas de composición de alimentos del Ministerio de Salud de la República de Salud del Perú. Disponible en: [http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Tаблица de Alimentos.pdf](http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Tаблицa de Alimentos.pdf)
- Jarque, C., Bera, A. 1980. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. Economics Letters. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(81\)90035-5](https://doi.org/10.1016/0165-1765(81)90035-5)
- Jarque, C., Bera, A. 1981. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals Monte Carlo Evidence. Journal of the American Statistical Association. Disponible en: [https://doi.org/doi:10.1016/0165-1765\(81\)90035-5](https://doi.org/doi:10.1016/0165-1765(81)90035-5)
- Jarque, C., Bera, A. 1987. A test for Normality of observations and Regression Residuals. International Statistical Review. Disponible en: <https://doi.org/DOI:10.2307/1403192>
- Julca, B. 2016. Impacto del gorgojo de los andes (*Premnotypes* spp.) en la producción y comercialización del chuño blanco en las economías campesinas del departamento de Puno. Tesis. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Economía y Planificación. 148 p.
- Laurente, L. 2018. Proyección de la producción de papa en Puno mediante la metodología de Box-Jenkins. Semestre Económico. Disponible en: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26867/se.2018.1.72>
- Laurente, L., Poma, R. 2016. Introducción a la teoría de las probabilidades (Primera Ed). Puno, Perú.
- Ljung, G., Box, G. 1978. Biometrika trust on a measure of lack of fit in time series models. Biometrika. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/biomet/65.2.297>
- Loyola, N., Oyarce, E., Acuña, C. 2010. Evaluación del contenido de almidón en papas (*Solanum tuberosum*, SP. *Tuberoseum* CV. *Desirée*), producidas en forma

- orgánica y convencional en la provincia de Curicó, Región del Maule. Evaluation, (2002). Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292010000200005>
- MINAGRI. 2017. Papa: características de la producción nacional y de la comercialización en Lima Metropolitana. Disponible en: <http://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2017?download=11225:boletin-de-produccion-nacional-de-papa>
- MINAGRI. 2018. Sistemas de información, sistema integrado de estadísticas agrarias, años 1950 - 2016. Disponible en: http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult. Consultado el 25 de febrero 2018.
- MINCETUR. 2014. Series estadísticas de la región de Puno, año 2014. Disponible en: <http://datosturismo.mincetur.gob.pe/appdatosTurismo/Content3.html>. Consultado el 25 febrero 2018.
- Moyazzem, M., Abdulla, F. 2015. Forecasting potato production in Bangladesh by ARIMA Model. Asian Journal of Crop Science. v. 7, n. 2, 147–153. Disponible en: <https://doi.org/10.3923/ajcs.2015.147.153>
- Muñoz, M. 2014. Composición y aportes nutricionales de la papa. Revista Agrícola. Disponible en: http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2014/09/revista_agricola_octubre_36-37.pdf
- Paul, R. K., Panwar, S., Sarkar, S. K., Kumar, A., Singh, K. N., Farooqi, S., Choudhary, V. K. 2013. Modelling and Forecasting of Meat Exports from India. Agricultural Economics Research Review. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/edd8/64cd2f316f8725663c4ae82162710d6c9711.pdf>
- Peña, C. B. 2015. Evaluación del contenido nutricional y actividad antioxidante en *Solanum tuberosum* grupo Phureja. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50055/>
- Phillips, G. D. A., Perron, P. 1988. Testing for a Unit Root in Time Series Regression. Biometrika, Disponible en: <https://doi.org/10.2307/2336182>
- Ponce, R. 2013. Caracterización molecular de las variedades de papas cultivadas (*Solanum* spp.) más importantes del Perú mediante el uso de microsatélites. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Disponible en: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/3228/1/Amambal_aj.pdf
- PROEXPANSION. 2011. Cambios del sector papa en el Perú en la última década: Los aportes del proyecto Innovación y Competitividad de la Papa (INCOPA). Disponible en: <https://cgospace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/7317/1/75526.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Rodriguez, L. E. 2010. Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. Agronomía Colombiana. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17588/37339>
- Sánchez, M. 2016. Cultivo de la papa en Ancash. Disponible en: https://agroancash.gob.pe/agro/wp-content/uploads/2016/07/la_papa.pdf
- Schwarz, G. 1978. Estimating the Dimension of a Model. The Annals of Statistics. Disponible en: <https://doi.org/10.1214/aos/1176344136>
- Shuhla, M., Jharkharia, S. 2015. Applicability of ARIMA models in wholesale vegetable market: An investigation. International Journal of Agricultural and Statistical Sciences. Disponible en: <https://doi.org/10.4018/ijisscm.2013070105>
- Singh, D. P., Kumar, P., Prabakaran, K. 2013. Application of ARIMA model for forecasting Paddy production in Bastar division of Chhattisgarh. American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics. Disponible en: <http://www.iasir.net>
- Spooner, D. M., y Hetterscheid, W. 2005. Origins, evolution, and group classification of cultivated potatoes. Darwin's Harvest. New Approaches to the Origins, Evolution, and Conservation of Crops. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/2.1.4715.3601>
- Zegarra, E., Tuesta, J. 2009. Crecimiento agrícola, pobreza y desigualdad en el Perú rural. Boom agrícola,

pobreza y desigualdad en el Perú rural. (Grade, Ed.).
Lima, Perú: GRADE. Disponible en:
<https://www.grade.org.pe/publicaciones/839-crecimiento-agricola-pobreza-y-desigualdad-en-el-peru-rural/>

Artículo recibido en: 30 de marzo 2019
Aceptado en: 6 de junio 2019