

Modelamiento de la producción de quinua aplicando ARIMA en Puno-Perú

Modeling of quinoa production applying ARIMA in Puno-Peru

Luis Francisco Laurente Blanco¹
flaurenteblanco@gmail.com

Facultad de Ingeniería Económica, Universidad Nacional del Altiplano - Perú (UNAP) y Grupo Fibonacci de Ciencias Económicas (GRFICE)

Analuz Mamani Huanacuni²
ana.luz0650@gmail.com

Facultad de Ingeniería Económica, Universidad Nacional del Altiplano - Perú (UNAP)



Resumen

La producción de quinua (*Chenopodium quinoa*) es de importancia económica y social para la población de la región de Puno debido que este cultivo es el sustento de aproximadamente 100 mil familias rurales de la región donde según cifras del último censo, es una de las regiones más pobres del Perú con una tasa de pobreza de 24.2%. En este sentido, la producción de quinua en la región de Puno es muy importante debido que a más de 3,500 msnm no existen muchas opciones de cultivos, luego es necesario realizar estudios de proyección con la finalidad de planificar las actividades agrícolas en la región. El objetivo de esta investigación es aplicar un modelo ARIMA de Box-Jenkins para el modelamiento de la producción de quinua en Puno. El estudio considera datos anuales entre los años 1951 a 2017 extraídos del MINAGRI. El mejor modelo que se encontró para la producción de quinua en Puno fue ARIMA (0, 1, 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

1 Ingeniero Economista con Maestría en Informática por la Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Realizó estudios de posgrado en matemáticas y estadística en la USP e IMPA del Brasil, su área de interés es la economía matemática. Actualmente realiza investigaciones en el Grupo Fibonacci de Ciencias Económicas (GRFICE).

2 Ingeniero Economista con Maestría en Economía por la Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Su área de especialización son los proyectos de inversión pública.

quinua y decisiones de política en el sector agrícola.

Palabras clave:

Agricultura, ARIMA, *Chenopodium quinoa* Willd, proyección, Perú,

Abstract

The production of quinoa (*Chenopodium quinoa*) is of economic and social importance for the population of the Puno region because this crop is the livelihood of approximately 100 thousand rural families in the region where according to figures from the last census, it is one of the regions poorest in Peru with a poverty rate of 24.2%. In this sense, the production of quinoa in the region of Puno is very important because more than 3,500 masl there are not many crop options, then it is necessary to carry out projection studies in order to plan agricultural activities in the region. The objective of this research is to apply a Box-Jenkins ARIMA model for the modeling of quinoa production in Puno. The study considers annual data between 1951 and 2017 extracted from MINAGRI. The best model found for quinoa production in Puno was ARIMA (0, 1, 4) using the AIC (Akaike) and SC (Schwarz) criteria. Then, the study is useful for the planning of quinoa production activities and policy decisions in the agricultural sector.

Keywords:

Agriculture, ARIMA, *Chenopodium quinoa* Willd, forecasting, Peru.



Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un grano con alta calidad nutritiva que contiene 20 aminoácidos (incluye los 10 principales) y cuenta con 40% más lisina que la leche, por lo que es capaz de proveer de proteína de alta calidad al ser humano, lo que la convierte en la más completa de los cereales, es así que puede competir con la proteína animal procedente de la carne, leche y huevos. Además, posee un bajo nivel de grasa, en comparación con otros cereales, y no posee colesterol (Hernández, 2015) although it is also used for animal feeding. It has high nutritional value and offers high biological content proteins and low glycemic index carbohydrates, which makes it adequate for patients with

diabetes mellitus. (English. Respecto a los aportes de minerales, la quinua muestra superioridad sobre los demás cereales en cuanto a fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), hierro (Fe), zinc (Zn), y sobre algunos en cuanto a calcio (Ca) y manganeso (Mn). Además de lo indicado, la quinua provee de vitaminas naturales al ser humano, especialmente de A, C, D, ácido fólico, tiamina, riboflavina, niacina y vitamina E, y a esto se suma el ser rica en polifenoles, fitosteroles y flavonoides, que actúan favorablemente en la reducción de los niveles de lípidos y glucosa del plasma (Abugoch et al., 2008). En consecuencia, la quinua se encuentra incluida en la lista de “súper alimentos” debido que es un producto con muchos nutrientes de beneficio al organismo del ser humano (Nazrul & Gracia, 2013).

El cultivo de quinua resulta muy atractiva en distintas regiones del mundo debido a su capacidad de adaptabilidad a condiciones extremas del medio ambiente (FAO, 2011). En 1996 la quinua fue catalogada por la FAO como uno de los cultivos promisorios de la humanidad, no sólo por sus grandes propiedades benéficas y por sus múltiples usos, sino también por considerarla como una alternativa para solucionar los graves problemas de nutrición humana. Tal es la importancia que inclusive la NASA también la incluyó dentro del sistema CELLS (en español: Sistema Ecológico de Apoyo de Vida Controlado) para equipar sus cohetes con este alimento en sus viajes espaciales de larga duración, ya que lo consideran un alimento excelente en su composición nutritiva y como alternativa para solucionar la insuficiencia de proteínas en el ser humano. La quinua, junto a otros granos andinos, se constituye en una valiosa alternativa para las familias de las zonas rurales, no solo por lograr un mejor aprovechamiento del agro ecosistema andino ante el cambio climático, sino también por estar contribuyendo a mejorar la nutrición de sus consumidores. El cultivo de la quinua está en expansión, siendo sus principales productores los países de Perú, Bolivia y Ecuador. La quinua se cultiva también en Estados Unidos, Inglaterra, Suecia, Dinamarca, los Países Bajos, Italia y Francia (Sanchez, 2012)obesity, and type 2 diabetes mellitus prevalence in recent years. The focus of this research is to describe observations regarding consumption of quinoa, amaranth and kañiwa cereals; weight status; and self-described experiences of potential risk factors and warning signs for, and symptoms that may represent complications of, type 2 diabetes mellitus in Peruvian

adults living in the city of Arequipa. A survey instrument was developed and administered to 110 subjects (22 diabetics, 88 non-diabetics).

Figura 1: Algunas variedades producidas de quinua en Puno



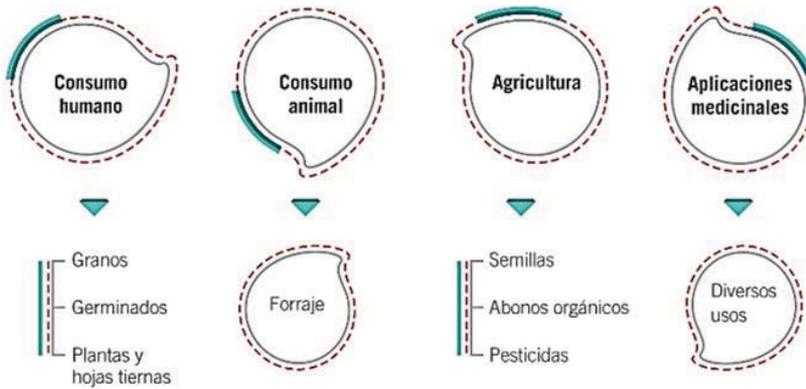
Fuente: Extraído de CONFIEP (2017)

Uno de los mayores logros obtenidos por el Perú en los últimos diez años es haber incrementado la producción del «grano de oro», que pasó de las 27,000 toneladas en 2004 a una cifra récord de 114,700 mil toneladas registradas en 2014 impulsado por una mayor superficie cosechada en las regiones de Puno (32,300 hectáreas), Arequipa (8,100 hectáreas) y Ayacucho (7,700 hectáreas) alcanzando las exportaciones un valor de US\$ 125 millones y tuvieron como destino más de 16 países del mundo. El primer comprador es Estados Unidos, quien recibe el 36% de esta producción (PUBLICO, 2019). En 2015, la producción nacional de quinua disminuye en 7.9% y

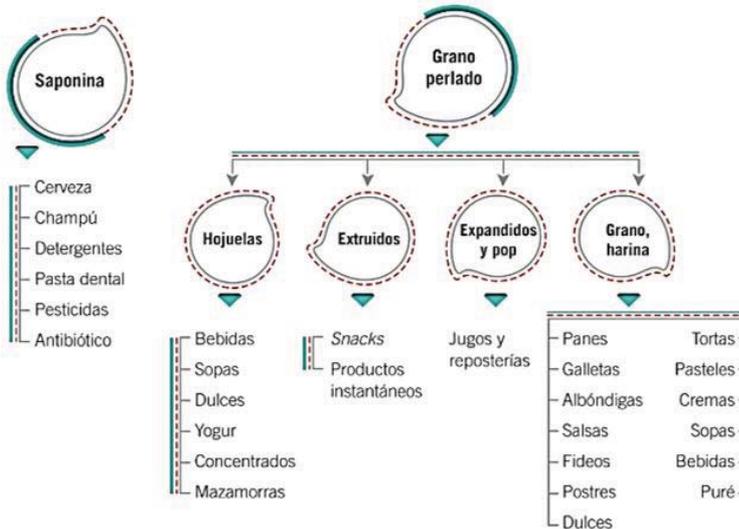
para el año 2016 disminuye en 25%. Siguiendo esta disminución, al final del año el 2017 la producción nacional de quinua registró un valor de producción de 78,700 toneladas (MINAGRI, 2018) cifra muy por debajo del comportamiento de los años anteriores debido fundamentalmente a la caída de los precios de la quinua en el mercado internacional en 2015 y 2016. Sin embargo, para fines de 2017 se observó una leve recuperación de las exportaciones impulsado por la mayor demanda del mercado norteamericano y europeo (GESTION, 2018).

Según el Ministerio de Agricultura (MINAGRI) en el 2017, la región de Puno ha producido el 58% de todo el grano en el Perú encabezando largamente la lista de las regiones productoras (aproximadamente 30,000 toneladas anuales) y es el principal exportador de este grano principalmente las provincias puneñas de Azángaro (20.7%), El Collao (15.9%) y San Román (14.1%), pues llega a más de 40 países que pagan precios altos por este producto. La quinua es cultivada a más de 3,800 msnm con tiempos de cosecha que varía entre seis y ocho meses y en Puno se han logrado cultivar 25 variedades de este grano (Figura 1) donde alguno de ellos es la denominada “Chullpi” de colores rojo, naranja y blanco; la “Cuchiwila”, “Kancolla”, “Cheweca”, “Q’uito” y “Misa” de colores rojo y rosado; la “Flor” de color lila, la “Pasankalla” de tono azulado, entre otras (ANDINA, 2019). De este modo la producción de la quinua no sólo se destina para el consumo humano sino también para el consumo animal, en la agricultura y como aplicaciones médicas según la zona y las costumbres del lugar. Asimismo, con el avance de las tecnologías de transformación, la quinua también se industrializa para usos como en productos de cerveza, champú, bebidas, reposterías y diversos tipos de harina que permiten su utilización y versatilidad de consumo. La Figura 2 muestra los diversos usos que se le da a la quinua en el país y en el mundo.

Figura 2: Utilización e industrialización de la quinua



(a) Utilización de la quinua



(b) Industrialización de la quinua

Fuente: MINAGRI (2014)

En la región de Puno, a la fecha existe gran preocupación por mejorar la producción y su competitividad, es así que entidades del gobierno contribuyen a las iniciativas de los productores para mejorar su producción y pasar de la producción convencional a una tipo orgánico

que busca mantener y recuperar la fertilidad de los suelos, la diversidad biológica y el manejo adecuado del agua mediante la reducción del uso de productos químicos e iniciar con técnicas de producción orgánica que cumplan con los estándares internacionales para la exportación con la finalidad de generar mayor valor agregado y mejorar el precio nacional e internacional de la quinua (SENASA, 2018). Del mismo modo el MINAGRI, a través de AGROIDEAS, apoya en los Planes de Negocios a los productores agropecuarios en la región de Puno con una inversión aproximada de S/ 55.8 millones por parte del Estado, en beneficio de más de 5 mil productores agropecuarios (AGROIDEAS, 2019). Por otro lado, los productores de quinua cuentan con el apoyo del Instituto Nacional de Investigación e Innovación Agraria (INIA) del gobierno peruano, y de organismos no gubernamentales que les permiten acceder al crédito y tecnología. Todos estos esfuerzos por parte de los productores y el apoyo del Estado ha permitido a los productores recibir mejores ingresos por la venta de la quinua (de 2 a 4.80 soles por kilo) y hacerse conocidos en el exterior, fruto de lo cual su demanda se da en los países como Estados Unidos, Europa y Asia, donde la quinua goza de un aprecio sin igual por sus cualidades nutritivas (ANDINA, 2019).

El objetivo principal de esta investigación es identificar un modelo ARIMA de Box & Jenkins (1976) para el modelamiento de la producción de quinua en la región de Puno para el período anual 1951-2017. Este resultado será de utilidad para los encargados de la previsión y desarrollo de capacidades para la producción de quinua en la región de Puno. Al respecto se menciona algunos trabajos que utilizan la metodología ARIMA para el modelamiento de la producción de quinua y otros productos comestibles. Se encuentra el trabajo de Moyazzem H & Abdulla (2015) que modelaron la producción de papa en Bangladesh encontrando como el más adecuado al modelo ARIMA (0, 2, 1); Singh, Kumar, & Prabakaran (2013) encontraron que los modelos ARIMA (2, 1, 2) y ARIMA (2, 1, 0) son los modelos que mejor se ajustan a la producción de arroz en las provincias de la India; Erikson (1993) utilizó diversos modelos de series de tiempo para el precio de la papa en Utah; Laurente (2018) utilizó la metodología de Box-Jenkins para el modelamiento y proyección de la papa para la región de Puno, encontrando que el modelo SARIMA (1, 1, 2)(1,

0, 1)¹² es el modelo más adecuado para la producción de la papa en esa región; Hossian & Abdulla (2015) utilizan modelos de series de tiempo para la producción de piña en Bangladesh, encontraron que el modelo ARIMA (0, 2, 1) es el que mejor modelo a la producción de piña; Hossain, Samad, & Ali (2008) utilizaron modelos ARIMA para el modelamiento y proyección de los precios de los productos en Bangladesh encontrando que los modelos ARIMA (3, 1, 3)(2, 0, 2)¹² y ARIMA (3, 1, 2)(3, 0, 2)¹² son los que modelan adecuadamente los precios de los productos; Paul et al., (2013) estudiaron el modelamiento de la producción de la exportación de carne en la India donde reportan que los modelos SARIMA son los que mejor modelan y proyectan la producción de la carne en ese país; Shuhla & Jharkharia (2015) aplicaron modelos ARIMA para el mercado de vegetales y reportan que el mejor modelo que proyecta la producción de vegetales es el modelo ARIMA (2, 0,1). También están las aplicaciones de los modelos ARIMA para el precio de la papa, así el trabajo de Dhakre & Bhattacharya (2014) utiliza el análisis estadístico y los modelos ARIMA para el precio de la papa y diversos productos agrícolas, de este modo encontraron que el modelo ARIMA (2, 1, 1) es el mejor modelo que captura los precios de los productos agrícolas en la India; Anwar, Shabbir, Shahid, & Samreen (2015) sobre los determinantes de los precios de la papa para el caso de Pakistan encontraron que los modelos ARIMA son los más adecuados para el precios de los productos agrícolas. Por otro lado, Alioune (2008) y Amiri, Bakhshoodeh, & Najafi (2011) utilizan modelos geoestadísticos para aproximar los beneficios de la producción de productos agrícolas. Asimismo, trabajos relacionados a las temperatura de producción de productos agrícolas y latitudes necesarias se encuentra el trabajo de Haverkort (1990); respecto del cambio climático el trabajo de Hijmans (2003); respecto de la historia y descripción de los principales cultivos en el Perú los trabajos de Sánchez (2016), Chávez (2008), MINAGRI (2017); relacionados a la evolución de los cultivos agrícolas están los trabajos de Spooner & Hettterscheid (2005) y Rodriguez (2010); respecto a las variedades se encuentran los trabajos de Ponce (2013) y Cahuana & Arcos (2002); información nutricional de los productos andinos como la papa, la quinua y la cañihua se encuentra en Peña (2015), Loyola et al., (2010) y Muñoz (2014).

El resto del documento se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se explica los materiales y métodos, en la sección 3 se presentan los resultados, en la sección 4 las discusiones y finalmente en la sección 5 se presentan las conclusiones más sobresalientes del presente estudio.

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 & Jenkins (1976) para la aplicación del modelo ARIMA en la producción de la quinua para la región de Puno.

Datos

Se utilizó información estadística con período anual para la producción de quinua en la región de Puno para el período 1951 a 2017 que fueron extraídos de la página web del Ministerio de Agricultura (MINAGRI, 2019). Para el análisis econométrico y la aplicación del modelamiento ARIMA se empleó el software Eviews 9.

Metodología ARIMA de Box-Jenkins

El presente trabajo utiliza el modelo ARIMA propuesto por Box & 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 utiliza el método de mínimos cuadrados o el método de máxima verosimilitud. Luego, para la selección de los modelos ARIMA identificados se hace uso del Criterio de Información de Akaike (AIC) propuesto por Akaike (1974) y Criterio de Información Bayesiano de Schwarz (SBIC) propuesto por Schwarz (1978). Para el diagnóstico de los resultados obtenidos de la estimación, se utiliza los tests estadísticos de significancia individual, significancia conjunta, entre otros que serán útiles para contrastar la significancia

estadística de los parámetros y residuos del modelo. Finalmente, se realiza la proyección de la serie con el modelo ARIMA seleccionado.

A continuación se presenta la representación matemática del modelo ARIMA, para ello se definen los procesos AR (p) y MA (q) a continuación

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

$$Y_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i}.$$

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

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

o en su forma compacta,

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

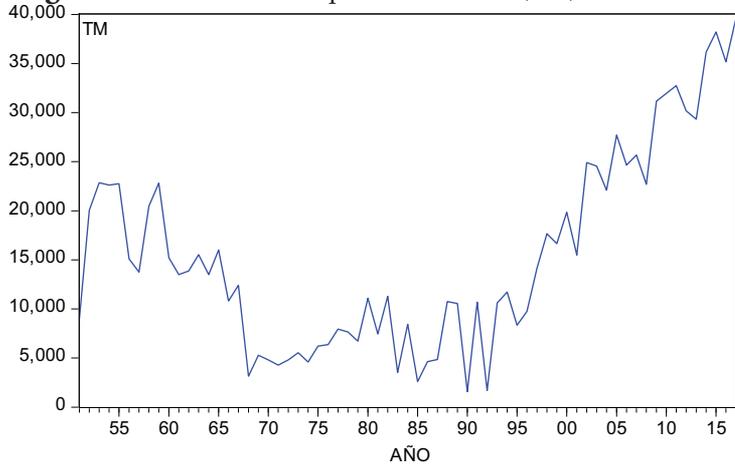
Las series con tendencia secular y variaciones cíclicas pueden representarse con los modelos ARIMA (p, d, q)(P, D, Q). El primer paréntesis se refiere a la tendencia secular o parte regular y el segundo paréntesis a las variaciones estacionales o parte cíclica de la serie.

Resultados

Para la presentación de los resultados se utiliza los pasos indicados en la sección anterior. Para el análisis preliminar, la Figura 3 muestra la evolución de la producción de quinua en la región de Puno en toneladas métricas (Tm) donde para el período 1951 a 2017 se tiene un valor promedio de

15,488.40 Tm con un mínimo de 1,574.00 Tm y un máximo de 39,610.00 Tm, presentando un crecimiento acelerado desde el año 1995 a 2017.

Figura 3: Producción de quinua en Puno (Tm), 1951-2017



Fuente: Elaborado por los autores

Como primer paso se determina si la serie es estacionaria, para ello se utiliza los test de estacionariedad ADF de Dickey & Fuller (1979) y PP de Phillips & Perron (1988) calculados con intercepto sin tendencia y con intercepto y tendencia que se muestran en la Tabla 1 para los tests. Para ambos tests de raíz unitaria o de estacionariedad se tiene la hipótesis nula de existencia de raíz unitaria.

Tabla 1: Tests de Estacionariedad

Variable	Con intercepto		Con intercepto y tendencia	
	Nivel	Primera diferencia	Nivel	Primera diferencia
Test de ADF	0.0173	-12.6361*	-0.9800	-13.0032*
Test de PP	-0.5232	-12.7843*	-1.2694	-33.9047*

Nota: Asterisco (*) denota serie estacionaria al 5% de significancia.

Fuente: Elaborado por los autores

La Tabla 1 muestra los resultados de los test de estacionariedad a un nivel de 5% de significancia y se concluye que la producción de quinua es no estacionaria en niveles al 5% de significancia. Para este propósito se calculó la serie en primeras diferencias para los test de ADF y PP, la serie es estacionaria o a un 5% de significancia, de este modo la variable producción de quinua en niveles es .

Tabla 2: Estimación de modelos ARIMA para la producción de quinua en Puno

Variable	Coefficiente	t-Estadístico	AIC/SBC	DW
<i>Modelo 1</i>				
constante	397.2781	1.0810	AIC = 19.5729	1.8975
AR(1)	-0.4262	-4.0837	SC = 19.6724	
<i>Modelo 2</i>				
constante	363.2362	1.2253	AIC = 19.5653	1.8897
MA(1)	-0.4511	-3.3365	SC = 19.6648	
<i>Modelo 3</i>				
constante	385.2614	1.0759	AIC = 19.5261 SC = 19.6588	1.7635
MA(1)	-0.5828	-5.5207		
MA(4)	0.2723	2.2545		
<i>Modelo 4</i>				
constante	369.5520	1.1955	AIC = 19.5906 SC = 19.7233	1.8129
AR(1)	-0.1502	-0.5825		
MA(1)	-0.3381	-1.2086		
<i>Modelo 5</i>				
constante	369.2953	1.1766	AIC = 19.6193 SC = 19.7852	1.8114
AR(1)	0.2414	0.2036		
MA(1)	-0.4369	-0.4941		
SAR(1)	-0.2893	-0.7699		
<i>Modelo 6</i>				

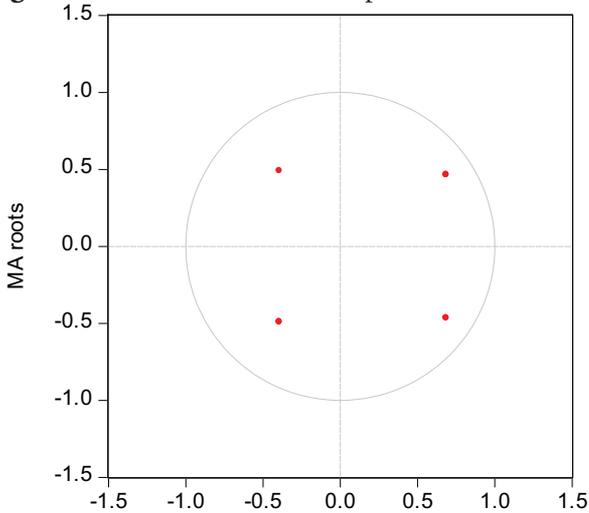
constante	369.6138	1.1990		
AR(1)	-0.5338	-0.4228	AIC = 19.6173	1.8068
MA(1)	0.4248	0.2870	SC = 19.7832	
SMA(1)	-0.3797	-1.3088		
<i>Modelo 7</i>				
constante	368.2663	1.1745		
AR(1)	0.1420	0.1049		1.8184
MA(1)	0.3438	0.1791	AIC = 19.6464	
SAR(1)	-0.5208	-0.4373	SC = 19.8455	
SMA(1)	-0.4451	-0.6672		

Notas: AIC y SBIC son el Criterio de Información de Akaike y Criterio de Schwarz, respectivamente. DW se refiere al estadístico Durbin-Watson de autocorrelación.

Fuente: Elaborado por los autores

Posteriormente, en la estimación se utilizó varios modelos autoregresivos (AR), medias móviles (MA) y modelos autoregresivos integrados y de medias móviles (ARIMA) para hallar el modelo más adecuado que representa el comportamiento de la producción de la quinua en el período dado. Se utiliza la metodología de mínimos cuadrados donde los resultados de la estimación se muestran en la Tabla 2 para determinar el comportamiento de la producción de quinua en la región de Puno para el período 1951 - 2017.

Figura 4: Raíces inversas de los polinomios AR/MA



Inverse Roots of AR/MA Polynomial(s)
 Specification: D(QUINUA) C MA(1) MA(4)
 Date: 07/03/19 Time: 10:15
 Sample: 1951 2017
 Included observations: 66

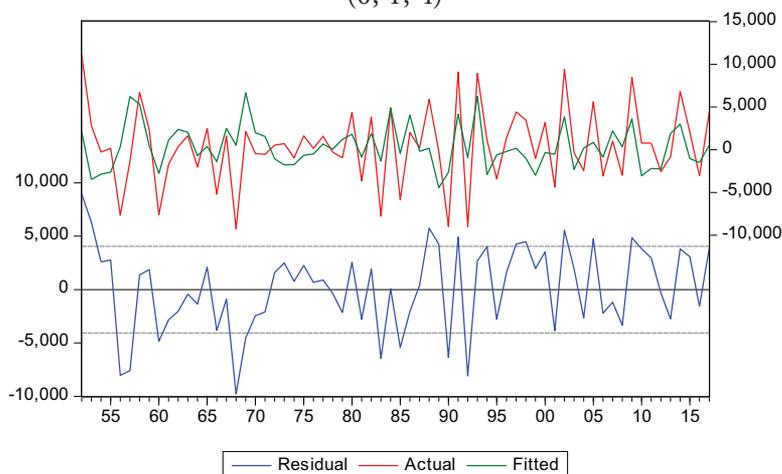
MA Root(s)	Modulus	Cycle
$0.686227 \pm 0.465883i$	0.829431	10.53470
$-0.394834 \pm 0.489831i$	0.629149	2.793492

No root lies outside the unit circle.
 ARMA model is invertible.

Fuente: Elaborado por los autores

Para el diagnóstico del modelo ARIMA (0, 1, 4) que se determinó en el paso anterior, 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 (0, 1, 4) es estable al igual que los errores, luego el modelo se puede usar para modelar y proyectar la producción de quinua en la región de Puno.

Figura 5: Valores actuales, proyectados y residuales del modelo ARIMA (0, 1, 4)



Fuente: Elaborado por los autores

Para el diagnóstico del modelo ARIMA (0, 1, 4) que se determinó en el paso anterior, 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 (0, 1, 4) es estable al igual que los errores, luego el modelo se puede usar para modelar y proyectar la producción de quinua en la región de Puno.

Por otro lado, la Figura 5 muestra los valores actuales, los valores proyectados y los residuos del modelo ARIMA (0, 1, 4). Para la evaluación de la existencia de correlación serial al modelo ARIMA (0, 1, 4) seleccionado, la Figura 6 muestra el correlograma para el modelo mediante el estadístico Q de Ljung-Box (Ljung & 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 además 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 (0, 1, 4) no presenta problemas de autocorrelación debido que el

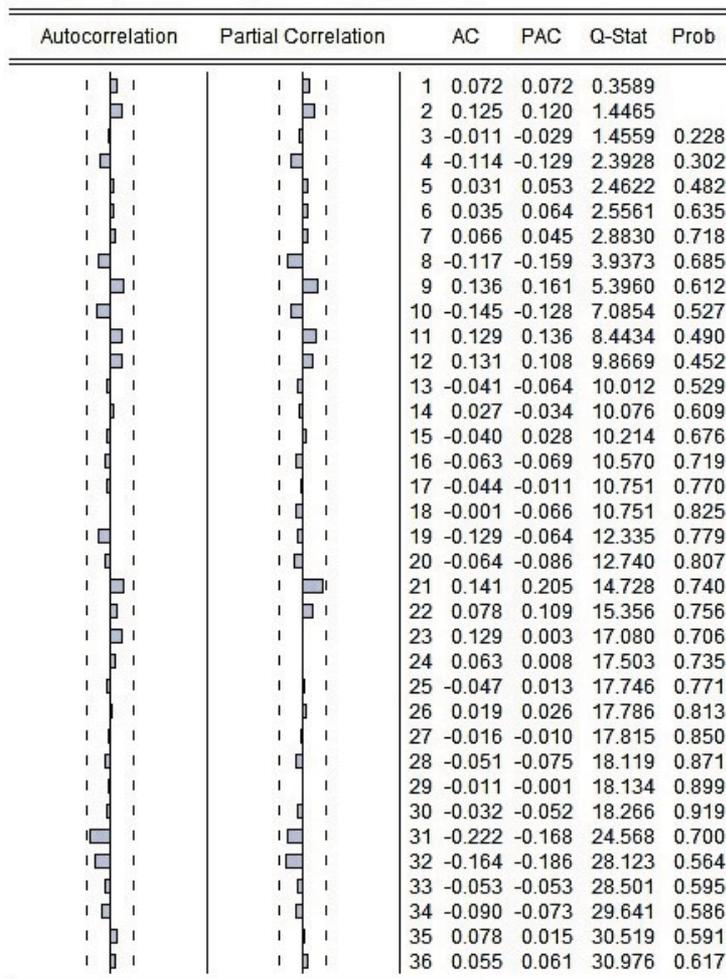
estadístico de Durbin-Watson (DW) se encuentra cerca de 2 (Durbin & Watson, 1950, 1971b, 1971a). En consecuencia los residuos del modelo ARIMA (0, 1, 4) no están correlacionados en el período de estudio.

Figura 6: Correlograma de los residuos del modelo ARIMA (0, 1, 4)

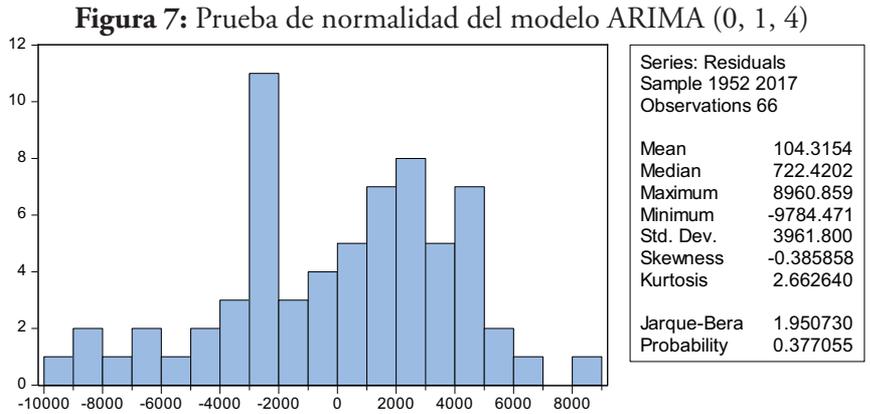
Sample: 1951 2017

Included observations: 66

Q-statistic probabilities adjusted for 2 ARMA terms



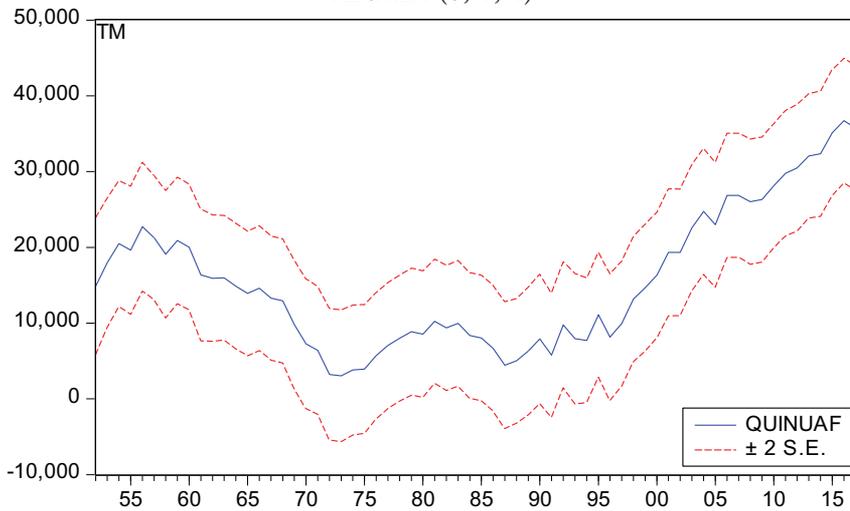
Fuente: Elaborado por los autores



Fuente: Elaborado por los autores

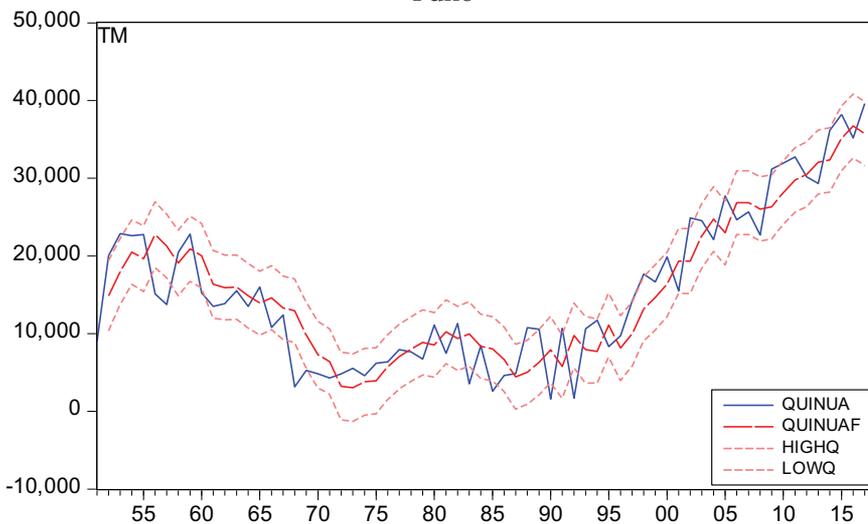
Para la prueba de normalidad de los errores se utilizó el estadístico de Jarque-Bera propuesto por Jarque & Bera (1980, 1981, 1987) para validar la normalidad de los errores del modelo estimado. Es una prueba de bondad de ajuste para verificar que los residuos del modelo se comportan como una función normal. En la Figura 7 se muestran los resultados del estadístico de Jarque-Bera que da un valor de probabilidad igual a cero lo que indica la aceptación de la hipótesis de normalidad de los errores del modelo. Luego, esta normalidad que se presenta en el modelo se espera que se mantenga en el tiempo debido que teorema central del límite, los errores se comportan como una función normal conforme se incrementa el número de información (Laurente & Poma, 2016).

Figura 8: Modelamiento de la producción de quinua en Puno con ARIMA (0, 1, 4)



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 9: Valor efectivo y proyectado de la producción de quinua en Puno



Fuente: Elaborado por los autores

Después del examen de diagnóstico realizado al modelo ARIMA (0, 1, 4), se realiza la proyección de la variable de estudio (Box & Jenkins, 1976). Tales resultados se muestran en la Figuras 8-9 donde la variable *quinuaf* es la proyección con el modelo ARIMA de la variable producción de quinua en Puno y la variable *quinua* es la variable con los datos originales que se utilizaron para el modelamiento.

Discusión

Los resultados de esta investigación contribuyen a la planificación de las actividades de producción de la quinua y decisiones de política en este sector. Si bien los modelos ARIMA son muy utilizados para el modelamiento y proyección de variables; en la región de Puno no son muy numerosos estas aplicaciones en los productos agrícolas. En particular, Laurente (2018) aplica la metodología ARIMA para la producción de papa en Puno encontrando que el modelo SARIMA (1, 1, 2)(1, 0, 1)₁₂ es el más apropiado para modelar la producción de papa y de este modo contribuir a la planificación del sector agrícola en esa región. Por otro lado, Benique (2019) modela el comportamiento de la producción de kañihua en Puno e indica la importancia de la previsión de este cultivo debido que contribuye a la seguridad alimentaria de la población en especial de las familias rurales; y que una disminución de este cultivo, debido a factores climáticos y de producción, conllevarían a un impacto negativo sobre el bienestar de la población. Por su parte, Carrasco (2016) que estudia el comportamiento de la producción y rendimiento de la quinua en esta región, indica que ante el inminente fenómeno del cambio climático a nivel mundial, es muy posible que exista en el futuro efectos negativos en la quinua y demás productos agrícolas afectando a la producción, calidad de los productos, a los ingresos y precios. Por ello se debe tener en cuenta la implementación de medidas de adaptación, mitigación y desarrollar diversos estudios que contribuyan a la planificación en el sector agrícola. Asimismo, Blanco (2006) señala que para el caso de la región de Puno, es necesario impulsar el aspecto de control de calidad, valor agregado y marketing estratégico de la quinua para su comercialización sostenible en el extranjero y su consumo en las familias rurales.

Conclusiones

El presente trabajo aplica modelos ARIMA para el modelamiento de la producción de quinua en la región de Puno utilizando datos anuales para el período 1951 a 2017. Basado en el Criterio de Información de Akaike (AIC) y Criterio de Información de Schwarz (SC) se seleccionó el mejor modelo ARIMA de Box & Jenkins (1976) para la proyección de la producción de quinua en Puno. Los resultados muestran que el modelo ARIMA (0, 1, 4) es el más apropiado para capturar el comportamiento de la producción de quinua en la región de Puno. Luego, los resultados de esta investigación ayudarán a planificar las actividades de producción de quinua. Como trabajos futuros se sugiere 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 mejorar el presente trabajo.

Referencias

- Abugoch, L., Romero, N., Tapia, C., Silva, J., & Rivera, M. (2008). Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4745–4750. <https://doi.org/10.1021/jf703689u>
- AGROIDEAS. (2019). Potencian ganadería y producción de quinua en Puno para conquistar mercados. Retrieved January 20, 2020, from <https://www.agroideas.gob.pe/2019/10/21/potencian-ganaderia-y-produccion-de-quinua-en-puno-para-conquistar-mercados/>
- Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1101992>

- doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705
- Alioune, D. (2008). Alternative Forecasting Techniques for Vegetable Prices in Senegal. *Bureau d'analyses Macro-Économiques (BAME)*, 1(3), 5–10. Disponible en http://www.bameinpopol.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/>
- ANDINA. (2019). Quinua de 25 tipos y colores procedentes de Puno es sensación en Mistura. Retrieved January 20, 2020, from <https://andina.pe/agencia/noticia-quinua-25-tipos-y-colores-procedentes-puno-es-sensacion-mistura-377669.aspx>
- 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://mpa.ub.uni-muenchen.de/66678/>
- Benique, E. (2019). Impacto del cambio climático en el rendimiento de la producción de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) en la Región - Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(2), 100–110. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.454>
- Blanco, P. (2006). *La producción de quinua en Puno y su articulación con el mercado externo 1993 - 2005*. Universidad Nacional del Altiplano. Disponible en <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/282>
- 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 (Vol. 1). Disponible en http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/898/1/Cahuana-Variedades_nativas_Papa.pdf
- Carrasco, F. (2016). Efectos del Cambio Climático en la Producción y Rendimiento de la Quinua en el Distrito de Juli, Período 1997-2014. *Comuni@cción*.
- Chávez, P. La Papa, Tesoro de los Andes, Presentación (2008). Disponible en http://fci.uib.es/digitalAssets/177/177040_peru.pdf

- CONFIEP. (2017). Minagri impulsa duplicar el consumo de granos andinos en los próximos cinco años. Retrieved January 18, 2020, from <https://www.confiep.org.pe/noticias/minagri-impulsa-duplicar-el-consumo-de-granos-andinos-en-los-proximos-cinco-anos/>
- Dhakre, D. S., & Bhattacharya, D. (2014). Price Behaviour of Potato in Agra Market - A statistical analysis. *Society of Extension Education*, 14(2), 12–15. 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*, 74(366), 427–431. <https://doi.org/10.2307/2286348>
- Durbin, J., & Watson, G. S. (1950). Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression. I. *Biometrika Trust*, 58(1), 409–428. <https://doi.org/10.2307/2332391>
- Durbin, J., & Watson, G. S. (1971a). Testing for serial correlation in least squares regression. III. *Biometrika*, 58(1), 1–19. <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*, 58(1), 1–19. <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. (2011). *La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Oficina Regional para America Latina y el Caribe* (Vol. 37). Disponible en <http://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- GESTION. (2018). Perú se mantiene como primer productor y exportador mundial de quinua y supera a Bolivia. Retrieved January 20, 2020, from <https://gestion.pe/peru/peru-mantiene-primer-productor-y-exportador-mundial-quinua-y-supera-bolivia-223502-noticia/>
- Haverkort, A. J. (1990). Ecology of potato cropping systems in relation to latitude and altitude. *Agricultural Systems*, 32(3), 251–272. [https://doi.org/10.1016/0304-3985\(90\)90033-9](https://doi.org/10.1016/0304-3985(90)90033-9)

- doi.org/10.1016/0308-521X(90)90004-A
- Hernández, J. (2015). La quinua, una opción para la nutrición del paciente con diabetes mellitus. *Revista Cubana de Endocrinología*, 26(3), 304–312. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/end/v26n3/end10315.pdf>
- Hijmans, R. (2003). The Effect of Climate Change on Global Potato Production. *American Journal of Potato Research*, 2100, 271–279. Disponible en https://saipatform.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*, 35(5), 380–395. <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*, 38(2), 49–59. <https://doi.org/10.3844/jmss.2015.93.98>
- Jarque, C., & Bera, A. (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*, 6(4), 255–259. [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*, 7, 313–318. [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*, 55(2), 163–172. <https://doi.org/DOI:10.2307/1403192>
- Laurente, L. (2018). Proyección de la producción de papa en Puno mediante la metodología de Box-Jenkins. *Semestre Económico*, 7(1), 7–24. <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*, 65(2), 297–303. <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. *Tuberosum* CV. Desirée), producidas en forma Orgánica y Convencional en la provincia de Curicó, Región del Maule. *Evaluation*, (2002), 41–52. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292010000200005>
- MINAGRI. (2014). *Quinua, un futuro sembrando hace miles de años* (1st ed.). Santillana. Disponible en https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/cquinua/libro_anho_internacional_de_la_quinua_2013.pdf
- 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). *Nota técnica de granos andinos*. Disponible en <http://minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2018?download=13278:nota-tecnica-de-granos-andinos>
- MINAGRI. (2019). Sistemas de Información | Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias, años 1950 - 2017. Retrieved February 25, 2018, from http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult
- Moyazzem, M., & Abdulla, F. (2015). Forecasting Potato Production in Bangladesh by ARIMA Model. *Asian Journal of Crop Science*, 7(2), 147–153. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2015.147.153>
- Muñoz, M. (2014). Composición y aportes nutricionales de la papa. *Revista Agrícola*, 36–37. Disponible en http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2014/09/revista_agricola_octubre_36-37.pdf
- Nazrul, M., & Gracia, F. (2013). Los antioxidantes para la salud óptima. *Revista Medica Cientifica*, 26(2), 3–9.
- 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*, 26(2), 249–255. 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*, 75(2), 335–346. <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
- PUBLICO. (2019). Uno de los mayores productores de quinua en el Perú convive con la desnutrición. Retrieved January 20, 2020, from <https://ojo-publico.com/1271/uno-de-los-mayores-productores-de-quinua-en-el-peru-convive-con-la-desnutricion>
- Rodriguez, L. E. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9–17. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17588/37339>
- Sanchez, K. (2012). *Observations regarding consumption of Peruvian native grains (quinoa, amaranth and kañiwa), weight status, and perceptions of potential risk factors, warning signs and symptoms of type 2 diabetes among Peruvian adults: A case study*. University of Maryland. Disponible en https://drum.lib.umd.edu/bitstream/handle/1903/12830/Sanchez_umd_0117N_13254.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 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*, 6(2), 461–464. <https://doi.org/10.1214/aos/1176344136>
- SENASA. (2018). Productores de quinua de Puno interesados en mejorar su producción orgánica. Retrieved January 20, 2020, from <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/productores-de-quinua-de-puno-interesados-en-mejorar-su-produccion-organica/>
- Shuhla, M., & Jharkharia, S. (2015). Applicability of ARIMA models in

wholesale vegetable market: An investigation. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*, 11(1), 69–72. <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*, 14(43), 82–87. Disponible en <http://www.iasir.net>

Spooner, D. M., & Hetterscheid, W. L. a. (2005). *Origins, evolution, and group classification of cultivated potatoes. Darwin's Harvest. New Approaches to the Origins, Evolution, and Conservation of Crops.* <https://doi.org/10.13140/2.1.4715.3601>

Artículo Recibido: 21-12-2019

Artículo Aceptado: 27-02-2020