



Aplicación de los modelos Box-Jenkins y Holt-Winters para el pronóstico de los caudales mensuales en el río Shullcas en la estación Chamisería, Huancayo-Perú

Application of the Box-Jenkins and Holt-Winters models for the forecast of the monthly flows in the Shullcas river in the Chamisería station, Huancayo-Peru

TORIBIO REYES RODRÍGUEZ¹

RESUMEN

El río Shullcas nace en las lagunas Chuspicocha y Lazo Untay, ubicadas en el flanco occidental del nevado Huaytapallana, es la fuente principal de agua para consumo humano en la ciudad de Huancayo. El objetivo del trabajo de investigación es aplicar los modelos de Box-Jenkins, y Holt- Winters para el pronóstico de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería. El modelo multiplicativo de Holt-Winters no es aplicable porque los caudales mensuales pronosticados tienen tendencia secular. El modelo $ARIMA(1, 0, 0)(2, 1, 1)_{12}$ es el más adecuado para el pronóstico de los caudales mensuales porque tienen el menor valor del criterio de información de Akaike (0, 551)

Palabras clave: modelo; pronóstico; Box-Jenkins; Holt - Winters; Perú.

¹Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4,0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

ABSTRACT

The Shullcas River is born in the Chuspicocha and Lazo Untay lagoons located on the western flank of the Huaytapallana, it is the main source of water for human consumption in the city of Huancayo. The objective of the research work is to apply the Box - Jenkins, and Holt - Winters models for the forecast of the monthly flows of the Shullcas river in the Chamisería station. The Holt - Winters multiplicative model is not applicable because the predicted monthly flows have a secular tendency. The ARIMA model $(1,0, 0)(2, 1, 1)_{12}$ is the most suitable for the forecast of monthly flows because they have the lowest value of the Akaike information criterion (0, 551).

Keywords: model; forecast; Box-Jenkins; Holt -Winters; Perú.

INTRODUCCIÓN

El río Shullcas nace en las lagunas Chuspicocha y Lazo Untay, ubicadas en el flanco occidental del nevado Huaytapallana, es la fuente principal de agua para consumo humano de la ciudad de Huancayo, también se usa con fines agrícolas y pecuarios. En el río Shullcas se encuentra la estación hidrométrica Chamisería, para la investigación se considera registros desde enero-1985 hasta diciembre - 2015.

El objetivo de la investigación es aplicar los modelos de Box-Jenkins, y Holt-Winters para el pronóstico de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería. El modelo de Box-Jenkins es un modelo estocástico para la simulación de series temporales, en la investigación se determina los parámetros del modelo de Box-Jenkins para el pronóstico de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería.

El modelo de Holt-Winters es un modelo determinístico que se aplica para el pronóstico de series temporales, en el trabajo de investigación se halla que este modelo no es adecuado para el pronóstico de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería.

Reyes (2010) indica, modelos *ARIMA* de los caudales mensuales de los ríos de las subcuencas del río Santa (Perú) que tienen estructura *ARIMA* $(1, 0, 0)(0, 1, 1)_{12}$, excepto en la estación hidrométrica Puente Carretera, tiene estructura *ARIMA* $(1, 0, 1)(0, 1, 1)_{12}$

Aplicación de los modelos Box-Jenkins y Holt-Winters para el pronóstico de los caudales mensuales en el río Shullcas en la estación Chamisería, Huancayo-Perú

Reyes (2014) indica estructuras ARIMA para las precipitaciones mensuales ubicadas en el Callejón Huaylas (Perú) en las estaciones pluviométricas: Huancapetí, Cahuish y Caraz, *ARIMA* (0, 0, 1)(0, 1, 1)₁₂; Llanganuco y Punta Mojón, *ARIMA* (0, 0, 2)(0, 1, 1)₁₂; Schacaypampa, Parón y Pachacoto, *ARIMA* (2, 0, 0)(0, 1, 1)₁₂; Chancos, Ticapampa y Lampas Alto, *ARIMA* (1, 0, 0)(0, 1, 1)₁₂; Recreta, *ARIMA* (1, 0, 1)(0, 1, 1)₁₂; Querococha *ARIMA* (0, 0, 2)(1, 1, 1)₁₂; Yanacocha *ARIMA* (0, 1, 1)(0, 1, 0)₁₂; Huaraz, *ARIMA* (1, 0, 0)(1, 1, 1)₁₂.

Cuando la función de autocorrelación se corta con rapidez la serie temporal es estacionaria. Si se corta muy lentamente la serie temporal es no estacionaria (Bowerman, 2007) Kalekar (2004) indica que el alisamiento exponencial de Holt-Winters se usa cuando los datos muestran tendencia y estacionalidad. La variabilidad estacional de la precipitación determina la estacionalidad de otras variables hidrológicas, tales como los caudales y la recarga de los acuíferos. Las variables con variación estacional tienden a tener autocorrelación significativa con retardo igual al período de la estacionalidad (Dingman, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de investigación es aplicada porque está orientada a resolver problemas prácticos que afectan el bienestar de los seres humanos (Bhat, 2018). El pronóstico de los caudales mensuales mediante los modelos de Box-Jenkins y Holt-Winters en el río Shullcas, es una investigación aplicada porque sirve para la gestión y aprovechamiento del recurso hídrico en la subcuenca Shullcas.

El tipo de diseño de investigación es no experimental-longitudinal porque según Hernández (2014) en este tipo de diseño no se realiza manipulación deliberada de variables, y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para procesarlos. La población y la muestra está formada por los caudales mensuales registrados en la estación Chamisería del río Shullcas, desde enero -1985 hasta diciembre-2015, los registros hidrométricos de la estación Chamisería del río Shullcas se tomaron de (ANA, 2015).

El procedimiento seguido en la ejecución de la investigación: 1) caracterización de la subcuen-

ca del río Shullcas, 2) delimitación de la subcuenca del río Shullcas se realizó con el software ArcGIS 10,4,1 usando las cartas nacionales digitales 24 m-Jauja y 25 m -Huancayo del Ministerio de Educación del Perú, 3) tratamiento estadístico de los caudales mensuales históricos que consistió en la detección valores atípicos y su corrección, 4) análisis de tendencia de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería mediante la prueba de Cox-Stuart, 5) determinación del histograma de los caudales mensuales históricos que se hizo con el software MINITAB 18, 6) determinación de estructura ARIMA, sus parámetros, y el pronóstico de caudales usando el software SPSS 23 y STATGRAPHICS 16, 7) estimación de los parámetros del modelo multiplicativo de Holt-Winters, y el pronóstico de caudales usando el software SPSS 23.

RESULTADOS

Características de la subcuenca Shullcas

Los parámetros físicos de la subcuenca Shullcas se indican: área igual a $215,4 \text{ km}^2$ hasta el río Mantaro, perímetro igual a $68,56 \text{ km}$, razón de Gravelius igual a $1,31$, la altitud varía de 3228 m.s.n.m. hasta de 5550 m.s.n.m. , la pendiente media igual a $31,63\%$. Hasta la estación hidrométrica Chamisería ubicada en el río Shullcas el área de aporte hídrico es igual a $160,00 \text{ km}^2$, de los cuales $9,07 \text{ km}^2$ está cubierto de nieve. Las lagunas más grandes de la subcuenca del río Shullcas son Lazo Huntay ($0,265 \text{ km}^2$), Chuspicocha ($0,229 \text{ km}^2$), y Huacra-cocha ($0,576 \text{ km}^2$).

La longitud del río Shullcas desde la laguna Chuspicocha hasta el río Mantaro es $29,75 \text{ km}$, y desde la laguna Chuspicocha hasta a la estación hidrométrica Chamisería del río Shullcas la longitud es igual a $18,49 \text{ km}$.

La subcuenca Shullcas se representa en la figura 1, y el relieve de la subcuenca Shullcas está representada por la curva hipsométrica que se indica en la figura 2.

Caudales mensuales atípicos detectados

En el año y mes que se indica se detectaron los siguientes caudales mensuales atípicos: 1989 – 2(14, 02), 1994 – 2(12, 49), 1998 – 2(12, 34), 2000 – 2(17, 83), 2000 – 3(13, 43), 2001 – 1(13, 59), 2001 – 2(16, 97). Los mismos que fueron reemplazados por el valor $11,60 \text{ m}^3/\text{s}$

Aplicación de los modelos Box-Jenkins y Holt-Winters para el pronóstico de los caudales mensuales en el río Shullcas en la estación Chamisería, Huancayo-Perú

que corresponde al valor típico máximo ($Z = 3$).

Análisis de tendencia de los caudales mensuales

Según el análisis realizado mediante la prueba de tendencia de Cox-Stuart los caudales mensuales históricos del río Shullcas en la estación de Chamisería no tienen tendencia creciente ni decreciente, es decir, la serie es estacionaria. Si $p(N \geq 88) = 0,7453 > 0,05$, no existe tendencia creciente; si $p(N \geq 98) = 0,21$, no existe tendencia decreciente.

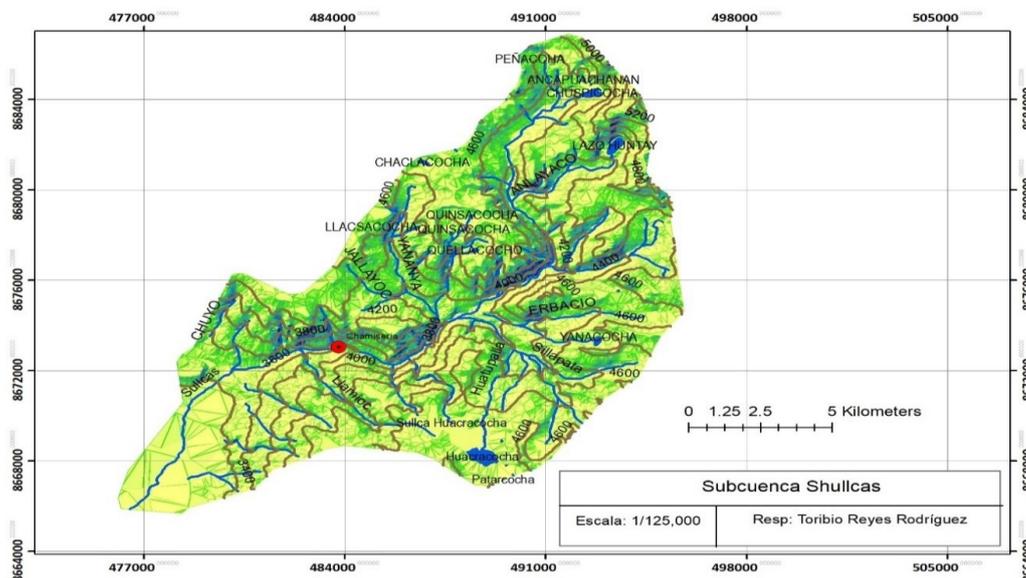


Figura 1. Mapa de la subcuenca Shullcas

Histograma de los caudales mensuales

En la figura 3 se indican caudales mensuales históricos (m^3/s) y las frecuencias de ocurrencia del río Shullcas en la estación Chamisería. En la figura 3 se indican caudales mensuales históricos (m^3/s) y las frecuencias de ocurrencia del río Shullcas en la estación Chamisería.

Modelo de Holt-Winters para los caudales mensuales río Shullcas

Los estadísticos y parámetros del modelo de Holt-Winters obtenidos con el software SPSS se indican en las tablas 1 y 2:

En la figura 3 se indican los caudales históricos (color azul), y los caudales pronosticados (color rojo) con el modelo multiplicativo de Holt-Winters.

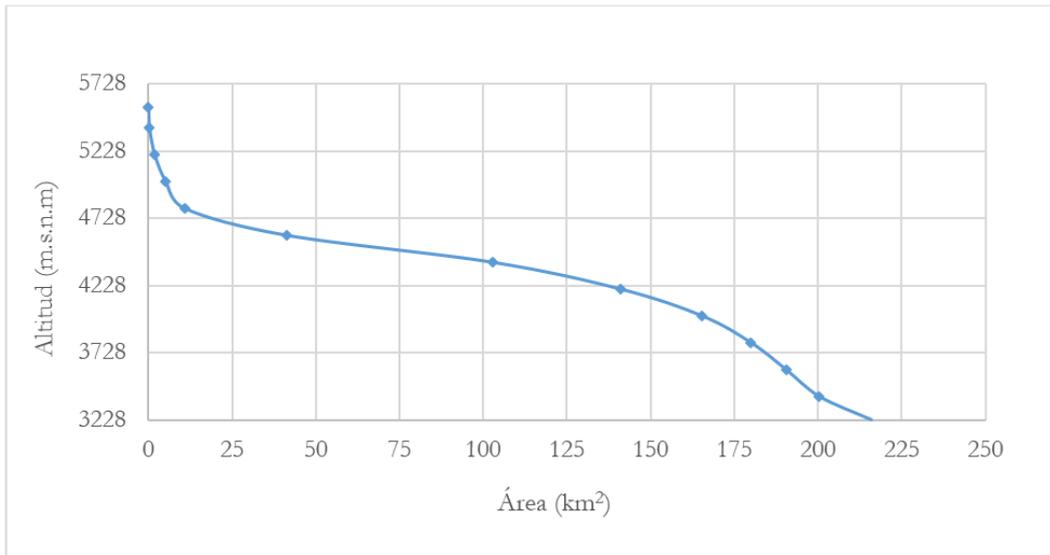


Figura 2. Curva hipsométrica de la subcuenca Shullcas

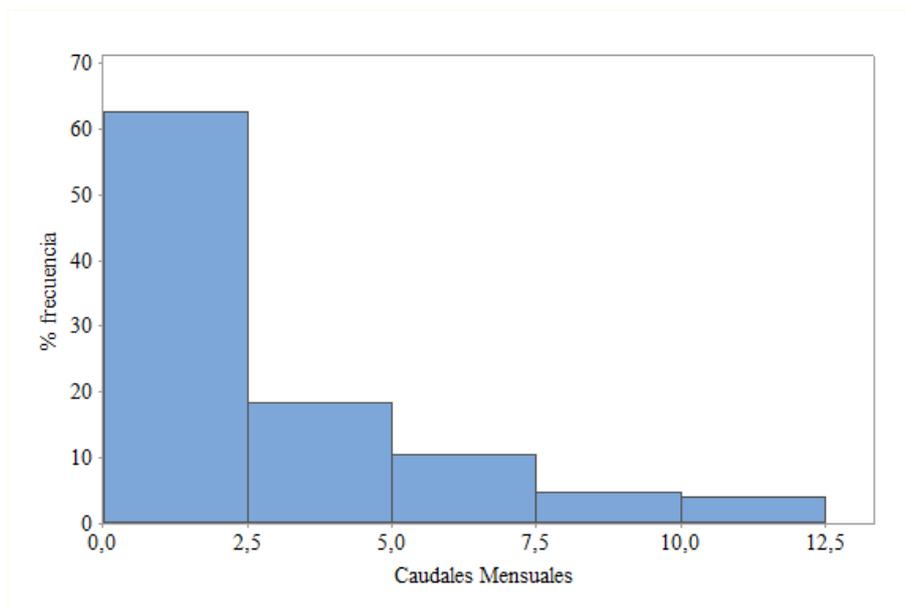


Figura 3. Histograma de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería

Aplicación de los modelos Box-Jenkins y Holt-Winters para el pronóstico de los caudales mensuales en el río Shullcas en la estación Chamisería, Huancayo-Perú

Tabla 1. Estadísticos del modelo multiplicativo de Holt-Winters

Estadísticos de ajuste del modelo		Ljung-Box Q (18)		
R^2 estacionaria	R^2	Estadísticos	GL	Sig.
0,530	0,741	63,724	15	0,000

Tabla 2. Parámetros del modelo multiplicativo de Holt-Winters

Parámetros	Estimación	SE	t	Sig.
Alfa (nivel)	0,195	0,028	7,033	0,000
Gamma (tendencia)	0,020	0,029	0,671	0,503
Delta (estacionalidad)	0,030	0,016	1,888	0,060

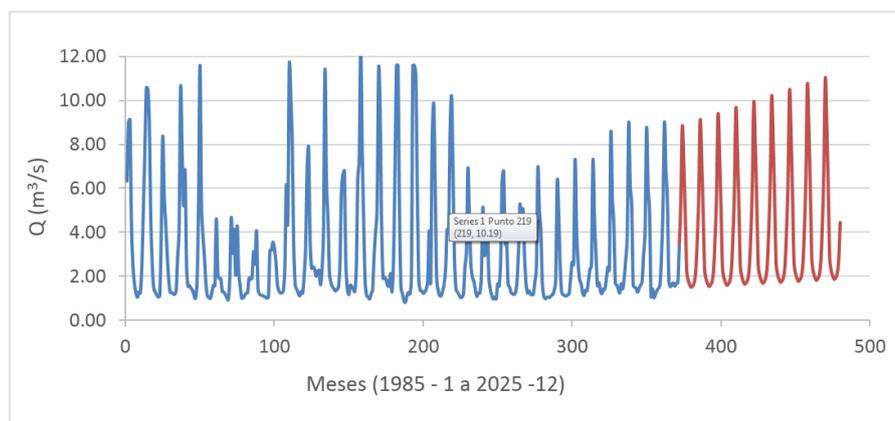


Figura 4. HCaudales mensuales históricos y pronosticados en el río Shullcas (estación Chamisería)

Modelo de ARIMA (Box-Jenkins) para los caudales mensuales del río Shullcas

La estructura $ARIMA(0, 1, 2)(2, 1, 1)_{12}$ para los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería, se obtuvo con el software SPSS 23. Los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería fueron transformados tomando los logaritmos naturales correspondientes, la transformación lo realizó automáticamente el modelizador experto del SPSS 23. La estructura $ARIMA(1, 0, 0)(2, 1, 1)_{12}$ para los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería, se obtuvo mediante el software STATGRAPHICS 16. Los paráme-

tros del modelo $ARIMA(1, 0, 0)(2, 1, 1)_{12}$ de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería se indican en la tabla 3:

Tabla 3. Parámetros del modelo $ARIMA(1, 0, 0)(2, 1, 1)_{12}$

Parámetros	Estimación	SE	t	Valor p
AR (1)	0,444863	0,0475670	9,35235	0,000
SAR (1)	0,235259	0,0531915	4,40407	0,000014
SAR (2)	0,188554	0,0526255	3,58294	0,000387
SMA (1)	0,979707	0,0094493	103,679	0,0000

El criterio de información de Akaike del modelo $ARIMA(1, 0, 0)(2, 1, 1)_{12}$ es igual a 0,551. En la figura 4 se indican los caudales mensuales históricos (1985 – 1 a 2015 – 12) y los caudales mensuales pronosticados (2016 – 1 a 2025 – 12) mediante el modelo $ARIMA(1, 0, 0)(2, 1, 1)_{12}$.

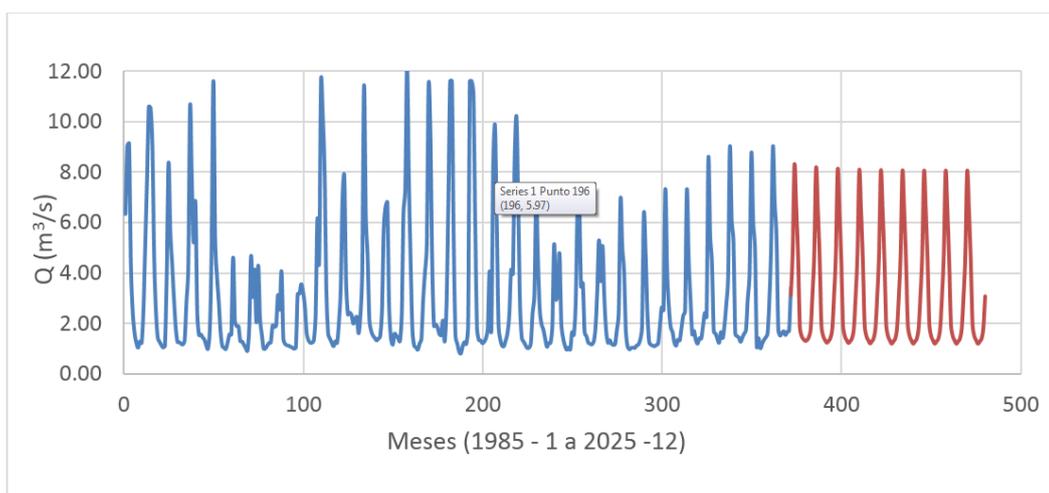


Figura 5. Histograma de los caudales mensuales históricos y pronosticados del río Shullcas en la estación Chamisería

DISCUSIÓN

La subcuenca Shullcas tiene un área de $215,84 \text{ km}^2$ hasta el río Mantaro, y hasta la estación hidrométrica Chamisería el área de aporte hídrico es igual a $160,00 \text{ km}^2$, de los cuales $9,07 \text{ km}^2$

Aplicación de los modelos Box-Jenkins y Holt-Winters para el pronóstico de los caudales mensuales en el río Shullcas en la estación Chamisería, Huancayo-Perú

está cubierto de nevados. Las lagunas más grandes de la subcuenca Shullcas son Lazo Huntay ($0,265\text{km}^2$), Chuspicocha ($0,229\text{km}^2$) y Huacracocha ($0,576\text{km}^2$). Los caudales mensuales históricos del río Shullcas en la estación de Chamisería no tienen tendencia, es decir, la serie es estacionaria. El 62 % de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería registrados de enero del 1985 a diciembre de 2015 son menores de $2,5\text{m}^3/\text{s}$, el 38 % están en el intervalo de $2,5$ a $12,0\text{m}^3/\text{s}$.

Los parámetros del modelo multiplicativo de Holt-Winters obtenido con el software SPSS 23 tienen los siguientes valores: nivel (alfa) igual a $0,195$, tendencia (gamma) igual a $0,020$, y estacionalidad (delta) igual a $0,030$.

En la figura 4 se observa que los caudales mensuales pronosticados con el modelo de Holt-Winters tienen tendencia creciente, por lo que, no es adecuado para el pronóstico de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería. Este hallazgo es consistente con la afirmación de Bowerman (2007), el método multiplicativo de Holt-Winters se utiliza cuando la serie de tiempo muestra tendencia lineal, tasa de crecimiento lineal, y un patrón estacional constante, con variación creciente.

Para los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería el modelo *ARIMA* $(1, 0, 0)(2, 1, 1)_{12}$ obtenido con el software STATGRAPHICS 16 es el más adecuado para el pronóstico, cuyo criterio de información de Akaike es igual a $0,551$.

Las estructuras *ARIMA* determinados por Reyes (2010) para los caudales mensuales de los ríos de la subcuenca del río Santa (Perú) *ARIMA* $(1, 0, 0)(0, 1, 1)_{12}$, y *ARIMA* $(1, 0, 1)(0, 1, 1)_{12}$ tienen estructuras similares que los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería.

Las variaciones estacionales de los caudales mensuales tienen relación con la estacionalidad de las precipitaciones, Reyes (2014) para las precipitaciones mensuales en las estaciones pluviométricas del Callejón de Huaylas (Perú) en la cuenca del río Santa determinó estructuras *ARIMA* estacionales de periodicidad anual.

De igual manera, Dingman (2002) indica que la variabilidad estacional de la precipitación determina la estacionalidad de otras variables hidrológicas, tales como los caudales y la recarga de los acuíferos.

CONCLUSIONES

La subcuenca del río Shullcas tiene un área de $215,84\text{km}^2$ hasta el río Mantaro, y hasta la estación hidrométrica Chamisería el área de aporte hídrico es $160,00\text{km}^2$, de los cuales $9,07\text{km}^2$ está cubierto de nevados. Las lagunas más grandes de la subcuenca del río Shullcas son Lazo Huntay ($0,265\text{km}^2$), Chuspicocha ($0,229\text{km}^2$) y Huacracochoa ($0,576\text{km}^2$). El 62 % de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería, registrados de enero del 1985 a diciembre de 2015 son menores de $2,5\text{m}^3/\text{s}$, y el 38 % están en el intervalo de $2,5$ a $12,5\text{m}^3/\text{s}$. El modelo multiplicativo de Holt-Winters no es aplicable para el pronóstico de los caudales mensuales del río Shullcas en la estación Chamisería, porque los caudales mensuales pronosticados tienen tendencia creciente. El modelo $ARIMA(1, 0, 0)(2, 1, 1)_{12}$ es aplicable para el pronóstico de los caudales mensuales porque mantiene las propiedades estadísticas de los caudales mensuales históricos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a Nancy Macedo Ramírez, ingeniero egresada de la Carrera de Profesional de Ingeniería de la UNASAM, por haberme brindado las facilidades para llegar hasta la subcuenca del Shullcas (Huancayo-Perú).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua(ANA). 2015. *Estudio de Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la cuenca del río Mantaro*. Lima.
- Bhat, A. 2018. What is research definition, methods, types & examples QuestionPro. Recuperado de <<https://www.questionpro.com/blog/what-is-research>>.
- Bowerman, B., O'Connell, R., Koehler, A. 2007. *Pronósticos, series de tiempo y regresión*. México: Internacional Thomson Editores.
- Dingman, S. 2002. *Physical hydrology*. United States of America: Waveland, Press, Inc.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. 2014. *Metodología de investigación*. México: McGraw-Hill.

Aplicación de los modelos Box-Jenkins y Holt-Winters para el pronóstico de los caudales mensuales en el río Shullcas en la estación Chamisería, Huancayo-Perú

Kalekar, Prajakta. 2004. «Time series forecasting using Holt - Winters exponential smoothing». Kanwal Rekhi School of Information Technology. <<https://labs.omniti.com>>[Consulta: 02-09-2018]

Reyes, T. 2010. «Análisis de las periodicidades de los caudales medios mensuales en cuenca del río Santa». Aporte Santiaguino: 3(1).

Reyes, T. 2014. Modelos ARIMA de las precipitaciones mensuales en el Callejón de Huaylas (Perú). Aporte Santiaguino:7(2).

Fecha de recepción: 07/06/2019

Fecha de aceptación: 24/06/2019

Correspondencia

Toribio Reyes Rodríguez

tmreyes2@gmail.com