



Distribución temporal del caudal mensual del río Jequetepeque, periodo 1976-2015

Temporal distribution of the monthly flow of the river Jequetepeque, period 1976-2015

Enrique Ipanaqué Centeno^a, María Teresita del Niño Jesús Rojas García^a, Luis Alberto Rubio Jacobo^{a*1}

^aDepartamento Académico de Estadística, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar el mejor modelo PARMA para pronosticar los caudales mensuales del río Jequetepeque, para lo cual se trabajó con 40 registros de caudales mensuales en el periodo 1976-2015, datos que se obtuvieron de la estación hidrológica Yonan, del sitio web www.ana.gob.pe perteneciente a la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Recolectada la información en una plantilla Excel, para el procesamiento de los datos se hizo uso del software libre RStudios, evaluándose la estacionariedad a través de la prueba de Raíces Unitarias Dickey-Fuller, se utilizó el criterio de Vecchia para estacionalizar la serie. Luego se encontró las funciones de autocorrelación (FAS) y autocorrelación parcial (FAP) para determinar el modelo PARMA para cada serie de los caudales mensuales. Se determinó el mejor modelo y se verificó que los residuales de los modelos estimados son estacionarios con la prueba Ljung-Box. Se concluye que la distribución temporal del caudal mensual del río Jequetepeque no son estacionarios; los caudales mensuales presentan una diferencia significativa, siendo los caudales promedios más elevados en los meses de enero a mayo; los modelos PARMA adecuados para realizar el mejor pronóstico del caudal mensual del río Jequetepeque, son: PARMA (0, 1) para los meses de enero, marzo, abril y noviembre; PARMA (1, 0) para setiembre; PARMA(1,1) para mayo; PARMA(2, 0) para los meses de febrero, octubre y diciembre.

Palabras Claves: Caudal, Distribución temporal, Modelos PARMA. Estacionalidad.

* Departamento Académico de Estadística de la Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n Trujillo La Libertad, Perú
lrubioja@hotmail.com

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the best PARMA model to forecast the monthly flows of the Jequetepeque River, for which it worked with 40 records of monthly flows in the period from 1976 to 2015, data obtained from the Yonan hydrological station. of the website www.ana.gob.pe belonging to the National Water Authority (ANA). Once the information was collected in an Excel template, the RStudio free software was used to process the data. Stationarity was assessed using the Dickey-Fuller unit root test. Vecchia² criteria were used to seasonalize the series. Then the functions of autocorrelation (FAS) and partial autocorrelation (FAP) were found to determine the PARMA model for each series of monthly flows. The best model was determined and it was verified that the residuals of the estimated models are stationary with the Ljung-Box test. It is concluded that the temporal distribution of the monthly flow of the Jequetepeque river are not stationary; the monthly flows show a significant difference, with the highest average flows in the months of January to May; the PARMA models suitable for the best forecast of the monthly flow of the Jequetepeque River are: PARMA (0, 1) for the months of January, March, April and November; PARMA (1, 0) for September; PARMA (1, 1) for May; PARMA (2, 0) for the months of February, October and December.

INTRODUCCIÓN

La estimación de modelos hidrológicos es un proceso complejo de análisis y de toma de decisiones. Las series mensuales de caudales se pueden representar por modelos hidrológicos estocásticos capaces de generar series sintéticas de dichos caudales, obteniendo parámetros característicos extraídos a partir de los datos de la serie histórica. Zúñiga (2015) refiere que el pronóstico de caudales de un río constituye un problema fundamental en varias ramas de la ingeniería. De la precisión de este pronóstico dependen muchas actividades de la vida moderna como, por ejemplo, la gestión de riego en agricultura, la gestión de riesgos en el caso de inundaciones, el abastecimiento de agua potable, la operación de las centrales de generación hidroeléctrica, entre otras. Es muy cierto que las series de tiempo poseen sólidos fundamentos matemáticos y continúan siendo utilizadas ampliamente para pronósticos, como en el sector eléctrico ecuatoriano

Baeza y García (1999) afirman que dentro de las metodologías para el cálculo de un caudal de mantenimiento o ecológico para nuestros ríos, hemos estado utilizando un análisis de caudales históricos. Hemos encontrado un caudal mínimo que, a diferencia de los obtenidos en otros métodos, ese caudal representa un determinado valor que ha circulado puntualmente en el río y de forma excepcional, se pretende obtener un caudal bajo que ha estado mantenido en el río durante un periodo largo de días.

Maza y Fernández (1995) señalan que, con la finalidad de obtener parámetros de diseño para obras de sistematización de los cauces, así como también para la planificación del uso del suelo, se desarrollaron los estudios hidrológicos pertinentes que consistieron primeramente en la determinación de variables hidrometeorológicas y fisiográficas de las cuencas, las que luego fueron utilizadas como datos de entrada a los modelos matemáticos de simulación hidrológica. Los caudales así obtenidos, asociados con probabilidad de ocurrencia, fueron datos de entrada al modelo matemático de simulación de curvas de superficie libre en régimen permanente para delimitar áreas de inundación

Depettris y Mendiando (1999) indican que los resultados esperados en el corto plazo son, definir una red de monitoreo que permita mejorar la comprensión de los procesos hidrológicos en ciudades ubicadas en áreas planas, ajustar modelos matemáticos existentes que sirvan de apoyo a problemas de

Investigación Estadística 1(4): (32-44) (2018)

drenaje urbano, crear una base de datos de acceso público con las informaciones climatológicas disponibles en la Internet, para que sirvan de predictores a modelos de previsión de eventos extremos, permitir el perfeccionamiento profesional de los investigadores participantes del proyecto y que están preocupados con la problemática de la Hidrología Urbana.

Díaz (2017) en su estudio “Modelación estocástica de los caudales en la cuenca del río Santa en el periodo de 40 años comprendidos entre 1968 a 2008”, concluye que los caudales medios mensuales se pueden generar mediante el modelo regional PARMA (1,0). Del Águila (2001), realizó una tesis denominada “Modelamiento Estocástico de las Descargas Medias del río Santa – Ancash”. El modelamiento lo realizó en la estación hidrográfica de Condorcerro, mediante el modelo autorregresivo AR (1). El estudio fue realizado para calcular la capacidad de almacenamiento del río Santa en la estación de Condorcerro.

Maidment (1993) indica que para el caso de series hidrológicas estacionales existen modelos de pronóstico como los Periódicos Autorregresivos de Media Móvil (Modelos PARMA) que son extensiones de los Modelos ARMA (p, q), y han sido desarrollados para trabajar con series de tiempo que presentan una variación estacional en su estructura. Zúñiga (2015), señala que en la actualidad existen dos tendencias en la estimación de una serie hidrológica de caudales, los que se basan en series de tiempo estocásticas como el Modelo Periódico Autorregresivo de Medias Móviles (PARMA: Periodic Autoregressive Mobile Average) y los Modelos Metaheurísticos (ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System).

Según el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en su estudio “Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río San Juan, Pisco-Perú”, señala que: La Modelación Estocástica es la representación matemática de un proceso hidrológico que se encuentra gobernado por una ley probabilística, siendo algunas de sus finalidades generar series hidrológicas sintéticas, así como predecir series hidrológicas futuras. Considerando la predicción de series hidrológicas futuras son necesarias para determinar por ejemplo el planeamiento de un reservorio a corto plazo. Existen varios modelos estocásticos desarrollados como son los AR(n), ARMA (p, q), ARIMA (p, d, q); sin embargo, para el caso de series hidrológicas mensuales en donde los componentes determinísticos son periódicos podemos determinar dos modelos a utilizar en el presente estudio. Estos dos modelos son el modelo auto regresivo AR(n) y el modelo mixto ARMA para series mensuales conocido como PARMA (p, q).

De la misma manera INRENA (2003) según el Estudio Integral de los Recursos Hídricos de las cuencas de los ríos Acarí y Yauca, en su informe final concluye que es importante conocer la disponibilidad hídrica a nivel de la cuenca y subcuencas, la demanda hídrica por sectores de riego y comisión de regantes, el balance hídrico por sector de riego, el balance hídrico del embalse Ancascocha, los caudales de máximas avenidas en puntos importantes de la cuenca y finalmente la capacidad de almacenamiento de la cuenca colectora Ancascocha. Dicha información obtenida permitirá realizar una adecuada y eficiente gestión del recurso hídrico de la cuenca por parte de la Autoridad de agua.

El Programa de Adaptación al Cambio Climático (PACCC 2010), con su estudio hidrológico de la microcuenca del río Mollebamba- Apurímac 2010, señala que, este estudio constituye una primera aproximación al conocimiento sobre el cálculo de la demanda hídrica para diferentes usos en la microcuenca Mollebamba, considerando los cambios en la disponibilidad y demanda del recurso agua en función a los efectos del cambio climático y la influencia de los escenarios socioeconómicos futuros (p. 150).

Por otro lado, la Intendencia de Recursos Hídricos del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA, 2001. p. 2-5), señala que se vienen desarrollando estudios hidrológicos en las cuencas del Perú, como es el caso de las cuencas de los ríos Cañete, Chancay, Chili, Caplina e Ica y consciente de la necesidad del país de disponer del conocimiento integral y homogéneo de la potencialidad de sus recursos hídricos que conlleven a un uso racional y planificado, desde los puntos de vista social,

Investigación Estadística 1(4): (32-44) (2018)

económico, ecológico y considerando la participación de todos los agentes consumidores de agua de la cuenca, dentro de sus limitaciones existentes, prosigue con sus objetivos iniciales extendiendo estos estudios en otras cuencas, como es el presente caso del río San Juan. Aquí se señala que el comité de gestión de cuenca, ya conformado, realice actividades de planificación integrada en torno al uso de los recursos hídricos de la cuenca del río San Juan, mediante la puesta a disposición de la base de datos sistematizada de información hidrometeorológica y cartográfica recopilada, procesada y generada, por el mismo estudio. La metodología empleada consistió en recopilar información básica, análisis y revisión de estudios hidrológicos anteriores, reconocimiento de campo y análisis de toda la información obtenida. El análisis hidrológico del río San Juan fue realizado en base a las descargas medidas en la estación hidrométrica de Conta, durante el periodo 1934 –1968.

En la última década se han realizado estudios y proyectos, concernientes a la necesidad del uso racional del agua Leandro (2003 p. 6), señala que el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC realizó los siguientes estudios:

En el año 2001 realizó el “Balance Hidrológico del Proyecto especial CHAVIMOCHIC con fines de regulación en el embalse Palo Redondo”. El 2003, se desarrollaron los proyectos: “Actualización del Inventario de los puntos principales de captación de agua para usos múltiples”; el “Plan de Cultivo y Riego–Campaña agrícola 2003–2004”; y el “Estudio de Demandas de agua para uso agrícola del valle Chicama”.

La razón principal que motivó a realizar el presente estudio, es la determinación de la distribución temporal del caudal de agua del río Jequetepeque, lo que permita conocer el régimen de caudales hidrológicos para establecer planes a corto plazo para el uso adecuado del agua de la cuenca y para realizar estudios similares en otras cuencas, con el objetivo de fortalecer los comités de gestión de las diversas cuencas existentes en la zona.

Problema

¿Cuál es la distribución temporal del caudal mensual del río Jequetepeque para el periodo 1976-2015?

Hipótesis

La distribución temporal del caudal mensual del río Jequetepeque para el periodo 1976-2015 está determinado por el modelo Periódico Autorregresivo de Medias Móviles PARMA (1, 0).

Objetivo General

Determinar la distribución temporal del caudal mensual del río Jequetepeque para el periodo 1976-2015.

Objetivos específicos

- Determinar la distribución temporal del caudal mensual de agua del río Jequetepeque, en el periodo 1976-2015.
- Comparar la distribución temporal del caudal mensual de agua del río jequetepeque, en el periodo 1976-2015.
- Identificar el modelo PARMA que mejor se ajuste al caudal mensual del río Jequetepeque, en el periodo 1976-2015.

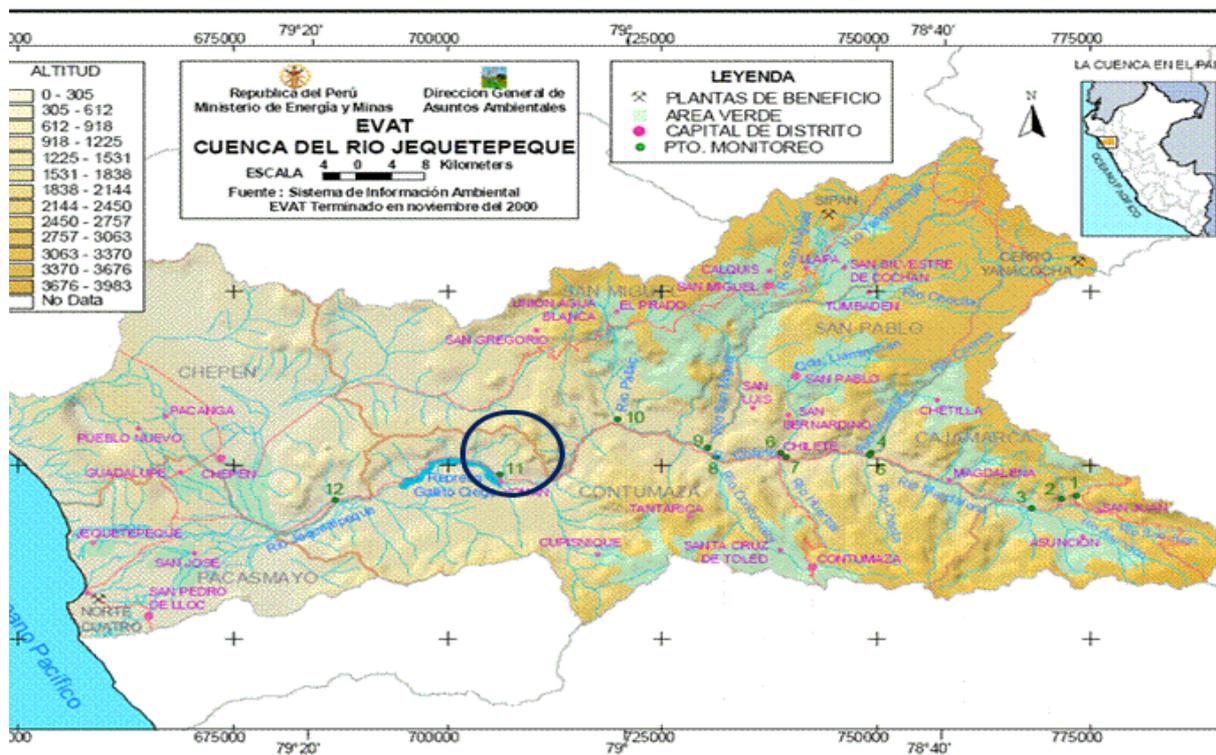
MATERIAL Y METODOS

Población:

La población de estudio estuvo conformada por los registros mensuales de los caudales de agua del río Jequetepeque, periodo 1976- 2015 de la Estación de Yonan. La cuenca del Río Jequetepeque está

Investigación Estadística 1(4): (32-44) (2018)

ubicada en el norte del Perú, abarcando los Departamentos de Cajamarca (Provincias de Cajamarca, Contumazá, San Pablo y San Miguel) y La Libertad (Provincias de Pacasmayo y Chepén). El área total de la cuenca es de 4,377.18 km². El río Jequetepeque tiene una longitud de 161.50 km y la dirección de su recorrido es de Este a Oeste correspondiente a la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes cuyas aguas desembocan en el Océano Pacífico. Los niveles altitudinales varían entre los 0 y 4,188 m.s.n.m, con rangos de precipitación anual de 0 a 1,100 mm. El río Jequetepeque en su recorrido recibe el aporte de más de 30 ríos secundarios y de varias quebradas menores, generando caudales entre 230.23 m³/s (época de lluvia) y 0.168 m³/s (época de estiaje) Para el aprovechamiento del recurso hídrico se construyó la represa de Gallito Ciego en la década de los 80, con capacidad para almacenar 573 MMC de agua (FAO, 2003). La utilización de esta represa permite el desarrollo de una intensa actividad agrícola y ganadera en la parte baja del valle. (INADE. Instituto Nacional de Desarrollo. 2002).



Fuente: Dirección General de Estudios Ambientales. Ministerio de Energía y Minas.

Figura 1. Mapa hidrogeológico de la Cuenca del Río Jequetepeque. Estación Yohan.

Muestra

La muestra estuvo conformada por cada uno de los registros mensuales de caudal de agua, del río Jequetepeque, periodo 1976 - 2015.

Variables

- Y: Caudal Mensual del río Jequetepeque (variable cuantitativa continua medida en (m³/s))
- T: Tiempo en meses

Fuente de recolección de datos

Con la finalidad de estimar un modelo Periódico Autorregresivo de Medias Móviles PARMA para el caudal mensual de agua, se recopiló información hidrometeorológica mensual de la cuenca Jequetepeque, del sitio web www.ana.gob.pe perteneciente a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) de la estación hidrológica Yonan, con datos históricos de 40 años, desde el año 1976 al año 2015.

Análisis de datos

Recolectada la información en una plantilla Excel, se procedió a procesarla y analizarla en el Software Libre RStudio. Primero se evaluó la estacionariedad a través de la Prueba de Raíces Unitarias Dickey-Fuller. Luego, a las series de caudales mensuales que no cumplen con la estacionariedad se los estandarizó utilizando el criterio de Vecchia y se encontró las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial para determinar el modelo PARMA para cada serie de caudales mensual. Se estimó el mejor modelo y se verificó a través de la estacionariedad de los residuales generados por este modelo, con la Prueba Ljung-Box. Todo este análisis se realizó utilizando el Software Libre R Studio. Salgado, Luna, Ballini, Soares y Da Silva (2012, p. 167-174), señalan que la mayoría de las series de tiempo, especialmente las series de tiempo hidrológicas, contienen componentes estacionales y/o tendencia, por lo que no constituyen series estacionarias; en este caso, se debe realizar una transformación para tomarla estacionaria.

Vecchia (1985) señala que la transformación dada por $Z_t = (X_t - \mu)/\sigma$, que se convierte un proceso en estacionario al restarle a la variable aleatoria el valor medio estacional μ . La transformación permite la aplicación de modelos estacionarios lineales para el modelado de series de tiempo. Se pueden modelar series de tiempo que presentan variaciones estacionales a través de modelos periódicos, que son extensiones de modelos ARMA, para usar parámetros que dependen de la estacionalidad, estas son denominados modelos PARMA como extensiones del ARMA (p, q). Luego, dada una serie de tiempo estacional $\{x_t\}$, $t=1, \dots, N$, con periodo S y número de observaciones N; además $m= 1, 2, \dots, s$ observaciones que constituyen un conjunto de datos que determinan un periodo y $r=1, 2, \dots, N$ el índice de cada uno de esos conjuntos de datos, el índice del tiempo t en términos de r y m se escribe como $t=t(r,m)$ ó $t=(r-1)s+m$. Para eliminar el componente estacional de la serie y convertirla en periódicamente estacionaria, se usa la transformación $Z_t(r, m) = (X_t(r, m) - \mu_m)/\sigma_m$, donde μ_m es la media y σ_m es la desviación estándar del mes m.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio de caudales de agua es determinante para el establecimiento de futuras decisiones que se tomen en la cuenca del río Jequetepeque y es partir de la utilización de procesos estadísticos, que se permitirá proyectar a posibles eventos extremos. Por lo tanto, es importante un conocimiento oportuno de caudales futuros, cuyos pronósticos podrán ser obtenidos con la estimación de un modelo PARMA. En esta investigación se determinó la distribución temporal del caudal mensual del río Jequetepeque para el periodo 1976-2015. El histórico de los caudales medios mensuales abarca un total de 40 años (período de 1976 al 2015) según el registro virtual de la Institución ANA (Autoridad Nacional del Agua)

En primer lugar, se presenta el comportamiento temporal de los caudales mensuales de agua para el periodo 1976-201 del río Jequetepeque, en el cual se aprecia mucha variabilidad en los caudales de los meses enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre. En los meses restantes apreciamos una variabilidad reducida que puede ser efecto de los periodos secos de la región Norte del País. En los meses de mayor variabilidad los caudales llegan a tener un valor máximo de 10000 m³/s, mientras que, para los meses de menor variabilidad se llega a tener un caudal máximo de 100 m³/s.

En la tabla 1, se presenta las medidas estadísticas descriptivas de los caudales promedio de agua por mes, con la respectiva prueba de Análisis de Varianza (ANVA), para comparar la distribución de los caudales. Los caudales promedios más elevados se presentan en los meses del periodo húmedo que se concentran entre los meses de enero a mayo, lo que coincide con la etapa lluviosa en el litoral ecuatoriano, lo que se puede apreciar en los valores de la media (Tabla 1). Con respecto a la comparación de la distribución temporal de los caudales mensuales de agua, la Prueba del Análisis de

Investigación Estadística 1(4): (32-44) (2018)

Varianza (ANVA) resultó ser altamente significativa ($p < .01$), lo que sería un indicativo de que existe diferencia en los caudales promedios por meses en el periodo de estudio.

Tabla 1

Medidas estadísticas de las series de tiempo mensuales para el periodo 1976-2015

Mes	Mínimo	Máximo	Media	Varianza	Prueba ANVA	
					F	Valor p
Enero	92.50	3575.40	913.70	661557.20	41.51	.01**
Febrero	170.70	6446.50	1826.10	2248998.90		
Marzo	301.20	9964.90	3021.70	4953937.00		
Abril	314.80	5625.40	2048.90	1719842.50		
Mayo	101.50	2426.00	874.00	276928.80		
Junio	59.90	1142.80	350.70	47232.70		
Julio	26.60	482.80	167.52	14180.80		
Agosto	5.20	178.79	75.97	2394.80		
Septiembre	5.80	329.04	78.05	3998.50		
Octubre	33.20	648.90	196.28	23330.70		
Noviembre	38.20	1065.20	352.30	59362.70		
Diciembre	37.00	2252.40	579.00	249368.30		

Fuente: www. ana.gob.pe. Software RStudio

* $p < .05$; ** $p < .01$

Tabla 2

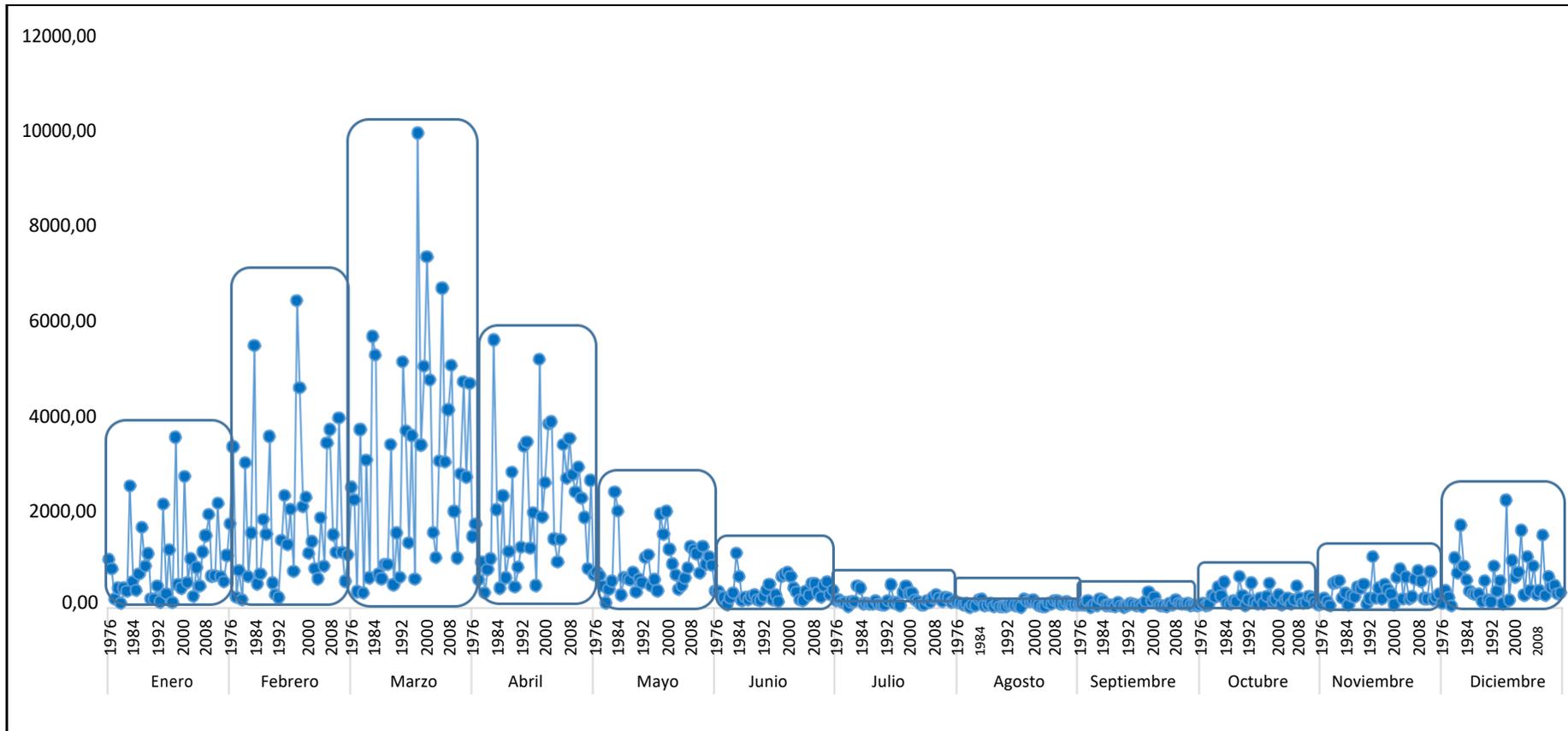
Evaluación de la estacionalidad según la Prueba de Dickey-Fuller

Mes	Dickey-Fuller	Valor p	Decisión
Enero	-3.09	.145	No Estacionaria
Febrero	-3.12	.133	No Estacionaria
Marzo	-2,99	.186	No Estacionaria
Abril	-3.62	.044*	Estacionaria
Mayo	.3.61	.046*	Estacionaria
Junio	-3.46	.063	No estacionaria
Julio	-3.44	.066	No estacionaria
Agosto	-3.61	.045*	Estacionaria
Septiembre	-3.49	.058	No Estacionaria
Octubre	-4.65	.000**	Estacionaria
Noviembre	-4.36	.000**	Estacionaria
Diciembre	-2,99	.184	No Estacionaria

Fuente: www. ana.gob.pe. Software RStudio

* $p < .05$; ** $p < .01$

Otro de los objetivos planteados en la investigación es identificar el modelo PARMA que mejor se ajuste al caudal mensual del río Jequetepeque, en el periodo 1976-2015. Para estimar este modelo, se realizó todo un proceso analítico estadístico. Primero se evaluó la estacionalidad de las series mensuales a través de la Prueba Dickey-Fuller, cuya hipótesis nula es H_0 : La serie es no estacionaria frente a la hipótesis alternativa H_1 : La serie es estacionaria. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2, que indica que las series de los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio, septiembre y diciembre son no estacionarias, mientras que las series de los meses abril, mayo, agosto y octubre y noviembre si son estacionarias.



Fuente: Datos obtenidos de la Asociación Nacional del Agua. Estación Yonan. Cuenca del Río Jequetepeque.

Figura 1. Comportamiento de los caudales mensuales de agua del río Jequetepeque en la Estación de Yonan. Periodo 1976-2015

Identificada la estacionalidad de las series mensuales, se procedió a eliminar el componente estacional a través de la transformación propuesta por Vecchia, con lo cual se presenta en la tabla 3, los resultados de estacionalidad después de aplicar la estandarización. Con la Prueba Dickey-Fuller, aplicada a las series estacionarias se concluye que son estacionarias, por lo que se procedió a aplicar la metodología de los modelos PARMA.

Tabla 3
Evaluación de la estacionalidad después de aplicar la estandarización con la Prueba Dickey-Fuller

Mes	Valor experimental Dickey-Fuller	Valor p	Decisión
Enero	-5.00	.000**	Estacionaria
Febrero	-4.81	.000**	Estacionaria
Marzo	-5.09	.000**	Estacionaria
Abril	-3.62	.043*	Estacionaria
Mayo	.3.61	.045*	Estacionaria
Junio	-3.46	.062	No estacionaria
Julio	-3.44	.066	No estacionaria
Agosto	-3.61	.044*	Estacionaria
Septiembre	-4.74	.000**	Estacionaria
Octubre	-4.65	.000**	Estacionaria
Noviembre	-4.36	.000**	Estacionaria
Diciembre	-4.64	.000**	Estacionaria

Fuente: www. ana.gob.pe. Software RStudio

*p<.05; **p<.01

Antes de estimar el modelo PARMA para cada serie, se obtuvieron las funciones de autocorrelación (FAC) y las funciones de auto correlación parcial (FACP) para cada una de las series mensuales, para determinar los parámetros p y q del referido modelo. Estas funciones se presentan a continuación.

Los modelos PARMA establecen que se debe ajustar un modelo para cada mes del año, donde orden de los parámetros p y q son determinados por el comportamiento gráfico de los FAC y los FACP; para tal efecto, se realizaron 12 análisis para determinar el orden adecuado para cada mes. A partir de este análisis gráfico, se pudo identificar los parámetros de manera a priori. En la Tabla 4, se presentan los modelos autorregresivos PARMA estacionarios para cada uno de los meses, con sus respectivos valores de la cte, Φ_1 , Φ_2 , Θ_1 y Θ_2 , también se presenta el valor de σ^2 para cada uno de los modelos, cuyos valores son los más pequeñas de los referidos modelos. Además, se obtuvo los indicadores AIC y BIC de cada uno de los modelos, que me permitieron identificar a los modelos PARMA presentados en la tabla. En el mes de marzo se obtuvo el menor AIC con un valor de 116.96 y en el mes de junio, el menor BIC con un valor de 120. 04. Debemos señalar también, que, para los meses de junio, julio y agosto los parámetros p y q fueron iguales a cero, excepto para los meses restantes.

Para la validación de los modelos PARMA encontrados en cada uno de los meses, se procedió a evaluar sus residuales generados por estos modelos. Si los residuales presentaban un comportamiento estacionario, se concluye que el modelo estimado PARMA es el adecuado. En la tabla 5 se presentan los resultados de la prueba de Box-Ljung que evaluó si los residuales generados por los modelos estimados son estacionarios. Los valores p del estadístico Chi-Cuadrado utilizado en esta prueba resultaron ser mayores que .05 ($p > .05$), por consiguiente, se aceptó la hipótesis nula H_0 : los errores son estacionarios, por consiguiente, los modelos PARMA estimados son adecuados.



Fuente: www.ana.gob.pe. Software RStudio

Figura 2: Funciones de Auto correlación y funciones de Auto correlación Parcial.

Investigación Estadística 1(4): (32-44) (2018)

Tabla 4

Modelos Autorregresivos PARMA estacionarios para cada mes de estudios

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Modelo PARMA	(0,1)	(2,0)	(0,1)	(0,1)	(1,1)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(2,0)	(0,1)	(2,0)
Cte					871.39							
Φ_1		-0.5615			0.3830				-0.3485	-0.5148		-0.8715
Φ_2		-0.3731								-0.4114		-0.2677
Θ_1	-0.9798		-0.8869	-0.8971							-0.9515	
Θ_2												
σ^2	1.044	1.391	1.046	1.045	1.214	1.157	1.272	1.236	1.22	1.413	1.06	1.143
AIC	118.36	127.99	116.96	117.01	120.25	118.37	122.05	120.94	121.55	128.61	118.28	120.62
BIC	121.69	132.98	120.29	120.34	121.92	120.04	123.71	122.61	124.88	133.6	121.6	125.61

Cte: Constante del Modelo PARMA, Φ_1 , Φ_2 , Θ_1 , Θ_2 : Parámetros autorregresivos del Modelo PARMA

σ^2 : Varianza del modelo PARMA; AIC: Coeficiente de información adquirida; BIC:

Fuente: Software RStudio

Tabla 5

Prueba de Box-Ljung, para evaluar si los residuales de los modelos estimados son estacionarios

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Chi Cuadrado	2.880	0.204	0.088	0.006	1.438	0.508	1.016	2.828	0.045	0.546	0.456	0.069
Valor p	.089	.650	.765	.979	.230	.475	.313	.092	.831	.459	.499	.792
Decisión	Acepto Ho	Acepto Ho	Acepto Ho	Acepto Ho								

Hipótesis: Ho: Los errores son estacionarios; H1: Los errores NO son estacionarios

Fuente: Software RStudio

*p<.05; **p<.01

Investigación Estadística 1(4): (32-44) (2018)

CONCLUSIONES

- La distribución temporal de los caudales mensuales del río Jequetepeque en el periodo 1976-2015 no son estacionarios, por lo que, para ser analizados deben ser transformados a través del criterio de Vecchia A.
- Comparando la distribución temporal de los caudales mensuales en el periodo 1976-2015, los caudales mensuales promedios presentan una diferencia significativa, donde los caudales promedios más elevados se presentan en los meses de enero a mayo y los caudales más bajos en los meses de agosto y septiembre.
- Los modelos PARMA son lo más adecuado para realizar el mejor pronóstico del caudal mensual del río Jequetepeque.
- Se determinó que los modelos PARMA adecuados para realizar el mejor pronóstico del caudal mensual del río Jequetepeque, son: PARMA (0, 1) para los meses de enero, marzo, abril y noviembre; PARMA (1, 0) para setiembre; PARMA (1, 1) para mayo; PARMA (2, 0) para los meses de febrero, octubre y diciembre.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Baeza, D. y García, D. (1999). *Cálculo de caudales de mantenimiento en ríos de la cuenca del Tajo a partir de variables climáticas y de sus cuencas*. Laboratorio de Hidrobiología, E.T.S. de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. España.
- Depettris, C. y Mendiondo. A. (1999). *Estudio de la Hidrología Urbana en la Cuenca del Plata*. Proyecto de Intercambio Internacional entre el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE y el Instituto de Pesquisas Hidráulicas del Brasil. Brasil.
- Del Águila, S. (2001) *Modelamiento Estocástico de las Descargas Medias del Río Santa Ancash*. Tesis para obtener el grado de Master en Ciencias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Díaz, A. (2017). *Modelación estocástica de los caudales en la cuenca del río Santa*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Escuela de Posgrado Doctorado en Recursos Hídricos. Tesis para optar el grado de Doctoris Philosophiae en recursos hídricos. Lima – Perú.
- Instituto Nacional de Desarrollo. INADE (2002). *Plan de gestión de la oferta de agua en la cuenca del río Jequetepeque*. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Lima. Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. INRENA. (2003). *Estudio Integral de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Acarí y Yauca Componente*. Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Yauca - Estudio de balance hídrico superficial de la cuenca del río Yauca. p. 120.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. INRENA (2003). *Administración Técnica del Distrito de Riego Chincha-Pisco. Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río San Juan*. p. 180.

Investigación Estadística 1(4): (32-44) (2018)

- Leandro, V. (2003). *Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos en la cuenca del Río Chicama*. Ministerio de agricultura. Instituto Nacional de Recursos Naturales. Intendencia de Recursos Hídricos. Administración técnica del Distrito de riego Chicama. p. 240.
- Maidmend, D. (1993). *Handbook of Hydrology*. New York, US, McGraw Hill. p. 1424.
- Martínez, C. y Fernández, J. (2010). *Conceptos y Métodos sobre el Régimen de Caudales Ecológicos*. Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Tajo. p. 160.
- Maza, J y Fernández, P. (1995). *Estudios hidrológicos e hidráulicos para el ordenamiento territorial de una cuenca*. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas Centro Regional Andino, Argentina. p. 220.
- Proyecto PACC. (2010). Estudio Hidrológico Microcuenca Huacrahuacho. Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos –Senamhi. 150 p.
- Salgado, R., Luna, I., Ballini, R., Soares, S. y Da Silva F. (2012) Modelos de Inteligencia Computacional para Geracao de series Sintéticas de Vazoes Médias Mensais. *Lerning and Nonlinear*, 10(3), pp. 167-174.
- Vecchia, A. (1985). Maximun likelihood estimation for periodic autoregressive moving average modeles. *Technometrics*, 17(4), pp. 375-348.
- Zúñiga, A. (2015). *Pronóstico de caudales afluentes para la planificación de la operación de sistemas hidrotérmicos de potencia aplicando el modelo ANFIS*. Informe de proyecto de graduación de Ingeniero en Electricidad Especialización. Guayaquil–Ecuador.