


ARTÍCULO ORIGINAL

MODELO “ARIMA” SOBRE EL CONSUMO DE AGUA DE USO POBLACIONAL EN LA CIUDAD DE TACNA

“ARIMA” MODEL ON THE CONSUMPTION OF WATER FOR POPULATION USE IN THE CITY OF TACNA

Limache Sandoval, Elmer Marcial ¹

 <https://orcid.org/0000-0003-4852-1916>
elmlimache@upt.pe

Aceptado: 07/05/2021
Publicado online: 30/05/2021

RESUMEN

El objetivo fue construir un modelo de pronóstico de series de tiempo en base a patrones y variables endógenas del consumo del agua potable y adicionalmente determinar la tendencia, estacionalidad, los patrones cíclicos y las características del agua que se consume en la ciudad de Tacna para la obtención de pronósticos. La investigación fue no experimental, correlacional y longitudinal, con información de periodicidad mensual entre enero de 2006 hasta marzo de 2018 registrada mediante análisis documental. La unidad de análisis fueron las unidades económicas de la ciudad de Tacna con servicio de agua potable conectado a la red pública y consumo mensual como variable de interés. La población corresponde a una serie finita de datos mensuales de tamaño $N=383$ meses. La muestra estuvo constituida por 139 observaciones entre enero 2006-julio 2017 con los que se ha construido el modelo ARIMA en base a la metodología Box-Jenkins y extendida hasta marzo de 2018, para la validación del modelo. La conclusión principal es la obtención del modelo de pronóstico para el consumo de agua de uso poblacional en la ciudad de Tacna ARIMA $(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ con intercepto y cuya formulación matemática empírica es:

$$\widehat{Ln}X_t = 0,000415 + 0,590a_{t-1} + 0,899a_{t-12}$$

con patrones de tendencia y estacionalidad.

Palabras clave: Modelos ARIMA, series de tiempo, patrones de datos, pronósticos.

ABSTRACT

The objective was to build a time series forecast model based on endogenous patterns and variables of drinking water consumption and additionally determine the trend, seasonality, cyclical patterns and characteristics of the water consumed in the city of Tacna for the obtaining forecasts. The research was non-experimental, correlational and longitudinal, with monthly information from January 2006 to March 2018 recorded through documentary analysis. The unit of analysis were the economic units of the city of Tacna with drinking water service connected to the public network and monthly consumption as variable of interest. The population corresponds to a finite series of monthly data of size $N = 383$ months. The sample consisted of 139 observations between January 2006-July 2017 with which the

¹ Universidad Privada de Tacna. Facultad de Ciencias Empresariales. Docente investigador de la Universidad Privada de Tacna.

ARIMA model has been built based on the Box-Jenkins methodology and extended until March 2018, for the validation of the model. The main conclusion is the obtaining of the forecast model for the consumption of water for population use in the city of Tacna ARIMA (0,1,1) (0,1,1) 12 with intercept and whose empirical mathematical formulation is:

$$\widehat{LnX}_t = 0,000415 + 0,590a_{t-1} + 0,899a_{t-12}$$

with trend and seasonality patterns.

Keywords: ARIMA models, time series, data patterns, forecasts..

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso escaso por el que millones de personas luchan diariamente para proveerse de él (ONU-AGUA, 2005, p.3) y Rodríguez-Villamil (2013) sostiene que las familias atraviesan dificultades y rutinas para obtener, transportar, almacenar, cuidar y usar el agua y que, en muchos casos es de mala calidad afectando su salud y seguridad alimentaria. El crecimiento poblacional incentiva el crecimiento de las ciudades y el incremento del consumo del agua dulce, recurso no renovable. “Las poblaciones crecen y se desarrollan generalmente dentro y alrededor de fuentes naturales básicas e imprescindible para su crecimiento y desarrollo siendo una de ellas el Agua” (Rosasco, 2006)

En la última década, en América Latina y el Caribe se ha asistido a una significativa reducción de la pobreza. Sin embargo, más de 160 millones de personas continúa en la pobreza y el promedio de los niveles de abastecimiento de agua y saneamiento en la región son a los de otros países en desarrollo y, los niveles reales de acceso a los servicios son inferiores y se aprecian graves deficiencias en la calidad del servicio que afectan a las áreas rurales y a los pobres (ONU-AGUA, 2015. p 10). El estudio del consumo de agua es importante y constituye un elemento importante en la dieta pues los individuos no pueden estar sometidos a privaciones por largos períodos sin tener efectos importantes en su salud, aun cuando se muestra recuperación del peso corporal cuando la restricción termina (Lopez-Espinoza, Ríos y Soto, 2004). Pero, las empresas que administran el agua de uso poblacional, reconocen que contiene elementos contaminantes (Mendez y Feliciano, 2010; EPS TACNA, 2018) y que muchas de ellas no reutilizan las aguas residuales, lo cual ahorraría costos en los programas de producción de agua, que podría ser utilizada en parques y jardines (Mendez y Feliciano, 2010).

En Tacna, zona de escasez hídrica, el uso racional del agua es de vital importancia, con 341,838 habitantes y una tasa de crecimiento de 4.068 (INEI, 2009) y la ubica entre las ciudades de mayor crecimiento en el país. Asimismo, para el año 2014 el consumo de agua de uso doméstico fue de 9 949 000 metros cúbicos para una población de 312311 (INEI, 2010, p. 106) con un consumo promedio 31.85 metros cúbicos inferior al recomendado por la Organización Mundial de la Salud y por debajo del consumo promedio nacional.

El consumo irracional origina desperdicios del agua tratada con el consiguiente costo para la sociedad estimándose que la EPS Tacna pierde el 21,9% del agua que procesa (EPS Tacna, 2009), situación a solucionarse en el corto plazo. Asimismo, el agua es de mala calidad, aun después del tratamiento correspondiente. El agua de la cuenca Caplina que abastece de agua a la ciudad contiene índices de boro, arsénico hierro y aluminio por encima de los permitidos para el consumo humano (Región Tacna, 2016, p.60-64). El agua es un bien de demanda inelástica, por tanto, de consumo imprescindible para las familias.

Hay varios enfoques sobre el consumo del agua, siendo uno de ellos el del comportamiento del consumidor que toma en cuenta factores diferentes según los autores, y sostiene que hay factores externos, del medio ambiente y factores internos, que dependen del individuo que los que determinan el consumo de un bien. Otro enfoque proviene de la teoría económica y que sostiene que el consumo de un bien depende del precio del bien, del ingreso y del precio de los bienes relacionados. El

conocimiento de estos factores y la influencia que tienen en el consumo, así como las variables que intervienen en el consumo es importante en el caso de Tacna en el cual el bien que se utiliza es escaso y con características particulares siendo un tema siempre vigente y que merece ser estudiado.

Se han desarrollado modelos de demanda de agua que incluyen variables de tipo cuantitativo y cualitativo con la finalidad de realizar pronósticos y proyecciones, o para describir el mecanismo del consumo de este bien, realizado en otras realidades, por lo que es necesario determinar los factores que determinan el consumo del agua y realizar los pronósticos adecuados en base a este conocimiento, proporcionando así a los organismos operadores de la distribución de agua instrumentos que permitan gestionar adecuadamente este recurso.

Por otro lado, en el intento de modelizar la demanda de agua se han diseñado propuestas como el de Clavijo (2013) que utiliza variables de consumo, ingreso y número de habitantes, Olmeda (2013) que utiliza un modelo econométrico con variable endógena el crecimiento medio del PBI, variables exógenas como inversión, capital humano y tasa de utilización del agua mediante mínimos cuadrados ordinarios. Henao y Córdova (2007) hace hincapié en los factores externos en la explicación del consumo de agua como los factores sociales, demográficos y económicos.

Por ello, la investigación busca construir un modelo de pronóstico de series de tiempo en base a patrones y variables endógenas del consumo del agua potable en la ciudad de Tacna, determinar la tendencia en el pronóstico de series de tiempo en el consumo del agua potable en la ciudad de Tacna, determinar la estacionalidad en el pronóstico, determinar los patrones cíclicos en el pronóstico de series de tiempo, así como determinar las características del agua potable que consume la población en la ciudad de Tacna.

En base al comportamiento de los consumos de bienes y al crecimiento poblacional se plantea la hipótesis que el modelo de pronóstico de series de tiempo con variables de consumo rezagadas en el tiempo considerando patrones de tendencia creciente y estacionalidad mensual aplicado al consumo de agua de uso poblacional en la ciudad de Tacna basado en la metodología Box Jenkins es el adecuado en el caso de Tacna.

METODOLOGÍA

La Investigación es no experimental, correlacional y longitudinal, con información registrada en intervalos sucesivos en el tiempo originando una serie de periodicidad mensual entre enero de 2006 hasta marzo de 2018 registrada mediante análisis documental (Hernandez Sampieri, 2014. pp.154-162). El esquema que relaciona la variable dependiente (consumo de agua potable en la ciudad Tacna) e independiente (variables rezagadas de esta misma variable) es:

Variables rezagadas-k —————> *Consumo de agua potable*

La unidad de análisis la conforman las unidades económicas de la ciudad de Tacna que tienen el servicio de agua potable conectados a la red pública de abastecimiento. El consumo mensual de agua de estas unidades económicas, medidas en metros cúbicos (m³), es la variable de interés para el estudio y para el cual se busca la construcción de un modelo de pronóstico.

La población corresponde a una serie finita de datos mensuales ordenados en el tiempo de tamaño N=383 meses relacionado al consumo de agua potable en la ciudad de Tacna desde el mes de diciembre de 1985 hasta el mes de marzo de 2018 que es el período de referencia con información de la EPS Tacna desde su creación como SEDATACNA. La muestra está constituida por la serie de tiempo de datos mensuales de 139 observaciones entre enero 2006-julio 2017 con los que se ha construido el modelo ARIMA, a los que se adiciona las observaciones de agosto 2017 hasta marzo de 2018 para la idoneidad del modelo, haciendo un total de 147 observaciones muestrales hasta ese momento, ordenadas en el tiempo.

El método de muestreo fue no aleatorio, y la técnica por conveniencia, por la disposición de la información registrada a partir de enero de 2006 hasta marzo de 2018.

Los datos de la serie de tiempo de la variable Consumo Mensual de Agua Potable se recolectaron mediante análisis documental y se incorporaron a una matriz de datos utilizando el paquete estadístico SPSS 25. La información fue verificada respecto a calidad de los datos lográndose ello al momento de graficar un diagrama secuencial de todos los datos originales. Las técnicas estadísticas que se utilizaron fueron el análisis de correlación y el modelamiento de series temporales mediante la metodología Box-Jenkins. Dado que el nivel de investigación es explicativa, en primer lugar, se realizó el análisis de autocorrelación, utilizando el estadístico de autocorrelación r_k , condición previa para la aplicación de la técnica principal de análisis que son los modelos ARIMA, en conjunción con los dispositivos gráficos como los correlogramas, diagramas de secuencia y diagramas de dispersión, que permitieron apreciar los patrones de las series de tiempo como tendencia, estacionalidad, patrones cíclicos e irregularidad.

En todos los casos el Error tipo I, la probabilidad de rechazar la hipótesis nula fue el 5%.

Para las relaciones de dependencia, es decir, el análisis de regresión entre el Consumo mensual y las variables rezagadas se utilizaron los modelos autorregresivos integrados de media móvil con estacionalidad s , ARIMA $(p,d,q)(P,D,Q)_s$ de media móvil y autorregresivos de órdenes p, d, q correspondientes a la parte regular de la serie de tiempo y P, D, Q correspondientes a la parte estacional de la serie, siguiendo la metodología propuesta por Ferrán (1997).

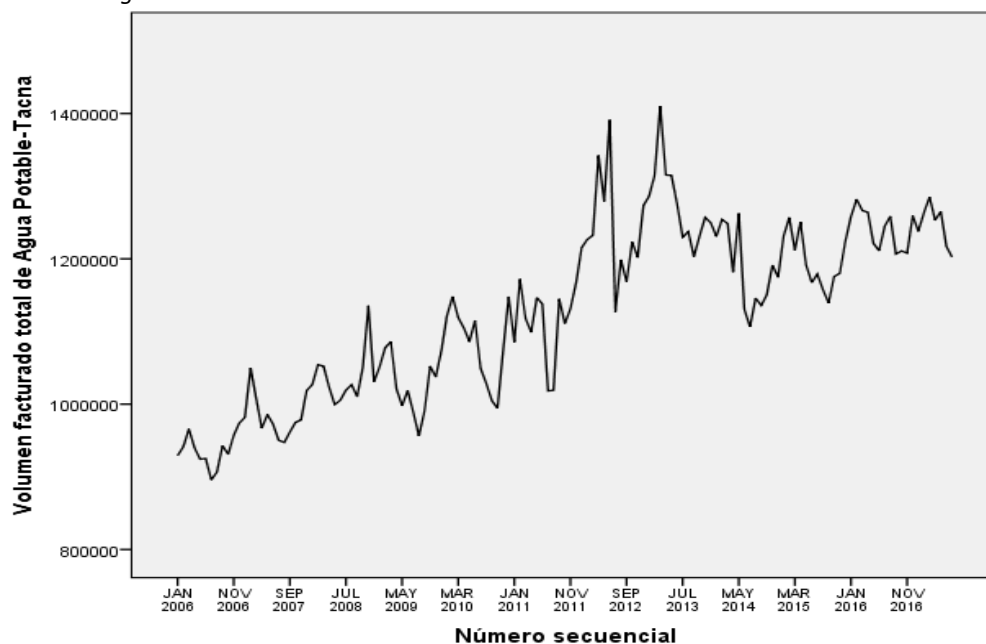
Las tablas estadísticas fueron utilizadas para la presentación de las autocorrelaciones, la significancia y los principales estadísticos y los diagramas secuenciales que presentaron las series de tiempo según su secuencia de ocurrencia en el tiempo para la visualización que permita detectar los patrones de la serie. Otra herramienta gráfica fueron los correlogramas que permiten visualizar las autocorrelaciones para varios desfases de la serie.

RESULTADOS

El diagrama secuencial de la Figura 1 muestra una tendencia creciente del Volumen Facturado Total de Agua Potable en la ciudad de Tacna con dos valores extremos máximos entre mayo del 2012 y mayo del 2013 y los valores extremos mínimos se encuentran entre junio del 2009 y noviembre del 2011.

Figura 1

Tacna: Diagrama de Volumen Facturado Total



Fuente: EPS Tacna (2017)

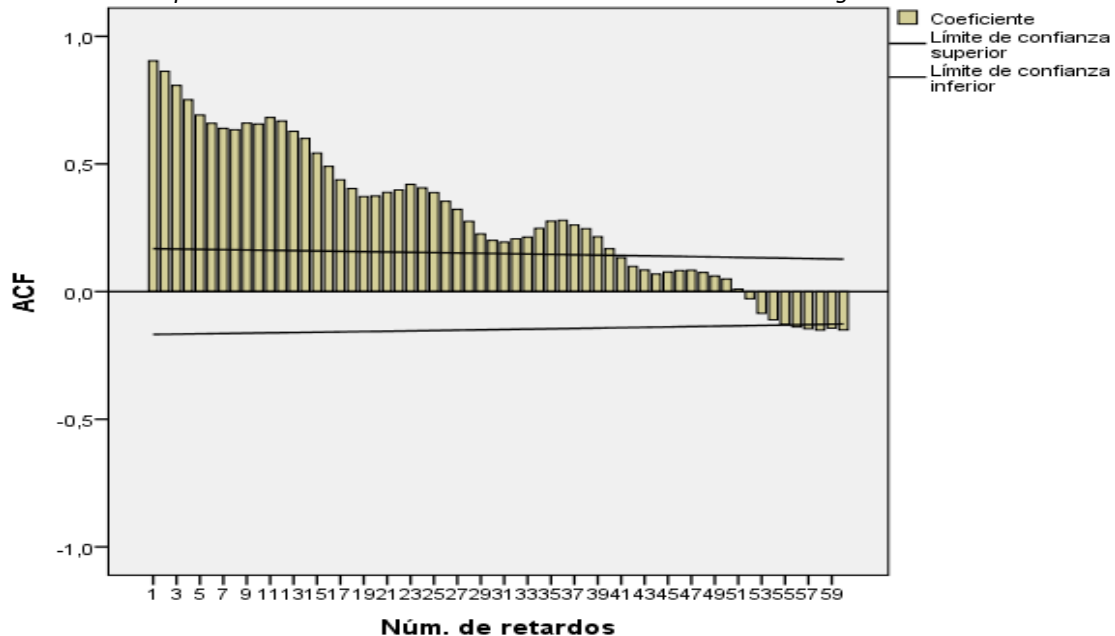
Modelo ARIMA de volumen facturado de agua potable

El análisis de las autocorrelaciones las muestra en orden descendente y todas significativas, siendo positivas hasta el período 51, para posteriormente, a partir del período 52 ser negativas, siempre significativas, como se muestra en el correlograma.

El comportamiento descendente de las autocorrelaciones simples indica un patrón de tendencia y el comportamiento ondulante descendente un patrón de estacionalidad mensual.

Figura 2

Tacna: Sesenta primeras autocorrelaciones de Volumen Facturado Total de Agua Potable.



El reporte de la prueba de homogeneidad de varianzas del Volumen Facturado Total de Agua Potable mediante el estadístico de Levene rechaza la Hipótesis Nula con $p=0,016$ que evidencia que la serie no tiene varianza constante y los datos requieren transformarse. Para la transformación se usó la de Box-Cox (Ferrán, 1997) y dado el poder de transformación de $-1,059$ comparado con el múltiplo de $\frac{1}{2}$ más cercano indica que es $p=0$, y la transformación aplicable el logaritmo natural de la serie, sobre el cual se realizaron los análisis subsiguientes.

Las primeras sesenta autocorrelaciones de la serie transformada $\ln X_t$ determina que son significativas y con signo positivo hasta el retardo 51 para luego ser negativas a partir del retardo 52. Sin embargo, el comportamiento de la serie de autocorrelaciones simples, alrededor de los retardos periódicos, permite inferir que hay un patrón de tendencia en los datos originales, aun cuando se aprecia también que la disminución de los valores de las autocorrelaciones no es brusca, pues cada cierto número de retardos, como el 11, el 23, el 36 y el 47 alcanzan valores altos.

El correlograma de las sesenta autocorrelaciones simples permite apreciar el comportamiento descendente de ellas y muestra tendencia en la serie transformada. Asimismo, el comportamiento ondulante con picos altos y bajos a lo largo de su trayectoria con repuntes en los retardos 11, 23, 36 y 47 indica una estacionalidad mensual en forma similar al comportamiento de los datos no transformados.

El análisis de las autocorrelaciones simples con diferenciación de grado 1 ($d=1$) de la serie transformada $\ln X_t$ del Volumen Facturado Total de Agua Potable las cuales son significativas al 1%, excepto la del retardo 4 que es significativa al 5%. El análisis de las autocorrelaciones de la parte regular de la serie permite apreciar que la autocorrelación del retardo 1 ($r=-0.290$) al realizarse la prueba de hipótesis de significancia, es significativa ($Z_c = -3.42$).

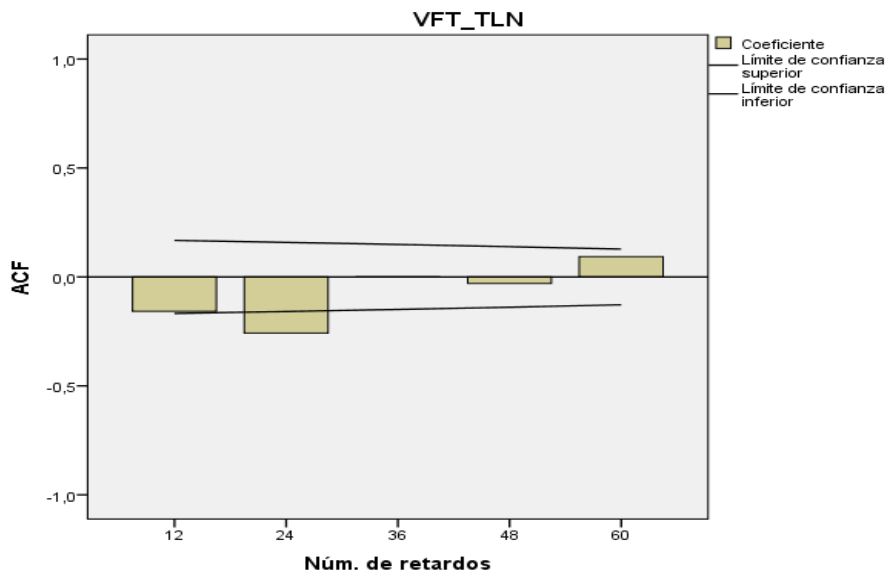
Como el valor crítico $Z=1.96$ a una confianza del 95%, entonces la decisión estadística indica que la autocorrelación en el retardo 1 es significativa. No ocurre lo mismo con la autocorrelación en el

retardo 2, $r_2=0,034$ cuya $Z_c=0.40$, con lo cual no se rechaza la H_0 pudiéndose afirmar que no es significativa, y, en general, ocurre con las subsiguientes autocorrelaciones de la parte regular $r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$ y r_{10} , que es donde se analiza la tendencia.

Por lo tanto, la diferenciación de orden 1 ($d=1$) ha eliminado la tendencia de la serie convirtiendo los datos en estacionarios en la media.

Figura 3

Correlograma de 60 primeras Autocorrelaciones de retardos periódicos del Volumen Facturado Total de Agua Potable con $D=1$



Para el tratamiento de la estacionalidad se analizaron las autocorrelaciones de la parte estacional de la serie que muestra las sesenta primeras autocorrelaciones a las cuales se aplicó diferenciación estacional de grado 1 ($D=1$) con la finalidad de estabilizar la serie o eliminar la estacionalidad. El correlograma de las autocorrelaciones periódicas mostradas en la figura 3 confirma que la autocorrelación del período 24 es significativa lo cual es un indicio que la diferenciación estacional 1 ($D=1$) no ha sido suficiente para eliminar la estacionalidad.

En el proceso para la determinación del parámetro D se calcularon las autocorrelaciones en los retardos periódicos utilizando diferenciación estacional de grado 2 ($D=2$) que se muestran en la tabla 1 y que permite determinar que las autocorrelación $r_{12} = -0,443$ es significativa y las subsiguientes r_{24}, r_{36}, r_{48} y r_{60} no lo son, indicio que esta diferenciación estacional eliminó la estacionalidad en la serie transformada, de lo que puede colegirse que $D=2$ es el parámetro seleccionado.

Tabla 1

Autocorrelaciones en los retardos periódicos del Volumen Facturado Total de Agua Potable con $D=2$

Retardo	Autocorrelación	Típ. Errora	Estadístico de Box-Ljung		
			Valor	gl	Sig.b
12	-,443	,087	118,071	12	,000
24	-,146	,082	150,462	24	,000
36	,075	,077	203,147	36	,000
48	-,034	,071	225,858	48	,000
60	,104	,064	238,348	60	,000

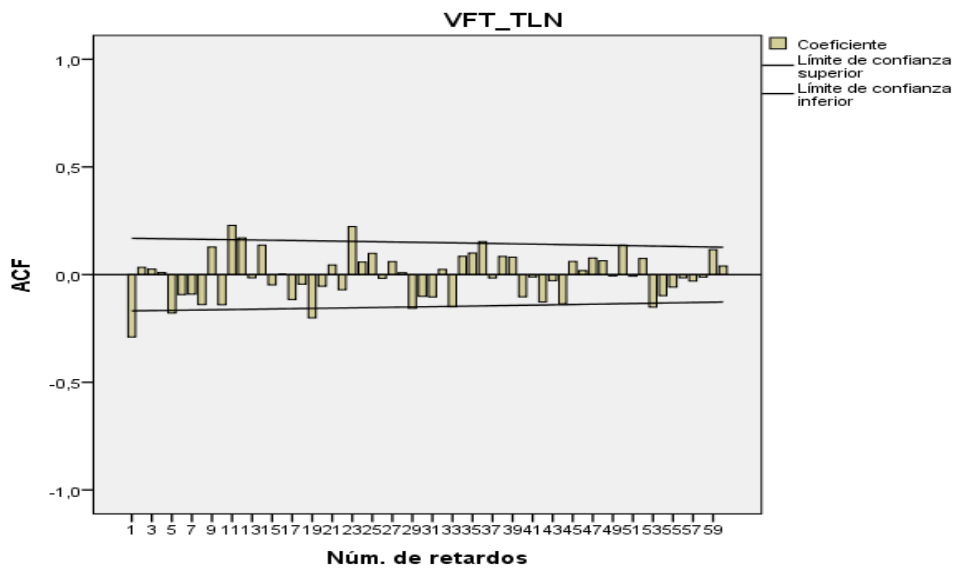
A continuación, el proceso de estabilización se realizó en forma simultánea en la tendencia y en la estacionalidad al utilizarse diferenciación regular ($d=1$) y diferenciación estacional ($D=1$) como se

muestra en la tabla 14. Al analizar las autocorrelaciones de la parte regular se visualiza que las autocorrelaciones r_1 , y r_{11} son las autocorrelaciones significativas. Al analizar las autorrelaciones en los retardos periódicos se observa que r_1 es significativa, así como r_{11} , r_{12} , de lo que se infiere que probablemente el grado de la diferenciación regular se podría establecer en $d=1$ y la diferenciación estacional en $D=1$.

Resumiendo, los grados de diferenciación a considerar en la determinación del modelo serán: Para la diferenciación regular: $d=1$ y $d=2$. Para la diferenciación estacional: $D=1$ y $D=2$.

Figura 4

Correlograma de 60 autocorrelaciones del Volumen Facturado Total de Agua Potable con $d=1$



Determinación de los órdenes de p y q

Los órdenes p y q del modelo ARIMA se determinan del análisis de las autocorrelaciones simples y parciales de la parte regular, es decir, en las autocorrelaciones r_1 a r_{11} . Así, el análisis de las autocorrelaciones de la parte regular indica que la autocorrelación 1, $r_1=-0,290$, es significativa, conjuntamente con la autocorrelación 11, $r_{11}=0,229$, sugiriendo que podría tratarse de un modelo de media móvil (MA) de órdenes 1 o 2 ($q=1$ o $q=2$). No se aprecia el comportamiento decreciente de las iniciales autocorrelaciones hasta llegar a ser nulas, típico de los modelos autorregresivos (AR) (Fig. 4)

El análisis de las sesenta autocorrelaciones parciales, permite visualizar que las autocorrelaciones de los retardos 1, 5, 6, 7, 8 y 10 son significativas y el resto no, definiendo un crecimiento y decrecimiento en el recorrido.

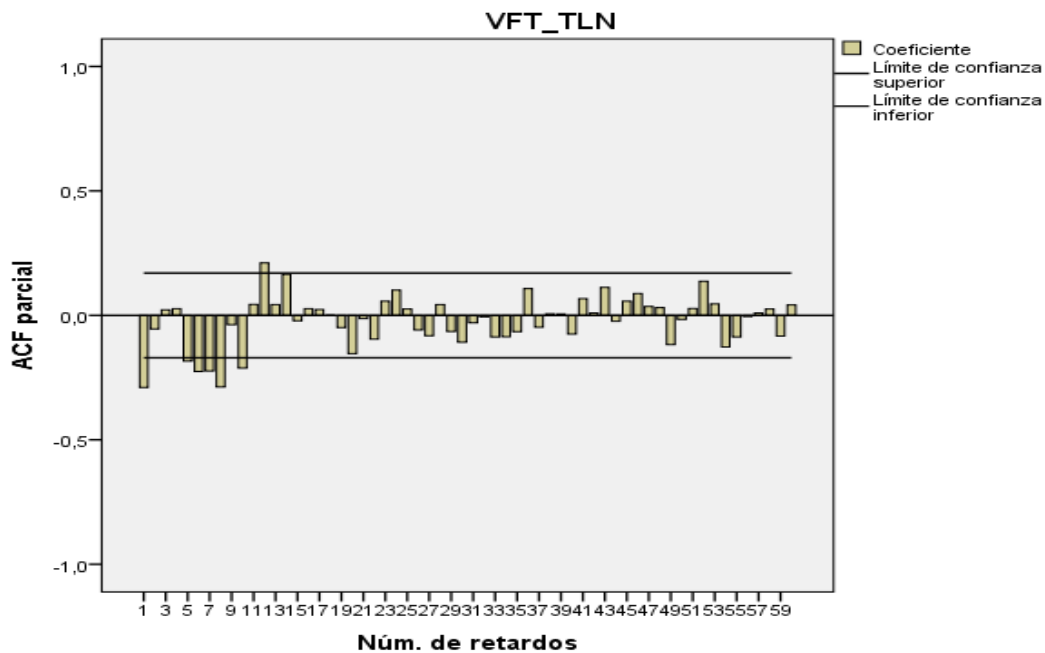
Este comportamiento permite inferir que se trata de un modelo autorregresivo de media móvil (ARMA), cuyos órdenes son variados: $p=1$, $p=2$ y $p=3$ en la parte autorregresiva (Fig. 5).

De lo anteriormente analizado resulta que los posibles órdenes de p en la parte regular de la serie correspondiente al modelo autorregresivo son $p=1$, $p=2$ o $p=3$ y, en lo que corresponde al modelo de media móvil son $q=1$ y $q=2$.

Determinación de los órdenes de P y Q

Los órdenes de los parámetros P y Q se analizan en la parte estacional del modelo, por lo que las autocorrelaciones en los retardos periódicos de la serie transformada Volumen Facturado Total de Agua Potable con $d=1$ y $D=1$ al establecer la prueba de significancia de r_{12} se rechaza la hipótesis nula de nulidad del parámetro, y los subsiguientes r_{24} , r_{36} , r_{48} y r_{60} son nulos estadísticamente. Esto permite determinar en forma previa que el modelo a ajustarse podría tratarse de un modelo de media móvil de orden 1 ($Q=1$).

Figura 5
Correlograma de 60 Autocorrelaciones parciales del Volumen Facturado Total de Agua Potable con d=1

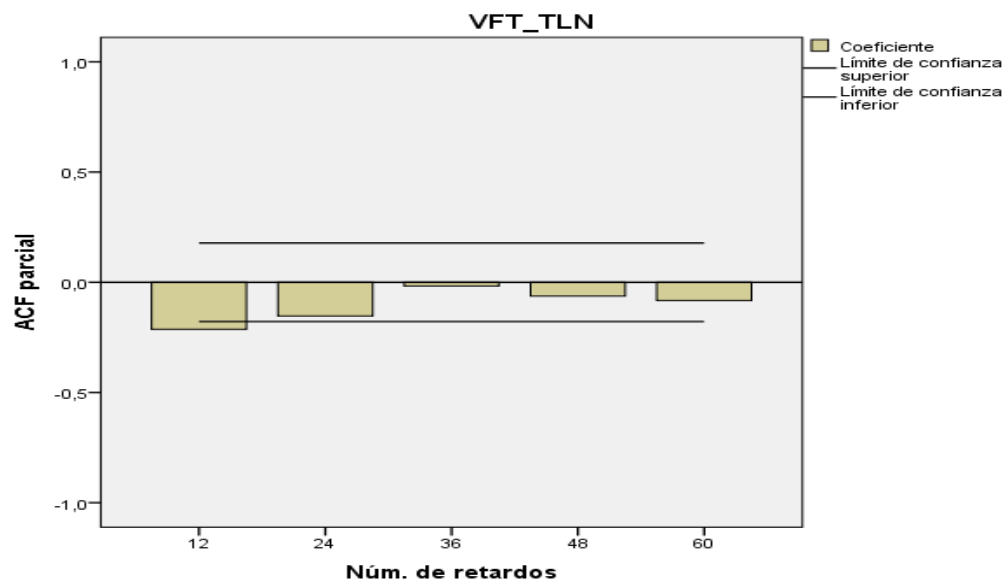


El $t_{c} = -5,04$ rechaza la hipótesis nula y el valor de r_{12} es significativo.

Al analizar las autocorrelaciones parciales en los retardos periódicos de la serie transformada se aprecia que la r_{12} es significativa y las restantes r_{24} , r_{36} , r_{48} y r_{60} no lo son, sugiriendo que el modelo en la parte periódica es un autorregresivo de orden 1 ($P=1$).

El correlograma de las autocorrelaciones parciales en los retardos periódicos mostrados en la figura 6 permite visualizar que r_{12} se encuentra fuera del intervalo de confianza, indicador que esta autocorrelación es significativa. En cambio, las autocorrelaciones r_{24} , r_{36} , r_{48} y r_{60} se encuentran dentro de los intervalos de confianza, indicando que no son significativas, por lo que el modelo a ajustar es un autorregresivo de orden 1 ($P=1$).

Figura 6
Correlograma de Autocorrelaciones parciales en los retardos periódicos del Volumen Facturado Total de Agua Potable con d=1 y D=1



De lo analizado anteriormente se deduce que $P=1$ y/o $Q=1$

Por tanto, el modelo a ajustarse tiene los parámetros $d=1$, $D=1$, $p=1$, $q=1, 2$ ó 3 , $P=1$ y $Q=1$, no resultando claros los órdenes de la parte regular y estacional por la imprecisión de la longitud de la estacionalidad en los períodos 11, 23, 36, 47 y 59 y no en los períodos 12, 24, 36, 48 y 60 como debiera ser en una serie con estacionalidad mensual.

Ajuste del modelo

Bajo esa premisa se ajustaron combinaciones de modelos según los órdenes determinados y que tienen los parámetros $d=1$, $D=1$, $p=1$, $q=1, 2$ ó 3 , $P=1$ y $Q=1$, sin descartar órdenes inferiores a los determinados y que deben tomarse en cuenta en el ajuste del modelo óptimo

Desarrollo del modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1)₁₂ seleccionado incluyendo constante

El modelo ARIMA(0,1,1)(0,1,1)₁₂ que incluye la constante presenta los estadísticos como el R2 estacionario con un valor de 0,55, es decir, que el modelo capta el 55% de la variabilidad total, la raíz del error medio cuadrático (RMSE) de 0,038 que indica que varía en ± 0.038 en promedio con respecto a los valores reales, el porcentaje medio del error absoluto (MAPE) de 0,202 considerado como un porcentaje bajo de error. El MAE de 0,028 es un valor que indica que los pronósticos no están sesgados dada su cercanía al cero (0).

Tabla 2

Estadísticos del modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1)₁₂ con constante

Modelo	Estadísticos de ajuste del modelo				Ljung-Box Q(18)		
	R2 estacionaria	RMSE	MAPE	MAE	Estadísticos	GL	Sig.
VFT_TLN	,550	,038	,202	,028	10,956	16	,812

En lo que concierne a los estimadores del modelo, el parámetro MA con $q=1$ de la parte regular de la serie $\hat{\theta}_1 = 0,590$ es significativo con p valor=0,000 de la prueba t. Asimismo, el parámetro MA con $Q=1$ de la parte estacional $\hat{\theta}_1 = 0,899$ es significativo con p valor=0,000, aun cuando la constante resulta ser no significativa, lo cual es irrelevante.

Análisis de residuos del modelo seleccionado. Prueba de Levene para varianza constante

La prueba de Levene para los residuos del modelo que contrasta las hipótesis con p valor=0,390 basado en la media no rechaza la hipótesis nula, y la varianza es constante en los errores. Al analizar las treinta primeras autocorrelaciones de los errores del modelo ajustado se aprecia que no son significativas, por tanto, puede afirmarse que tienen media cero (0) y su correlación es cero (0).

Estos antecedentes permiten concluir que los errores se comportan como ruido blanco con estadístico LJ-B=10.956 y significancia $p=0,812$ se presentan en la tabla 2.

Tabla 3

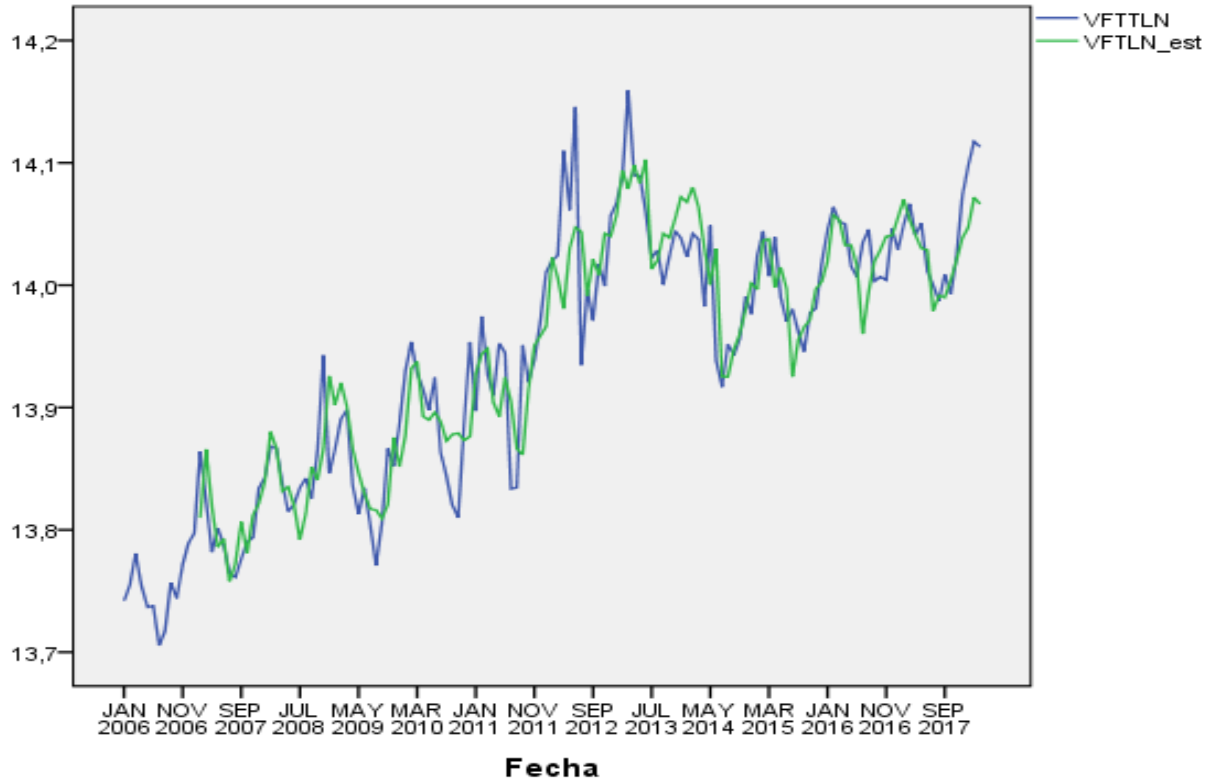
Estimadores del modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1)₁₂ con constante

		Estimación	ET	t	Sig.
Constante		,000415	,000392	-1,057	,292
Diferencia		1			
MA	Retardo 1	,590	,074	8,024	,000
Diferenciación estacional		1			
MA, estacional	Retardo 1	,899	,175	5,152	,000

Con la serie hasta Marzo-2018, el modelo ARIMA(0,1,1)(0,1,1)12 demuestra su consistencia al mantener los pronósticos (variable codificada como VFTLN-est) el recorrido de los valores observados (variable codificada como VFTLN), como se muestra en la figura 7:

Figura 7

Valores observados y valores pronosticados en logaritmo natural



Valores pronosticados y valores observados hasta 2018-marzo

Adicionalmente, para el período entre agosto de 2017 a marzo de 2018, en el cual el modelo ajusta adecuadamente, las métricas de error RMSE=0,0326 y MAE=0,0268 confirman la consistencia del modelo. Finalmente, el modelo ARIMA (0,1,1) (0,1,1) propuesto es:

$$\widehat{LnX}_t = 0,000415 + 0,590a_{t-1} + 0,899a_{t-12}$$

Asimismo, es posible determinar el componente tendencia del modelo de pronóstico de series de tiempo en el consumo de agua potable en la ciudad de Tacna. La recta propuesta por Gujarati y Porter (2010) indica que el coeficiente asociado a t representa la pendiente de la serie que resulta significativa mediante la prueba t. Por otro lado, la regresión resulta significativa mediante la prueba F El resumen del reporte de SPSS 25 es el siguiente:

$$\hat{T}_t = 953281,386 + 2472,238 t$$

$$p \text{ valor: } (0,000) + (0,000) t$$

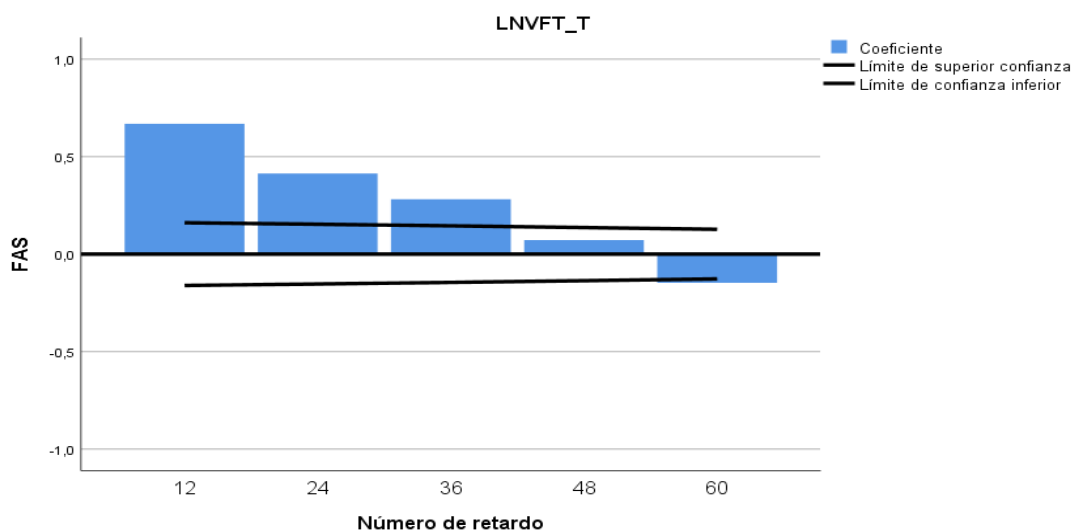
$$F_c: 315,010 \quad p \text{ valor: } 0,000$$

$$R^2: 0,697 \quad \text{gle: } 137$$

Se deduce que la pendiente de la recta ajustada es significativa, y cuyo valor positivo indica que los consumos crecen conforme se incrementa el tiempo.

Figura 9

Tacna: Autocorrelaciones en los retardos periódicos del Volumen Facturado Total de Agua Potable.



Asimismo, la estacionalidad es un componente del modelo de pronóstico de series de tiempo en el consumo de agua potable en la ciudad de Tacna, se demuestra al analizar los estadísticos t de los retardos periódicos que proporcionan valores 8,36; 5,36; 1,14 y -2,33 son significativos y la serie tiene estacionalidad de período 12.

El correlograma de las autocorrelaciones en los retardos periódicos mostrado en la figura 9 y tabla 4, corroboran la conclusión anterior, y dichas autocorrelaciones rebasan los límites de confianza superior e inferior, excepto la autocorrelación en el período 48.

Tabla 4

Autocorrelaciones en los retardos periódicos del Volumen Facturado Total de agua potable-Tacna.

Serie: LNVFT_T

Retardo	Autocorrelación	Desv. Errora	Estadístico de Box-Ljung		
			Valor	gl	Sig.b
12	,669	,080	937,261	12	,000
24	,413	,077	1367,994	24	,000
36	,282	,072	1534,196	36	,000
48	,072	,068	1588,344	48	,000
60	-,147	,063	1622,295	60	,000

Los patrones cíclicos son fluctuaciones en forma de onda alrededor de la tendencia y se aprecian en el largo plazo, sin embargo, en consonancia con Hanke y Wichern (2010, p.167) "Es difícil tratar con el componente cíclico de una serie de tiempo...", precisamente, porque se aprecian en el largo plazo, a diferencia del componente estacional que se aprecia dentro de un año. Por tanto, tanto su magnitud como su duración, están lejos de ser constantes. Esta falta de un patrón consistente de la onda hace que se dificulte la distinción entre los ciclos y las tendencias que evolucionan con suavidad (Hanke y Wichern, 2010, p.167).

Respecto a los parámetros de calidad del agua potable que consume la población de Tacna no se encuentran dentro de los rangos aceptables, se demuestra al analizar y comparar los resultados de la Autoridad Nacional del Agua (2018), sobre los resultados obtenidos en la Cuenca Maure indica que los parámetros de conductividad, fósforo, arsénico, cadmio, mercurio y coliformes exceden lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental para el Agua. Y, en la Cuenca Caplina, los parámetros de pH, arsénico total, aluminio, hierro total, los parámetros exceden el estándar ECA, debiendo remarcarse que los resultados se refieren a las fuentes de agua a nivel de cuenca.

El informe de la MCPLP (2017) establece que las fuentes para consumo humano en Tacna son el Sistema Uchusuma y el Sistema Caplina y que desde el año 2003 la Dirección Regional de Salud (DIRESA TACNA) realiza el estudio físico químico de la calidad del agua para consumo humano concluyendo que el principal elemento contaminante es el arsénico cuyo nivel se encuentra por encima del límite máximo permisible (0,02 mg/l) y que las fuentes de agua se contaminan por medio de un proceso natural, siendo necesario la búsqueda de otras fuentes de abastecimiento o la implementación de tecnologías de remoción de este elemento, lo que permite concluir esta hipótesis de que efectivamente, persisten algunos parámetros de calidad del agua que están fuera de los rangos máximos permisibles, siendo el más crítico el relacionado al arsénico. El modelo de pronóstico de series de tiempo con variables de consumo rezagadas en el tiempo considerando patrones de tendencia creciente y estacionalidad mensual aplicado al consumo de agua de uso poblacional en la ciudad de Tacna basado en la metodología Box Jenkins es el adecuado en el caso de Tacna, se prueba a través del modelo seleccionado para Tacna que es el modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1)₁₂ con intercepto y cuya formulación matemática es:

$$\widehat{LnX}_t = 0,000415 + 0,590a_{t-1} + 0,899a_{t-12}$$

DISCUSIÓN

Clavijo (2013) utiliza variables de consumo, ingreso y número de habitantes; Olmeda (2013) utiliza un modelo econométrico considerando como variable endógena el crecimiento medio del PBI, variables exógenas como inversión, capital humano y tasa de utilización del agua; y Henao y Córdova (2007) hace hincapié en los factores sociales, demográficos y económicos. Lo común de esos modelos es que buscan explicar el consumo del agua desde el punto de vista de la demanda seleccionando las variables que explicarían ese consumo.

El presente estudio propone un modelo basado exclusivamente en el consumo mediante series de tiempo de la variable consumo de agua y que es el modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1)₁₂ con intercepto, cuya formulación matemática es: $\widehat{LnX}_t = 0,000415 + 0,590a_{t-1} + 0,899a_{t-12}$

Obtenido utilizando la metodología Box-Jenkins tiene las características de un buen modelo y coincide con el obtenido por Daza (2008) en su investigación Demanda de agua en zonas urbanas de Andalucía utilizando modelos ARIMA y Redes Neuronales Artificiales para la predicción de demanda de agua quien determinó que el modelo ARIMA (0,1,1) x (0,1,1)₁₂ es el que mejor describe la serie, aunque una vez analizados sus residuos, observó algunos años atípicos como 1988, 1989, 1996 y 1997, derivado por el cambio del comportamiento de los consumidores como efecto de la sequía sufrida, y algunos picos de consumo en los meses de Julio y Septiembre, que pueden estar justificados por mayor afluencia de la población y las altas temperaturas.

La representación del consumo de agua relacionado a las series de tiempo por la estacionalidad que presenta en el verano, Espinoza y Marco (2008) proponen modelos ARIMA (p,d,q) (P,D,Q)_s a series de demanda diaria de agua urbana y sostienen que la selección de un modelo depende de factores como el horizonte de predicción así como la disponibilidad de datos de la variable exógena y, el modelo que obtienen presenta R²=0,88. Los parámetros estimados para el modelo son $\theta_1=0,409$ correspondiente al MA(1), $\theta_2=0,167$ correspondiente al MA(2) y $\Theta=0,874529$ correspondiente al SMA(1) y que se trata de un modelo ARIMA (0,0,2)(0,0,1)₁₂.

En ambos casos, el modelo ARIMA solo toma en cuenta la parte de media móvil, tanto en la parte regular, como en la estacional. El R² obtenido por Espinoza y Marco (2008) es 0,79 el cual es considerado relativamente alto, en comparación con el modelo obtenido en el presente estudio que es de 0,637 aparentemente inferior al modelo anterior, pero, que no son comparables, pues, según Gujarati (2010), los R² solo son comparables cuando la variable dependiente sea la misma y, en el presente caso, no lo son, por cuanto uno de ellos utiliza los datos en su forma original y el segundo, el

modelo obtenido en el presente estudio, lo utiliza en forma logarítmica, y por otro lado, los datos corresponden a muestras extraídas de poblaciones diferentes.

Por otro lado, el análisis de la serie indica que hay 2 valores extremos y corresponden a abril de 2012 (1342310 m³) y marzo de 2013 (1410306 m³) y que los meses de verano (fines de diciembre, enero, febrero y marzo) son aquellos en los cuales los consumidores, de acuerdo al estilo de vida, y que coincide con las temperaturas máximas mensuales, y en el caso de la serie la más alta en el período de análisis corresponde a 24,015 °C del año 2012 (sin embargo, los años 2009 y 2013 también fueron años calurosos), como la más alta temperatura máxima anual (SENAMHI, 2017), elevan su consumo de agua.

El análisis de la oferta del proyecto de EPS TACNA (2018) muestra que los valores medios de los principales parámetros de calidad del agua potable en el proceso de tratamiento de Planta Calana, indica que el de Arsénico en el agua cruda es de 0,130 mg/l y, el agua potable que se entrega a la población es de 0,035 mg/l, cuyos registros se realizan en forma mensual, indicando que el período de registro se realizó en enero a diciembre de 2009 (EPS TACNA, 2018). Este nivel se encuentra entre dos (02) límites máximos permisibles: el que establece la OMS de 0,010 mg/l y, el que establece la norma DIGESA de 0,05 mg/l.

CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llega en el presente estudio son:

El modelo de pronóstico para el consumo de agua de uso poblacional en la ciudad de Tacna es el modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1)₁₂ con intercepto y cuya formulación matemática empírica es:

$$\widehat{\ln X}_t = 0,000415 + 0,590a_{t-1} + 0,899a_{t-12}$$

obtenido utilizando la metodología Box-Jenkins, el cual tiene como variable explicatoria el Logaritmo del consumo de agua con patrones de tendencia y estacionalidad y cuyas variables endógenas son los errores rezagados un momento en el tiempo correspondientes a la parte regular y estacional correspondiente a la parte estacional.

El componente Tendencia de la serie de Consumo de agua de uso poblacional en la ciudad de Tacna está dado por la regresión,

$$\begin{aligned}\hat{T}_t &= b_0 + b_1 t \\ \hat{T}_t &= 953281,386 + 2472,238 t\end{aligned}$$

Obtenido por mínimos cuadrados ordinarios Gujarati y Porter (2010).

La estacionalidad en la serie de tiempo en el consumo de agua potable en la ciudad de Tacna es mensual, demostrado por el análisis de las autocorrelaciones periódicas.

Además, Los estadísticos t para cada uno de los retardos proporcionan valores 8,36; 5,36; 1,14 y -2,33 los cuales, comparados con el valor crítico de la distribución al 5% de significancia permiten rechazar la hipótesis nula, por lo cual las autocorrelaciones en los retardos periódicos son significativos y la serie tiene estacionalidad de período 12, lo que se visualiza en la tabla 4.

La serie de tiempo del consumo de agua de uso poblacional de Tacna no tiene un patrón cíclico, ya que estos se visualizan en el largo plazo (entre 40 o 50 años y más) información que la EPS Tacna no dispone para ese período. Los valores medios de los principales parámetros de calidad del agua potable en el proceso de tratamiento de Planta Calana, indica que el de Arsénico en el agua cruda es de 0,130 mg/l y, el agua potable que se entrega a la población es de 0,035 mg/l, cuyos registros se realizan en forma mensual, indicando que el período de registro se realizó en enero a diciembre de 2009 (EPS TACNA, 2018). De acuerdo a los estudios realizados, puede colegirse que existen dos (02) límites máximos permisibles: el que establece la OMS de 0,010 mg/l y, el que establece la norma DIGESA de

0,05 mg/l. En cualquiera de los dos casos, el agua potable que se entrega a la población es de 0, 035 mg/l, valor que se encuentra entre los límites máximos que establece la OMS y la DIGESA de Tacna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EPS TACNA (2012). Plan Maestro Optimizado 2013-2043.
- Daza, F. (2008). Demanda de agua en zonas urbanas en Andalucía (Tesis doctoral Universidad de Córdoba), Universidad de Córdoba.
- EPS TACNA (2018). Estudio Factibilidad, instalación e implementación de la Nueva Planta Calana. División de Estudios y Proyectos
- Ferrán, M. (1997). SPSS para Windows. Mc Graw Hill.
- Gujarati, D. y Porter, D. (2010). Econometría. Mc Graw Hill.
- Hanke, John y Wichern, Dean. (2010). Pronósticos en los negocios. Prentice Hall.
- Hernandez Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, L. (2014). Metodología de la Investigación. Mc Graw Hill Education.
- Instituto Nacional de Estadística. (2010). Perú: Estimaciones y proyecciones de población total y edades quinquenales según departamento, provincia y distrito, 2005-2015. Boletín Especial N° 21. Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2009). Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Sexo y Grupos Quinquenales de Edad 1995-2025. Boletín de Análisis Demográfico N° 37. <http://lagransaladenoticias.com/2017/05/29/inicio-primera-etapa-de-proyecto-reduccion-de-perdidas-de-agua/>
- López-Espinoza, Antonio, Ríos, Américo, Soto, Ma. Eugenia, Efectos de la privación de agua en un Programa de Reforzamiento sobre el peso corporal. El consumo de agua y alimento en ratas. Acta Comportamental: Revista Latina de Análisis de Comportamiento [en línea] 2004, 12 (diciembre). Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=274525894004>> ISSN 0188-8145
- Mendez, F. y Feliciano, O. (2010). Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua limpia para áreas verdes (Tesis maestría en Proyectos de Inversión). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Económica y Ciencias Sociales.
- Mesa de Concertación para la Lucha Contra la Pobreza (2017). Alerta: Situación de la calidad de agua para consumo humano en la región Tacna-2017. Descargado de <https://www.google.com/search?q=situacion+de+la+calidad+del+agua+tacna+2017&oq=situacion+de+la+calidad+del+agua+tacna+2017&aqs=chrome..69i57j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Olmeda, J. (abril de 2006). El agua y su análisis desde la perspectiva económica: Una aplicación para el crecimiento económico. VII Reunión de economía mundial, Alicante, España.
- ONU-AGUA. (2015). Agua para un mundo sostenible. Datos y Cifras. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. Descargado de http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf
- ONU-AGUA. (2005). El agua fuente de vida 2005-2015. Departamento de Información Pública de las Naciones Unidas. <http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf>
- Región Tacna (2016). Diagnóstico de la calidad del agua de la Región Tacna. Gerencia regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Tacna: Gobierno Regional de Tacna.
- Rosasco O. (2006). Abastecimiento, contaminación y problemática del agua en el Perú. Academia Nacional de Medicina. Simposio.
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. (2017). Descargado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>