

Análisis de las periodicidades de los caudales medios mensuales en la cuenca del Río Santa

Analysis of the Periodicities of the Monthly Mean Streamflows in the Santa River Basin

¹Toribio Marcos Reyes Rodríguez^a, Teófanos Mejía Anaya^a, José Ramírez Maldonado^b

RESUMEN

Las periodicidades de los caudales medios mensuales en la cuenca del río Santa, no se conocen, para realizar predicciones de su ocurrencia.

Para la extracción de las periodicidades ocultas se ha usado los softwares: Demetra 2.0, Census X12 – ARIMA y Keyplot 2.0

La estructura estacional ARIMA (1, 0, 0) (0, 1, 1)₁₂ es la adecuada para todas las estaciones hidrométricas analizadas, excepto para la estación hidrométrica Puente Carretera que se ajusta al modelo ARIMA (1, 0, 1) (0, 1, 1)₁₂

En todas las estaciones hidrométricas los caudales medios mensuales tienen periodicidades estacionales de 1 y 5 años. En algunas estaciones hidrométricas se determinaron periodos de 4 a 6 meses.

Palabras clave: Periodicidad; ARIMA y estacional.

ABSTRACT

The periodicities of the monthly mean streamflows in the Santa river basin it were not known for realizing predictions of its occurrence.

For the extraction of the hidden periodicities it was used the software: Demetra 2.0, Census X12 – ARIMA y Keyplot 2.0

The seasonal structure ARIMA (1, 0, 0) (0, 1, 1)₁₂ is the adequate for every hydrometric station analyzed, except for the Puente Carretera hydrometric station that was adjusts to the ARIMA (1, 0, 1) (0, 1, 1)₁₂

In every the hydrometric stations the monthly mean streamflows have 1 and 5 years seasonal periodicities. In some hydrometric stations it was determinate periods of 4 to 6 months.

Key words: Periodicity; ARIMA and seasonal.

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

^aIng. Agrícola, ^bIng. Agrónomo

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Santa está ubicada en la sierra norte del Perú. Políticamente, está comprendida total o parcialmente en las provincias: Bolognesi, Recuay, Huaraz, Carhuaz, Yungay, Huaylas, Corongo, Pallasca y Santa (Ancash), y las provincias de Santiago de Chuco y Huamachuco (La Libertad).

Los caudales medios mensuales ocurren periódicamente. Estos periodos permanecen ocultos en los registros históricos correspondientes, por lo que fue necesario extraerlos mediante el análisis espectral, wavelet, y autorregresivo integrado and moving average (ARIMA).

Los objetivos del trabajo de investigación fueron los siguientes:

Extraer las periodicidades ocultas de los caudales medios mensuales en las estaciones hidrométricas de la cuenca del río Santa.

Determinar la asociatividad de las periodicidades de los caudales medios mensuales en la cuenca del río Santa con los fenómenos que ocurren en la naturaleza.

Se realizó la revisión bibliográfica relacionada a la periodicidad de los fenómenos hidrometeorológicos para correlacionar con los periodos extraídos correspondientes a los caudales medios mensuales:

Euscátegui (2002), según el fenómeno de El Niño (ENSO) tiene periodicidades de 2 a 7 años.

El cambio climático estacional ocurre porque el eje de la Tierra está inclinado $23^{\circ}27'$ con respecto al plano de su órbita y tiene diferentes exposiciones hacia el Sol durante su movimiento de traslación. En los polos norte y sur se presentan sólo dos estaciones invierno y verano, y en otras latitudes se observa cuatro estaciones: invierno, primavera, verano y otoño.

Marcote (2009), estima que a mayor actividad solar el número de manchas solares es mayor, incrementándose las radiaciones ultravioletas en las partes superiores de la atmósfera terrestre; cuando la actividad magnética solar aumenta la temperatura en la Tierra se incrementa. El ciclo de la actividad solar varía de 9.5 a 11.5 años coincide con el periodo magnético terrestre. En los periodos correspondientes al mínimo de Spörer (1400 – 1510) y de Maunder (1645 – 1715) la actividad solar fue mínima, pues produjo una pequeña edad del hielo en la Tierra.

Montejo (2007), indica que con la transformada wavelet se hace la descomposición simultánea de las series temporales en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

El análisis wavelet permite detectar las frecuencias

en función del tiempo de las series temporales no necesariamente estacionarias, siendo una herramienta más poderosa que el análisis espectral. Según Bravetts (2009), la Oscilación Decadal del Pacífico tiene periodicidades que varían de 20 ó 30 años.

Para determinar las periodicidades de los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas de la cuenca del Santa se usó los análisis ARIMA y wavelet, apoyados con los softwares Demetra 2.0, Censur XI2-ARIMA y Keyplot 2.0

La estructura ARIMA (1, 0, 0) (0, 1, 1)₁₂ es la adecuada para todas las estaciones hidrométricas analizadas, excepto para la estación hidrométrica Puente Carretera que se ajusta al modelo ARIMA (1, 0, 1) (0, 1, 1)₁₂

En todas las estaciones hidrométricas los caudales medios mensuales tienen periodicidades estacionales de 1 y 5 años, asociados al fenómeno de El Niño. Adicionalmente en las estaciones de Recreata, Chancos, Colcas, Quitaraca, Cedros, Condorcerro y Puente Carretera se observa periodicidades estacionales de 4 a 6 meses asociadas al cambio climático estacional debido al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol.

(Matlalcuatzi, 2006) indica que la transformada de Fourier permite expresar una serie de tiempo como una serie espectral.

Un ruido blanco es una señal aleatoria cuya densidad espectral es independiente de la frecuencia.

(Svetlikova, 2007) afirma que el modelo ARIMA se caracteriza por ser parsimonioso, para verificar la bondad de ajuste a este modelo se utiliza los criterios de información de AKAIKE (AIC) y el criterio de información bayesiano (BIC). Cuanto más pequeños son estos valores el modelo ARIMA es mejor.

MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de estudio realizado es no experimental, descriptivo, predictivo y aplicativo.

La población del estudio estuvo constituida por los datos de los caudales medios mensuales de la cuenca del río Santa.

Las muestras las constituyen los registros históricos de las estaciones hidrométricas de: Recreata, Pachacoto, Querococha, Olleros, Quillcay, Chancos, Llanganuco, Parón, Cedros, Quitaraca, Colcas, Condorcerro y Puente Carretera; desde 1956 a 1995. Los registros históricos fueron proporcionados por ELECTROPERU S.A.

La consistencia de los registros históricos de los

caudales medios mensuales se procesó empleando los análisis de: doble masa, rachas y diagrama de cajas.

Durante el trabajo de investigación se utilizó la siguiente metodología:

1. Caracterización hidrométrica de las subcuencas con registros hidrométricos de la cuenca del río Santa
2. Completación, extensión, homogenización y análisis de la estacionariedad de los registros históricos de los caudales medios mensuales de las estaciones de: Recreta, Pachacoto, Querococha, Olleros, Quillcay, Chancos, Llanganuco, Parón, Cedros, Quitaracsa, Colcas, Condorcerro y Puente Carretera.
3. Determinación de modelos ARIMA de los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas de: Recreta, Pachacoto, Querococha, Olleros, Quillcay, Chancos, Llanganuco, Parón, Cedros, Quitaracsa, Colcas, Condorcerro y Puente Carretera. Se utilizó los software Demetra 2.0 y Census X12-ARIMA
4. Extracción de las periodicidades ocultas mediante el análisis wavelet, es decir, mediante la transformada de Gabor. Se utilizó el software Keyplot 2.0

RESULTADOS

Caracterización hidrométrica

Tabla 1. Caracterización de las subcuencas de la cuenca del río Santa

Estación	Río	Área km ²	Caudal medio m ³ /s	CV	Caudal específico l/(s*km ²)	Coefficiente asimetría
Recreta	Santa	290	2.78	0.41	9.59	2.19
Pachacoto	Pachacoto	202	4.28	0.69	21.19	1.13
Querococha	Querococha	63	1.61	0.71	25.56	1.17
Olleros	Olleros	174	4.90	0.65	28.16	1.05
Quillcay	Quillcay	250	7.47	0.5	29.88	0.98
Chancos	Marcará	210	7.88	0.49	37.52	0.81
Llanganuco	Llanganuco	86	3.01	0.36	35.00	0.57
Parón	Parón	48	1.60	0.37	33.33	0.66
Colcas	Colcas	235	5.64	0.51	24.00	1.10
La Balsa	Santa	4260	87.88	0.7	20.63	1.40
Cedros	Cedros	115	3.47	0.39	30.17	1.33
Quitaracsa	Quitaracsa	385	10.70	0.52	27.79	1.47
Condorcerro	Santa	10400	146.44	0.83	14.08	2.23
Puente Carretera	Santa	11565	151.10	0.86	13.07	1.55

En la tabla 1, se observa que el caudal específico multianual varía de 9.59 l/s*km² a 37.52 l/s*km², indicando que las producciones hídricas de las subcuencas no son iguales.

Los coeficientes de variabilidad multianual (CV) indican que los caudales medios mensuales no son constantes a través del tiempo.

Los coeficientes de asimetría positivas indican que los histogramas de los caudales medios mensuales de cada una de las estaciones no son simétricos y tienen cola hacia la derecha, lo cual indica que con mayor frecuencia ocurren caudales menores que el caudal promedio.

Estructura y modelo ARIMA

Los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas de Recreta, Pachacoto, Querococha, Olleros, Quillcay, Chancos, Llanganuco, Parón, Colcas, La Balsa, Cedros, Quitaracsa y Condorcerro tienen la estructura estacional ARIMA (1, 0, 0) (0, 1, 1)₁₂ y los caudales medios mensuales de la estación hidrométrica de Puente Carretera, se ajustan al modelo estacional ARIMA (1, 0, 1) (0, 1, 1)₁₂

Los modelos ARIMA indican que los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas consideradas tienen periodicidades cíclicas anuales. Los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas consideradas se vuelven estacionarios después de realizar diferenciaciones de 12 meses.

Los modelos ARIMA generados en las estaciones hidrométricas consideradas tienen la siguiente estructura que se representa por la ecuación (1) cuyos coeficientes se indican en la tabla 2:

$$Q_t = aQ_{t-1} + bQ_{t-12} + cQ_{t-13} + d\varepsilon_{t-1} + e\varepsilon_{t-12} + f\varepsilon_{t-13} + g\varepsilon_t \quad (1)$$

Tabla 2. Coeficientes del modelo ARIMA

Estación	Coeficientes del modelo ARIMA						
	Q_{t-1}	Q_{t-12}	Q_{t-13}	ε_{t-1}	ε_{t-12}	ε_{t-13}	ε_t
Recreta	-0.678	1	0.678	0	-0.971	0	1
Pachacoto	-0.657	1	0.657	0	-0.903	0	1
Querococha	-0.562	1	0.562	0	-0.997	0	1
Olleros	-0.559	1	0.559	0	-0.920	0	1
Quillcay	-0.656	1	0.656	0	-0.897	0	1
Chancos	-0.679	1	0.679	0	-0.949	0	1
Llanganuco	-0.659	1	0.659	0	-0.998	0	1
Parón	-0.714	1	0.714	0	-0.808	0	1
Colcas	-0.591	1	0.591	0	-0.985	0	1
La Balsa	-0.593	1	0.593	0	-0.959	0	1
Cedros	-0.599	1	0.599	0	-0.959	0	1
Quitaraca	-0.528	1	0.528	0	-0.985	0	1
Condorcerro	-0.607	1	0.607	0	-0.881	0	1
Puente Carretera	-0.582	1	0.582	0.199	-0.846	-0.193	1

Donde:

Q_t = caudal medio mensual en el mes t

$Q_{t-1}, Q_{t-12}, Q_{t-13}$ = caudal medio mensual en el mes $t-1, t-12, t-13$

$\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-12}, \varepsilon_{t-13}$ = errores de pronóstico en los tiempos $t-1, t-12, t-13$

ε_t = variable aleatoria en el tiempo t

Análisis de la periodicidad mediante la transformada de Gabor

Las periodicidades ocultas de los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas de la cuenca del río Santa se determinaron utilizando la transformada de Gabor, como se indica en las figuras 1 a 14.

La frecuencia más representativa es 0.083 correspondiente a la periodicidad cíclica anual, se observa una frecuencia promedio igual a 0.017 correspondiente a la periodicidad cíclica de 5 años, la cual está asociada a la ocurrencia del fenómeno de El Niño (ENSO).

En las estaciones hidrométricas de Recreta, Chancos, Colcas, Quitaraca, Cedros, Condorcerro y Puente Carretera se observa periodicidades estacionales de 4 a 6 meses asociadas al cambio climático estacional.

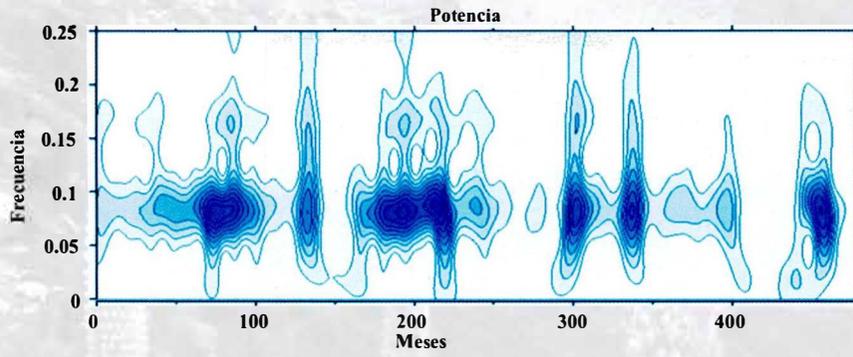


Figura 1. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Recreta

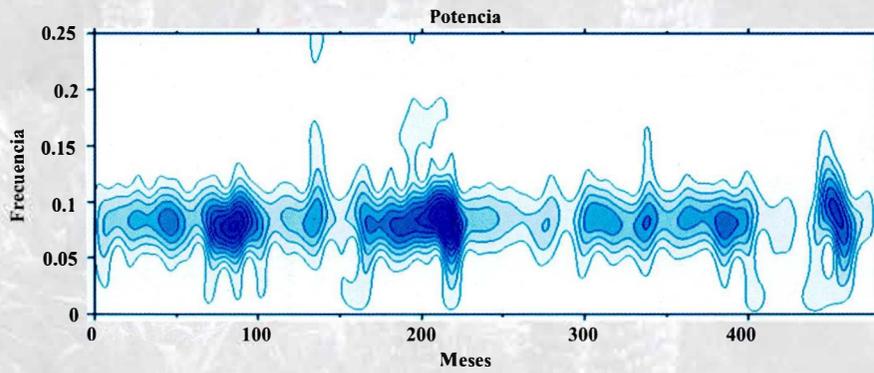


Figura 2. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Pachacoto

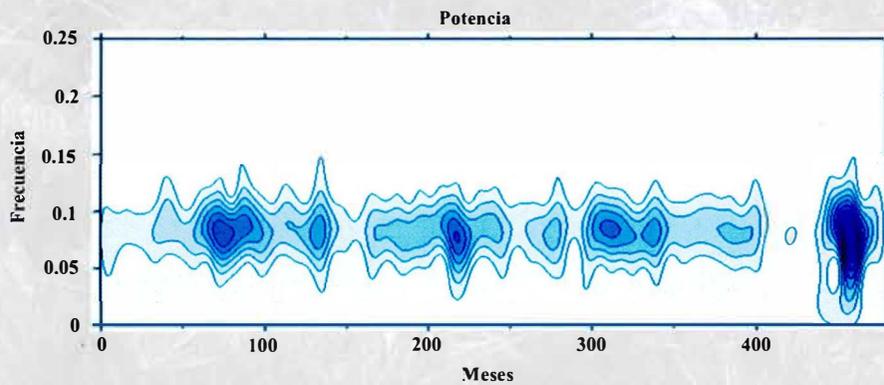


Figura 3. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Querococha

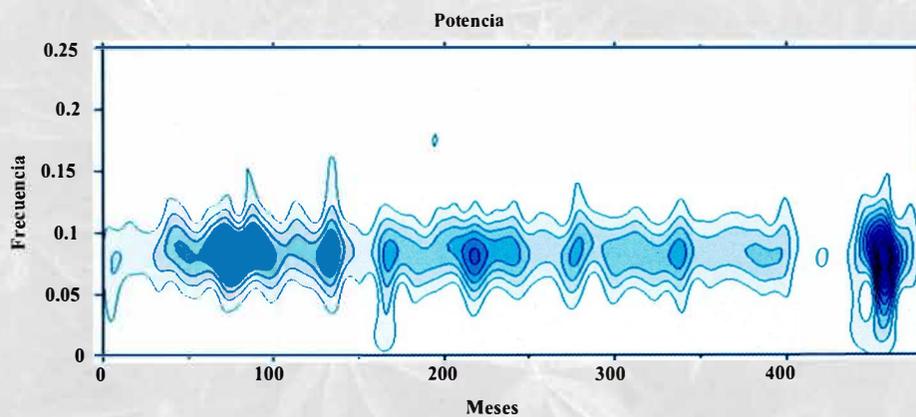


Figura 4. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Olleros

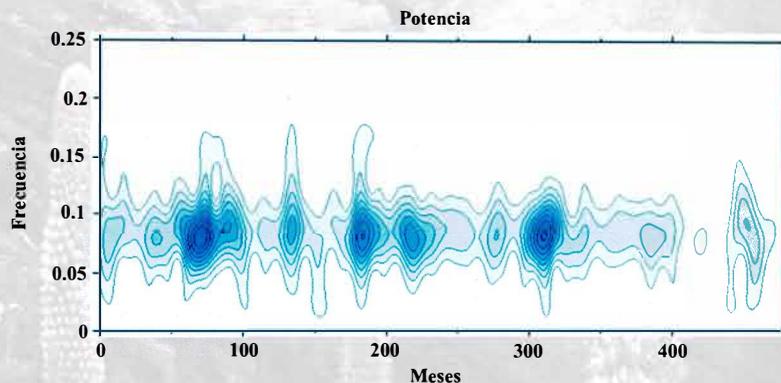


Figura 5. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Quillcay

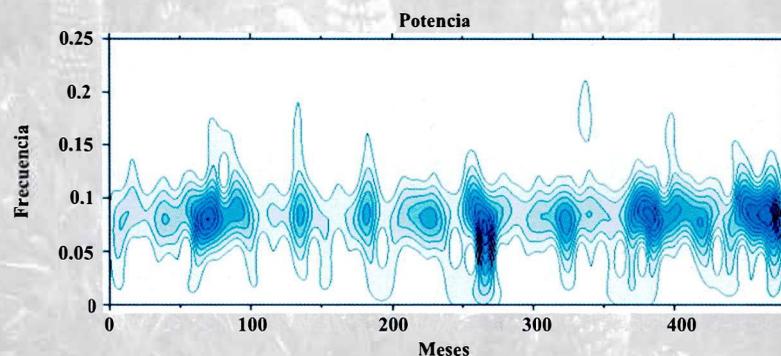


Figura 6. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Chancos

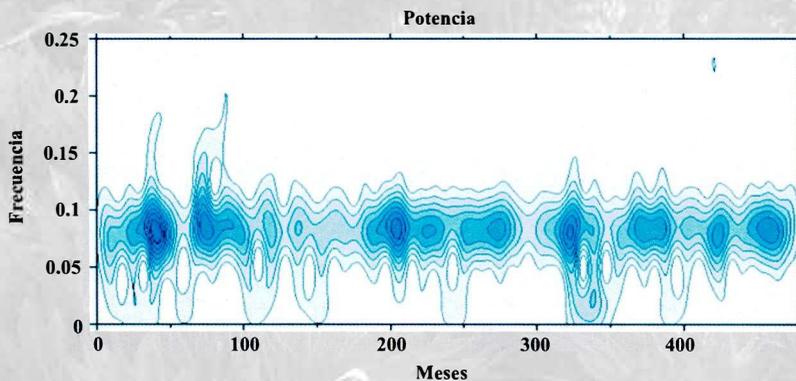


Figura 7. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Llanganuco

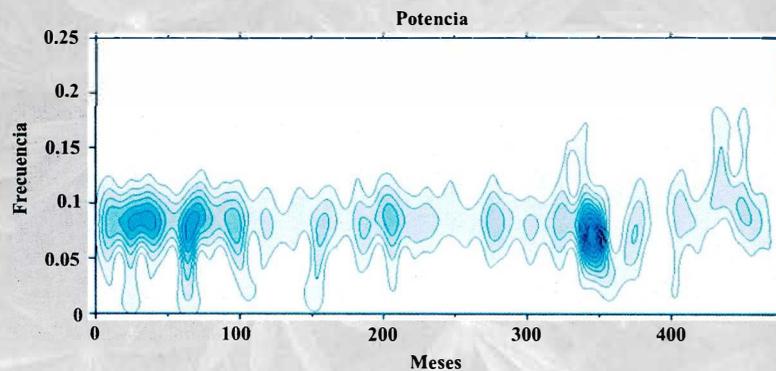


Figura 7. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Parón

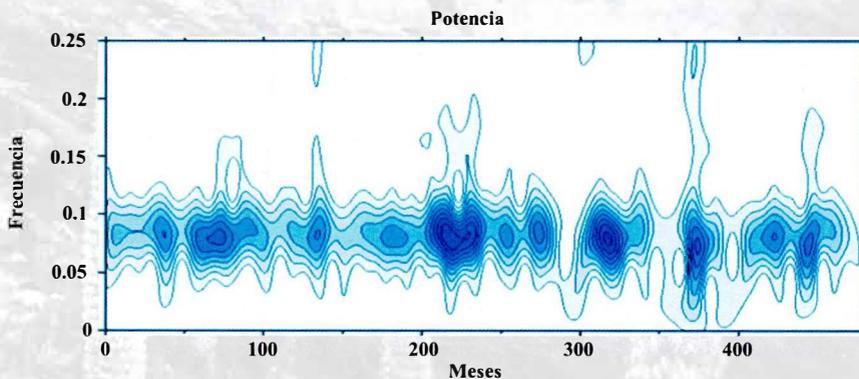


Figura 7. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Colcas

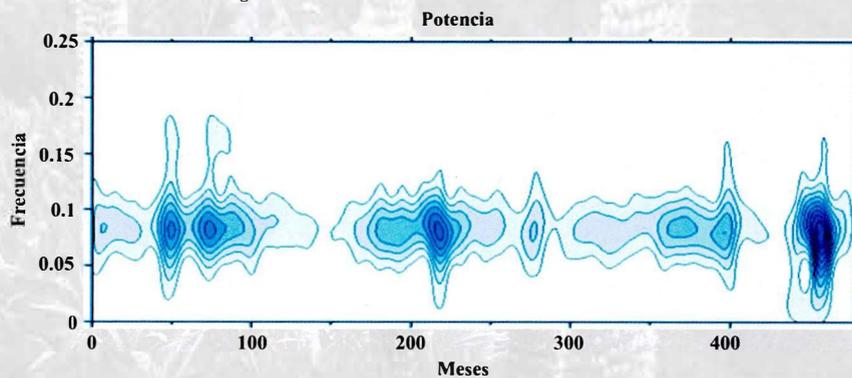


Figura 7. Análisis wavelet de la estación hidrométrica La Balsa

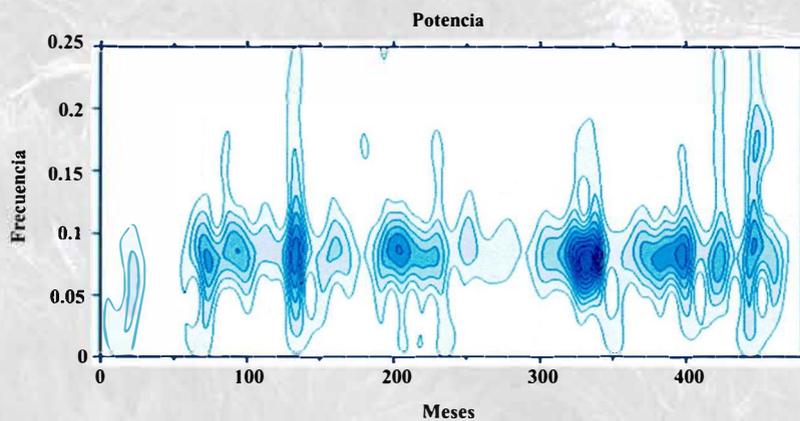


Figura 7. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Cedros

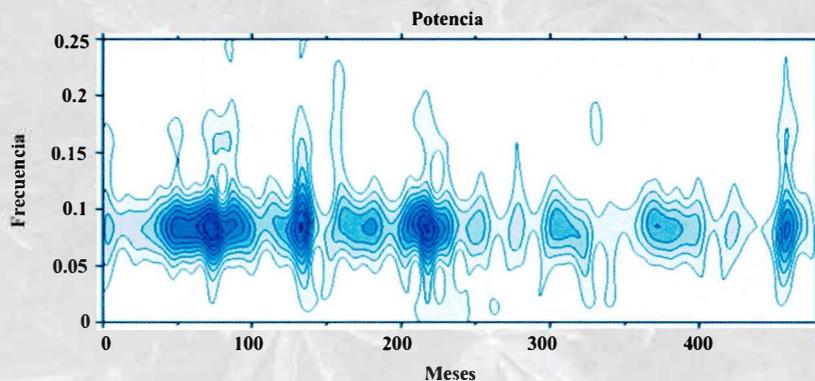


Figura 7. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Quitarasca

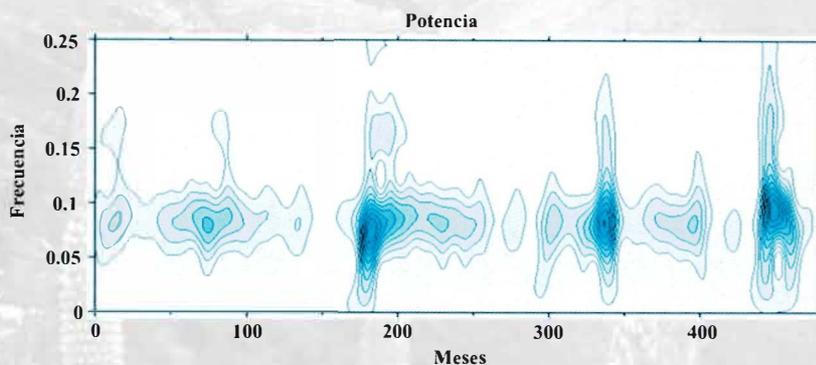


Figura 7. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Condorcerro

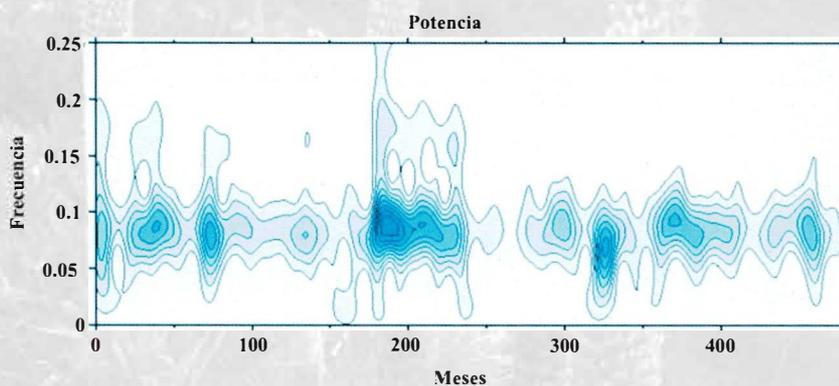


Figura 7. Análisis wavelet de la estación hidrométrica Puente Carretera

DISCUSIÓN

Los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas de la cuenca del río Santa, son estacionales, con asimetrías positivas, autorregresivas y aleatorias. Para realizar el ajuste estacional a los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas de la cuenca del río Santa es necesario realizar una diferenciación de 12 meses.

La estructura estacional ARIMA (1,0,0) (0,1,1)₁₂ para los caudales medios mensuales corresponde a todas las estaciones hidrométricas consideradas, excepto a la estación Puente Carretera que le corresponde el modelo estacional ARIMA (1,0,1) (0,1,1)₁₂. La periodicidad cíclica extraída según el modelo ARIMA es de 12 meses.

Según el análisis realizado con la transformada de Gabor, las periodicidades cíclicas de 1 y 5 años corresponden a todas las estaciones hidrométricas estudiadas, las cuales están asociadas a los cambios estacionales y al fenómeno de el Niño. Ocasionalmente ocurren periodicidades de 4 a 6 meses asociadas a los cambios estacionales.

CONCLUSIONES

1. Los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas de la cuenca del río Santa son estacionales, autorregresivos, aleatorios y tienen asimetrías positivas.
2. Con la ecuación (1) y los coeficientes que se indican en la tabla 2 se pueden hacer predicciones de los caudales medios mensuales en la cuenca del río Santa.
3. Las periodicidades cíclicas de 1 y 5 años corresponden a todas las estaciones hidrométricas consideradas. Ocasionalmente ocurren periodicidades de 4 a 6 meses asociadas a los cambios estacionales.

AGRADECIMIENTO

Mi especial agradecimiento al Dr. Julio Kuroiwa Zevallos, jefe del Laboratorio Nacional de Hidráulica del Perú, por haberme sugerido algunas mejoras del trabajo con motivo del II Congreso Nacional del Agua, realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería del 07 al 09 de Abril de 2010.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bravetts Timothy, y Walvoord Michelle. 2009. Trends in Streamflow in the Yukon River Basin from 1944 to 2005 and the Influence of the Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Hydrologic* 371. Extraído de <http://www.elsevier.com/locate/jhidrol>.
- Euscátegui, Collazos. 2002. Estado de los Glaciares en Colombia y Análisis de la Dinámica Glaciar en el Parque Los Nevados, asociado al Cambio Climático Global. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Marcote. Benito. 2009. La Actividad Solar y su Efecto sobre el Clima. España: AstroStander.
- Matlalcuatzi, F. 2006. Análisis Espectral de Series Temporales y su Aplicación al Estudio de su Comportamiento en una Red de Observatorios Meteorológicos. España.
- Montejo, Luis. 2007. Aplicaciones de la Transformada Wavelet en Ingeniería Estructural. Argentina.
- Svetlikova, D. 2007. Analysis of Discharge an Rainfall Time Series in the Region of Klast oske Luky Wetland in Slovakia. Slovakia Republic.

Correspondencia:

Toribio Marco Reyes Rodríguez
Urb. Villasol Mz. GLt.A-3, Huaraz
043-587936
tmreyes2@hotmail.com