

## Modelos ARIMA de las precipitaciones mensuales en el Callejón de Huaylas (Perú)

ARIMA models of the monthly rainfalls at Callejón de Huaylas (Peru)

Toribio Reyes R.<sup>1</sup>

### RESUMEN

Para realizar las predicciones de series de tiempo uno de los métodos más usados es el método ARIMA, y consistió en determinar los modelos ARIMA de las precipitaciones mensuales, en las estaciones meteorológicas ubicadas en el Callejón de Huaylas: Yanacocha, Punta Mojón, Lampas Alto, Recreta, Cahuish, Querococha, Schacaypampa, Pachacoto, Ticapampa, Huancapetí, Huaraz, Chancos, Llanganuco, Parón y Caraz.

Los modelos ARIMA de las precipitaciones mensuales se obtuvieron mediante el software Census X12 – ARIMA.

Los modelos ARIMA de las precipitaciones mensuales son más variados que los modelos ARIMA de los caudales en el Callejón de Huaylas.

**Palabras claves:** Conglomerado; periodicidad; ARIMA.

### ABSTRACT

For realizing the forecasting of time series one of the methods more used is ARIMA methods, and consisted in determining the ARIMA models of the monthly rainfalls of the meteorologic stations situated at the Callejón de Huaylas: Yanacocha, Punta Mojón, Lampas Alto, Recreta, Cahuish, Querococha, Schacaypampa, Pachacoto, Ticapampa, Huancapetí, Huaraz, Chancos, Llanganuco, Parón, y Caraz.

ARIMA models of the monthly rainfall are obtained through Census – ARIMA software.

ARIMA models of the monthly rainfall are more varied that the ARIMA models of the monthly flow at the Callejón de Huaylas.

**Key words:** Cluster, periodicity; ARIMA.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Ancash - Perú

## INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones mensuales en el Callejón de Huaylas son la fuente principal de los caudales mensuales de la cuenca del río Santa.

En la parte media de la cuenca del río Santa se encuentra la central hidroeléctrica Cañon del Pato que genera energía eléctrica para la región Ancash, y parte del Perú; en la parte baja se tienen dos proyectos de irrigación muy importantes: CHAVIMOCHIC y CHINECAS que aprovechan las aguas del río Santa.

En el presente trabajo de investigación se realizó la caracterización de las precipitaciones mensuales, la determinación de las estructuras y sus parámetros ARIMA de las precipitaciones mensuales en las estaciones pluviométricas ubicadas en el Callejón de Huaylas: Yanacocha, Punta Mojón, Lampas Alto, Recreta, Cahuish, Querococha, Schacaypampa, Pachacoto, Ticapampa, Huancapetí, Huaraz, Chancos, Llanganuco, Parón y Caraz.

Las estructuras y parámetros ARIMA de las precipitaciones mensuales obtenidos se pueden usar para realizar las predicciones de las precipitaciones mensuales en las estaciones pluviométricas situadas en el Callejón de Huaylas.

Pudprommarat (2006) determinó la estructura ARIMA(0, 1, 1)(0, 1, 1)<sub>12</sub> para las precipitaciones mensuales en Tailandia. Por otra parte (Momani, 2009) obtuvo para la estación pluviométrica del aeropuerto de Amman la estructura ARIMA(1, 0, 1)(1, 1, 1) Reyes (2009) para las estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca del río Santa determinó que los caudales mensuales tienen una misma estructura ARIMA(1, 0, 0)(0, 1, 1)<sub>12</sub> excepto en la estación hidrométrica Puente Carretera es del tipo ARIMA(1, 0, 1)(0, 1, 1)

Cuando las series de tiempo son aditivas las fluctuaciones están dentro de una banda no convergente y cuando las series de tiempo son multiplicativas están dentro de una banda convergente o divergente.

Para verificar la bondad de ajuste de los modelos ARIMA se utilizan los criterios de

información de Akaike (AIC), el criterio de información bayesiano (BIC), y la prueba de Portmanteu (Svetlikova, 2007).

La prueba no paramétrica de Mann-Kendall se utiliza en estudios de identificación de tendencia en series de tiempos; la hipótesis nula de esta prueba establece que las observaciones son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (López, 2006).

Yürekli (2004) indica que muchos procesos hidrológicos de series de tiempo son estacionarios y otros no. La ocurrencia de la tendencia en la media y la varianza puede resultar de un cambio natural o por la acción humana, el análisis de tendencia se hace con la prueba rho de Sperman.

La función de autocorrelación y autocorrelación parcial se utilizan para determinar si la serie de tiempo es estacional o no.

### Objetivos de la investigación

Caracterizar las precipitaciones mensuales en las estaciones pluviométricas del Callejón de Huaylas.

Determinar las estructuras del modelo ARIMA de las precipitaciones mensuales en las estaciones pluviométricas del Callejón de Huaylas.

Obtener los parámetros de modelo ARIMA para las precipitaciones mensuales en las estaciones pluviométricas del Callejón de Huaylas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

El material del trabajo para la investigación estuvo constituido por los registros históricos de las precipitaciones mensuales de las estaciones pluviométricas ubicadas en el Callejón de Huaylas, tal como se indican en la tabla 1:

Tabla 1. Estaciones pluviométricos ubicados en el Callejón de Huaylas

Estación	Latitud		Longitud	Altitud m.s.n.m	Periodo		Fuente
	S	W			Inicio	Final	
Yanacocha	10°02'27"	77°12'27"	4450	ene - 1953	dic - 1993	ELECTROPERU	
Punta Moján	10°05'00"	77°12'21"	4390	ene - 1953	dic - 1994	ELECTROPERU	
Lampas Alto	10°09'27"	77°13'32"	4100	ene - 1971	dic - 1998	ELECTROPERU	
Recreta	10°02'27"	77°17'00"	4020	ene - 1953	dic - 1999	ELECTROPERU	
Cahuish	09°41'05"	77°15'17"	4550	ene - 1953	abr - 1994 dic -	ELECTROPERU	
Querococha	09°43'46"	77°43'46"	4087	ene - 1954	2003		
Schacaypampa	09°45'13"	77°23'46"	3820	ene - 1953	abr - 1994	ELECTROPERU	
Pachacoto	09°51'12"	77°24'04"	3786	ene - 1953	dic - 1999 dic -	ELECTROPERU	
Ticapampa	09°45'09"	77°26'32"	3480	ene - 1953	1993		
Huancapetí	09°45'00"	77°03'48"	4420	ene - 1953	feb - 1994	ELECTROPERU	
Huaraz	09°29'34"	77°30'49"	3050	ene - 1953	dic - 1999	ELECTROPERU	
Chancos	09°19'10"	77°34'30"	2895	ene - 1953	abr - 1999 dic -	ELECTROPERU	
Llanganuco	09°04'43"	77°04'43"	3918	ene - 1954	2003		
Parón	09°00'32"	77°41'15"	4185	ene - 1954	dic - 2003	ELECTROPERU	
Caraz	09°02'43"	77°48'25"	4185	ene - 1954	Jun - 1996	ELECTROPERU	

Para realizar el análisis de consistencia de las precipitaciones mensuales ubicadas en el Callejón de Huaylas, se utilizaron diferentes técnicas estadísticas: histogramas y análisis de tendencia para los cuales se empleó el programa estadístico S-PLUS 8.0

Asimismo se hizo el análisis de frecuencias o periodicidades mediante la transformada de Gabor.

Las estructuras y modelos ARIMA se obtuvieron empleando el software Census X12-ARIMA

## RESULTADOS

Caracterización de las precipitaciones mensuales

En la tabla 2 se indican los números de datos procesados (N), valores mínimos, máximos, la media, desviación estándar (D.S), y sesgo globales de las precipitaciones mensuales en las estaciones meteorológicas ubicadas en el Callejón de Huaylas.

Tabla 2. Caracterización de las precipitaciones mensuales (mm)

Estación	N	Mín	Máx	Media	D.S.	CV	Sesgo
Caraz	510	0.0	96.6	12.61	19.04	1.51	1.91
Huancapetí	496	0.0	175.3	36.24	40.15	1.11	1.18
Recreta	564	0.0	227.0	37.80	45.56	1.21	1.37
Chancos	556	0.0	254.5	45.39	53.46	1.18	1.27
Pachacoto	564	0.0	241.3	47.92	52.24	1.09	1.07
Llanganuco	600	0.0	260.0	51.96	57.40	1.10	1.20
Huaraz	564	0.0	237.0	53.19	53.68	1.01	0.95
Shacaypampa	496	0.0	267.5	54.20	54.02	1.00	0.88
Lampas Alto	336	0.0	295.9	56.29	59.74	1.06	1.15
Punta Moión	502	0.0	297.1	56.81	65.29	1.15	1.25
Ticapampa	492	0.0	254.4	60.64	57.41	0.95	0.91
Parón	600	0.0	266.0	64.35	58.74	0.91	0.81
Yanacocha	492	0.0	336.0	74.03	75.58	1.02	0.97
Cahuish	496	0.0	323.8	81.76	69.23	0.85	0.75
Querococha	600	0.0	329.0	82.09	67.06	0.82	0.65

Se observa en la tabla 2 que en todas las estaciones pluviométricas analizadas en el Callejón de Huaylas, las precipitaciones mensuales tienen sesgo positivo. Es decir, con mayor frecuencia se presentan precipitaciones mensuales menores que la media total.

A mayor coeficiente de variación (CV) las precipitaciones mensuales son más irregulares.

Mediante el análisis de conglomerados para las estaciones pluviométricas se han determinado cuatro grupos de precipitaciones medias mensuales, como se indica en la tabla 3.

Tabla 3. Conglomerados de las precipitaciones mensuales (mm)

Estación	Precipitaciones medias mensuales (mm)			
	oct - nov	ene - mar	abr - jun	jul - set
Llanganuco	116.2	152.4	76.0	24.3
Parón	156.2	153.1	87.2	35.0
Caraz	35.7	43.4	17.1	3.5
Yanacocha	136.5	226.2	136.7	25.3
Punta Moión	112.6	200.5	107.3	15.7
Recreta	72.1	130.8	73.0	10.0
Huancapetí	69.9	118.7	66.3	12.1
Ticapampa	93.1	175.0	112.0	26.5
Querococha	170.9	184.4	121.7	47.5
Cahuish	123.4	182.7	134.7	38.6
Shacaypampa	94.8	153.8	101.9	18.5
Lampas Alto	161.5	114.8	78.7	25.5
Huaraz	70.7	147.0	90.5	17.4
Chancos	79.4	117.3	80.5	13.1
Pachacoto	88.5	150.9	89.6	14.6

Tendencia de las precipitaciones mensuales  
En la tabla 4 se indica los coeficientes de correlación de tau b de Kendall que se hizo para detectar las tendencias de las precipitaciones

mensuales (mm) de las estaciones pluviométricas que se encuentran ubicadas en el Callejón de Huaylas.

Tabla 4. Coeficiente de correlación tau b de Kendall

Estación	R	$\alpha$	Tendencia
Caraz	-0.012	0.702	No
Huancapetí	-0.036	0.240	No
Recrета	-0.030	0.295	No
Chancos	0.031	0.283	No
Pachacoto	-0.030	0.295	No
Llanganuco	-0.027	0.328	No
Huaraz	0.103	0.000	Sí
Shacaypampa	-0.009	0.761	No
Lampas Alto	-0.080	0.029	Sí
Punta Moión	-0.041	0.176	No
Ticapampa	-0.052	0.085	No
Parón	-0.025	0.369	No
Yanacocha	-0.014	0.652	No
Cahuish	0.050	0.099	No
Querococha	-0.052	0.056	No

Cuando las series de tiempo de las precipitaciones mensuales en las estaciones pluviométricas tienen coeficientes de correlación (R) bajos y los niveles de significación ( $\alpha$ ) iguales o mayores a 0.05 no tienen tendencia decreciente o creciente.

Se observa en la tabla 4 que las precipitaciones mensuales en las estaciones pluviométricas del Callejón de Huaylas que se han analizado son estacionarias (sin tendencia decreciente o creciente), pero en la estación pluviométrica

Huaraz existe una pequeña tendencia creciente y en la estación Lampas Alto una tendencia decreciente.

La distribución de las precipitaciones mensuales tiene una cola a la derecha en todas las estaciones pluviométricas analizadas. En la figura 1 se indica el histograma de las precipitaciones mensuales en la estación de Yanacocha, análisis similares se hicieron para el resto de las estaciones.

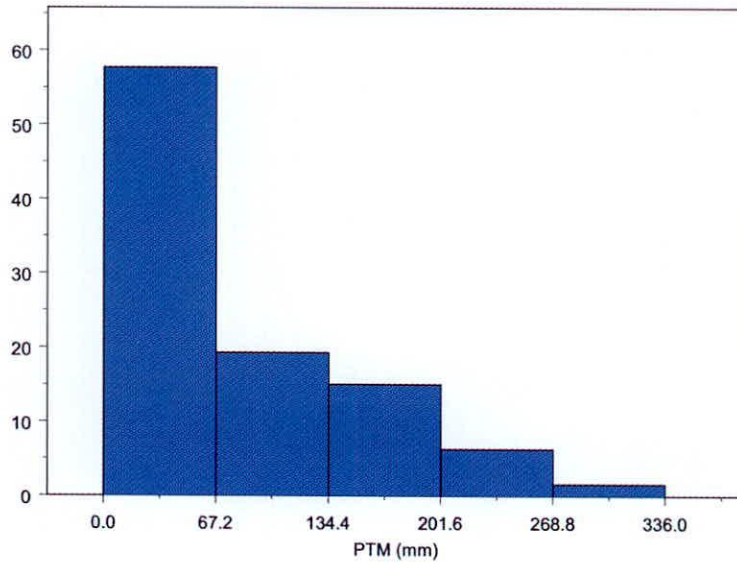


Figura 1. Histograma de las precipitaciones mensuales (mm)  
Estación: Yanacocha

La frecuencia de mayor ocurrencia de las precipitaciones mensuales 0.083 que equivale a una periodicidad de 12 meses, en la figura 2 se

observa el análisis de frecuencias realizada para la estación de Yanacancha, análisis similares se hicieron para el resto de las estaciones.

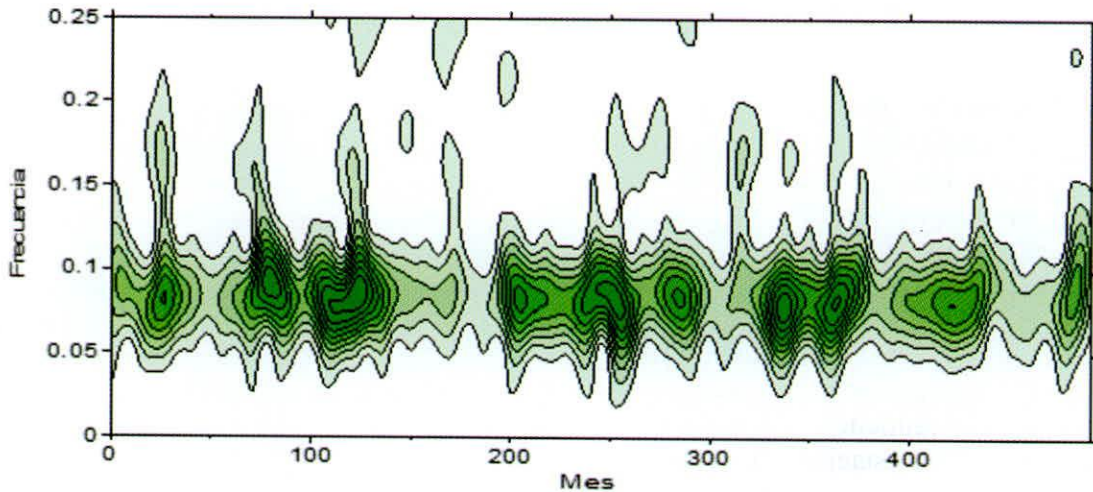


Figura 2. Frecuencia de las precipitaciones mensuales  
Estación: Yanacocha

**Estructura ARIMA de las precipitaciones mensuales**

En la tabla 5 se indican las estructuras ARIMA obtenidas y sus correspondientes criterios de selección considerados: criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información bayesiano (BIC) de las

precipitaciones mensuales en las estaciones pluviométricas ubicadas en el Callejón de Huaylas.

Cuanto menores son los valores de los criterios de información de Akaike y de Bayes los modelos ARIMA tienen mayor capacidad predictiva.

Tabla 5. Estructuras ARIMA de las precipitaciones mensuales en las diferentes estaciones pluviométricas del Callejón de Huaylas

N°	Estación	Estructura	AIC	BIC
1	Huancapetí	(0.0.0) (0.1.1) <sub>12</sub>	5093.58	7.65
2	Cahuish	(0.0.0) (0.1.1) <sub>12</sub>	4499.12	6.47
3	Caraz	(0.0.0) (0.1.1) <sub>12</sub>	4051.66	5.26
4	Llanganuco	(0.0.2) (0.1.1) <sub>12</sub>	5954.76	7.25
5	Punta Moión	(0.0.2) (0.1.1) <sub>12</sub>	5097.15	7.57
6	Schacaypampa	(2.0.0) (0.1.1) <sub>12</sub>	4805.89	7.05
7	Parón	(2.0.0) (0.1.1) <sub>12</sub>	5882.62	7.12
8	Pachacoto	(2.0.0) (0.1.1) <sub>12</sub>	4805.89	7.05
9	Chancos	(1.0.0) (0.1.1) <sub>12</sub>	5474.69	7.18
10	Ticapampa	(1.0.0) (0.1.1) <sub>12</sub>	4859.02	7.23
11	Lampas Alto	(1.0.0) (0.1.1) <sub>12</sub>	3255.18	7.18
12	Recreta	(1.0.1) (0.1.1) <sub>12</sub>	5308.08	6.76
13	Ouerococha	(0.0.2) (1.1.1) <sub>12</sub>	5840.44	7.07
		(0,1,1)		
14	Yanacocha	(0,1,1) <sub>12</sub>	5092.68	7.72
15	Huaraz	(1.0.0) (1.1.1) <sub>12</sub>	5498.24	7.13

## Parámetros del modelo ARIMA de las precipitaciones mensuales

Tabla 6. Parámetros del modelo ARIMA de las precipitaciones mensuales de las estaciones pluviométricas del Callejón de Huaylas

N°	Estación	Estructura	No estacional				Estacional	
			$\phi_1$	$\phi_2$	$\psi_1$	$\psi_2$	$\phi_1$	$\psi_1$
		(0,0,0)						
1	Huancapetí	(0,1,1) <sub>12</sub>						-0.901
		(0,0,0)						
2	Cahuish	(0,1,1) <sub>12</sub>						-0.926
		(0,0,0)						
3	Caraz	(0,1,1) <sub>12</sub>						-0.936
		(0,0,2)						
4	Llanganuco	(0,1,1) <sub>12</sub>			0.237	0.124		-0.984
		(0,0,2)						
5	Punta Moión	(0,1,1) <sub>12</sub>			0.109	0.059		-0.986
		(2,0,0)						
6	Schacaypampa	(0,1,1) <sub>12</sub>						
		(2,0,0)						
7	Parón	(0,1,1) <sub>12</sub>						
		(2,0,0)	-	-				
8	Pachacoto	(0,1,1) <sub>12</sub>	0.121	0.177				-0.973
		(1,0,0)	-					
9	Chancos	(0,1,1) <sub>12</sub>	0.261					-0.969
		(1,0,0)	-					
10	Ticapampa	(0,1,1) <sub>12</sub>	0.188					-0.973
		(1,0,0)						
11	Lampas Alto	(0,1,1) <sub>12</sub>	-0.18					-0.860
		(1,0,1)						
12	Recreta	(0,1,1) <sub>12</sub>	0.514		0.767			-0.955
		(0,0,2)						
13	Ouerococha	(1,1,1) <sub>12</sub>			0.328	0.091	-0.224	-0.985
		(0,1,1)			-			
14	Yanacocha	(0,1,1) <sub>12</sub>			0.991			-0.981
		(1,0,0)	-					
15	Huaraz	(1,1,1) <sub>12</sub>	0.208				-0.131	-0.957



## DISCUSIÓN

En todas las estaciones pluviométricas analizadas en el Callejón de Huaylas, las precipitaciones mensuales tienen sesgo positivo global, es decir, con mayor frecuencia se presentan precipitaciones mensuales menores que la media global. A mayor coeficiente de variación las precipitaciones mensuales son más irregulares. (ver la tabla 2 y las figuras 1 y 2).

Las precipitaciones mensuales en las estaciones pluviométricas ubicadas en el Callejón de Huaylas se han clasificado en cuatro grupos empleando técnicas de minería de datos, los mismos que coinciden con las cuatro estaciones que ocurren en la zona, observándose que las precipitaciones medias globales son diferentes en cada estación (ver la tabla 3).

Las precipitaciones mensuales de la estación de Huaraz tienen una ligera tendencia creciente y en la estación Lampas Alto la tendencia es decreciente. En el resto de las estaciones analizadas las precipitaciones mensuales son estacionarias. (ver la tabla 4), las causas de las tendencias no se han podido determinar en el presente trabajo de investigación.

En los histogramas se observan que las precipitaciones mensuales tienen sesgo positivo, indicando que con mayor frecuencia ocurren precipitaciones menores o iguales que la media global (ver la figura 1).

Según el análisis de frecuencias realizada mediante la transformada de Gabor se determinó que las precipitaciones mensuales de las estaciones pluviométricas del Callejón de Huaylas tienen una periodicidad de 1 a 2 años, siendo la periodicidad anual la más frecuente. (ver la figura 2).

Las estructuras ARIMA de las precipitaciones mensuales de las estaciones pluviométricas situadas en el Callejón Huaylas no tienen la misma estructura (ver tabla 5). Las estructuras ARIMA obtenidas en el Callejón de Huaylas difieren de las halladas en otros lugares del mundo por otros investigadores tales como por (Pudprommarat, 2006) quien determinó en Tailandia la estructura ARIMA  $(0, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$  y por (Momani, 2009) quien halló en la

estación pluviométrica del aeropuerto de Amman la estructura ARIMA  $(1, 0, 1)(1, 1, 1)_{12}$

Reyes (2009) determinó que los caudales mensuales en la cuenca del río Santa tienen una misma estructura ARIMA  $(1, 0, 1)(0, 1, 1)_{12}$  en las diferentes estaciones hidrométricas excepto en la estación Puente Carretera (Santa – Ancash – Perú) que tiene la estructura ARIMA  $(1, 0, 1)(0, 1, 1)_{12}$

## CONCLUSIONES

Las precipitaciones mensuales en todas las estaciones pluviométricas analizadas tienen sesgo positivo, son estacionarias excepto en la estación de Huaraz y Lampas Alto que tienen tendencia creciente y decreciente respectivamente.

Las precipitaciones mensuales tienen periodicidades de 1 a 2 años, siendo la periodicidad anual es la más frecuente.

Las precipitaciones mensuales no tienen una misma estructura ARIMA en todas las estaciones pluviométricas ubicadas en el Callejón de Huaylas. Sin embargo, algunas estaciones tienen estructuras ARIMA similares.

Las estructuras ARIMA de las precipitaciones mensuales son más diversificadas que las estructuras ARIMA de los caudales mensuales en el Callejón de Huaylas.

## AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que me dan el aliento para seguir investigando, y así contribuir al acervo científico de la hidrología.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kikut Valverde, Ana Cecilia. (2002). Aspectos Conceptuales sobre Series de Tiempo. Departamento de Investigaciones Económicas, Banco Central de Costa Rica. Costa Rica.

Momani, Nail. (2009) Analysis for Rainfall Data in Jordan: Case Study for Using Time Series Analysis. *American Journal of Environmental Sciences* 5 (5): 599 – 604. PDF 03/09/2010.

López, Patricia. (2006) Análisis de Tendencia en Series Autocorrelacionadas. Argentina: Instituto Nacional del Agua. PDF 26/06/2010.

Pudprommarat, Chookait. (2006) Forecasting the Model of Rainfall in Thailand. Regional Conference on Mathematics, Statistical and Applications, University Sains Malasya, Penang, junio 13 -15. PDF 03/09/2010.

Reyes Rodríguez, Toribio (2009) Análisis de

las Periodicidades de los Caudales Medios Mensuales en la Cuenca del Río Santa. *Aporte Santiaguino* 3 (1): 9-17.

Svetlikova, D. (2007) Analysis of Discharge and Rainfall Time Series in the Region of Klastoske Luky Wetland in Slovakia. Slovakia Republic. PDF 03/05/2010.

Yürekli, Kadri. (2004) Simulation of Drought Periods Using Stochastics Models. *Engineering Environmental Sciences* 28 (2004): 181 -190. PDF 12/01/2010.

### **Correspondencia**

Toribio Reyes Rodriguez