

Estimación de la precipitación mensual por un método de *downscaling* en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina

Laura Brandizi^{*, **}
Mario Sequeira^{*}
Sandra Fernández^{*}
Juan Carlos Labraga^{**}

Abstract

This work is part of an integrated study of the principal factors for the seasonal variation in the hydrologic resources of the Pampa Region, Argentina, and the development of advanced climate forecast methods. Its objective is to evaluate the capacity of a statistical procedure designed to estimate the local monthly rainfall from atmospheric data over each site and its interactions with the surface. The purpose of this research is to develop a reliable method for forecasting local rainfall anomalies of seasonal scale from climate forecast results based on a general circulation model for the atmosphere.

Key words: *Downscaling, Rainfall Anomalies, Pampa Region.*

Resumen

Este trabajo es parte de un estudio integral sobre los principales factores de la variación estacional de los recursos hídricos en la Región Pampeana, Argentina, y el desarrollo de métodos avanzados de pronóstico climático. Su objetivo es evaluar la capacidad de un procedimiento estadístico diseñado para estimar la lluvia mensual local a partir de datos del estado de la atmósfera sobre cada sitio y de sus interacciones con la superficie. El propósito de esta investigación es desarrollar un método confiable para pronosticar las anomalías locales de la lluvia de escala estacional a partir de resultados de un pronóstico climático basado en un modelo de la circulación general de la atmósfera.

* Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, CP. 8000, Argentina, correo electrónico: laurabrandizi@gmail.com

** Centro Nacional Patagónico, CONICET, Puerto Madryn, U9120ACD, Argentina.

Palabras claves: *regionalización del clima, anomalías de lluvia, Región Pampeana.*

Introducción

Una de las principales cuencas del sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, es la cuenca alta del Río Sauce Grande, que cubre una superficie de 1,620km², hasta el embalse del Dique Paso de las Piedras. Las precipitaciones capturadas por la cuenca alimentan el embalse mencionado, cuyo lago suministra agua potable a una población de 350,000 habitantes distribuidos en la ciudad de Bahía Blanca y su zona de influencia (Figura 1). El impacto de las variaciones de la lluvia puede ser ejemplificado por las siguientes situaciones extremas. La lluvia del 9 de noviembre de 2002 originó un pico de más de 1,000m³/seg. El efecto regulador del embalse permitió atemperar los daños potenciales aguas abajo al descargar por su vertedero un caudal máximo de 455m³/s (Schefer, 2004). Actualmente, esta región se encuentra transitando una prolongada sequía que comenzó en el año 2005. Por lo tanto, el abastecimiento de agua y la producción agrícola-ganadera, sostén de la economía de la región, se encuentran severamente afectados por el déficit de precipitación de los últimos años.

Es de fundamental importancia contar con métodos de pronósticos de lluvia en periodos de uno a más meses, a fin de estimar la disponibilidad a corto y mediano plazo del recurso hídrico. Actualmente, las variaciones climáticas de la lluvia son pronosticadas a escala regional, mediante modelos globales de la circulación general de la atmósfera, sin embargo la resolución espacial de estos modelos (500km aproximadamente) no es suficiente para estimar la precipitación media sobre una cuenca con las dimensiones de la del Río Sauce Grande. No obstante, los métodos estadísticos de regionalización climática (*downscaling*) permiten estimar la lluvia y otras variables localmente a partir de datos del estado de la atmósfera sobre el sitio y su interacción con las características particulares de la superficie (topografía, vegetación, etc.), que afectan la distribución espacial y temporal de la lluvia (von Storch, 1999).

En dos localidades de la región estudiada se dispone de series de observaciones de lluvia suficientemente extensas como para calibrar un modelo estadístico de *downscaling*; éstas son Bahía Blanca (Latitud 38°53'S, Longitud 62°16'O, Altitud 60msnm, Distancia a la costa 8km) y Las Águilas (Latitud 38°15'S, Longitud 61°31'O, Altitud 350msnm, Distancia a la costa 90km); ésta última se encuentra ubicada en la cuenca alta del Río Sauce Grande a 100km al noreste de la ciudad de Bahía Blanca (Figura 1).

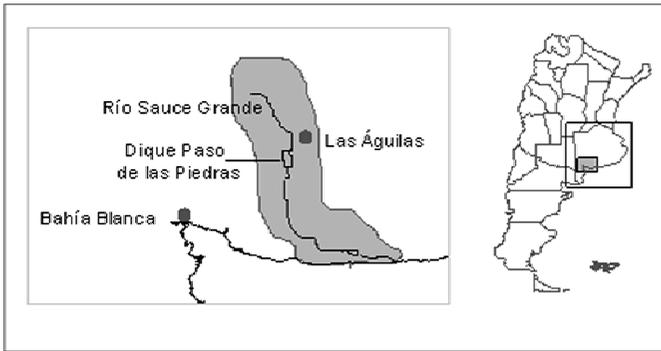


Figura 1. Ubicación geográfica de las localidades Bahía Blanca y Las Águilas y del embalse Paso de las Piedras. El sombreado indica la superficie total de la cuenca del Río Sauce Grande.

El clima de la Región Pampeana es templado, con una temperatura media anual de 17°C. Las temperaturas medias de verano oscilan entre los 20 y 25°C y las de invierno entre los 5 y los 12°C, disminuyendo de Norte a Sur. Las mayores precipitaciones se registran en el verano del Hemisferio Sur, y la estación de menores precipitaciones se extiende de mayo a septiembre. Los totales anuales de lluvia disminuyen de Este a Oeste. En particular, el clima de Bahía Blanca es templado sub-húmedo seco o de transición (Mormeneo y Castellví Sentís, 2001).

El objetivo de este trabajo es evaluar la calidad del desempeño de un método de *downscaling*, diseñado para estimar la precipitación mensual sobre dos sitios, con características fisiográficas distintas (Bahía Blanca y Estancia Las Águilas), a partir del conocimiento del estado de la atmósfera. Se pretende desarrollar, en una próxima etapa, un método para anticipar las anomalías estacionales de la lluvia sobre la cuenca del Río Sauce Grande, basándonos en pronósticos climáticos regionales elaborados con modelos globales de la circulación general de la atmósfera, a fin de su aplicación al análisis hidrológico de cuencas regionales. Este estudio se inserta en una investigación integral de la variabilidad de los recursos hídricos en la región Pampeana Argentina y su pronóstico estacional.

Materiales y métodos

Los modelos estadísticos diseñados para estimar la cantidad de lluvia mensual en las localidades de Bahía Blanca y Las Águilas, Argentina, resultan de la suma de dos componentes: el promedio mensual de largo plazo y las desviaciones del valor de cada mes respecto de estos valores normales. Esta última componente fue calcu-

lada ajustando un modelo basado en el método de Regresión Lineal Múltiple (Wilks, 2006). El predictando es la anomalía en el total de lluvia mensual y los predictores potenciales fueron elegidos entre 25 variables atmosféricas que pueden estar relacionadas con los mecanismos productores de lluvia en esta región. La elección se hizo por el método de selección por pasos hacia adelante (Wilks, 2006) hasta un máximo preestablecido de ocho variables.

Las variables atmosféricas consideradas como potenciales predictores de la lluvia fueron: flujo de calor latente y flujo de calor sensible en superficie, presión en superficie, temperatura máxima, mínima y media a 2m sobre la superficie, cobertura total de nubes, agua precipitable, índice de inestabilidad de Showalter, temperatura en los niveles de 850hPa y 700hPa, altura geopotencial de 500hPa, espesor 500-1,000hPa, componentes zonal y meridional del viento en 850hPa, presión reducida al nivel medio del mar, vorticidad en 700hPa, 500hPa y 200hPa, divergencia en 700hPa y 200hPa, componente zonal del viento en 250hPa, advección de la relación de mezcla de vapor de agua en 850hPa y convergencia del flujo de relación de mezcla de vapor de agua en 850hPa.

Las variables enumeradas fueron obtenidas directamente, o calculadas a partir de, los datos del NCEP-DOE Atmospheric Model Intercomparison Project Reanalysis 2 (R2) (Kanamitsu *et al.*, 2002). Los datos en el nivel de superficie están disponibles en una grilla global Gaussiana de 1.9° longitud x 1.9° latitud aproximadamente. Los datos de las variables de altura están disponibles en una grilla uniforme de 2.5° longitud x 2.5° latitud y en 17 niveles estándar de presión. Los datos fueron interpolados bilinealmente sobre las coordenadas de los dos sitios de medición de la lluvia usando los cuatro puntos de la grilla más próximos. Las anomalías respecto de los valores medios mensuales así obtenidos permiten caracterizar el estado de la atmósfera sobre la vertical de cada estación pluviométrica.

El periodo de estudio se extiende desde 1979 hasta 2006 (28 años). Los modelos fueron desarrollados en el periodo 1987-2006 y verificados en el periodo parcialmente independiente 1979-1998, de igual longitud que el anterior y un solapamiento de 12 años. Se desarrollaron modelos de regresión para cada estación del año separadamente. Los resultados obtenidos (datos modelados) fueron comparados con los datos observados utilizando medidas estadísticas como correlación y error absoluto medio y analizando el ajuste de las muestras de datos de lluvia a una distribución de probabilidad teórica.

La distribución de probabilidad Gamma resulta adecuada para representar variables como la lluvia cuya distribución de probabilidad es asimétrica y su límite inferior es cero. El consenso es que este tipo de distribución, es una de las que mejor ajusta la diversidad de series climatológicas de precipitación (Briggs y Wilks, 1996). La función de densidad de esta distribución se expresa:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \tag{1}$$

Siendo α un parámetro de forma y β un parámetro de escala, ambos mayores que cero. Estos parámetros se pueden estimar mediante la aproximación de Thom (1958) como sigue:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{\left(1 + \frac{4A}{3} \right)} \right] \tag{2}$$

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln x}{n} \tag{3}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \tag{4}$$

donde \bar{x} es el valor medio de la variable aleatoria.

Como la precipitación puede tomar valores nulos, la aproximación sigue un procedimiento diferente; se calcula una función de distribución mixta compuesta por una función de probabilidad para los valores nulos y otra para los valores no nulos de la variable aleatoria. Si m es el número de los valores nulos sobre un total de n casos, se acepta que la probabilidad de que la precipitación mensual sea igual a cero es $q = m/n$ y la probabilidad de que sea superior a cero $p = 1-q$. La función de distribución resultante está dada por:

$$H(x) = q + p * G(x) \tag{5}$$

En donde $G(x)$ es la función de distribución de los $n - m$ valores distintos de cero de la serie.

La bondad del ajuste de la función gamma a cada serie fue verificada a través del test de Kolgomorov-Smirnov, éste determina si razonablemente puede pensarse que las mediciones muestrales provengan de una población que tenga esa distribución teórica. En la prueba se compara la distribución de frecuencia acumulada de la distribución teórica con la distribución de frecuencia acumulada observada. Se determina el punto en el que estas dos distribuciones muestran la mayor divergencia.

Resultados

A través del método de regresión gradual por pasos hacia delante (*forward stepwise regression*), se seleccionaron las variables predictoras que contribuyen significativamente a la variación de la respuesta en cada localidad y en cada estación del año. En la Tabla 1 se muestran las variables predictoras, el error estándar de los respectivos coeficientes de regresión y el valor del coeficiente de determinación R^2 de la regresión múltiple para cada estación del año en cada sitio modelado.

Tabla 1
VARIABLES predictoras de la lluvia en los modelos de regresión múltiple para las localidades Bahía Blanca y Las Águilas, error estándar de los respectivos coeficientes de regresión y coeficiente de determinación R^2 en cada estación

	R^2	Bahía Blanca	Error estándar %	R^2	Las Águilas	Error estándar %
v e r a n o	0,38	Flujo de Calor Sensible	24.1	0.41	Componente Meridional del viento en 850hPa	5.1
		Temperatura en 750hPa	17.7		Flujo de Calor Sensible	32.9
		Espesor de 500-1000 hPa	0.9			
o t o ñ o	0,36	Flujo de Calor Latente	42.2	0.4	Flujo de Calor Sensible	50.3
		Agua precipitable	2.5		Agua precipitable	2.0
		Vorticidad en 700 hPa	11.4		Vorticidad en 700 hPa	15.3
i n v i e r n o	0,36	Flujo de calor latente	39.0	0.49	Agua precipitable	1.5
		Divergencia en 200hPa	3.4		Vorticidad en 700hPa	10.8
					Advección de Relación de Mezcla en 850hPa	11.8
					Componente Meridional del viento en 850hPa	2.3
					Componente Zonal del viento en 850hPa	2.0
p r i m a v e r a	0,22	Agua precipitable	2.8	0.43	Flujo de calor latente	33.9
		Advección de Relación de Mezcla en 850hPa	13.9		Agua precipitable	3.1
					Componente Meridional del viento en 850hPa	4.8
					Divergencia en 200hPa	5.3
					Divergencia en 700hPa	9.6
				Showalter Index	3.6	

La variable predictora cuyo coeficiente presenta menor error estándar es el agua precipitable y está presente en seis de los ocho modelos desarrollados (por localidad y estación). De esta manera demuestra su relevancia como predictor de la lluvia ya que es un buen indicador de la cantidad de vapor de agua disponible en la atmósfera sobre la vertical de cada sitio.

La Figura 2 muestra los histogramas de las distribuciones de frecuencia de los datos observados y modelados y la curva de la distribución de probabilidad Gamma que mejor ajusta los datos de cada localidad estudiada. El acuerdo entre esta distribución teórica y los datos observados y modelados resulta ser satisfactorio si se consideran los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (Wilks, 2006). La diferencia máxima en valor absoluto entre las funciones de distribución de frecuencia acumulada empírica y ajustada (d) y el nivel de significación efectivo (p) también son presentados en la Figura 2, si $p < 0.05$ se rechazaría la hipótesis nula. Por lo tanto, ningún test de Kolmogorov-Smirnov rechazó la hipótesis.

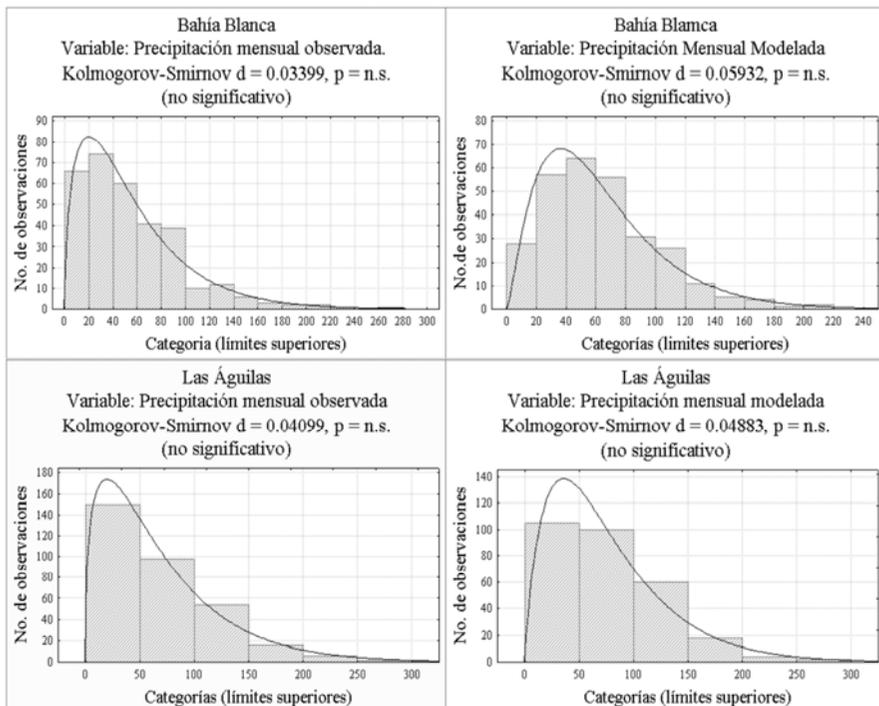


Figura 2. Distribución de frecuencia y ajuste mediante la función de distribución de probabilidad Gamma para los datos de precipitación mensual observados y modelados en las localidades Bahía Blanca y Las Águilas.

Los parámetros de forma y de escala en Bahía Blanca son, respectivamente, $\alpha= 1.56$, $\beta= 35.6$ para los datos observados y $\alpha= 2.33$, $\beta= 27.24$ para los datos modelados. En Las Águilas los parámetros de forma y de escala son $\alpha= 1.4$, $\beta= 49.16$ para los datos observados y $\alpha= 1.88$, $\beta= 40.4$ para los datos modelados. En ambas localidades, el parámetro de forma de la distribución es mayor en los datos modelados que en los observados, en cambio el parámetro de escala es menor. Concordantemente, la distribución de los datos observados está más sesgada hacia la derecha que la de los datos modelados, lo cual indica que el modelo tiende a subestimar los valores máximos.

Una medida estadística usada frecuentemente en descripciones preliminares de una población es el ‘percentil’: valor de la variable por debajo del cual yace una determinada fracción del total de las observaciones. Los percentiles de la distribución Gamma para 20, 40, 60 y 80% se muestran en la Figura 3 para las muestras de los datos modelados y observados. Puede verse en la figura que el modelo subestima las lluvias mayores y sobreestima las menores.

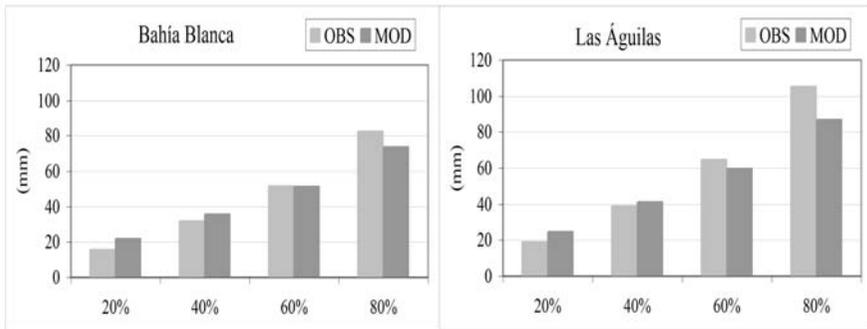


Figura 3. Percentiles de la distribución Gamma para los datos de precipitación mensual observados y modelados en las localidades Bahía Blanca y Las Águilas.

La precipitación media anual observada de Bahía Blanca en el periodo 1979-2006 es de 631.4mm y la modelada es un 6% inferior (592mm); en Las Águilas la observada es de 805mm y la modelada es un 14.2% inferior (690mm).

El acuerdo entre los ciclos anuales de la lluvia observada y modelada en el periodo de validación, mostrados en la Figura 4, es bueno. En Bahía Blanca el máximo absoluto del ciclo anual de lluvias ocurre en el mes de marzo, en el mes de octubre tiene lugar un máximo secundario y en el mes de junio el mínimo absoluto. La estación seca (meses cuyo valor medio no excede el promedio mensual total) se extiende desde mayo hasta agosto. El coeficiente de correlación entre los ciclos anuales es 0.90 (significativo a nivel $p= 0.01$) y el promedio del error relativo es 4%.

En Las Águilas el máximo absoluto del ciclo anual de lluvia ocurre en Enero y es comparable al máximo secundario del mes de Marzo, el mínimo absoluto es en Junio, como en Bahía Blanca. La estación seca se extiende de mayo a agosto. El coeficiente de correlación entre los ciclos anuales es 0.97 (significativo a nivel $p=0.01$) y el promedio del error relativo a la media mensual es 10.2%.

Un aspecto importante a evaluar en el desempeño de los modelos estadísticos es su capacidad para reproducir las desviaciones de la lluvia observadas respecto de los valores normales en periodos de un mes o mayores. El coeficiente de correlación entre las series de anomalías mensuales de lluvia modeladas y observadas es 0.52 para Bahía Blanca y 0.47 para Las Águilas (ambos significativos al nivel $p = 0.01$).

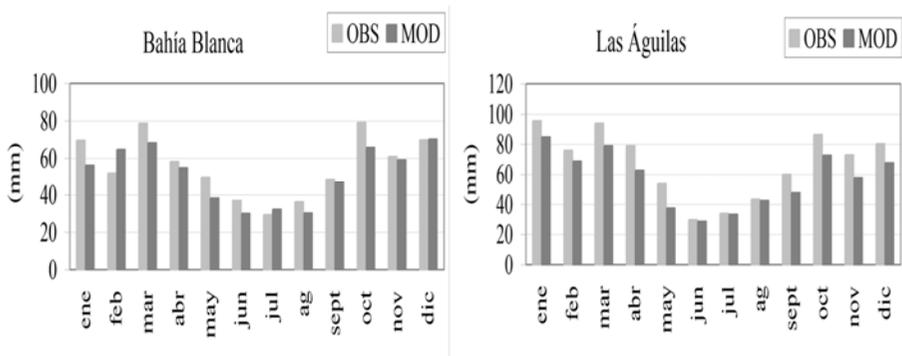


Figura 4. Promedios mensuales de los datos de lluvia observados y modelados en el periodo de validación, en las localidades Bahía Blanca y Las Águilas.

Para evaluar la capacidad del modelo estadístico para reproducir fluctuaciones persistentes en la lluvia se aplicó un promedio móvil de tres meses tanto en la serie de anomalías observadas como modeladas (véase Figura 5), tras lo cual fueron comparadas estadísticamente.

En Bahía Blanca, la correlación entre las series filtradas de datos observados y modelados es significativa ($p= 0.01$) e igual a 0.57. El promedio del error relativo es 22.7%. En Las Águilas el la correlación entre las series es significativa ($p= 0.01$) e igual a 0.45 y el promedio del error relativo es 20.1%. Resulta evidente en la Figura 5 que el modelo para Las Águilas no reproduce adecuadamente las anomalías positivas observadas en 1985, 1986 y 1987.

Para cada mes se calcularon la mediana, el desvío estándar y el coeficiente de variación para los datos modelados y observados en el periodo 1979-2006 (Tabla 2). Los correspondientes coeficientes de correlación y errores absolutos medios son mostrados en la Tabla 3.

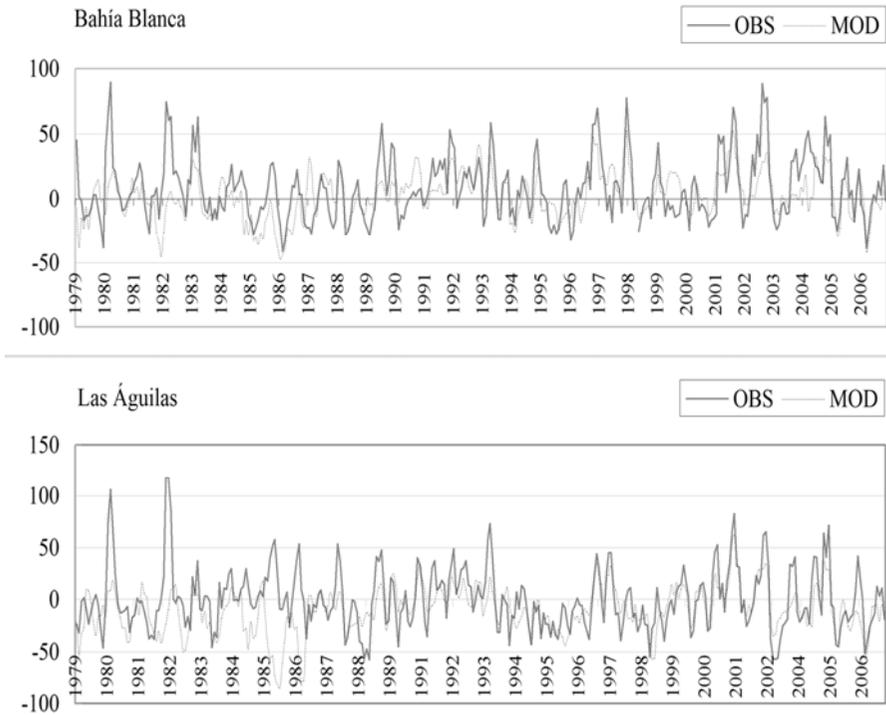


Figura 5. Series de los promedios móviles de tres meses de las anomalías de lluvia observadas y modelada en Bahía Blanca y Las Águilas.

El desvío estándar de la lluvia en cada mes tiende a ser subestimado por el modelo. Este es un comportamiento esperado en un modelo lineal cuyas variables independientes caracterizan el estado de la atmósfera en una escala espacial comparable a la distancia entre dos o más puntos del reticulado de los datos de los Reanálisis R2 (200 a 400km). En esta escala, la variabilidad temporal de la atmósfera es menor que la de la lluvia registrada localmente. Un procedimiento estándar para corregir este tipo de error sistemático consiste en multiplicar la serie por un coeficiente empírico. Klein *et al.* (1959) por ejemplo utilizó como factor de corrección de las anomalías modeladas un factor igual a la inversa del coeficiente de correlación múltiple del predicando con los predictores para obtener la varianza observada. Pero, este recurso incrementa el error cuadrático medio de las estimaciones y por ese motivo no fue aplicado.

El coeficiente de variación es máximo en los meses de invierno, característica captada adecuadamente por el modelo en ambas localidades.

Tabla 2
Resultados de parámetros estadísticos para Bahía Blanca y Las Águilas

Serie Observada	Bahía Blanca			Las Águilas		
	Mediana	Desvío estándar	Coefficiente de variación	Mediana	Desvío estándar	Coefficiente de variación
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)
1	59.0	38.9	56.1	98.0	51.1	53.5
2	44.5	33.1	63.9	57.0	58.3	76.8
3	61.5	55.2	70.1	75.5	53.5	56.9
4	35.0	50.6	87.1	64.0	74.8	94.9
5	53.0	28.7	57.8	47.0	46.4	86.5
6	16.0	24.8	66.8	15.5	37.0	124.9
7	20.0	26.4	89.9	25.0	35.3	103.8
8	26.5	31.5	87.0	35.0	34.9	80.7
9	40.5	31.9	65.7	54.0	38.1	63.6
10	70.0	48.2	61.0	78.0	47.8	55.4
11	55.0	30.6	50.5	50.0	55.6	76.1
12	54.0	53.1	76.2	78.0	60.8	75.6
<i>Serie Modelada por Downscaling</i>						
1	56.5	28.5	50.9	89.6	34.1	40.2
2	57.7	35.2	56.2	65.1	31.9	46.4
3	62.7	27.4	40.3	74.9	27.8	35.2
4	55.3	24.5	44.6	59.1	29.8	47.5
5	39.1	18.5	48.2	38.0	25.7	68.9
6	27.9	16.6	55.4	24.6	23.3	81.2
7	30.0	18.7	58.0	38.2	22.4	67.4
8	27.3	22.3	73.8	41.3	22.8	53.8
9	46.5	14.3	30.5	44.0	28.1	59.2
10	64.8	22.8	34.8	65.2	26.9	37.0
11	55.0	20.6	34.9	51.8	41.4	71.7
12	59.4	37.0	57.4	66.1	50.5	74.7

Tabla 3
Coefficientes de correlación entre, medianas y desvíos estándar mensuales de los datos observados y modelados

<i>coeficientes de correlación ($p < 0.01$)</i>			
<i>localidad</i>	<i>mediana</i>	<i>desvío estándar</i>	<i>coeficiente de variación</i>
Bahía Blanca	0.85	0.59	0.55
Las Águilas	0.94	0.58	0.69

Conclusiones

En este trabajo se ha evaluado la capacidad de un modelo estadístico de *downscaling* para describir y diferenciar las anomalías de precipitación mensual en dos sitios en el sudoeste de la Región Pampeana Argentina, con características fisiográficas distintas. A escala trimestral, se obtuvo una correlación significativa y un error relativo aceptable al comparar los valores estimados con las observaciones de las localidades estudiadas.

Los porcentajes de la varianza explicada por los modelos de regresión múltiple alcanzan valores comparables a los obtenidos en un estudio anterior para la región centro-oeste de Argentina por Labraga (2010) y en una región topográficamente disímil como Nueva Zelanda por Kidson y Thompson (1998), utilizando métodos estadísticos comparables.

La función de distribución Gamma permitió ponderar la bondad del modelo para estimar datos de lluvia con una distribución de probabilidad semejante a la de las observaciones. La serie de datos modelados se ajustó satisfactoriamente a la distribución propuesta según los resultados del test de Kolmogorov-Smirnov. Los parámetros estimados de esta distribución confirman que el modelo subestima las lluvias grandes y sobreestima las pequeñas, como se infiere del análisis de otros estadísticos básicos (media, mediana y coeficiente de variación).

La variabilidad de la lluvia tiende a ser subestimada por este tipo de modelos lineales. No obstante, la mayor variabilidad relativa de la lluvia en los meses de invierno que en verano es una característica propia del clima seco de transición de la región de estudio y ha sido bien captada por el modelo.

La oferta de agua presenta una marcada variación en el tiempo y en el espacio en el sudoeste de la Región Pampeana. Por lo tanto, resulta necesario perfeccionar los esquemas de análisis hidrológico para proyectar cuantitativamente esta variabilidad en una región determinada. Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que los modelos de *downscaling* basado en regresión lineal múltiple podría ser utilizado provechosamente para realizar pronósticos locales de anomalías mensuales de lluvias partiendo de variables atmosféricas (predictoras) pronosticadas por un modelo global de la circulación general de la atmósfera, siendo ésta la etapa de la investigación en curso.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, de Argentina, a través del proyecto PICT-2005 32296, en el que se enmarca esta investigación.

Referencias

- Briggs, W. M. y Wilks, D. S., 1996, "Estimating monthly and seasonal distribution of temperature and precipitation using the new CPC long-range forecasts", *J. Climate*, Vol IX, No. 4, pp. 818-839.
- Kanamitsu, M.; Ebisuzaki, W.; Woollen, J.; Yang SK, Hnilo J. J.; Fiorino, M. y Potter, G. L., 2002, "NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2)", *Bull. Amer. Met. Soc.* Vol LXXXIII, No. 11, pp. 1631-1643.
- Kidson, J. W. y Thompson C. S., 1998, "A comparison of Statistical and Model-Based Downscaling Techniques for Estimating Local Climate Variations", *J. Climate*. Vol. XI, No. 4, pp. 735-753.
- Klein, W. H., Lewis, B. M., Enger, I., 1959, "Objective Prediction of Five-Day Mean Temperatures During Winter", *J. Atm. Sci.*, vol. 16, No. 6, pp. 672-682.
- Labraga, J. C., 2010, "Statistical *downscaling* estimation of recent rainfall trends in the eastern slope of the Andes mountain range in Argentina", *Theor. Appl. Climatol*, 99, pp. 287-302.
- Mormeneo, I. y Catellvi Sentis, F., 2001, "Aplicación de un modelo en la generación de precipitaciones diarias", *Rev. Bras. Agromet*, Vol. IX, No. 2, pp. 311-315.
- Schefer, J. C., 2004, "Los recursos hídricos y el abastecimiento de agua: región de Bahía Blanca", Publicación del CEPADE, Centro de Estudios y Participación para el Desarrollo Local y Regional, Bahía Blanca, Argentina, p. 133.
- Thom, H. C. S., 1958, "A note on the Gamma Distribution", *Mon. Wea. Rev.*, Vol. LXXXVI, No. 4, pp. 117-122.
- Von Storch, H., 1999, *The global and regional climate system. Anthropogenic Climate Change*, ISBN 3-540-65033-4, 3-36.
- Wilks, D. S., 2006, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Academic Press. Londres, Inglaterra, p. 627.