

Análisis espacio-temporal del posible corrimiento de la posición latitudinal del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (L)

Arnobio G. Poblete*
Daniela Adelina Iranzo**
Laura Alicia Aguiar***

Resumen

En la comunidad climatológica mundial hay hipótesis que afirman que, como consecuencia del calentamiento global se produciría una aceleración de la celda de Hadley que, a su vez, generaría un corrimiento de los anticiclones subtropicales hacia latitudes más altas en ambos hemisferios. En la Argentina y Chile el comportamiento temporal de las variables hídricas de Los Andes centrales muestran una tendencia decreciente de los caudales de los ríos andinos en concordancia con los pronósticos de los modelos numéricos a largo plazo que prevén una aridización de dicha zona hacia mediados de este siglo, que estaría asociada, entre otros factores, al corrimiento del anticiclón del océano Pacífico Sur. Además, se verificó un incremento en las precipitaciones del NOA a partir de la década de 1950 que está disminuyendo en la actualidad. Se pretende contribuir a dar una respuesta a la citada hipótesis sobre el desplazamiento latitudinal del máximo de presión atmosférica sobre la costa sudamericana del océano Pacífico Sur. Se lo cuantifica por medio de un índice obtenido con una metodología objetiva para su estimación mensual. Al mismo se le realiza un exhaustivo análisis estadístico, con el objeto de conocer su estructura y variabilidad estacional e interanual y de esta manera sentar una base objetiva para futuras investigaciones que tengan que ver con su devenir temporal. Se concluye que en el periodo nival tiene un desplazamiento significativo coherente con la disminución del recurso hídrico en Chile central, Cuyo y Comahue. Sin embargo, no se encuentra asociación significativa con el NOA.

Palabras clave: Anticiclón Subtropical Pacífico Sur, Corrimiento, Latitudes Altas.

* Investigador. Instituto de Geografía Aplicada. Universidad Nacional de San Juan. agpoblete@gmail.com

** Ayudante de investigación. Instituto de Geografía Aplicada. Universidad Nacional de San Juan. danielaadelina@gmail.com

*** Docente. Instituto de Geografía Aplicada. Universidad Nacional de San Juan. aguiarlauri@yahoo.com.ar

Spatio-temporal analysis of the possible shift of the latitudinal position of the South Pacific subtropical anticyclone (L)

Abstract

In the world climate community there are hypotheses claiming that as a consequence of global warming an acceleration of the Hadley cell would take place, which, in turn, would generate a subtropical anticyclone shift to higher latitudes in both hemispheres. In Argentina and Chile the temporal behavior of water variables of the central Andes show a declining trend of Andean river flows in line with the forecasts of long-term numerical models which anticipate aridization of the area by the middle of the present century. This would be associated, among other factors, to the shift of the South Pacific anticyclone. In addition, since 1950s there has been an increase in precipitation of NOA, however, it is currently decreasing. We aim to contribute to an answer to the latitudinal displacement hypothesis on the maximum atmospheric pressure on the South American coast of the South Pacific Ocean. It is quantified by using an index obtained from an objective methodology on the basis of a monthly estimate. At the same, we make an exhaustive statistical analysis to know its structure and seasonal and inter-annual variability and lay a firm foundation for future research on temporal evolution. We conclude that in the snow season there is a significant shift related to the decrease of water resources in central Chile, Cuyo and Comahue. However, no significant association with the NOA was found.

Key words: South Pacific subtropical anticyclone, Shift, High latitudes.

Introducción

En la comunidad climatológica mundial hay hipótesis que afirman que, como consecuencia del calentamiento global, se generaría un corrimiento de los anticiclones subtropicales hacia latitudes más altas en ambos hemisferios. Por ejemplo, en el hemisferio Norte se habla del “efecto Ártico” que tiene que ver con un corrimiento del anticiclón de las Azores hacia el norte, en especial en verano, desplazando la intensa sequía subtropical hasta la región Alpina (Seager1 *et al.*, 2010). El ciclo asociado a este corrimiento es la NAO (Oscilación del Atlántico Norte), mientras que en el Pacífico Norte tendría una conexión con la PDO (Oscilación Decadal Pacífica) <ftp://ftp.atmos.washington.edu/mantua/pdofiles/>.

Lo anterior estaría conectado con una modificación en el funcionamiento de la celda de Hadley. Algunos autores hablan de su aceleración asociada al calentamiento global puesto que al ser directa la relación sería lineal entre ambos, sin embargo, otros hablan de un debilitamiento. Este proceso repercutiría en una aceleración de la convección de los alisios en el ecuador y una subsidencia más intensa en las regiones subtropicales, que traería como consecuencia una expansión de los anticiclones por ganancia de masa (Dargan *et al.*, 2007; Ulate Medrano, 2006; Lu *et al.*, 2008).

A su vez, tanto en la Argentina como en Chile resulta fundamental conocer el comportamiento temporal de las variables hídricas de Los Andes centrales, asociadas a tendencias seculares decrecientes de los caudales de los ríos andinos provenientes de dicha región, que están en consonancia con los pronósticos a largo plazo de los modelos numéricos que indican una aridización de Chile central, Cuyo y Comahue (Argentina) para fines de este siglo (Fig. 1).

Varios trabajos han demostrado que los cambios en la intensidad del sudeste del anticiclón subtropical Pacífico tienen un impacto significativo en la variabilidad de la precipitación anual en Chile central y por ende en la cordillera en diversas escalas de tiempo. Para valorar dicha intensidad la Dirección Meteorológica de Chile construye un índice para cuantificarla, considerando como tal al primer componente principal de la presión en superficie de la media anual de ocho estaciones ubicadas dentro del dominio del anticiclón (IPPS). Este era relativamente intenso durante la sequía nival de fines de 1960 y principios de 1970 (Poblete e Iranzo, 2012). Le siguió un debilitamiento que duró hasta los años noventa cuando el anticiclón se fortaleció nuevamente (Quintana y Aceituno, 2012).

También es importante analizar el régimen estival de las precipitaciones en el NOA que desde 1950 han tenido un aumento sostenido y eventos extremos que causaron daños considerables en dicha región y a su vez extendieron la frontera agrícola hacia el este de la misma; sin embargo, estudios más recientes están indicando que dicho aumento ha cesado y probablemente esté en disminución (Minetti, 2013). Ambos regímenes estarían potencialmente asociados, entre otros

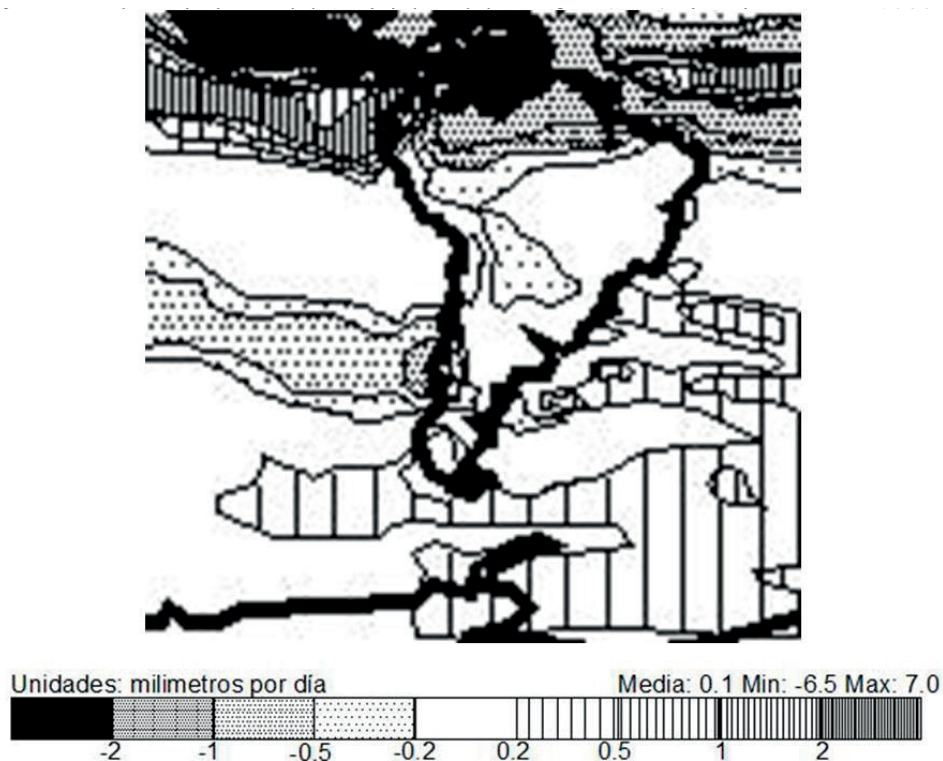


Figura 1. Esquema del pronóstico de precipitaciones medias en el periodo junio-julio-agosto para los años 2070-2100. Fuente: Centro Hadley de Inglaterra.

En este artículo se pretende contribuir a dar una respuesta a la citada hipótesis mediante el estudio del desplazamiento latitudinal del máximo de presión atmosférica sobre la costa sudamericana del océano Pacífico Sur, mediante la explicitación de la estructura estadística de su serie temporal construida al efecto (Minetti *et al.*, 2009) y su variabilidad, tanto estacional como interanual; en los periodos abril-septiembre para analizar su influencia en Los Andes centrales, enero-febrero-marzo para el caso del NOA y anual para conocer su comportamiento medio en el tiempo. Como se ve se adopta este criterio teniendo en cuenta los regímenes de precipitación dominantes recién expuestos (Minetti y Vargas, 1990) es decir, un enfoque hidroclimático.

Para cuantificar el citado corrimiento se utiliza un índice que estima al desplazamiento latitudinal del máximo de presión atmosférica sobre la costa sudamericana del Océano Pacífico Sur, al que aquí se lo denomina “L” y que fue construido, como lo describe Minetti *et al.*, (2009) siguiendo la línea de otros tales como: NCEP para el período 1948-2002 (Kalnay *et al.*, 1996; Kistler *et al.*, 2001) para exteriorizar, en parte, la variabilidad interanual del clima dentro de la que se

incluye a las fluctuaciones lentas asociadas al Cambio Climático (CC) llevadas a cabo por el National Climate Centre (NCC) del Australian Bureau of Meteorology.

En el siglo pasado varios investigadores han utilizado diversos métodos para construir la serie temporal del “L”, pero no han generado parámetros homogéneos a los efectos de la comparación dentro de los subperíodos analizados. En la región andina de la Argentina y Chile los intentos de usar el mismo para explicar su incidencia en la variabilidad interanual del clima se describen en Pittcock (1980); Minetti *et al.*, (1982); Radicella *et al.*, (1989) y Minetti y Vargas (1990) quienes analizaron las variabilidades interanuales de la precipitación y temperatura. En todos los casos los períodos estudiados para discernir sobre los impactos de las posiciones de “L” con otras variables climáticas han incluido pocas décadas y sin embargo han obtenido conclusiones inherentes al CC. Como se dijo, también han incursionado en la temática la Dirección Meteorológica de Chile con un índice llamado IPPS (Índice de Presión del Pacífico Sur) (Quintana y Aceituno, 2012).

En este artículo se utiliza al “L” obtenido con una metodología objetiva que fue consistida en forma física con el SOI (*Southern Oscillation Index*), la precipitación en Chile y la Argentina y un índice de sequía del conjunto de ríos de este último país, para el periodo 1909-2004 (Minetti *et al.*, 2009). Al mismo se le realiza un exhaustivo análisis con el objeto de conocer su estructura estadística y variabilidad estacional e interanual, con el fin de lograr una base objetiva para futuras investigaciones que tengan que ver con su devenir temporal. Siempre tomando en cuenta el criterio hidroclimático.

Datos y métodos

Una vez consistida la información del “L” se analiza su comportamiento mensual, interanual y en temporadas asociadas a la hidroclimatología de los Andes argentino-chilenos (Uriel, 1985). Se utilizan los métodos usuales de series temporales y para el análisis espacial las herramientas que brinda el reanálisis del NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) /NCAR (*National Center for Atmospheric Research*).

Para valuar la tendencia de los distintos periodos analizados se utilizan los tests no paramétricos de Spearman (Siegel y Castellan, 1988) y Mann-Kendall (WMO, 1966) que describen las siguientes fórmulas:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{N^3 - N} \quad r_s \approx N \left(0, \frac{1}{n-1} \right) \quad [1]$$

Donde d_i es la diferencia entre los rangos de los datos originales de las series previamente ordenadas, y N el número de datos.

$$\text{Se construye el estadístico: } t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \quad [2]$$

Se extrae t_T de la tabla “*t*” de Student con $\nu = N-2$ grados de libertad.

Sí $|t| \leq t_T$ no hay tendencia significativa al $\alpha\%$, en los datos.

Test de Mann-Kendall (MK).

El estadístico univariado de MK para una serie temporal $\{Z_k, k = 1, 2, \dots, n\}$ de datos se define como:

$$T = \sum_{j < i} \text{sgn}(Z_i - Z_j) \quad [3]$$

Donde

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & f \ x > 0 \\ 0, & f \ x = 0 \\ -1, & f \ x < 0 \end{cases}$$

Si no hay ligaduras (rangos iguales) entre las observaciones y no existe una tendencia en la serie de tiempo, el resultado se distribuye asintóticamente normal con:

$$E(T) = 0 \text{ y } \text{Var}(T) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad [4]$$

Los promedios móviles para un período de duración seleccionado L consisten en una serie de medias aritméticas (simples o ponderadas) calculadas a lo largo del tiempo. O sea:

$${}^L\bar{Y}_i = \frac{1}{L} \sum_{t=(i-L)/2}^{(i-1)/2} Y_{i+t} \quad [5]$$

Nótese que lo ideal es que L sea impar para que la media móvil ${}^L\bar{Y}_i$ esté centrada en el período tk donde k es el subíndice correspondiente a la misma. Los datos que se pierden son los $(L-1)/2$ primeros y los $(L-1)/2$ últimos de la serie (Montgomery *et al.*, 1976).

El cluster análisis consiste en una serie de técnicas multivariantes utilizadas para clasificar y discriminar a un conjunto de individuos en grupos homogéneos. Utiliza la información de una serie de variables para cada sujeto u objeto y, conforme a las mismas calcula la similitud entre ellos, que una vez medida se congregan en: grupos internamente homogéneos y diferentes entre sí. La “nueva dimensión” lograda con el cluster se aprovecha después para facilitar la aproximación “segmentada” de un determinado análisis. El resultado final depende radicalmente de la medida de asociación/similitud/distancia utilizadas. Hay autores que recomiendan, para cada contexto, observar empíricamente esas diferencias (Everitt, 1981).

En el análisis realizado en este trabajo se utiliza como medida de disimilitud a la distancia euclidiana que muestra la ecuación (6):

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^t (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad [6]$$

Donde d_{ij} es la distancia euclídea entre el objeto i y el objeto j, siendo X_{ik} la posición del objeto y respecto del k

El método de aglutinación utilizado es el de Ward, cuya idea básica es ir agrupando de forma jerárquica elementos de modo que se reduzca una determinada función objetivo que persigue la minimización de la variación intragrupal de la estructura formada. A veces, tiende a generar conglomerados demasiados pequeños pero siempre equilibrados en tamaño. Este autor propuso que la pérdida de información que se produce al integrar los distintos individuos en clusters puede medirse a través de la suma total de los cuadrados de las desviaciones entre cada punto (individuo) y la media del racimo en el que se integra. Para que el proceso de clusterización resulte óptimo, en el sentido de que los grupos formados no distorsionen los datos originales, propone la siguiente estrategia: en cada paso del análisis, considerar la posibilidad de la unión de cada par de grupos y optar por la fusión de aquellos dos que menos incrementen la suma de los cuadrados de las desviaciones al unirse (Ward, 1963). El método de Ward es uno de los más utilizados en la práctica; posee casi todas las ventajas del de la media y suele ser más discriminativo en la determinación de los niveles de agrupación. Una investigación llevada a cabo por Kuiper y Fisher (1975) probó que este procedimiento era capaz de acertar mejor con la clasificación óptima que otros (mínimo, máximo, media y centroide) (Ward, 1963).

Resultados

A continuación se realiza el estudio objetivo propuesto comenzando por validar matemáticamente las segmentaciones hidroclimáticas que, una vez justificadas permitan realizar un análisis exhaustivo de cada una de ellas. Dicha validación es necesaria para armonizar el criterio hidroclimático con los procedimientos de naturaleza estadística.

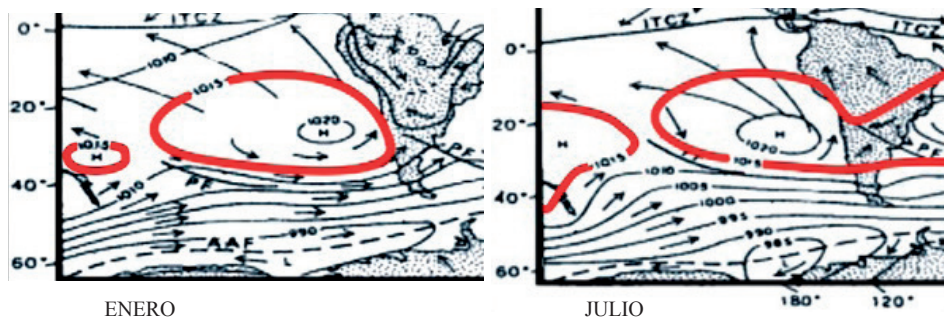


Figura 2. Campo bórico global promedio de enero y julio según (Barry y Chorley-Routledge, 1992), que muestra la ubicación estacional media del Anticiclón del Pacífico Sur. Fuente: Elaborado por Poblete, Iranzo y Aguiar.

Para realizar lo antedicho sobre las posibles asociaciones entre los meses y periodos elegidos hidroclimáticamente con el objeto de estudiar con más detalle el corrimiento del índice “L”, se decide realizar un cluster análisis. La figura 3 muestra el dendrograma obtenido de aplicar el método de Ward con la distancia euclidiana como medida de similitud.

El cluster aplicado discrimina muy bien los “racimos” que son internamente coherentes. Se distinguen tres básicos que, por los meses que lo integran, representan muy bien las componentes estacionales (invierno, año, estaciones intermedias, verano). El de menor disimilitud es el que asocia la media anual y la de abril-septiembre conectándose a estas diciembre y noviembre; que, a su vez, se les anexan otros conglomerados integrados por los meses de otoño y primavera. El subsiguiente es el correspondiente al periodo enero-febrero-marzo (efm) con febrero, al que se le agrega marzo y enero. Por último se forma un cluster separado que presenta una disimilitud interna mayor que la de los anteriores, correspondiente a los meses invernales. En conclusión, el índice “L” puede ser particionado, para un análisis estacional más representativo, por tres racimos principales: “anual-nival” que al incluir el periodo abril-septiembre puede ser utilizado para estudiar el impacto medio del corrimiento del L en las nevadas en los Andes centrales, “verano” para valuar dicho impacto en las precipitaciones del NOA e “invernal” para estimar su incidencia en las precipitaciones níveas que alimentan los ríos cuyanos; que, como se observa, son coincidentes con los elegidos de acuerdo con el criterio hidroclimático. A continuación se realiza un análisis de la estructura estadística del mismo (Tabla I).

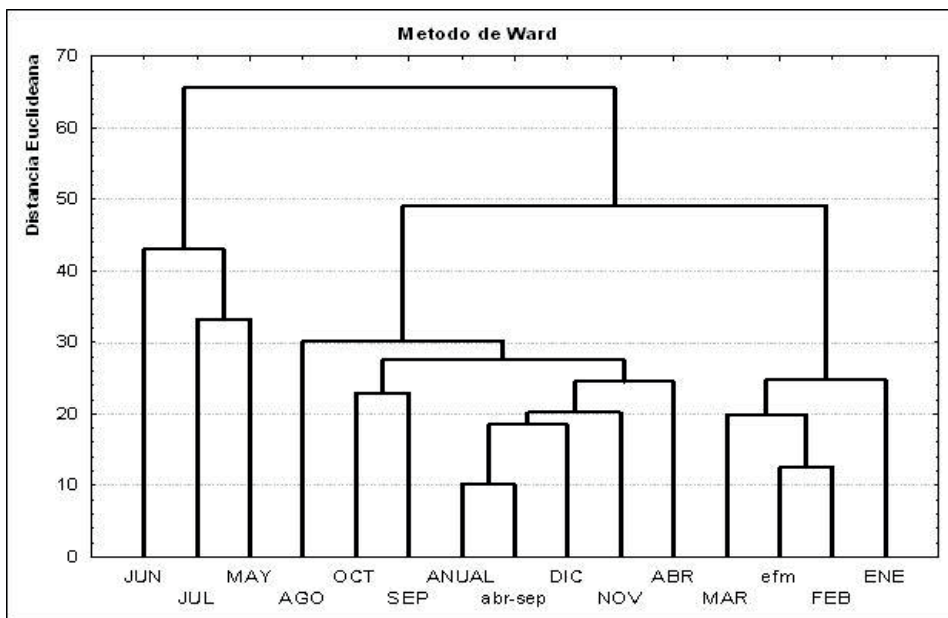


Figura 3. Dendrograma de los meses y periodos analizados para “L”. Obsérvese que el mismo discrimina muy bien las asociaciones elegidas con un criterio hidroclimático. Fuente: Elaborado por Poblete, Iranzo y Aguiar.

	N	MEDIA	MEDIANA	MINIMO	MAXIMO	1ER CUARTIL	3ER CUARTIL	PER 10%	PER 90%	RANGO	Std. Dev.
ENE	95,00	35,08	34,60	29,90	39,80	33,50	36,80	32,40	38,20	9,90	2,20
FEB	95,00	34,81	34,60	30,10	43,80	33,20	36,10	32,40	37,10	13,70	2,08
MAR	95,00	34,91	34,80	25,30	39,60	33,40	36,20	32,50	38,40	14,30	2,34
ABR	95,00	34,06	34,20	29,90	38,80	32,50	35,30	31,20	37,00	8,90	2,06
MAY	95,00	32,17	32,40	26,70	40,90	30,30	33,80	28,10	35,10	14,20	2,76
JUN	95,00	31,65	32,00	24,30	38,40	29,30	33,40	27,70	36,00	14,10	3,05
JUL	95,00	31,97	32,10	22,60	38,30	30,40	33,80	28,20	35,80	15,70	2,88
AGO	95,00	32,93	32,70	26,90	41,30	31,20	34,50	30,10	36,80	14,40	2,71
SEP	95,00	33,67	33,60	27,60	38,80	32,50	35,20	31,00	36,60	11,20	2,22
OCT	95,00	34,19	34,10	29,60	39,10	33,10	35,40	32,20	36,50	9,50	1,80
NOV	95,00	33,72	33,20	28,90	39,10	32,50	34,90	31,40	36,20	10,20	1,95
DIC	95,00	33,73	33,50	29,20	37,90	32,40	35,10	31,40	36,40	8,70	1,84
abr-sep	95,00	32,74	32,72	30,15	37,77	31,65	33,65	30,83	34,72	7,62	1,47
efm	95,00	34,93	34,90	31,10	40,67	33,87	35,77	33,13	37,17	9,57	1,68
ANUAL	95,00	33,57	33,41	30,96	37,98	32,68	34,34	32,18	35,46	7,02	1,27

Tabla I. Estadísticos del índice “L” (expresado en grados de latitud) discriminados mensualmente y en los periodos: ANUAL, abril-septiembre (abr-sep), enero-febrero-marzo (efm). Fuente: Elaborado por Poblete, Iranzo y Aguiar.

En el caso del promedio anual para tener una idea global del comportamiento del corrimiento del anticiclón y su posición se verifican los siguientes estadísticos (Tabla I), Media=33°34', Mínimo=30°58', Máximo=37°59', Rango=7°12', todas de Latitud Sur.

Análisis estacional del “L”

El análisis estacional propiamente dicho se aprecia en el Tabla I y la figura 4, en forma de grafos “caja bigote”, que muestran la marcha intra-anual y la estructura estadística mensual de las latitudes correspondientes al índice “L”. Se nota que hay una marcada estacionalidad que oscila entre los 35°5’S en enero y 31°39’S en junio. Se nota que hay una marcada estacionalidad que oscila entre los 35°5’S en enero y 31°39’S en junio. Sus extremos tienen un máximo de 43°48’ en febrero y un mínimo de 22°36’ en julio. Un rango máximo de 15°42’ en julio y un mínimo de 8°42’ en diciembre.

Para el periodo abril-septiembre se puede observar (Tabla I) que los estadísticos más representativos de este son: media de 32°S, máximo de 37°46’S y un mínimo de 30°9’S. Para el periodo enero-febrero-marzo (efm): media de 34°56’S, máximo de 40°40’S y un mínimo de 31°6’S.

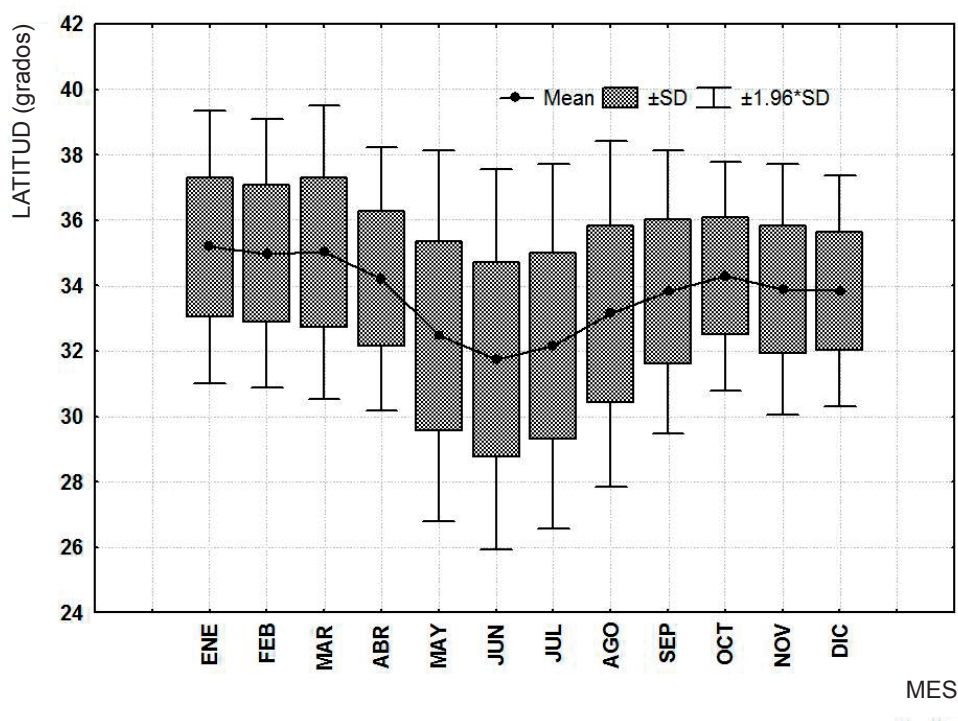


Figura 4. Marcha estacional de “L” con sus respectivos grafos mensuales de “caja-bigote”. El punto indica la media (Mean), los lados inferiores y superiores de los rectángulos representan la desviación Standard (\pm) y los segmentos externos a los extremos limitados por el nivel del 95 % respectivamente. Se puede notar el corrimiento hacia latitudes bajas en invierno. Fuente: Elaborado por Poblete, Iranzo y Aguiar.

Marcha interanual

La variabilidad entre años se analiza para el promedio anual y los dos periodos elegidos: abril-septiembre detectar su posible influencia en la hidroclimatología de los Andes de la Argentina y Chile, puesto que los ríos cuyanos, del Comahue y Chile central tienen un régimen en donde son determinantes las precipitaciones en ese periodo y enero-febrero-marzo (efm), dado que los ríos del NOA (Noroeste argentino) responden a un régimen estival de precipitaciones.

También se realiza para los tres periodos elegidos una contrastación areal haciendo uso del reanálisis del NCEP/NCAR. Debe tenerse en cuenta que este dispone de datos desde el año 1948 (considerado, en este caso, como inicial que lo diferencia del año 1909 cuando comienza el análisis estadístico) por lo que algunas de las conclusiones areales obtenidas pueden estar afectadas por los heterogéneos lapsos utilizados para los respectivos estudios.

La figura 5 muestra la marcha temporal del promedio anual del "L". Tiene una tendencia que resulta significativa puesto que los tests de Spearman y Kendall así lo confirman ($r_s = 0,236$ y $\tau = 0,154$, significativos al 5 %). Se observa que su histograma se ajusta aproximadamente a una distribución normal.

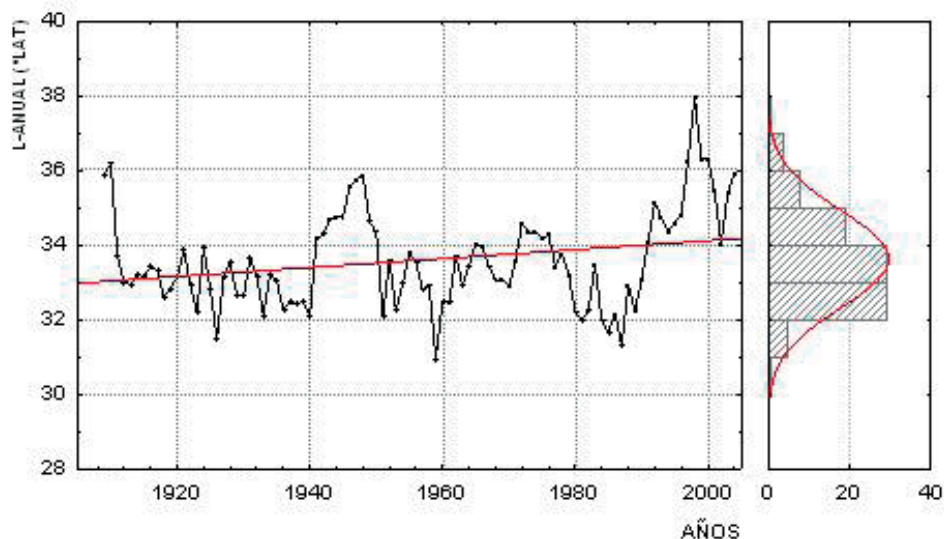


Figura 5. Variabilidad interanual del promedio anual del "L", con su tendencia lineal en el periodo 1909-2004 y su distribución normal. Fuente: Elaborado por Poblete, Iranzo y Aguiar.

Para observar espacialmente lo encontrado con el análisis estadístico, se realizó la figura 6 que muestra las diferencias de presión atmosférica al nivel del mar entre los años 2011 y 1948. Se verifica que hubo un corrimiento hacia el suroeste y aumento en los valores de la misma. Dicho desplazamiento se produjo con mayor intensidad entre las latitudes de 22° y 45°S y las longitudes de 110° y 175°W.

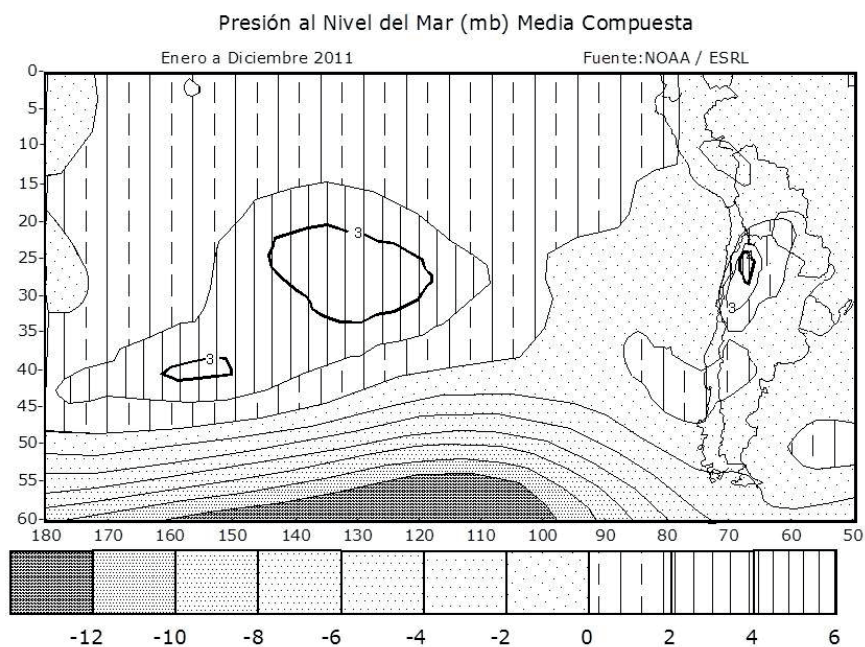


Figura 6. Diferencia de la presión a nivel del mar (promedio anual) entre 2011 y 1948 (último y primer año disponibles mediante el reanálisis) en las latitudes correspondientes al Anticiclón del Pacífico Sur.

Fuente: Elaborado por Poblete, Iranzo y Aguiar.

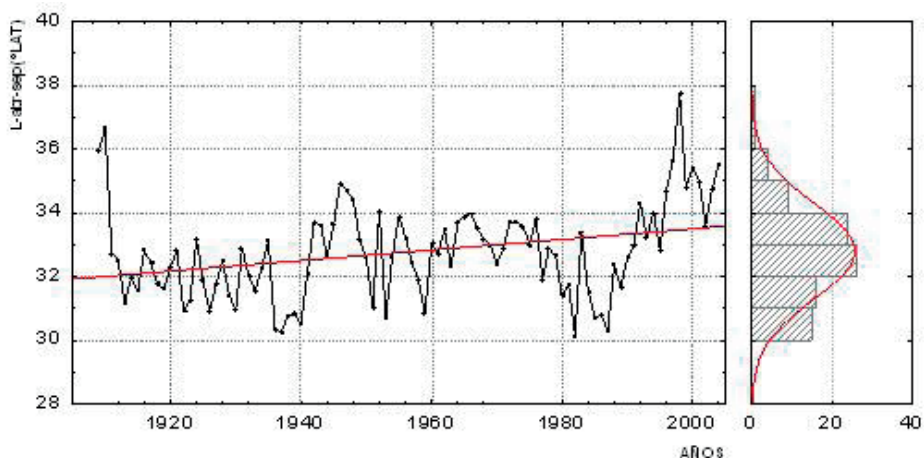


Figura 7. Variabilidad interanual del “L” en abril-septiembre, con su tendencia lineal significativa en el periodo 1909-2004 y su distribución normal. Fuente:

Elaborado por Poblete, Iranzo y Aguiar.

En la figura 7 se observa que en el periodo abril-septiembre el índice L tiene una tendencia creciente significativa confirmada por los test de Spearman y Kendall ($r_s = 0,318$ y $\tau = 0,211$, significativos al 1 %) es decir que en este caso se corrobora la hipótesis de su corrimiento hacia latitudes más altas como ocurre con sus similares del hemisferio Norte (Seager *et al.*, 2010). También se verifica un adecuado ajuste entre el histograma y la distribución normal de los valores de “L”.

Para visualizar geográficamente los resultados estadísticos expuestos para el periodo abril-septiembre, se decide aplicar el reanálisis del que surge la distribución areal que se observa en la figura 8, donde se muestra la diferencia de las presiones al nivel del mar en el Pacífico Sur entre los años 1948 y 2011. Se verifica una desigualdad a favor del 2011 de 2 a 3 milibares entre los 16° y 37°S y los meridianos de 115° y 160°W, lo que indicaría que el corrimiento comprobado estadísticamente se manifiesta arealmente con mayor nitidez en dicha zona.

La figura 9 muestra que en el periodo enero-febrero-marzo el índice L tiene una tendencia creciente no significativa ($r_s = 0,062$ y $\tau = 0,032$), que confirma la no relevancia del corrimiento hacia latitudes más altas, que implicaría su no incidencia en el aumento de las precipitaciones del NOA (Minetti, 2013) en el periodo estudiado. Su histograma tiene un ajuste que también se aproxima a una distribución normal.

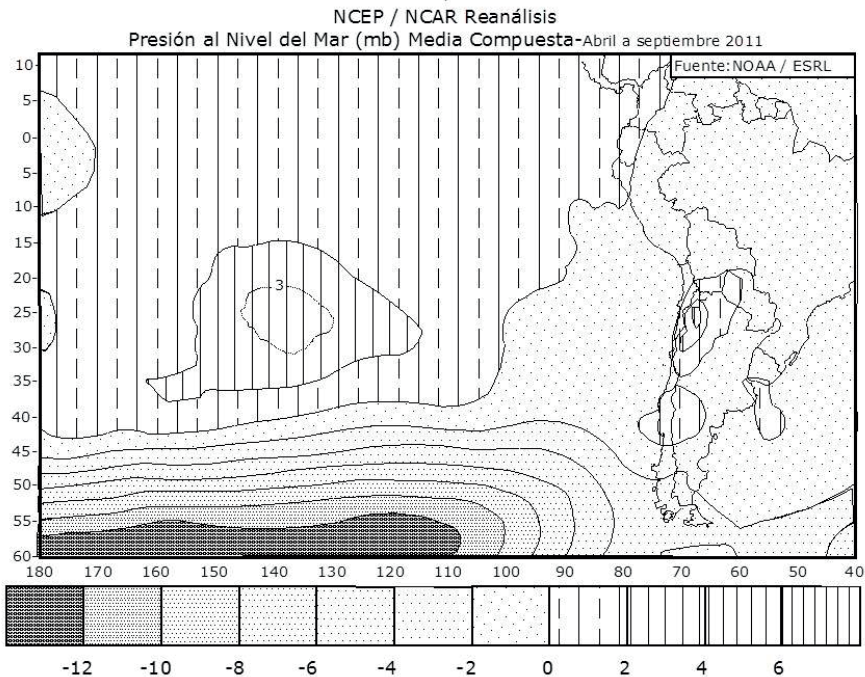


Figura 8. Diferencia de la presión a nivel del mar en las latitudes correspondientes al Anticiclón del Pacífico Sur en abril-septiembre, entre el año 1948 y 2011. Fuente: Elaborado por Poblete, Iranzo y Aguiar.

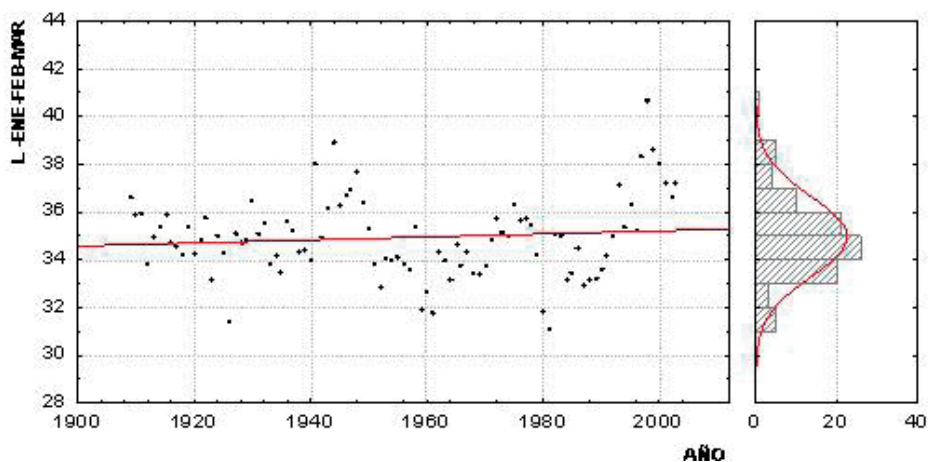


Figura 9. Variabilidad interanual del “L” para enero-febrero-marzo con su tendencia lineal no significativa, en el periodo 1909-2004 y su distribución normal. Fuente: Elaborado por Poblete, Iranzo y Aguiar.

Lo encontrado con el análisis estadístico (tendencia no significativa) no se visualiza espacialmente en la figura 10, donde se verifica, no solo un corrimiento, sino un cambio notorio en el monto de la presión del anticiclón. De todas maneras se muestra cómo se produjo arealmente ese desplazamiento: hacia el suroeste, más precisamente alrededor de las latitudes de 20° y 45°S y las longitudes de 105° y 65°W.

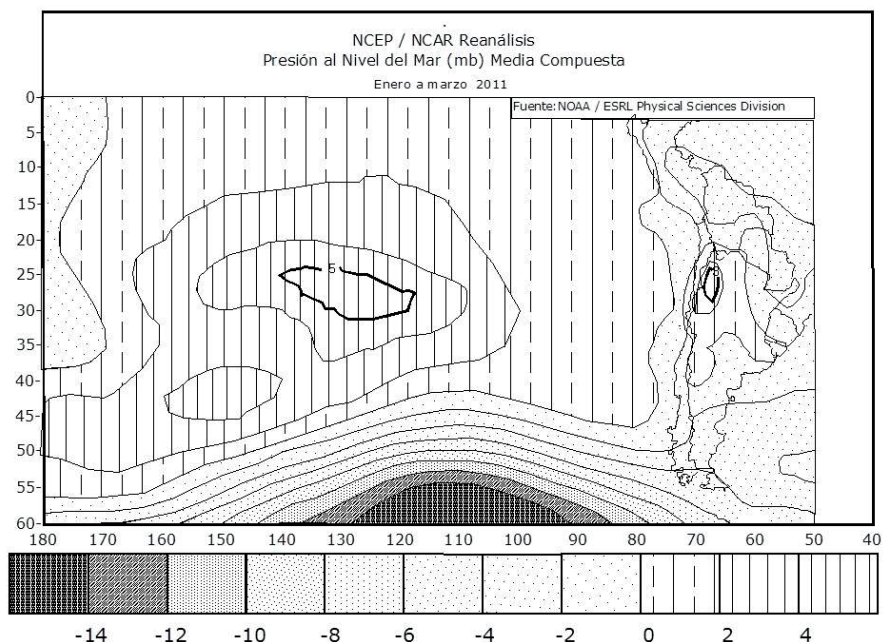


Figura 10. Diferencia de la presión a nivel del mar entre el año 1948 y 2011 en las latitudes correspondientes al Anticiclón del Pacífico Sur en enero-febrero-marzo. Fuente: Elaborado por Poblete, Iranzo y Aguiar.

Del análisis del promedio anual y estacional realizado se desprende que el Anticiclón del Pacífico Sur no presenta un corrimiento temporal homogéneo, sino que se manifiesta con mayor significación en el periodo invernal, que validaría los resultados de los pronósticos de los modelos climáticos que indican una aridización en el mediano y largo plazo para las regiones de Chile central, Cuyo y Comahue (Fig. 1) en menor medida en el promedio anual y no significativo en el verano.

Conclusiones

Con la aplicación del cluster análisis se deduce que el desplazamiento del anticiclón Pacífico hacia latitudes más altas (“L”) puede ser particionado, para un análisis estacional más representativo, en tres racimos principales: “anual-nival”, “verano” e “invernal”, lo que valida realizar un análisis hidroclimatológico para estos periodos.

El promedio anual del “L” tiene una tendencia significativa, con una media de 33°34’S. La verificación espacial realizada con el reanálisis muestra un corrimiento hacia el sudoeste y aumento en los valores de la presión. Dicho desplazamiento se produjo con mayor intensidad entre las latitudes de 22° y 45°S y las longitudes de 110° y 175°W.

En el periodo abril-septiembre el índice L tiene una tendencia creciente significativa confirmada por los test de Spearman y Kendall, es decir que en este caso se corrobora la hipótesis de su corrimiento hacia latitudes más altas como ocurre con sus similares del hemisferio Norte. Esto es debido, quizás, a un aumento de la actividad de la celda de Hadley, que al ser directa es activada por el calentamiento global; lo que estaría asociado al decrecimiento hídrico que está ocurriendo desde la IV a VIII región de Chile, Andes centrales y Comahue.

En el periodo enero-febrero-marzo el índice L tiene una tendencia creciente no significativa, que confirma que su desplazamiento no influye en la condición hídrica del NOA. Sin embargo, espacialmente se observa un cambio notorio en el monto de la presión del anticiclón, verificándose el mismo en el suroeste, alrededor de las latitudes de 20° y 45°S y las longitudes de 105° y 65°W.

De lo anterior, se desprende que el Anticiclón del Pacífico Sur no presenta un corrimiento homogéneo en el tiempo ni el espacio, sino que el mismo se manifiesta con mayor significación en el periodo invernal, en menor medida, en el promedio anual y nulo en el verano. Esto podría concordar con los pronósticos de los modelos climáticos que vaticinan una aridización en el mediano y largo plazo para las regiones de Chile central, Cuyo y Comahue puesto que ese desplazamiento bloquearía a los mecanismos precipitantes tales como frentes, bajas segregadas y vaguadas, entre otras.

Agradecimientos

Se agradece a las siguientes instituciones y proyectos por sus aportes económicos para el desarrollo de este trabajo:

- Universidad Nacional de San Juan y ANCYT, PICTO- UNSJ-2009-0150-BID,
- UNSJ, Proyecto: Variabilidad Espacial y Temporal del Clima de San Juan- Argentina- y su posible relación con el Cambio Climático Global. Cod. F916. Res. N° 37/11- Cs. CICITCA-UNSJ.
- Laboratorio Climatológico Sudamericano, Secretaría de Energía por los datos proporcionados para esta investigación.
- NCEP/ENCAR y la NOAA por los datos del reanálisis y su tratamiento.

Bibliografía

DARGAN, M.; FRIERSON, W., JIAN, L. and GANG, C. 2007. Width of the Hadley cell in simple and circulation models comprehensive general. *Geophysical research letters*, vol. 34. USA.

EVERITT, B. 1981: "Cluster Analysis" J. Willey & Sons, 12-17.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K.; ROPELLEWSKI, C.; WANG, J.; LEETNAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R. and JOSEPH, D., 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77: 437-471.

KISTLER, R.; KALNAY, E.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; CHELLIAN, M.; EBISUZAKI, W.; KANAMITSO, M.; KOUSKY, V.; VAN, H.; JENNE, R., and FIORINO, M., 2001. The ENCEP-NCAR 50-years reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82: 247-267.

KUIPER, F. and FISHER, L. 1975. A Monte Carlo comparison of six clustering procedures. *Biometrics*, 31, 777-783.

LU, J.; VECCHI, G.; REICHLER, T. 2008. Expansion of the Hadley cell under global warming. UCAR. GFDL/NOAA. Princeton University, Princeton, USA.

MINETTI, J., y VARGAS, W., 1983. Comportamiento del borde anticiclónico subtropical en Sudamérica - I Parte. *Meteorológica* vol. XIV, N° 1 y 2, 645-656.

MINETTI, J. y VARGAS, W., 1990. Comportamiento del borde anticiclónico subtropical en Sudamérica- II Parte. Rev. Geofísica IPGH-OEA-México N° 33, 179-190.

MINETTI, J. 2013. Artículo periodístico en el Diario La Gaceta de Tucumán con fecha 28-mar-2013.

MINETTI, J.; MENEGAZZO, M.; RADICELLA, S; y SAL PAZ, J. 1982. La actividad anticiclónica y las precipitaciones en Chile y en la zona cordillerana central andina. Rev. Geofísica IPGH-OEA. México, N° 16, 145-157.

MINETTI, J.; VARGAS, W.; POBLETE, A., y MENDOZA, E. 2009. Latitudinal Positioning of the Subtropical Anticyclone (L) along the Chilean Coast Publicado en : Aus. Met. and Oce. Jou. 58, 91-101.

MONTGOMERY, D.; JOHNSON, C., and LYNWOOD, A., 1976. Time-series analysis; Forecasting Book McGraw-Hill (New York). (ISBN 0070428573).

PITTOCK, A., 1980. Modelos de variación climática en la Argentina y Chile. Sección Primera, Precipitación 1931-60. Meteorológica vol. XI, N°1, 73-97. CAM. Bs.As.

POBLETE, A., e IRANZO, D., 2011. Análisis dinámico del periodo nival más seco del Siglo XX en los Andes Centrales. Expuesto en las IX Jornadas Nacionales de Geografía Física Bahía Blanca, 19 al 21 de Abril de 2012.

QUINTANA, J., ACEITUNO, P. 2012. Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43° S Rev. Atmósfera 25. UNAM. México. pp 1-22.

RADICELLA, S.; MINETTI, J.; SAAVEDRA, N., y VALDIVIA, J., 1989. Estudio hidroclimatológico de zonas áridas y semiáridas de Latinoamérica. Rev. Geofísica N° 30, IPGH-OEA. México. 19-30.

SEAGER, R.; NAIK, N., and VECCHI, A. 2010. Thermodynamic and dynamic mechanisms for large-scale changes in the hydrological cycle in response to global warming. Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University. Palisades, New York 10964.

SIEGEL, S. y CASTELLAN, N. 1988. Nonparametric Statistics for the Behavioral.

ULATE MEDRANO, M. 2006. Hadley Cell (HC) Circulation response to Climate Change and Global Warming Projections. Introduction to Physical Oceanography MPO-503 - Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Sciences - University of Miami. USA.

URIEL, E., 1985. Análisis de series temporales-Modelos ARIMA. Colección Abaco, Paraninfo. 270 pp. Madrid.

WARD, E., 1963. Hierarchical Groupings to optimise an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, vol 58, 236-244.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). 1966. *Climatic Change*. Technical Note Nro. 79. Geneve. 264 pp.

Fecha de recepción: 3 de mayo de 2013

Fecha de aceptación: 15 de agosto de 2013

© 2013 por los autores; licencia otorgada a la Revista Universitaria de Geografía. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia Atribución-NoComercial 2.5 Argentina de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/deed.es_AR