

Variabilidad temporal de las precipitaciones en vertientes opuestas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina¹

Jorge O. Gentili*
Verónica Gil**

Resumen

El objetivo del presente trabajo es analizar la variabilidad temporal de los registros pluviométricos (1951-2000) de dos estaciones representativas de las cuencas de los arroyos El Pantanoso y El Negro, subcuencas de las cuencas altas de los ríos Sauce Corto y Sauce Grande respectivamente. Las dos estaciones pluviométricas están situadas en vertientes opuestas del Sistema de Ventania. La caracterización del comportamiento se realizó a través del análisis de valores de centralidad y dispersión de las series de datos. Para ello se aplicaron técnicas de la estadística descriptiva tradicionalmente asociadas al análisis de las precipitaciones. A partir del análisis anual de la precipitación se pudo comprobar la mayor variabilidad interanual y dispersión de los valores de El Pantanoso respecto a Nonthué. Los valores medios anuales son de 796,9 mm para El Pantanoso y de 757,2 mm para Nonthué. Con el análisis estacional se comprobó que en todas las estaciones del año, las lluvias son mayores en El Pantanoso, con diferencias máximas de 15,5 mm en el verano y mínimas de 3,3 mm en primavera. Se observaron valores crecientes de las precipitaciones de verano en ambas estaciones desde el decenio 1951-60.

Palabras clave: Precipitaciones, Variabilidad temporal, Análisis estadístico, Sistema de Ventania.

* Docente-Investigador, UNS. 12 de octubre 1198, 4to piso. jogentili@uns.edu.ar

** Docente-Investigadora, UNS-CONICET, 12 de octubre 1198, 4to piso. verogil@uns.edu.ar

¹ El presente trabajo se realizó en el marco de los proyectos de investigación “*Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas a diversas escalas témporo-espaciales*” dirigido por la Dra. Alicia M. Campo y subsidiado por la SGCyT-UNS y “*Dinámica hidrogeomorfológica aplicada al estudio del peligro hidrometeorológico en cuencas serranas*” dirigido por la Dra. Verónica Gil y subsidiado por CONICET.

Temporal rainfall variability in opposite slopes in the Ventania System, Buenos Aires, Argentina

Abstract

The aim of this paper is to analyze the temporal variability of rainfall records (1951-2000) two representative stations for the basins of the streams El Pantanoso and El Negro, sub-basins of the upper basins of the rivers Sauce Corto and Sauce Grande respectively. Both rainfall stations are located on opposite sides of Ventania System. Behavioral characterization was performed through analysis of centrality values and dispersion of the data series. To that end, techniques for descriptive statistics traditionally associated with precipitation analysis were applied. From the annual precipitation analysis it was found larger inter-annual variability and dispersion of the values in El Pantanoso. Annual average values are 796.9 mm for El Pantanoso and 757.2 mm for Nonthué. A seasonal analysis showed that in all seasons of the year, rainfall is higher in El Pantanoso, with maximum differences of 15.5 mm in summer and a minimum of 3.3 mm in spring. Increasing values were observed in summer rainfall in both seasons from 1951 to 1960.

Key words: Precipitations, Temporal variability, Statistical analysis, Ventania System.

Introducción

Los patrones de distribución de las lluvias son muy variables y en las regiones donde la variabilidad temporal es alta la sociedad está afectada por ciclos secos y húmedos (Penalba y Vargas, 1996; 2004). En la Argentina Sierra *et al.* (1995), Ravelo *et al.* (2005), Vergara *et al.* (2008), Carbone *et al.* (2008), Bohn *et al.* (2011) y Scarpati y Capriolo (2013) estudiaron esta variabilidad y los efectos sobre actividades socio-económicas. En la región del suroeste bonaerense Scian (2002; 2009), Zapperi *et al.* (2006; 2007), Gil *et al.* (2008), Campo *et al.* (2009) analizaron variaciones temporales y espaciales de la precipitación y advirtieron importantes diferencias en los montos anuales y mensuales para los años analizados estableciendo, en algunos casos, su relación con fenómenos climatológicos de escala mundial. Sin embargo, son escasos los trabajos donde se focaliza el análisis de las precipitaciones a escala de cuenca hídrica. La importancia de este enfoque radica en que la cantidad e intensidad de las lluvias que se reparten de manera desigual en una cuenca se refleja en los caudales. Por ello, la determinación del comportamiento hidrológico ante eventos de lluvia requiere previamente un análisis temporal y espacial de los registros pluviométricos existentes (Gil, 2011).

En muchos lugares del país la escasez de registros pluviométricos es frecuente. Asimismo, es limitada la información de los caudales en cuencas medias y pequeñas. Esto intensifica la necesidad de abordar el análisis conjunto de variables geomorfológicas, edafológicas, biogeográficas y climáticas para el conocimiento de la dinámica hidrográfica de cuencas.

El suroeste bonaerense representa la parte más austral de la llanura pampeana y se caracteriza por una marcada variabilidad interanual y anual de las precipitaciones. A escala local el Sistema de Ventania genera un cambio en el comportamiento y los montos de las lluvias (Zapperi *et al.*, 2007; Gil (2010; 2011); Gentili *et al.*, 2011). Dado que en él nacen las principales cuencas hidrográficas de la región conocer cómo varían temporalmente las precipitaciones contribuye a determinar características dinámicas de los sistemas fluviales y permite el conocimiento de la disponibilidad del recurso agua. Por lo expuesto, el objetivo del presente trabajo es analizar la variabilidad temporal de los registros pluviométricos (1951-2000) de dos estaciones representativas de las cuencas de los arroyos El Pantanoso y El Negro, subcuencas de las cuencas altas de los ríos Sauce Corto y Sauce Grande respectivamente. La originalidad del trabajo se sustenta en la escala climática local que corresponde a dos vertientes opuestas de un sistema serrano orientadas una hacia el noroeste y otra al sureste.

Dada la escasez de datos planteada al inicio del presente apartado, resulta necesario abordar el estudio de las precipitaciones en estaciones que sean de referencia de una cuenca para posteriormente poder relacionarlo con el sistema cuenca. En esta línea, el trabajo contribuye al establecimiento de una secuencia de análisis exhaustivo que permite la descripción de las características temporales

de la precipitación para una estación de referencia. Esta secuencia de análisis es factible de aplicar en cuencas medias y pequeñas de otras zonas climáticas.

Metodología

Los datos corresponden a dos estaciones pluviométricas situadas en vertientes opuestas del Sistema de Ventania. El pluviómetro de la estancia El Pantanoso está localizado en la vertiente norte a los 37°58'12" S y 61°53'24" O a una altura de 405 msnm. El pluviómetro de la estancia Nonthué se encuentra en la vertiente sur a los 38°2'42" S y 61°51'6" O a una altura de 400 msnm. La serie temporal considerada está comprendida entre los años 1951 y 2000.

Se realizó un análisis de las precipitaciones a diferentes escalas temporales: decádica, anual, estacional y mensual. Para una adecuada descripción del conjunto de datos la caracterización del comportamiento de cada una de las estaciones se realizó a través del análisis de valores de centralidad y dispersión de la serie. Para ello se aplican técnicas de la estadística descriptiva tradicionalmente asociadas al análisis de las precipitaciones (Remenieras, 1974; Fernández García, 1996; Usai, 2008). Las medidas de tendencia central utilizadas fueron media y mediana y las medidas de dispersión fueron desvío estándar, coeficiente de variación, máxima, mínima y amplitud. Para el caso de las precipitaciones anuales se analizaron: las frecuencias (absoluta y relativa), las anomalías de precipitación a partir de la normalización respecto de la media de los 50 años considerados y el Índice de Concentración de las Precipitaciones (I_d) (Heras, 1983), calculado según la siguiente fórmula:

$$I_d = \frac{\sum_1^3 P_i}{0.5 \times \sum_4^{12} P_j} \quad [1]$$

Donde:

$\sum_1^3 P_i \sum_1^3 P_i$: mayor suma de tres meses consecutivos

$\sum_4^{12} P_j \sum_4^{12} P_j$: suma del resto de los meses

Todos los resultados son presentados en tablas, gráficos rectangulares y diagramas de caja y contrastados con trabajos precedentes en la temática. La elaboración se realizó mediante Excel 2010 (Microsoft Office) y SPSS Statistics 21 (IBM).

Área de estudio

El área de estudio corresponde a un sector del valle interserrano del Sistema de Ventania, provincia de Buenos Aires, Argentina. Por este valle discurren las cabeceras de los ríos Sauce Grande y Sauce Corto. El río Sauce Grande, de vertiente atlántica, drena hacia el sur y recibe aguas provenientes de las sierras de la Ventana, Tunas y Pillahuincó. El Sauce Corto drena hacia el norte aportando las aguas a la cuenca endorreica de las lagunas que ocupan la depresión Carhué-Vallimanca. Este último recibe afluentes provenientes de las sierras de Bravard, Ventana y Tunas (Fig. 1).

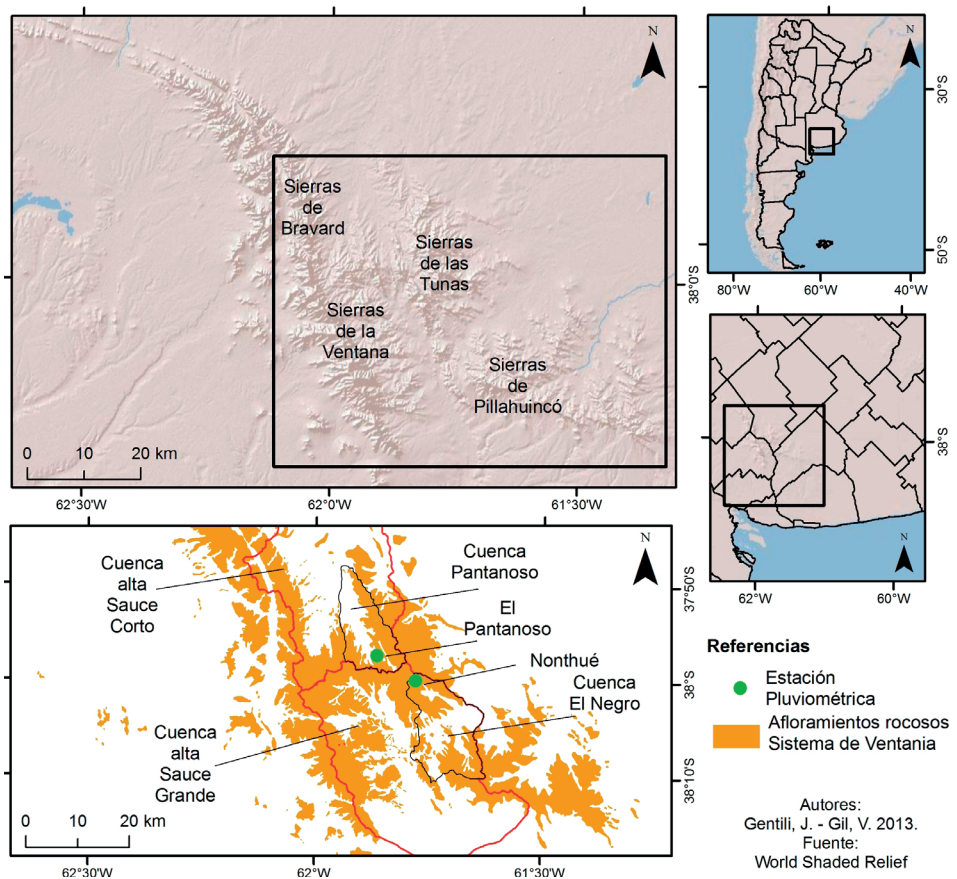


Figura 1. Área de estudio. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

Las estaciones pluviométricas a analizar son las estaciones de referencia para las subcuencas de El Pantanoso (cuenca alta Sauce Corto) y El Negro (cuenca alta Sauce Grande). Poseen una superficie de 150 km² y 206 km² respectivamente. El Pantanoso presenta orientación noroeste y Nonthué orientación sureste. La

correspondencia entre los eventos de precipitación y caudal fueron demostrados en estudios previos realizados por Gil (2010; 2011) y Gentili (2012).

A escala zonal el área se localiza en la franja de climas templados con veranos e inviernos bien marcados y primaveras y otoños moderados. A lo largo de esta faja climática y a escala climática regional se presentan variaciones espaciales en las temperaturas y en las precipitaciones que tienen relación con la continentalidad, exposición a los flujos de aire dominantes, orientación de la costa y corrientes oceánicas (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). Particularmente, la presencia del Sistema de Ventania genera una sobreexcitación orográfica de las precipitaciones del orden de los 110 mm (Casado *et al.*, 2007) que quedó evidenciada a lo largo de todo el valle interserrano (Campo *et al.*, 2012). Como forma de precipitación dominan las lluvias en tanto que las nieves no se dan todos los años. Éstas, cuando ocurren lo hacen entre los meses de julio y agosto, principalmente en los niveles más altos de las sierras y sólo en ocasiones a nivel de superficie (Gil, 2011).

Resultados y discusión

La precipitación constituye la entrada al sistema cuenca. Su tipo, cantidad y distribución son factores determinantes de la dinámica hidrográfica (Sala Sanjaume y Batalla Villanueva, 1996). La precipitación es un fenómeno hidrológico que varía en el tiempo y en el espacio y su variabilidad se incrementa a medida que los intervalos de tiempo considerados para su análisis son más cortos (Remenieras, 1974).

Oscilaciones seculares de las precipitaciones: análisis decádico

En referencia a los valores medios, en los decenios 1951-60, 1981-90 y 1991-00 los montos de precipitaciones son mayores en El Pantanoso, con diferencias mayores a 65 mm: 68,4 mm, 66,7 mm y 69,1 mm respectivamente. En los decenios restantes, las diferencias fueron inferiores a 10 mm. En el decenio 1961-70 las lluvias de Nonthué fueron levemente superiores (7,1 mm), mientras que en los diez años desde 1971 a 1980 los valores de El Pantanoso fueron levemente superiores (1,6 mm) (Fig. 2).

A partir de la década 1961-70 se observa un aumento del valor medio anual de las precipitaciones en ambas estaciones. En El Pantanoso el aumento fue de 176,1 mm mientras que en Nonthué fue de 102,1 mm, incremento que comenzó en la década precedente. Gentili (2012) analizó las variaciones decádicas en El Pantanoso en el período 1961-2010 donde el valor medio del decenio 2001-2010 fue de 811,9 mm. La comparación de dicho valor con los presentados en la figura 2 muestra un inicio de descenso de las precipitaciones en El Pantanoso. Es posible entonces, hablar de oscilaciones seculares (Pédelaborde, 1970) de aproximadamente 40 años de duración.

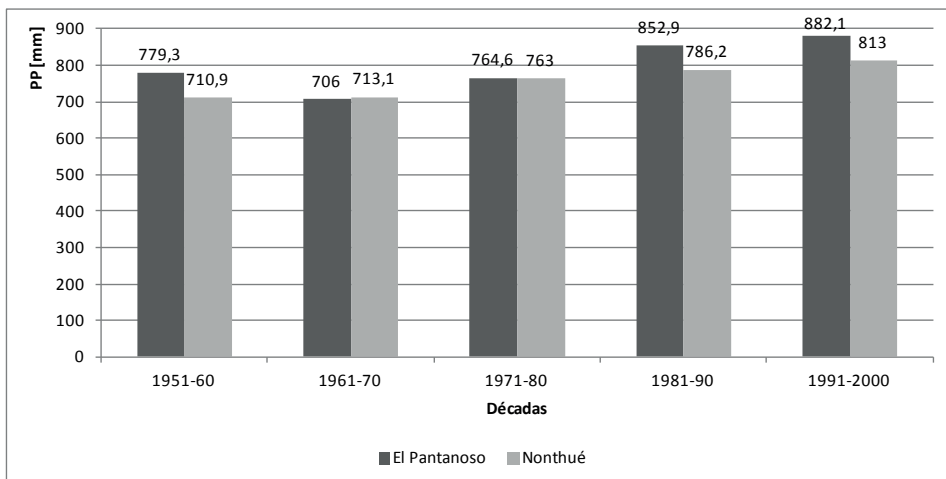


Figura 2. Precipitaciones medias decádicas para el período 1951-2000 en las estaciones de referencia. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

Variabilidad interanual

La precipitación media anual para el período 1951-2000 en la estación Pantanoso es de 796,9 mm y en la estación Nonthué de 757,2 mm. En la figura 3 se observa la alternancia anual de años con valores sobre y por debajo de la media de los 50 años considerados. En general presentan una variación similar, a excepción de algunos valores anuales extremos. Los más bajos se produjeron para ambas estaciones en el año 1962 con 293 mm (El Pantanoso) y 354 mm (Nonthué) mientras que el registro medio anual más alto fue en 1992 para El Pantanoso (1.282,5 mm) y en 1985 para Nonthué (1.110,2 mm).

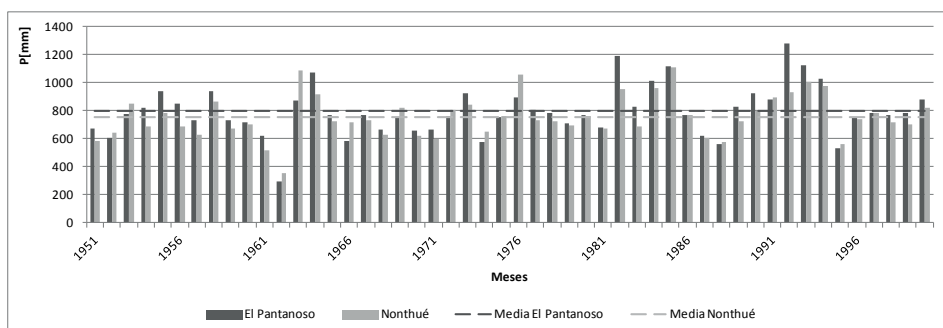


Figura 3. Precipitaciones medias anuales para el período 1951-2000 en las estaciones de referencia. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

El valor medio anual es el valor central más utilizado en los parámetros climáticos. Sin embargo, la mediana es importante ya que representa el valor central de las precipitaciones ordenadas según su cantidad y es independiente de los valores extremos de precipitación, ventaja respecto de la media. En este caso, se obtuvo una mediana de 768,25 mm para El Pantanoso y 727,7 mm para Nonthué (Tabla I).

Medidas de centralidad	El Pantanoso (mm)	Nonthué (mm)
Media	796,9	757,2
Mediana	768,3	727,8
Medidas de dispersión		
Desvío estándar	179,1	151,3
Máximo	1.282,5	1.110,3
Mínimo	293,0	354,5
Amplitud	989,5	755,8

Tabla I. Medidas de dispersión y centralidad para las estaciones analizadas en el período 1951-2000. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

Para determinar la dispersión de los valores se calculó la amplitud entre el valor máximo y mínimo de precipitación registrado y la desviación típica. En este caso cabe destacar la mayor amplitud y desvío estándar que presenta El Pantanoso respecto de Nonthué. Estos valores son indicativos de la mayor variabilidad interanual y dispersión de los valores en El Pantanoso.

Anomalías de precipitación

En la figura 4 se observa que las mayores anomalías negativas corresponden en ambas estaciones al año 1962, con menor monto para El Pantanoso (-504 mm) respecto de Nonthué (-402,7 mm). Por el contrario, las mayores anomalías positivas de las estaciones no son en años coincidentes. Para El Pantanoso ocurren en 1982 (391,5 mm) y 1992 (485,5 mm) mientras que en Nonthué ocurren en 1963 (331,3 mm) y 1985 (353 mm).

En términos generales, las anomalías presentan el mismo signo para ambas estaciones. En los casos en que los signos son opuestos (12 años), el valor absoluto de las anomalías osciló entre los 30 y los 120 mm. En las primeras dos décadas las variaciones fueron máximas (entre 90 y 120 mm en 4 casos). En los dos decenios siguientes (1971-1980; 1981-1990) aumenta la frecuencia de anomalías con signos opuestos (7 casos) con variaciones entre 33 y 100 mm. Por último, entre 1990 y 2000 solo se presentó un caso con una diferencia de 39 mm.

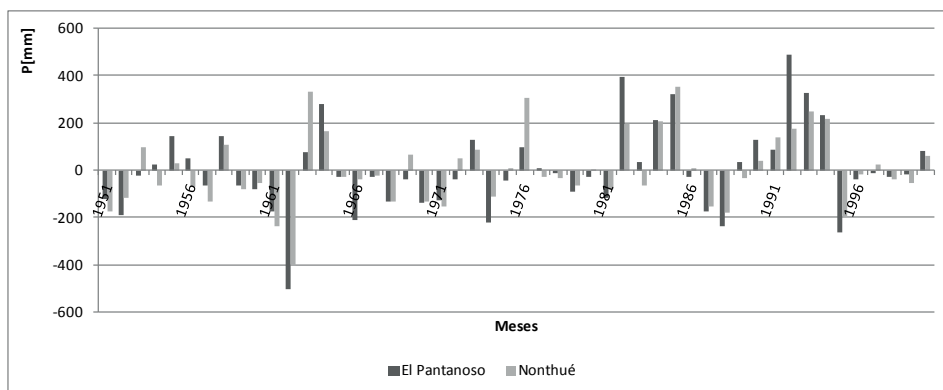


Figura 4. Anomalías de precipitación normalizadas al período 1951-2000 para las estaciones de interés. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

Aproximación al tratamiento probabilístico de las precipitaciones

Para el tratamiento probabilístico de las precipitaciones anuales se consideró como muestra a los 50 registros de precipitación observados durante el período 1951-2000 en cada una de las estaciones. Se definieron 22 clases con intervalos discretos de 50 mm amplitud para incluir la totalidad de los módulos pluviométricos anuales observados que componen la muestra. Los 50 valores anuales están comprendidos entre 250 mm y 1300 mm, rango factible de ocurrencia de las precipitaciones en ambas estaciones para el período analizado. En cada clase, el límite inferior es cerrado y el límite superior es abierto.

En la figura 5.a se observan marcadas diferencias en las frecuencias anuales de ambas estaciones. Mientras que en El Pantanoso la máxima frecuencia (13 registros) correspondió al intervalo [750-800), en Nonthué el máximo ocurre en el intervalo [700-750) con 10 registros. En el caso de El Pantanoso, la diferencia entre la clase más frecuente y las que siguen inmediatamente a ésta es notoria: [650-700) y [800-850) con 5 registros cada una. En Nonthué, en cambio, siguen al intervalo más frecuente, el de [600-650) con 7 registros y los de [650-700) y [750-800) con 6 registros cada uno. En ambas estaciones, las clases de los extremos son poco representativas, con registros únicos o nulos. En las figuras 5.b y 5.c se observan claramente las diferencias porcentuales en la distribución de frecuencias.

La probabilidad de ocurrencia de módulos anuales en la clase más frecuente es de 26 % para El Pantanoso y 20 % para Nonthué. En El Pantanoso, las clases menos frecuentes corresponden a los extremos del histograma (Fig. 5.b) [250-300) y [1250-1300) junto a [500-550), [1050-1100) y [1150-1200) todas con 2 % de probabilidades de ocurrencia de una precipitación que corresponda a dichas clases. Con la misma probabilidad que las últimas, las clases menos frecuentes en Nonthué son [350-400), [1000-1050) y [1100-1150). Los resultados de las probabilidades

estimadas a partir de una muestra son aproximados debido a que dependen de los valores observados en una muestra de tamaño limitado (Chow *et al.*, 1994). No obstante ello, sirven como referencia al momento del análisis.

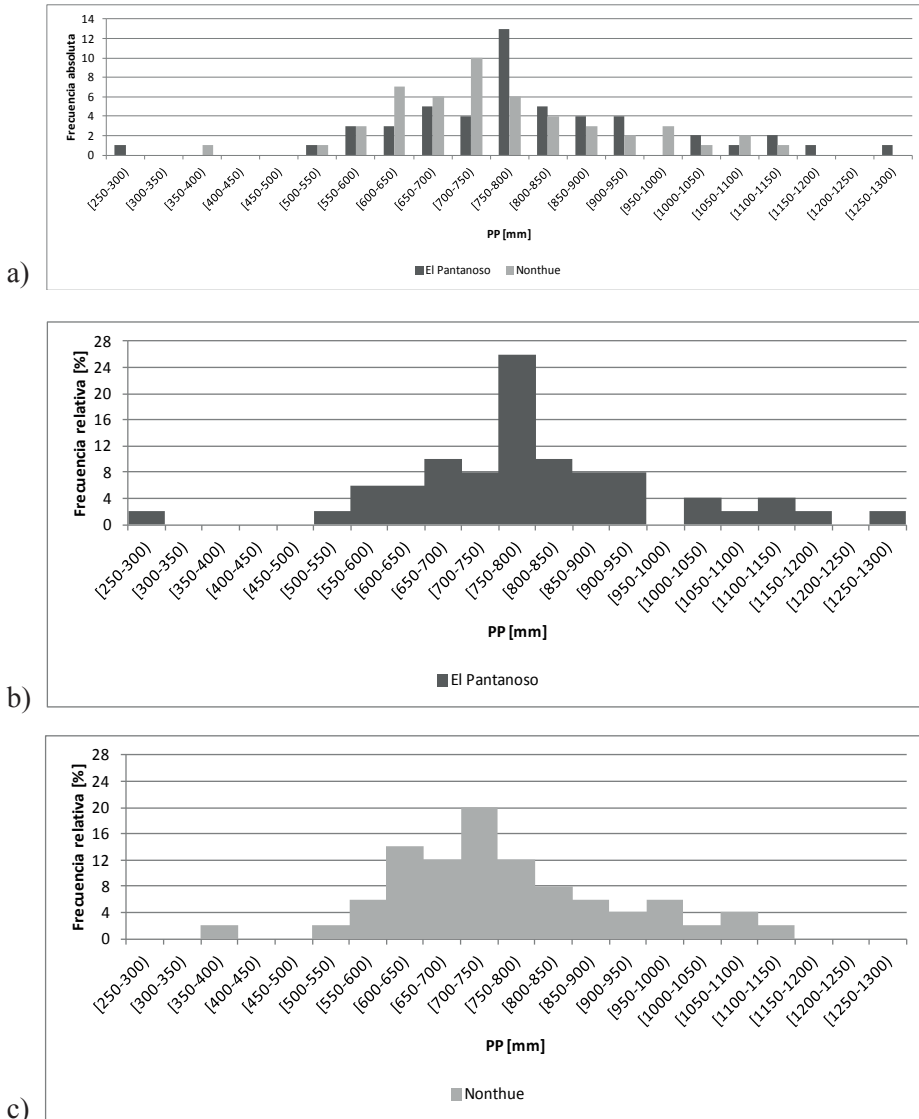


Figura 5. a) Polígono de Frecuencia Absoluta de la precipitación anual de las estaciones El Pantanoso y Nonthué para el período 1951-2000. Polígonos de Frecuencia Relativa para las estaciones b) El Pantanoso y c) Nonthué para el período 1951-2000. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

Variaciones estacionales interdecádicas

En cuanto a las diferencias estacionales, si se consideran los valores medios para los 50 años de la serie temporal se observa claramente que tanto en El Pantanoso como en Nonthué la estación más lluviosa es el verano, seguido por el otoño y luego la primavera, ambos con valores medios absolutos muy próximos entre sí y respecto del verano (Fig. 6). Para todas las estaciones del año, las lluvias son mayores en El Pantanoso, con diferencias máximas de 15,5 mm en el verano y mínimas de 3,3 mm en primavera. Las máximas precipitaciones de verano coinciden con los resultados obtenidos por Gentili (2012) para las estaciones Sauce Corto y Coronel Suárez (localizadas hacia el norte de El Pantanoso) en el período 1961-2010.

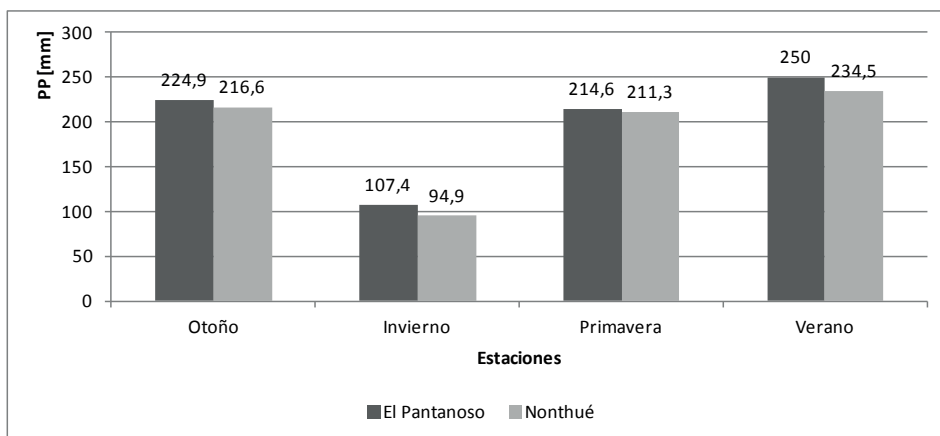


Figura 6. Precipitación media estacional para el período 1951-2000 en las estaciones de referencia. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

La evolución de las precipitaciones estacionales durante los últimos 50 años muestra algunas particularidades a destacar (Fig. 7). En principio, todos los decenios presentan un valor mínimo en el invierno. El otoño fue la estación más lluviosa en El Pantanoso y Nonthué en el decenio 1951-60 y desde el decenio siguiente, el verano comienza a ser la estación más lluviosa para ambos casos hasta el final de la serie analizada inclusive. Asimismo, el otoño siempre presentó valores absolutos medios superiores a la primavera a excepción de 1961-70.

El suroeste de la provincia de Buenos Aires se caracteriza por una estacionalidad de las lluvias en otoño y primavera (Campo *et al.*, 2004). Sin embargo, el análisis de los datos de las estaciones en el valle interserrano se escapa de esta generalización. La figura 7 muestra los valores crecientes de las precipitaciones de verano en ambas estaciones desde el decenio 1951-60 hasta 1991-2000. Para este caso entonces, el aumento de las precipitaciones de verano no es un fenómeno de los últimos tiempos, sino que se manifiesta sucesivamente desde la década de los cincuenta.

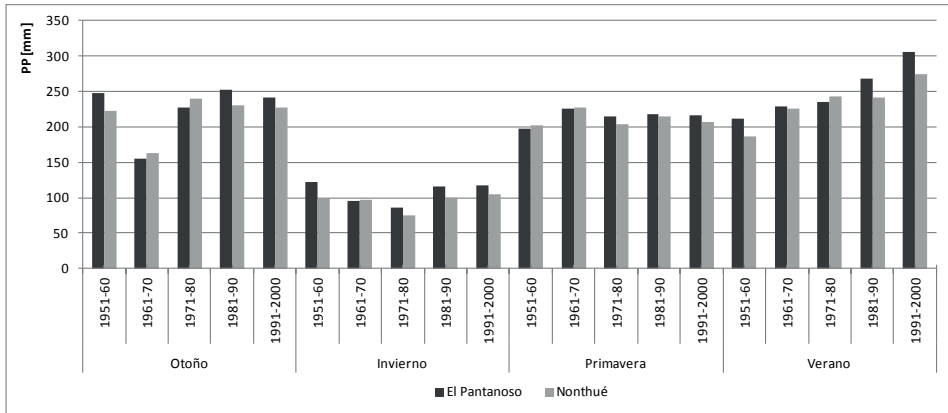


Figura 7. Variaciones interdecádicas de las precipitaciones estacionales para los decenios comprendidos entre 1951-2000 en las estaciones de referencia. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

Distribución mensual de lluvias: regímenes pluviométricos

La dinámica de circulación general atmosférica que controla los mecanismos de la circulación regional distribuye irregularmente las precipitaciones a lo largo del año. Así no sólo existe una diferencia estacional en los montos precipitados sino que aún más marcada es la diferencia de los valores mensuales (Romero Díaz, 1989).

Para las dos estaciones consideradas la distribución de las lluvias a lo largo del año es semejante en el período analizado. Los máximos valores medios mensuales se dan en marzo (97,7 mm en ambas estaciones). Los siguientes valores medios son en diciembre para El Pantanoso (89,4 mm) y febrero (87,4 mm) y diciembre (87,3 mm) para Nonthué. Por otra parte, el período más seco ocurre en los meses de junio, julio y agosto (Fig. 8).

Cuando se analizaron los valores mensuales extremos se observó que se registraron en los meses de febrero, marzo y octubre en El Pantanoso y marzo, diciembre y febrero en Nonthué. Estos valores extremos no coinciden en todos los casos con los meses de máximo valor medio. Esta situación pone en evidencia la necesidad del análisis conjunto de valores medios y extremos (Remenieras, 1974; Chow *et al.*, 1994; Fernández García, 1996).

Los coeficientes de variación mensuales para cada estación son iguales a excepción de los meses de febrero, junio, noviembre y diciembre (Tabla II). En dicho meses la estación Nonthué presenta valores mayores. En el caso de febrero, noviembre y diciembre la diferencia es de 0,1 mientras que en junio es de 0,5. El CV es 1,5 para ambas estaciones en el mes de julio y en Nonthué es de 1,6 en el mes de junio. Esto indica que la dispersión de las precipitaciones es máxima en

dichos meses.

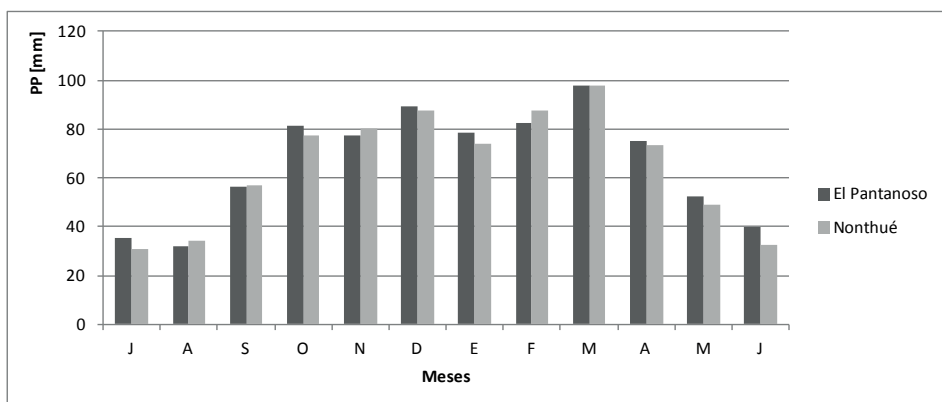


Figura 8. Precipitación media mensual para el período 1951-2000 en las estaciones de referencia. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

El Pantanoso	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Desvío estándar	54,3	60	58,1	69,5	42,9	35,5	38	30	46,5	50,2	38,0	55,6
CV	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	1,1	1,5	1,1	1,0	0,7	0,5	0,7
Máximo	207,5	268	307,5	383	151,5	143,5	229,5	118	241,5	253	190,5	239
Mínimo	10	1,5	2	0	0	0	0	0	0	10	5	8
Amplitud	197,5	266,5	305,5	383	151,5	143,5	229,5	118	241,5	243	185,5	231
Nonthué												
Desvío estándar	48,4	62,3	61,9	60,7	36,8	32,5	35	25,5	47,7	46	46,8	54,1
CV	0,9	0,9	0,7	1,1	0,9	1,6	1,5	1,1	1,0	0,7	0,6	0,8
Máximo	211,3	259	294	274,5	142,8	143,5	158	108,8	259	199,5	240	276,8
Mínimo	3	0	18	0	0	0	0	0	3	4	7	0
Amplitud	208,3	259	276	274,5	142,8	143,5	158	108,8	256	195,5	233	276,8

Tabla II. Medidas de dispersión para las estaciones El Pantanoso y Nonthué para el período 1951-2000. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

El análisis del régimen pluviométrico con valores medios resulta solo útil para la comparación entre distintas estaciones, pero no con fines de gestión del recurso agua. Para ello es más representativo el trabajo con los cuantiles de las series

mensuales (Fernández García, 1996). Dentro de las herramientas de la estadística descriptiva, los gráficos de caja (*box-plot*) permiten a través de la mediana, los cuartiles 1 y 3 y los valores máximos y mínimos mostrar la forma y la dispersión de las observaciones. Para la estación El Pantanoso (Fig. 9.a), se observa que los meses de enero, junio, julio y octubre presentan distribuciones asimétricas con sesgo hacia los valores mayores. Esta situación indica una mayor dispersión de los datos comprendidos entre la mediana y el cuartil 3. Al igual que en El Pantanoso, en la estación Nonthué (Fig. 9.b) enero, junio, julio, agosto y octubre presentan distribuciones asimétricas con sesgo hacia los valores mayores, junto a mayo. En el mes de noviembre en cambio la asimetría presenta un sesgo hacia los valores menores, que indica una mayor dispersión de los valores comprendidos entre el cuartil 1 y la mediana.

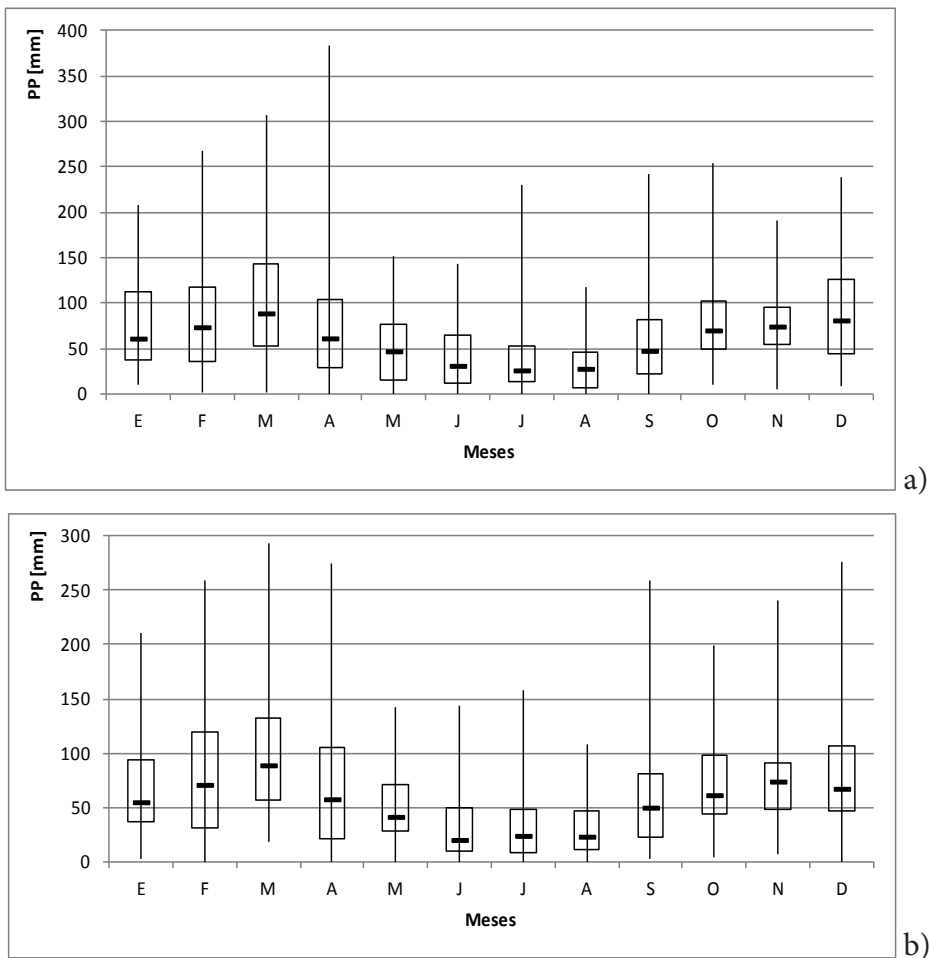


Figura 9. Gráfico de caja para el período 1951-2000 de a) El Pantanoso y b) Nonthué. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

Concentración de las precipitaciones

El Índice de Concentración de las Precipitaciones propuesto por Heras (1983) relaciona el trimestre más lluvioso de un año con los 9 meses restantes, siendo el resultado de dicha relación independiente de las precipitaciones absolutas registradas. Por una parte, es posible identificar la frecuencia de trimestres más lluviosos como complemento al análisis trimestral ligado a las estaciones del año. En la figura 10 se presentan comparativamente la frecuencia de trimestres lluviosos para ambas estaciones. La mayor frecuencia corresponde al trimestre octubre-noviembre-diciembre (coincidente con la primavera), que en El Pantanoso ocurrió en 12 de los años y en Nonthué en 11 de los 50 años. El segundo trimestre más lluvioso en ambas estaciones es noviembre-diciembre-enero con 9 ocurrencias en El Pantanoso y 10 ocurrencias en Nonthué. En esta última estación también enero-febrero-marzo tiene un valor de frecuencia de 10. Los trimestres menos lluviosos (sin ocurrencias) son: mayo-junio-julio, junio-julio-agosto y agosto-septiembre-octubre coincidentes para ambas estaciones.

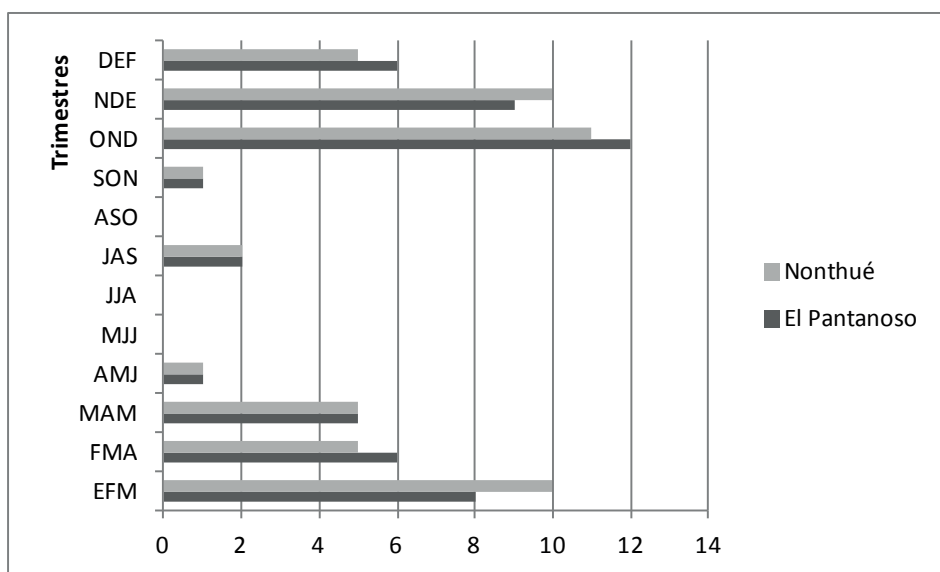


Figura 10. Frecuencia de trimestres más lluviosos para el período 1951-2000 en El Pantanoso y Nonthué. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

Adicionalmente, el análisis cuantitativo del valor resultante del cálculo del índice posibilita la identificación de años con elevados índices de concentración y en el extremo opuestos años con una distribución mensual más homogénea de las lluvias (I_d menores) (Fig. 11). Para el caso de El Pantanoso, el valor más alto del índice se obtuvo para 1980 (2,69). En los años 1956, 1962, 1966, 1974, 1988 y 1995 también se obtuvieron valores elevados del índice. Por su parte, el valor

más bajo se fue en 1997 (0,88), seguido por 1987 y 1989. En Nonthué, el valor más alto del índice se obtuvo en 1988 (3,12). También en 1956, 1965 y 2000. El valor más bajo se obtuvo en 1997 (0,87), seguido por 1987 y 1964. En el año 1962, que presenta una elevada concentración de las precipitaciones (en los meses de noviembre-diciembre-enero) se registró el mínimo absoluto de precipitación para las dos estaciones de referencia (293 mm en El Pantanoso y 354,5 mm en Nonthué).

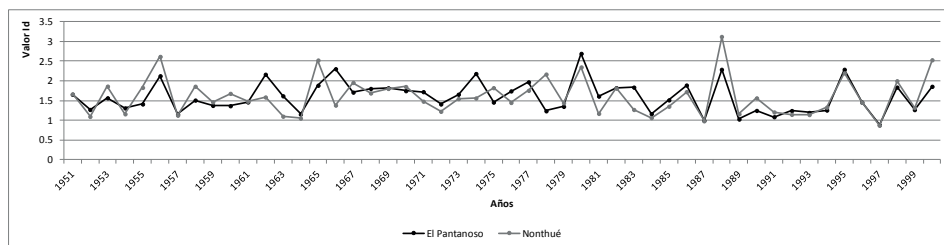


Figura 11. Índice de Concentración de las Precipitaciones para 1951-2000 en El Pantanoso y Nonthué. Fuente: Elaborado por Gentili y Gil, 2013.

Conclusiones

Del análisis realizado a escala decádica se pudo observar que a partir de la década 1961-70 hubo un aumento del valor medio anual de las precipitaciones en ambas estaciones. En el Pantanoso el aumento fue de 176,1 mm mientras que en Nonthué fue de 102,1 mm, incremento que comenzó en la década precedente.

La precipitación media anual para 1951-2000 es mayor en El Pantanoso (798,9 mm) respecto de Nonthué (757,2 mm). No obstante ello, se observó una elevada alternancia anual de valores por encima y por debajo de la media, más acentuada en El Pantanoso. Las anomalías de precipitación normalizadas presentaron en términos generales el mismo signo, a excepción de 12 de los años, en los cuales el valor absoluto de las diferencias osciló entre 30 y 120 mm. El análisis de frecuencia mostró que en El Pantanoso la máxima frecuencia (13 registros) correspondió al intervalo [750-800) y en Nonthué el máximo ocurrió en el intervalo [700-750) con 10 registros. La probabilidad de ocurrencia de módulos anuales en los intervalos mencionados es de 26 % para El Pantanoso y 20 % para Nonthué.

El análisis estacional y mensual conjunto arrojó resultados de interés. La evolución de las precipitaciones estacionales durante los últimos 50 años presentó un valor mínimo en invierno. El otoño fue la estación más lluviosa en El Pantanoso y Nonthué en el decenio 1951-60 y desde el decenio siguiente, el verano comenzó a ser la estación más lluviosa para ambos casos hasta el final de la serie analizada inclusive. Se evidenció entonces una variación en la estacionalidad de las precipitaciones, donde predomina el verano. Esta situación se confirmó con

el análisis de la distribución mensual y el índice de concentración de las precipitaciones. La distribución mensual presentó para ambos sitios el máximo valor en marzo, seguido de elevados montos en febrero, octubre, diciembre y noviembre. Los elevados montos del mes de marzo no son suficientes para que el otoño sea la estación pluviométricamente más importante dado el descenso notorio de los valores en los meses de abril y mayo. Por el contrario, los valores altos continuos durante los meses de verano posicionaron a esta como la estación más lluviosa. Los resultados expuestos en este último párrafo son de especial interés para la planificación hidrológica ya que genera la necesidad de repensar la gestión del recurso agua en las respectivas cuencas, teniendo en cuenta al verano como la estación más lluviosa.

La variabilidad observada en todas las escalas temporales para dos estaciones cercanas en vertientes opuestas permite inferir una gran variabilidad espacial dentro del valle interserrano. De esto último se vislumbra con claridad la necesidad de la implementación de una red de pluviómetros que permitan caracterizar cada subcuenca con fines de una adecuada planificación del uso del agua.

Bibliografía

BOHN, V. Y., PICCOLO, M. C. y PERILLO, G. 2011. “Análisis de los períodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)”. *Revista Climatología*. España. Vol 11, pp. 31 - 43.

CAMPO DE FERRERAS, A., CAPELLI DE STEFFENS, A. y DIEZ, P. 2004. El clima del Suroeste bonaerense. Bahía Blanca: Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, 105 pp.

CAMPO, A. M., RAMOS, M. B. y ZAPPERI, P. A. 2009. “Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el suroeste bonaerense, Argentina.” En: XII Encuentro de Geógrafos de América latina. Montevideo, Uruguay. URL: http://egal2009.easyplanners.info/area07/7085_Campo_Alicia_M_.pdf

CAMPO, A.M., GENTILI, J.O. y GIL, V. 2012. *Estudio de las precipitaciones en valles interserranos del Sistema de Ventania, Argentina*. En: Actas XXXIII Congreso Nacional y XVIII Internacional de Geografía. Chile, Universidad de Tarapacá, 9 pp.

CARBONE, M. E., SCIAN, B. y PICCOLO, M. C. 2008. “Agricultural drought in the Claromeco river basin, Buenos Aires province, Argentina”. *Revista de Climatología*. España, vol. 8, p. 1 – 13.

CASADO, A. L., GIL, V. y CAMPO, A. M., 2007. Consecuencias de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario. Buenos Aires, Argentina. Revista Huellas N° 11. Miño y Dávila Editores, pp. 9-26.

CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R. y MAYS, L. W. 1994. Hidrología Aplicada. Bogotá: McGrawHill, 584 pp.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. 1996. Manual de Climatología Aplicada., Madrid: Editorial Síntesis, 285 pp. ISBN: 84-7738-275-1.

GENTILI, J. O. 2012. Hidrografía del arroyo Sauce Corto aplicada al estudio de inundaciones y anegamientos. Tesis de Doctorado en Geografía. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional de Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 146 pp.

GENTILI, J. O., CAMPO, A. M. y GIL, V. 2011. *Distribución espacial y temporal de las precipitaciones en la cuenca alta del arroyo Sauce Corto, Sistema de Ventania*. En: GAEA. Actas Científicas CNG 72° Semana de Geografía. Mar del Plata, GAEA, 2011, pp 115-126.

GIL, V. 2010. Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de Crecidas. Tesis de Doctorado en Geografía. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional de Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 262 pp.

GIL, V. 2011. *Variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones. Cuenca Alta del río Sauce Grande, Sistema de Ventania*. En: GAEA. Actas Científicas CNG 72° Semana de Geografía. Mar del Plata, GAEA, 2011, pp 127-139.

GIL, V., ZAPPERI, P., CAMPO, A., IUORNO, M. V. y RAMBORGER, M.A. 2008. *Análisis de las precipitaciones de otoño y primavera en el Suroeste bonaerense*. En: Actas VII Jornadas de Geografía Física. San Salvador de Jujuy, pp. 149 -158.

HERAS, R. 1983. Recursos Hidráulicos. Síntesis. Metodología y Normas. Madrid: Cooperativa de publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 631 pp.

PÉDELABORDE, P. 1970. Introduction a l'Etude Scientifique du Climat, Paris: Société d'Édition d'Enseignement Supérieur, 246 pp.

PENALBA, O.C y VARGAS, W.M. 1996. "Climatology of monthly and annual rainfall in Buenos Aires, Argentina. *Meteorological Applications*." John Wiley & Sons Ltd Vol 3, pp 275 – 282.

PENALBA, O. C. y VARGAS, W. M. 2004. "Interdecadal and interannual variations of anual and extreme precipitation over central-northeastern, Argentina." *Int. J. Climatol*. John Wiley & Sons, Ltd. Vol. 24. N° 2, pp. 1565 – 1580.

- RAVELO, A., IRASTORZA, R. y ZANVETOR, R. 2005. "Zonificación de la región pampeana argentina según tendencias de series pluviométricas (1931-2000)." *Rev. Arg. de Agrometeorología*. Córdoba: Sociedad Argentina de Agrometeorología. Vol. 3-4, pp 85-90.
- REMENIERAS, G. 1974. *Tratado de Hidrología Aplicada*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados. S.A, 515 pp.
- ROMERO DIAZ, M.A., 1989. *Las cuencas de los ríos Castril y Guardal (cabecera del Guadalquivir). Estudio Hidrogeomorfológico*. Granada: EXCMO-Ayuntamiento de Huéscar. 285 pp.
- SALA SANJAUME, M. y BATALLA VILLANUEVA, R. J. 1996. *Teoría y método en geografía física*. Madrid. Ed. Síntesis. 303 pp.
- SCARPATI, O. E. y CAPRIOLO, A. D. 2013. "Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina)." *Investigaciones Geográficas*. Mexico: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Vol. 82 pp, 1-14.
- SCIÁN, B. 2002. "Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida pampeana, Argentina." *Geoacta*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Vol 27, pp 30 - 52.
- SCIÁN, B. 2009. *Clima - Bahía Blanca y Sudoeste Bonaerense*. En: PAOLONI, J.D. (comp.) 2009. *Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca*. Bahía Blanca: EdiUNS, 240 pp.
- SIERRA, E.; HURTADO, R; SPECHA, L.; BARNATAN, I. y MESSINA, C. 1995. "Corrimiento de las isoyetas semestrales medias decenales (1941-1990) en la región pampeana." *Rev. Fac. Agr.* Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Vol. 15 n° 2 - 3, pp. 137 - 143.
- USAI, E. 2008. *Manuale di idrologia per la progettazione*. Ulrico Hoepli Editore, Milano. 207 pp. ISBN 978-88-203-4101-5.
- VERGARA, G.; CASAGRANDE, G. y ARNAIZ, J. 2008. "Caracterización agroclimática de las sequías (1970/2005) en tres localidades de la provincia de La Pampa, Argentina." *Agronomía Tropical*, Aragua, Venezuela: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) Vol. 58, n° 01, pp. 77 - 80.
- ZAPPERI, P.; CASADO, A.; GIL, V. y CAMPO, A. 2006. *Caracterización de las precipitaciones invernales en el Suroeste bonaerense*. En: *Actas IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur, pp. 63 - 68.
- ZAPPERI, P.; RAMOS, M.; GIL, V. y CAMPO, A. 2007. "Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense" *Contribuciones Científicas GAEA*. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, pp. 483 - 491.

Fecha de recepción: 3 de agosto de 2013

Fecha de aceptación: 31 de octubre 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