

Análisis de los periodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)

Vanesa Y. Bohn^{1,2}, M. Cintia Piccolo^{1,2} y Gerardo M.E. Perillo^{1,3}

¹ CONICET - Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Bahía Blanca, Argentina
(vbohn@criba.edu.ar)

² Dep. de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.

³ Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.

(Recibido: 04-Ene-2011. Publicado: 01-Abr-2011)

Resumen

El objetivo de este trabajo fue identificar los períodos secos y húmedos durante el período 1970-2008 en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) mediante métodos estadísticos. Se utilizaron el método de Quintiles y el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP). Además se analizó el impacto de los eventos extremos de precipitación sobre los cuerpos de agua superficiales de la región (lagunas). El área de las lagunas fue calculada durante tres años pluviométricamente diferentes. La metodología incluyó el procesamiento de imágenes satelitales Landsat 5 TM y 7 ETM+ e integración de datos espaciales en un Sistema de Información Geográfica (SIG). En el área de estudio y desde un punto de vista pluviométrico, los años 1998, 2002 y 2008 fueron considerados normales, húmedos y secos, respectivamente para toda el área de estudio. Los períodos secos más prolongados ocurrieron a partir del año 2005 hasta el fin del período estudiado en el oeste del área de estudio y durante la década de 1970 en los sectores central (1977-80), Este (1971-74) y Oeste (1971-74). En relación a períodos húmedos, los más prolongados ocurrieron durante las décadas de 1970 y 1980 en toda la región. Debido a que las lagunas se localizan en zonas de llanuras, se obtuvo una correlación positiva entre los valores de área cubierta por agua y la precipitación anual.

Palabras clave: precipitación, quintiles, Índice Estandarizado de Precipitación, lagunas, imágenes satelitales

Abstract

The aim of this work was to identify the dry and humid periods during the 1970-2008 years in the Buenos Aires province southern (Argentina) by means statistics methods. Quintiles method and Standardized Precipitation Index (SPI) were applied. Moreover, the influence of the extreme rainfall events on the shallow lakes in the region was analyzed. Shallow lakes area was estimated during three different years. The method included the Landsat 5 TM y 7 ETM+ satellite image processing and the incorporation of the data into a Geographic Information System (GIS). In the study area, and from the precipitation point of view the years 1998, 2002 and 2008 were considered normal, wet and dry, respectively. The longest dry periods were since 2005 lasting to the end of the period of study in the west of the study area and during the 1970 decade in the central area (1977-80), East (1971-74) and West (1971-74). Regarding the wet periods, the longest were during the 1970 and 1980 decade in whole the region. Due to the location of shallow lakes in topographic plain areas, a positive correlation between the covered area by water and the annual precipitation was obtained.

Key words: precipitation, quintiles, standardized precipitation index, shallow lakes, satellite image

1. Introducción

El estudio de los sistemas hidrológicos y en particular de las cuencas hídricas permite conocer las características, jerarquías y dimensiones de los distintos cursos que las integran. Además de estos parámetros,

se estudia la dinámica de las escorrentías, los procesos a los que están sometidas, el régimen hídrico de las mismas y su relación con el tipo de suelo que las sustenta. En ciertas regiones, las características del terreno y las variaciones del régimen de precipitación suelen modificar las redes hidrológicas provocando alteraciones en el uso del suelo así como también en el desarrollo de las actividades económicas. El análisis de dichas variaciones contribuye a la previsión de la ocurrencia de eventos extremos que pueden provocar tanto inundaciones como sequías.

Se han realizado numerosos estudios acerca de la posible vinculación entre las anomalías hídricas y procesos atmosféricos a distintas escalas (Pittock, 1980; Scian, 2002). Hace ya tiempo que se conoce la existencia de una relación entre las lluvias estivales y los episodios El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en el sur de Sudamérica (Scian, 2002). Aceituno (1998) estudió los efectos sobre el clima y encontró una correlación negativa entre el índice ENSO y la precipitación en el sur de Sudamérica durante noviembre-diciembre y sobre Chile principalmente durante julio-agosto y septiembre-octubre. Por su parte, Grimm *et al.* (2000) afirman que en el Sur de Brasil presenta el mayor promedio de ocurrencia de eventos de El Niño. El comportamiento general muestra que las anomalías de precipitación y la circulación en el sur de Sudamérica ocurren durante los mismos períodos de los eventos de El Niño y La Niña.

Los ciclos de sequía e inundación constituyen uno de los fenómenos de mayor impacto que afectan, en forma recurrente y con extrema severidad, la hidrología y la actividad agrícola de la región pampeana (Argentina). Asimismo, la variabilidad hidrológica en lagunas de la pampasia bonaerense es un hecho reconocido por varios autores (Dangavs, 2005; Quirós *et al.*, 2002; Ferrati *et al.*, 2002) quienes lo relacionan fundamentalmente con los períodos sequía-inundación característicos del clima pampeano.

La identificación e intensidad de las sequías han sido analizadas en diversos estudios utilizando balances hidrológicos diarios y mensuales (Troha y Forte Lay, 1993). Algunos autores determinaron las sequías para la región pampeana y su influencia sobre los rendimientos del cultivo de trigo (Scian y Donnari, 1997) así como también analizaron el fenómeno de la variabilidad climática en relación al origen de eventos de sequía ocurridos en la región pampeana (Piccolo *et al.*, 2002). Scian (2002) analizó las variaciones inter e intranuales de la precipitación mensual en la región semiárida pampeana de Argentina para el período 1911-1999 estimando que toda la región pampeana sufrió condiciones hídricas excepcionales debido al incremento de la precipitación desde la década del '70. Dicho aspecto, también fue señalado para sectores del sur de la provincia de Buenos Aires por Carbone *et al.* (2003) en su estudio acerca de la climatología de la cuenca del arroyo Claromecó y por Paoloni y González-Uriarte (2005), en el análisis de las precipitaciones para la región de Coronel Dorrego.

En ambientes de llanura, si bien las condiciones climáticas están determinadas por los estados de tiempo típicos, es usual la aparición de ciclos más cálidos o más fríos, tanto como de períodos de sequías o inundaciones (Capelli y Campo, 1994). La acción de los factores geográficos tales como la continentalidad y los fenómenos como el ENSO (El Niño Oscilación Sur) influyen en el régimen de las precipitaciones del área de estudio (Geraldí *et al.*, 2010). El objetivo de este trabajo es identificar los períodos de sequías y de excesos hídricos durante el período 1970-2008 en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) y analizar el impacto de estos eventos extremos sobre los lagos someros localizados en la región.

2. Área de estudio

El área de estudio está situada al sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina) y se extiende entre las coordenadas 62° 29' y 58° 46' Oeste y entre los 38° Sur y su límite con la línea de costa (figura 1). Abarca un área total de 29084 km² y fisiográficamente corresponde al sector meridional de la pampa subhúmeda, con la particularidad del desarrollo del Sistema Serrano de Ventania. La mayor elevación se localiza en el Cerro Tres Picos, de 1243 msnm. Este sistema emerge en la llanura bonaerense como relieve interpuesto y de él nacen cursos fluviales que desembocan en la costa atlántica (Capelli y Campo, 1994).

Presenta clima templado y a diferencia de otras regiones situadas en latitudes similares en el hemisferio Norte, las condiciones son más favorables por el efecto moderador que ejerce el océano. La temperatura media anual es de 14°C aproximadamente y muestra estaciones térmicas bien diferenciadas, con veranos e inviernos rigurosos y primaveras y otoños intermedios (Campo *et al.*, 2004).

En relación a las precipitaciones, se evidencian dos máximos en primavera y otoño, específicamente en los meses de octubre y mayo, en casi la totalidad de las localidades del sur de la provincia (Krepper *et al.*, 1989; Campo *et al.*, 2004). De acuerdo a la clasificación climática de Burgos y Vidal (1951), el área de estudio corresponde a la región hídrica subhúmeda seca. La dirección de los vientos predominantes es del Norte, Nordeste y Noroeste.

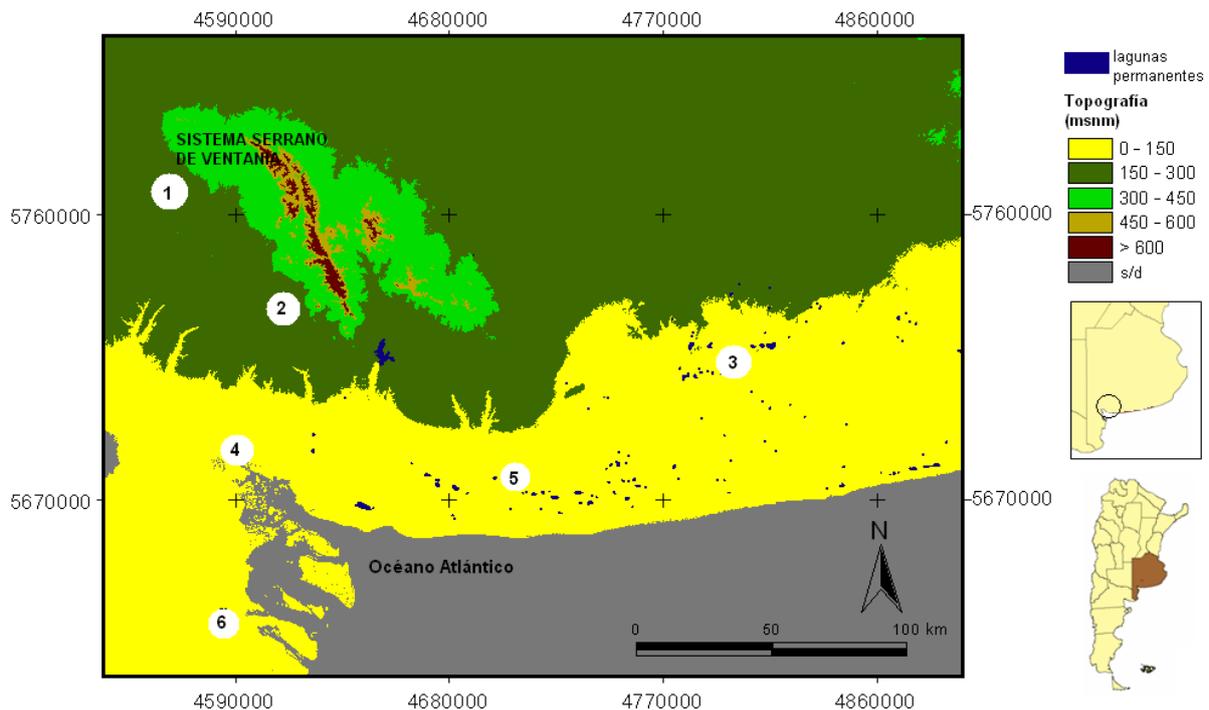


Figura 1: Localización del área de estudio en la provincia de Buenos Aires (Argentina).

3. Método de trabajo

Los datos climatológicos utilizados en este trabajo fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de la base de datos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estos correspondieron a las estaciones de Tres Arroyos y Bahía Blanca y a las décadas 1981-90 y 1991-00. Los registros pluviométricos analizados correspondieron a las siguientes estaciones: Tornquist, Hilario Ascasubi, Cnel. Dorrego, Bordenave, Tres Arroyos y Bahía Blanca, durante el período 1970-2008 (figura 1).

El estudio de las lagunas pampeanas requiere un análisis exhaustivo del régimen de precipitación debido a que su hidrología es altamente dependiente de las precipitaciones in situ (Quirós *et al.*, 2002). Los totales anuales de precipitación (1970-2008) fueron analizados mediante el método de Quintiles (Bolognesi, 1971). Calculados los quintiles de una serie y designando con Q_1 , Q_2 , Q_3 y Q_4 a los mismos, se admitió un criterio de clasificación (tabla 1) para los montos de precipitación anual. Se analizaron los registros pluviométricos correspondientes a las estaciones de Tres Arroyos (Este del área de estudio), Cnel. Dorrego (zona central), Bahía Blanca, Tornquist y Bordenave (Oeste) e Hilario Ascasubi (Sudoeste) (figura 1).

Tabla 1: Clasificación de períodos en relación a las precipitaciones anuales según el método de quintiles (Bolognesi, 1971).

Año muy seco	$P < Q_1$
Año seco	$Q_1 \leq P < Q_2$
Año normal	$Q_2 \leq P < Q_3$
Año lluvioso	$Q_3 \leq P < Q_4$
Año muy lluvioso	$P > Q_4$

Para la detección de eventos extremos de precipitación se aplicó el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP) (McKee *et al.*, 1995). El IEP fue diseñado para cuantificar el déficit de la precipitación para múltiples escalas de tiempo. Estas escalas de tiempo reflejan el impacto de la sequía sobre las diferentes fuentes de agua disponibles. Las condiciones de humedad del suelo responden a anomalías de la precipitación en una escala relativamente corta, mientras que el agua subterránea, los flujos superficiales y el almacenamiento en reservorios responden a anomalías de la precipitación en un período más largo. Por estas razones, McKee *et al.* (1995) calcularon el IEP para escalas de tiempo de 3, 6, 12, 24 y 48 meses. Los valores mensuales de precipitación fueron ajustados a la función Gamma para definir la relación de probabilidad de precipitación. Una vez que la relación de probabilidad fue establecida de registros históricos, la probabilidad de cada uno de los datos de precipitación observados fue calculada y usada con una estimación de la inversa de la normalidad. Tras ello, se calculó la desviación de la precipitación de probabilidad de la distribución normal con una media de 0 y una desviación estándar de 1. El resultado obtenido fue el IEP para cada valor de precipitación. Los valores de IEP variaron desde 2 o más (extremadamente húmedo) a -2 o menos (extremadamente seco) con las condiciones normales en un rango de 0,99 a -0,99 (tabla 2).

Tabla 2. Índice Estandarizado de Precipitación (McKee *et al.*, 1995)

Valores IEP	Calificación
2.0 o más	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Casi normal
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Muy seco
-2 o menos	Extremadamente seco

Los balances hídricos en selectas localidades de la región de estudio (Bahía Blanca y Tres Arroyos) se realizaron en forma decádica (y un último período de 8 años). El método utilizado para el balance hídrico fue el de Thornthwaite y Mather (1957) en base a datos de precipitación, evapotranspiración, temperaturas medias mensuales y número de horas de sol (Doorenbos y Pruitt, 1977). La evapotranspiración fue calculada mediante el procedimiento de Thornthwaite y Mather (1957).

La cartografía y el análisis de la variabilidad de los cuerpos de agua superficial del área de estudio se realizaron a partir de las escenas de imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM+ (Resolución Espacial 30 m), path/row 225/087 y 226/087 (CONAE) y su incorporación a un Sistema de Información Geográfica (SIG). Sobre cada imagen se aplicó la corrección geométrica y se efectuaron las correcciones radiométricas propuestas por Song *et al.* (2001) antes de clasificar las áreas ocupadas por agua, para cada fecha. Se realizó clasificación supervisada de las imágenes y la posterior obtención de los vectores correspondientes a cada laguna mediante un software específico.

4. Resultados y discusión

4.1. Clasificación de precipitaciones anuales según el método de Quintiles (1970-2008)

En América Latina la variabilidad climática está relacionada con el fenómeno ENSO, es decir con el fenómeno El Niño (EN) y la Oscilación del Sur (SO) (Piccolo *et al.*, 2002). Los estudios efectuados sobre este fenómeno han demostrado una conexión entre presión atmosférica, temperatura, precipitación y anomalías hidrometeorológicas (Aceituno, 1998). En el área de estudio, los años 1995 y 2005 fueron caracterizados como “muy secos” en todas las estaciones pluviométricas. Piccolo *et al.* (2002) afirmaron que el fenómeno ENSO o las actividades volcánicas podrían haber sido las generadoras de la intensa sequía ocurrida en 1995. Por su parte, Shein (2007) señaló al año 2005 como un episodio seco de considerables pérdidas para la agricultura y gran escasez de agua para toda la región de América del Sur. Los períodos secos de mayor duración ocurrieron durante el período 1971-74 en el sudoeste de la región (Hilario Ascasubi) al igual que en el Este (Tres Arroyos) mientras que en la zona central (Cnel. Dorrego) la sequía más extensa ocurrió durante los años 1977-80. La sequía más prolongada en el Oeste de la región (Bahía Blanca, Bordenave, Tornquist) comenzó en 2005, año en el que la mayor parte de América del Sur experimentó precipitaciones por debajo de la normal (Shein, 2007), continuando hasta el fin del período estudiado (2008).

Estudios realizados en la región Pampeana argentina (Podestá *et al.*, 1999) señalan que en los años Niña las lluvias tienden a ser inferiores a lo normal entre octubre y diciembre. Los años 1988-89 fueron considerados años Niña para la región pampeana argentina (Brescia *et al.*, 1998) y fueron considerados secos para el área de estudio. Los meses más secos para el año 1988 fueron los correspondientes al otoño y la primavera mientras que durante el año 1989 el mes más seco fue noviembre.

En cuanto a los períodos más húmedos, en toda la región de estudio ocurrieron mayormente durante las décadas de 1970 y 1980. NOAA (2011) consideró a los años 1990-1996 como años neutrales (sin ocurrencia de fenómenos Niño o Niña), lo que explicaría que durante la década de 1990, en toda el área de estudio la precipitación presentó valores normales de precipitación (tabla 3). En Sudamérica, los cambios relacionados al fenómeno ENSO en la frecuencia de eventos de precipitación extremos son generalmente coherentes con variaciones en los totales mensuales de precipitación. Sin embargo, los cambios significativos en los extremos son más extensivos que los correspondientes cambios en la precipitación mensual. Esto es importante, debido a que las consecuencias más dramáticas de la variabilidad climática resultan de cambios en los eventos extremos (Grimm y Tedeschi, 2009). Los años 1997-98 fueron considerados años Niño para el sector sur de Brasil (García *et al.*, 2003) lo cual explicaría las precipitaciones superiores a la normal ocurridas en el área de estudio en el año 1997, principalmente durante los meses de julio y septiembre.

Tabla 3: Quintiles, medianas y promedios de precipitación (mm) en las estaciones del área de estudio. (Período 1970-2008).

Estación	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Mediana	Promedio	Mínimo	Máximo
Tres Arroyos	658,5	745,5	835,5	943,5	813,5	813,0	547,0	1094,0
C. Suárez	609,8	744,5	832,5	912,5	799,5	799,0	367,0	1166,5
Tornquist	644,5	761,5	899,5	982,5	813,0	794,0	409,5	1304,0
H. Ascasubi	395,6	473,9	499,0	537,0	485,3	482,5	275,0	732,7
Bordenave	565,0	644,9	748,5	954,1	682,2	680,0	475,3	1184,4
Bahía Blanca	541,0	616,1	661,4	815,1	642,5	640,9	439,2	1082,2
C. Pringles	664,5	737,5	839,6	992,5	789,5	786,0	485,6	1111,0
C. Dorrego	581,2	630,5	720,2	846,5	688,1	683,2	486,0	1157,0

4.2. Balances hídricos

El balance hídrico del sector Este de la zona de estudio mostró situaciones de déficit y excedentes hídricos (figura 2). En la década de 1971-80 el déficit se produjo de enero a marzo y alcanzó los 70 mm y el exceso se produjo durante los meses de mayo a junio y octubre, donde fue más acentuado. En la década siguiente los meses afectados por el déficit fueron febrero y marzo mientras que el exceso se produjo de agosto a diciembre con un total de 80 mm. Durante 1991-2000 el déficit se registró durante los meses de enero a marzo (40 mm) y el excedente durante los meses de octubre a noviembre (13 mm). En el último período, el déficit superó al excedente con 85 mm y 28 mm, respectivamente.

La estación Bahía Blanca (figura 3) fue analizada como situación representativa de la zona Oeste del área de estudio. En la década 1971-80 las situaciones de déficit se dieron de enero a marzo (112 mm) y no se registraron excedentes. Durante los años 1981-90 se produjo un déficit durante los meses de enero-febrero y noviembre-diciembre, con un total de 220 mm. El excedente medio fue de sólo 16 mm durante el mes de octubre. Los años 1991-2000, no registraron excedentes mientras que el déficit fue de 130 mm aproximadamente durante los meses de enero-abril y noviembre a diciembre. Este período incluyó la extrema sequía producida en el año 1995 durante el cual las precipitaciones fueron de las más bajas registradas durante el siglo, con 297,6 mm/año (Piccolo *et al.*, 2002). Durante los años 2001-08 el déficit superó al excedente dada la influencia del período seco que se extiende desde 2005 hasta el fin del período analizado en este estudio.

4.3. Años secos, normales y húmedos

Se analizó la variación del IEP en la zona de estudio para la determinación de años húmedos, normales y secos a escalas temporales mensuales y anuales. Las precipitaciones en la región de estudio disminuyen de Este a Oeste (Campo *et al.*, 2004). Los registros pluviométricos de precipitación correspondientes a la localidad de Cnel. Dorrego se utilizaron para caracterizar el sector central de la región de estudio. Las estaciones Bordenave, Tornquist y Bahía Blanca caracterizaron el sector Oeste mientras que Hilario Ascasubi y Tres Arroyos representaron el extremo Sudoeste y Este, respectivamente (figura 1).

Tras el análisis de la aplicación del IEP a escala mensual se obtuvo la tendencia de la precipitación para la zona de estudio. Los años 1979, 1989, 1991, 1993, 2001 y 2002 se presentaron como muy húmedos y extremadamente húmedos en el sector central de la zona en estudio. Estos resultados presentan similitud con lo descrito por Carbone *et al.* (2004) para la cuenca del arroyo Claromecó (al Este de la región) donde se señaló a la década de 1981-1990 como años con predominio de los períodos húmedos sobre los secos, en especial desde agosto de 1985 a abril de 1986. Por su parte, la zona cercana a Tres Arroyos presentó mayores precipitaciones durante el año 2004 y condiciones normales a secas en 2008. El año 1991 se mostró con excesos de precipitaciones en la zona cercana a Bahía Blanca, Tornquist y Bordenave. En cuanto a las deficiencias en la precipitación, los años 1973-74, 1995 y 2008 fueron los más secos en la zona. En el extremo Sudoeste de la zona en estudio los años 1984, 1989, 1993 y 2001 se indicaron como años muy húmedos mientras que los años caracterizados como muy secos en la zona de Hilario Ascasubi fueron 1972, 1975, 1979, 1998, 2004 y 2008.

4.4. Marcha mensual del IEP

La zona central del área estudiada manifestó extrema humedad durante los años 1982 (de febrero a abril) y en 2001 (de octubre a diciembre). Esto último coincide con lo manifestado por Scian (2002) en su estudio de anomalías de precipitación, en el que destaca que las repercusiones más fuertes de las anomalías ocurren al final de la primavera tanto en eventos Niño como en eventos Niña en la región pampeana argentina. En la zona Oeste cercana a la localidad de Tornquist, desde 1970 a 1972 alternaron períodos normales y moderadamente secos. Desde enero a abril de 1995 la situación fue normal y a partir de mayo ocurrió una sequía moderada a extrema mientras que de agosto a noviembre de 2001 la situación se mostró con humedad moderada a extrema. Durante el período 2007-2008 el índice mostró

condiciones de escasa humedad y sequía. Los resultados obtenidos en relación a la sequía del año 1995 fueron coincidentes con las consideraciones obtenidas por Piccolo *et al.* (2002) y Scian (2002), para la región semiárida pampeana.

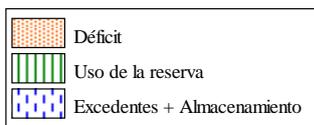
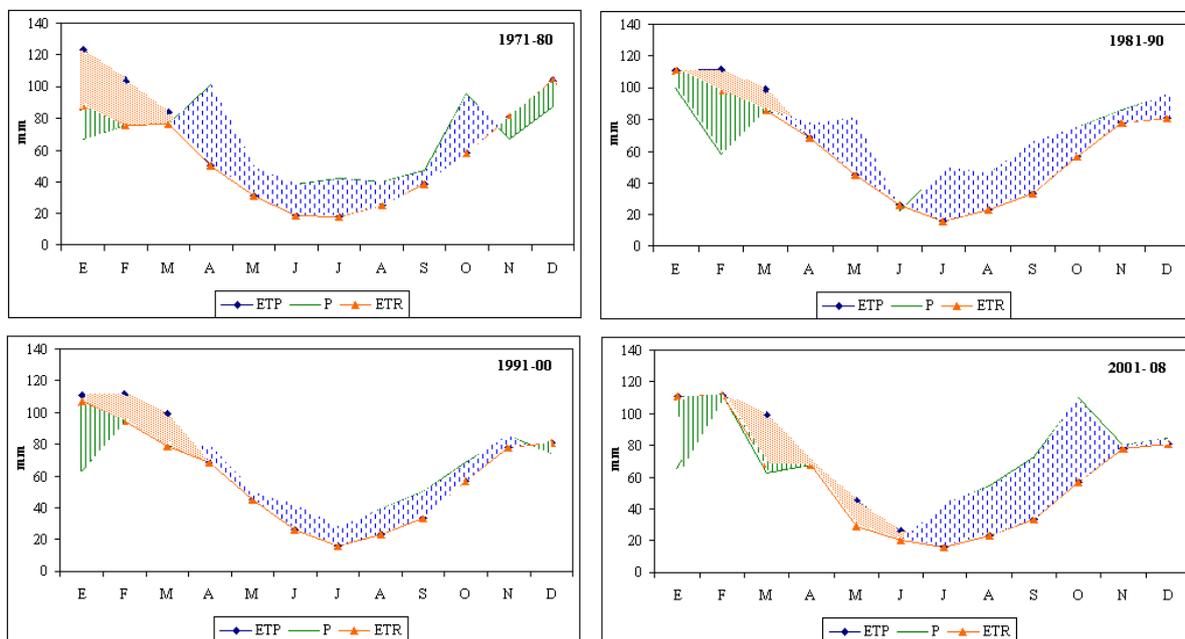


Figura 2: Balances hídricos mensuales para los períodos 1971-80, 1981-90, 1991-00 y 2001-08 en la estación Tres Arroyos.

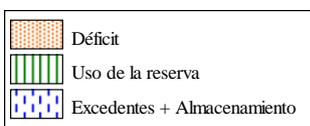
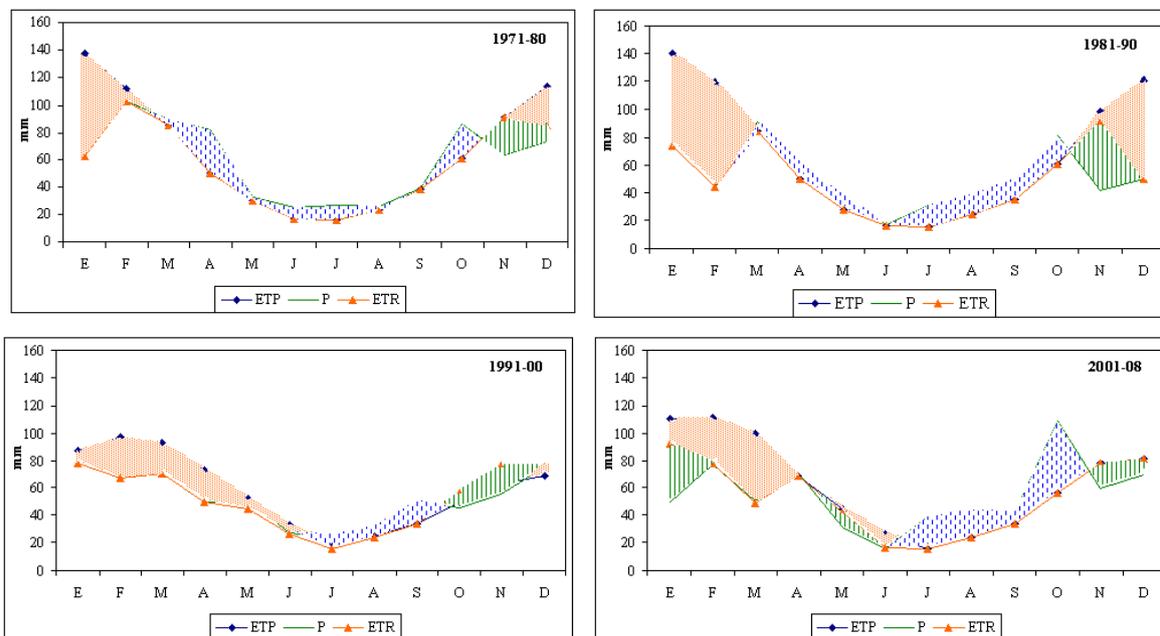


Figura 3: Balances hídricos mensuales para los períodos 1971-80, 1981-90, 1991-00, 2001-08 en la estación Bahía Blanca.

En relación a los registros correspondientes a las estaciones pluviométricas de Bahía Blanca, la situación mostró predominio de períodos normales y moderadamente secos y húmedos. Brescia *et al.* (1998) señalaron al período 1988-89 como un evento Niña para la región pampeana argentina, durante el cual se experimentaron consecuencias negativas para la agricultura de la región. Ello explicaría que las sequías más prolongadas tuvieron comienzo de abril a julio de 1988 y a partir de junio de 2007 hasta finalizar el período estudiado.

Particularmente en Argentina, Uruguay y Sur de Brasil el efecto generado por El Niño consiste en una anomalía positiva de las precipitaciones durante la época invernal, acompañada por una acentuación de los extremos de temperatura (Brescia *et al.*, 1998). Las situaciones más prolongadas de humedad se dieron de julio a septiembre de 1989 y de agosto a octubre de 2001. En Bordenave, el principio del período también mostró alternancia de humedad y sequía moderada con episodios normales de precipitación. Al igual que en Bahía Blanca, las mayores precipitaciones tuvieron lugar en la década del '80: entre julio de 1985 y enero de 1986, y de julio a septiembre de 1989 (figura 4). El año 2001 se mostró como un año húmedo, principalmente a partir del segundo semestre, con valores de IEP mayores a 1,5.

En el extremo Sudoeste del área de estudio, en la localidad de Hilario Ascasubi, no se evidenciaron eventos anormales prolongados, sino más bien humedad moderada en eventos de duración mensual (febrero-70, septiembre-71, septiembre-72, octubre-73, enero-74) al igual que para los eventos de extrema sequía (noviembre-71, noviembre-73, septiembre-81, enero-febrero-89, octubre/noviembre-89, enero-90, marzo-96, octubre-98 y enero/abril-2008).

En la zona Este, donde se desarrolla el mayor número de cuerpos lagunares no permanentes y efímeros, se evaluaron los registros pluviométricos de la localidad de Tres Arroyos (figura 4). Allí no se registraron sequías ni períodos húmedos a lo largo de varios meses excepto desde octubre de 1991 a enero de 1992 (sequía moderada). A finales de 2007 y durante el año 2008 los períodos fueron "muy secos".

Teniendo en cuenta el total del período analizado el sector Oeste presentó un 14,25 y un 2,20 % de moderada y extrema sequía, y un 15 y un 1,52 % de moderada y extrema humedad, respectivamente. El sector del Este presentó un 16 % de situaciones de moderada y extrema sequía y 15 % de moderada humedad. El sector centro-este presentó un 15 % de situaciones con moderada y extrema sequía y un 16 % y menos de un 1 % de moderada y extrema humedad, respectivamente. En el extremo Sur, las sequías moderadas alcanzaron un 14 % mientras que las extremas superaron el 2 %. La humedad fue extrema en menos de un 1 % mientras que en forma moderada alcanzó un 16 % aproximadamente. Los porcentajes restantes correspondieron a situaciones normales (figura 5).

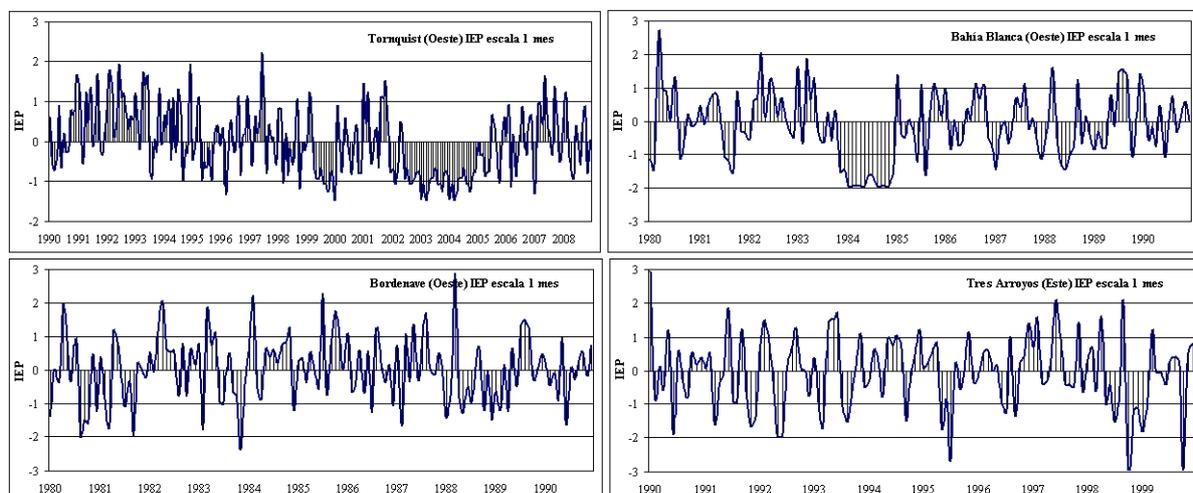


Figura 4: Variación mensual a escala 1 mes del IEP en las estaciones Tornquist (1990-2008), Bahía Blanca (1980-1990), Bordenave (1980-1990) y Tres Arroyos (1990-2000).

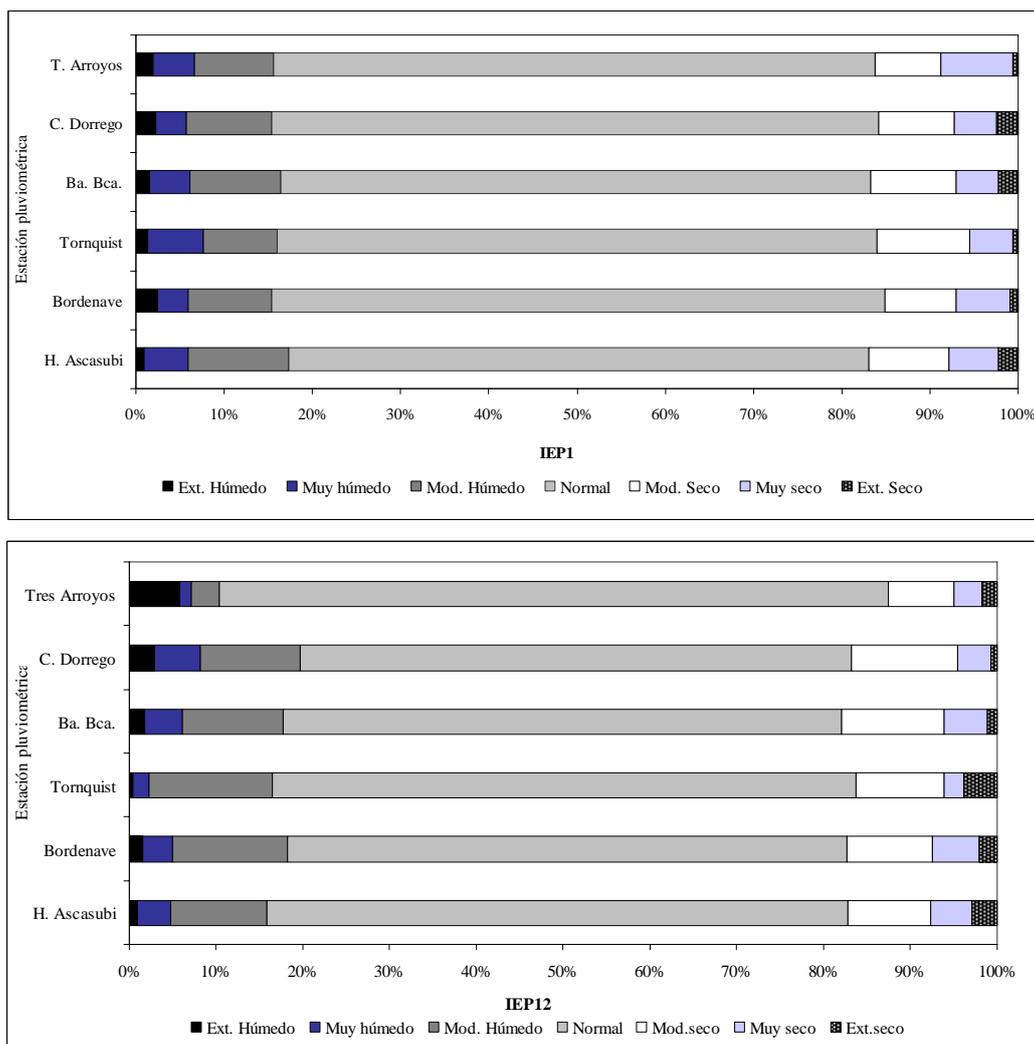


Figura 5: Porcentaje de cada categoría, durante el período estudiado, en cada una de las localidades.

El sector Este fue el que presentó mayor porcentaje de eventos de sequía moderada en el período estudiado, mientras que en el Oeste ocurrió el mayor porcentaje de eventos de sequía extrema. En cuanto a las situaciones de precipitaciones superiores a la normal, tanto en el extremo sur como el sector central del área, se registraron un 16% de eventos con humedad moderada mientras que en el Este, ocurrieron un 2% de eventos con características de humedad extrema.

4.5. Aplicación del IEP a escala anual

En el sector Oeste del área de estudio se registró un 16% de sequías moderadas a partir de la aplicación del IEP a escala anual. Las sequías más prolongadas ocurrieron en el año 1971, desde abril y hasta octubre de 1985 y durante los años 2000 y 2008. Para este último, a partir del mes de abril se detectó sequía extrema. En cuanto al sector central del área, las sequías moderadas mostraron un porcentaje del 15% con mayor afluencia en los años 1981, 1995, 1996, 1999 y 2006. En este último año, las sequías se registraron fundamentalmente durante los meses de junio, julio, octubre, noviembre y diciembre. El año 2008 registró sequías extremas.

Hacia el Este, la sequía moderada alcanzó un 10%. Los eventos más prolongados se registraron en 1992 (duración de 10 meses) y 1978 (6 meses). Se destacaron los meses de abril-octubre de 1999 dado el extenso período en el que los valores de IEP superaron el valor de -2 (7 meses consecutivos) y el año 2008 en el que los valores del índice fueron superiores a -1,20 durante todo el año (figura 6). En el sur

de la región, la sequía alcanzó el 14% de los casos, con mayor afluencia en los años 1999, 2003, 2006 y 2008. La más prolongada de las sequías extremas a escala 12 meses fue en 2008, desde abril a diciembre de dicho año. En relación a esta zona, los años 1970 y 1971 también fueron categorizados como eventos de sequía extrema mediante el método de Palmer en un estudio realizado por Carbone *et al.* (2004). Asimismo, la sequía del año 1978 fue mencionada por Troha y Forte Lay (1993) entre las 8 sequías más importantes del período 1971-86 en la provincia de Buenos Aires.

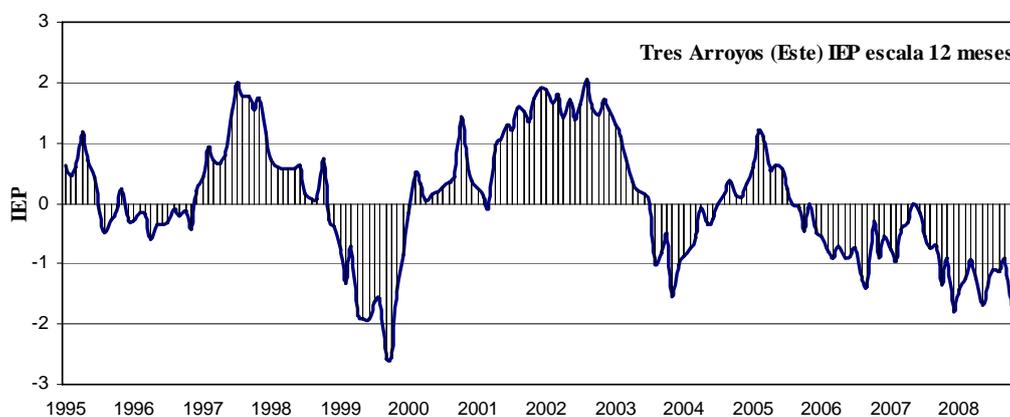


Figura 6: Variación del IEP a escala anual en el Este de la región (Tres Arroyos).

En Hilario Ascasubi, las situaciones de humedad moderada alcanzaron un 14%. Los períodos más prolongados fueron en 2001 y 2004 con una duración de 4 y 8 meses, respectivamente. En Bahía Blanca, se alcanzó un porcentaje del 15% para los casos de humedad moderada y menos de un 2% para los casos de humedad extrema. No se registraron períodos prolongados para esta categoría, excepto los años 1977 (5 meses) y 2003 (de enero a marzo y junio). Cercana a esta zona, la localidad de Cnel. Dorrego, presentó años moderadamente húmedos, con eventos de prolongada duración: el año 1977 se ubicó en esta categoría desde febrero a agosto, el año 1982, desde abril a diciembre y el 2002 durante el segundo semestre. Finalmente, para Tres Arroyos, si bien fueron menos los años afectados por situaciones de excesiva pluviometría, se registraron períodos con valores de IEP mayores a 2. Ejemplo de ello fueron el año 1982 durante 9 meses comenzando en abril y de 11 meses comenzando en julio del año 1974.

4.6. Impacto de los eventos extremos en el número y superficie (km²) de lagunas pampeanas

La variabilidad interanual es un modulador importante de la variabilidad sinóptica y estacional en Sudamérica (Grimm, 2010). Los eventos ENSO influyen sobre el régimen de precipitación y temperatura en el sur del continente, incluyendo la región de estudio (Podestá *et al.*, 1999). Asimismo, se ha demostrado que existe una correlación entre ENSO y la fluctuación de nivel de agua de ciertos lagos (La Valle *et al.*, 2000), las condiciones hídricas (Holzman y Rivas, 2010), los rendimientos de ciertos cultivos (Podestá *et al.*, 1999) y variaciones en el uso del suelo (Isla *et al.*, 2003) en la región pampeana argentina. Para analizar el efecto de la variabilidad de la precipitación sobre las lagunas someras de la región (figura 1) se calculó el área de cobertura de agua durante tres años pluviométricamente diferentes. Los años, seleccionados mediante la aplicación del IEP a escala anual, fueron 1998, 2002 y 2008. El primero de ellos fue definido como normal mientras que los años 2002 y 2008 fueron húmedos y secos, respectivamente en un promedio general para toda el área de estudio.

El número de cuerpos de agua correspondientes al año 1998 fue de 2184 con un área total de 322,78 km² (figura 7), lo cual representa un 1,10% del área de estudio. En el año 2002 se obtuvo la mayor área ocupada por agua en la zona de estudio, alcanzando 415,29 km² (1,42% de la superficie total). La superficie mínima fue hallada durante el año 2008, con 146,80 km² (0,50% del área de estudio) y un número de 239 lagunas. Estos resultados ilustran variabilidad climática. El año 2002 fue caracterizado como muy húmedo en toda la región, lo cual determinó el aumento del área cubierta por agua.

El número de lagunas durante el citado año húmedo fue de 2539 y el tamaño promedio de las lagunas no superó el km². Esta variabilidad caracterizada por una sucesión de inundaciones, principalmente en el sector Oeste de la provincia de Buenos Aires, fue motivo de interés en estudios vinculados a la evolución del sistema fluvial en la provincia (Malagnino, 1988) debido a que ha afectado un alto porcentaje de la superficie en forma similar a la ocurrida en la cuenca del río Salado, al NO de la provincia.

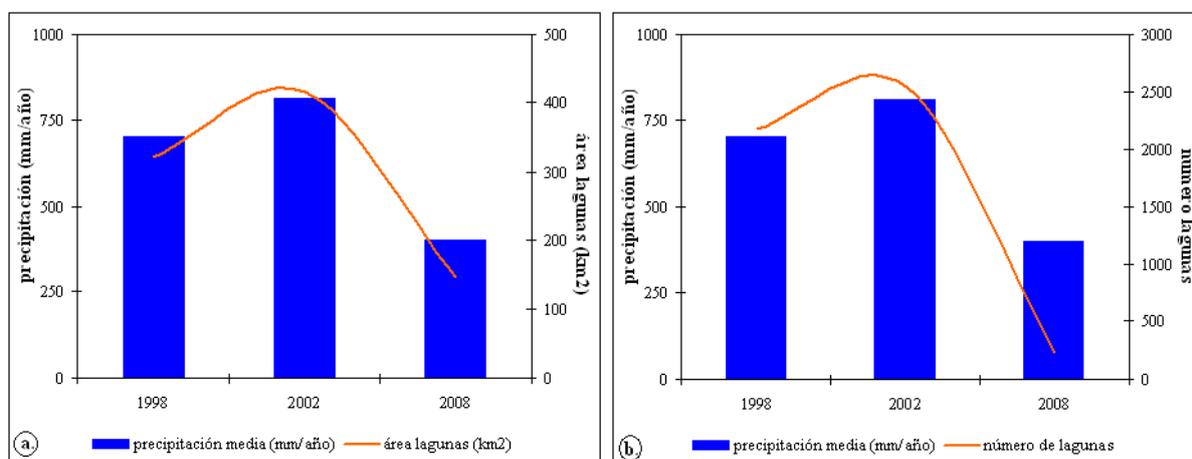


Figura 7: Precipitación anual promedio en el área de estudio para años normales (1998), húmedos (2002) y secos (2008) en relación al área cubierta por agua (lagunas) (a) y al número de cuerpos de agua presentes en cada caso (b).

5. Conclusiones

El área de estudio presenta un clima templado de transición, con precipitaciones que decrecen de Este a Oeste y temperaturas medias de 14°C. Como casos representativos de la hidrología de la región se analizaron los balances hídricos de las ciudades de Tres Arroyos y Bahía Blanca. Durante los años comprendidos en el período 1970-2008 (en Tres Arroyos) predominaron las situaciones de déficit durante los períodos estivales y de exceso durante los meses de mayo a junio (otoño-invierno) y de octubre a noviembre (primavera). En el caso de Bahía Blanca las situaciones de déficit predominaron sobre las de excesos hídricos durante los meses de enero a marzo (verano-otoño) y de noviembre a diciembre (primavera-verano).

Los años considerados normales fueron la categoría predominante en todas las localidades seguida de los períodos moderadamente secos y húmedos. Los años 1993, 2001 y 2002 fueron definidos como extremadamente húmedos mientras que los años 1998 y 2007 presentaron características pluviométricas normales con tendencia a la sequía moderada. Como ejemplo de extremas sequías, se destacaron los años 1995 y 2008.

Los períodos secos más prolongados se presentaron a partir del año 2005 hasta el fin del período estudiado en el Oeste del área de estudio y durante la década de 1970 en los sectores central (1977-80), Este (1971-74) y Oeste (1971-74). En relación a períodos húmedos, los más prolongados ocurrieron durante las décadas de 1970 y 1980 en toda la región. La influencia de la precipitación en la morfometría de lagunas someras fue demostrada mediante la correlación de sus extensiones areales y los montos de precipitación durante períodos secos, normales y húmedos en años seleccionados.

Agradecimientos

El financiamiento de este trabajo fue realizado por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Los autores agradecen a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por proveer datos climáticos y satelitales.

Bibliografía

Aceituno P (1998): On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate, *Mon. Wea. Rev.*, 116:505-524.

Bolognesi E (1971): Análisis de criterios para clasificar totales mensuales de precipitación aplicados a series de Republica Argentina. *Meteorológica*, 2:171-205.

Brescia V, Lema D y Parellada G (1998): El fenómeno ENSO y la agricultura pampeana: impactos económicos en trigo, maíz, girasol y soja. *Informe Técnico INTA*, 1:1-35.

Burgos J y Vidal A (1951): Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Rev. Meteoros*, 1:3-32.

Capelli A y Campo A (1994): La transición climática en el Sudoeste Bonaerense. *SIGEO*, 5:1-77.

Campo A, Capelli A y Diez P (2004). *El clima del Sudoeste Bonaerense*. EdiUns, Bahía Blanca.

Carbone ME, Piccolo MC y Perillo GME (2003): Caracterización climática de la cuenca del arroyo Claromecó. *Rev. Papeles de Geografía*, 38:41-60.

Carbone ME, Piccolo MC y Scian BV (2004): Análisis de los períodos secos y húmedos en la cuenca del arroyo Claromecó, Argentina. *Rev. Papeles de Geografía*, 40: 25-35.

Dangavs N (2005): Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. Actas del XVI Congreso Geológico Argentino, *Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires*, 219-235.

Doorenbos J y Pruitt WO (1977): *Crop water requeriments*. Irrigation and Drainage Paper. FAO.

Ferrati R, Vargas Russo M, Saavedra P y Canziani G (2002): Aplicación de un modelo de red neuronal para la clasificación de sistemas lacunares pampeanos. *Rev. Biología Acuática*, 22:111-117.

García AM, Vieira JP y Winemiller KO (2003): Effects of 1997-1998 El Niño on the dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57:489-500.

Geraldi AM, Piccolo MC y Perillo GME (2010): Anomalías de precipitación y temperatura en Las Encadenadas del Oeste. Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica*, 148:137-149.

Grimm AM, Barros VR y Doyle ME (2000): Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 13:35-58.

Grimm AM y Tedeschi RG (2009): ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. *Journal of Climate*, 22:1589-1609.

Grimm AM (2010): Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Published on line 14 July 2010.

Holzman M, Rivas R (2010): Ts y EVI como indicadores de los efectos de ENSO en las condiciones hídricas de superficie. *Actas de E-ICES 6*, Universidad Nacional de Cuyo, pp. 32

Isla FI, Ruiz Barlett E, Márquez J y Urrutia A (2003): Efectos ENSO en la transición entre el espinal y la pradera cultivada en la diagonal sudamericana, Argentina Central. *Revista C&G*, 17:1-2

- Krepper CM, Scian BV y Pierini JO (1989): Time and space variability of rainfall in Central-East Argentina. *Journal of Climate*, 2:39-47
- La Valle PD, Lakhan VC y Trenhaile AS (2000): Short term fluctuations of lake Erie water levels and the El Niño/Southern Oscillation. *The Great Lakes Geographer*, 7:1-8
- Malagnino E (1988): Evolución del sistema fluvial de la provincia de Buenos Aires desde el Pleistoceno hasta la actualidad. *Actas de las Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses*, UNS, pp. 201-211.
- McKee TB, Doesken NJ y Kleist J (1995): Drought monitoring with multiple time scales. *Ninth Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, pp. 223-236.
- NOAA (2011): Significant Historical ENSO Events. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center. <http://www.ncdc.noaa.gov> (Acceso 8 de Marzo 2011).
- Paoloni JD y González-Urriarte M (2005): *Geoambiente y evaluación de las aguas freáticas del partido de Coronel Dorrego (Provincia de Buenos Aires)*. EdiUns, Bahía Blanca.
- Piccolo MC, Capelli A y Campo A (2002): La sequía de 1995 en el sur de la región pampeana argentina. En *Desastres Naturales en América Latina* (Hubp Lugo J y Inbar M, Eds.), Fondo de Cultura económica, pp. 189-206.
- Pittock AB (1980): Patterns of climatic variation in Argentina and Chile- I. Precipitation, 1931-60. *Monthly weather review*, 108:1347-1361
- Podestá GP, Messina CD, Grondona MO y Magrin GO (1999): Associations between Grain Crop Yields in Central-Eastern Argentina and El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Applied Meteorology*, 38:1488-1498
- Quirós R, Rennella A, Boveri M, Rosso JJ y Sosnovsky A (2002): Factores que afectan la estructura y el funcionamiento de las lagunas pampeanas. *Rev. Ecología Austral*, 12:175-185.
- Scian B (2002): Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida pampeana Argentina. *Geoacta*, 27:30-52.
- Scian B y Donnari M (1997): Aplicación del índice Z de Palmer para la comparación de sequías en las regiones trigueras II, IV y V Sur de Argentina. *Rev. de la Facultad de Agronomía*, 17:1-46.
- Shein KA (2007): *Estado del clima 2005*. Organización Meteorológica Mundial
- Song C, Woodcock CE, Seto KC, Lenney MP y Macomber SA (2001): Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects?. *Rev. Remote Sensing of Environment*, 75:230-244.
- Thornthwaite CW y Mather JR (1957): Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the Water Balance. *Publications in Climatology*, 10: 185-311 3.
- Troha A y Forte Lay JA (1993): Análisis de las principales sequías edáficas ocurridas en la provincia de Buenos Aires. *Geoacta*, 20:79-85.

