

## Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal

Recibido: 7 de mayo de 2012. Aceptado en versión final: 12 de enero de 2013.

Olga Eugenia Scarpati\*  
Alberto D. Capriolo\*\*

**Resumen.** La provincia de Buenos Aires, importante productora agropecuaria argentina, ha sido escenario de eventos hidrológicos extremos (sequías e inundaciones) de distinto grado de gravedad a lo largo del tiempo. Muchos de ellos ocasionaron catástrofes mientras que otros solo alteraron las condiciones normales de algunas áreas. Investigadores de distintas ramas científicas han estudiado estos eventos, principalmente en sus impactos económico-sociales, pero no desde una mirada que contemple las variaciones que experimenta el contenido de agua en el suelo.

En este trabajo, primero, se analiza la evolución de eventos húmedos y secos aproximadamente desde el año 1600 (época colonial) hasta 2008.

Por otro lado, se aplicó un modelo de balance de agua en el suelo utilizando datos diarios de precipitación y constantes hidrológicas de los suelos (basados en datos obtenidos *in situ*); con lo que se obtuvo la distribución de los excesos y deficiencias de agua en el suelo, considerados como desencadenantes de los eventos hidrológicos extremos.

Por último, se analizan la suma de los excesos y las deficiencias anuales de agua en el suelo desde 1969 a 2008, en 16 sectores determinados según sus cuencas y se exponen los resultados en mapas con su distribución espacio-temporal.

**Palabras claves:** Sequías, inundaciones, excesos y déficit de agua edáfica, provincia de Buenos Aires.

## Droughts and floods in Buenos Aires province (Argentina) and their space and temporal distribution

**Abstract.** Buenos Aires province, major producer in Argentine agriculture, has been the scene of extreme hydrological events (droughts and floods) of varying severity over time. Many of them caused disasters while others only alter the normal conditions of some areas.

The events have been studied from different disciplines and so, different scales of time and space; despite this, there is a lack of studies that take into account the soil water content.

In this paper, first, we analyze the evolution of wet and dry events around since the year 1600 (colonial era) to 2008.

Furthermore, we applied a soil water balance model using daily data of precipitation and soil hydrological cons-

stants (based on data obtained *in situ*). The result was the distribution of the soil water surplus and deficit, considered as triggers of the extreme hydrological events.

Finally, the annual values of soil water surplus and deficit were analyzed from the period 1969-2008 in 16 sectors of the province, determined according their basins, and there were exposed the results in maps with the spatial-temporal distribution.

**Key words:** Drought, flood, soil water surplus, soil water deficit, Buenos Aires province.

\* Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata, Av. Rivadavia 5485 (1424), Buenos Aires, Argentina. E-mail: olgascarpat@yahoo.com.ar

\*\* Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. E-mail: albertocapriolo@yahoo.com.ar

## INTRODUCCIÓN

La provincia de Buenos Aires, ubicada en la Región Pampeana, tiene una superficie de 307.571 km<sup>2</sup> cuya altura no excede los 300 m excepto hacia el sur, donde las sierras de Tandilia y de Ventania llegan a 520 y 1 240 m, respectivamente. Es una planicie de escasa pendiente con paisaje de llanura caracterizado por su baja energía de relieve. En ella, como en otras regiones muy planas y deprimidas, predominan los movimientos verticales del agua: precipitación y evapotranspiración, sobre los horizontales: escurrimiento superficial y profundo.

El territorio bonaerense es una enorme cubeta sedimentaria en la cual se observan tres tipos de vertientes en sus cuencas: Atlántica Directa que representa el 69%, Atlántica Indirecta que es el 11 y el 20% restante es Endorreica, lo que evidencia el carácter *exorreico atlántico* de la provincia (Giraut *et al.*, 2007). Los límites de cuenca se tornan difusos e inciertos y el manejo del agua en una cuenca incide directamente en otras vecinas. En este estudio se ha trabajado con 16 sectores de las cuencas de acuerdo con Recursos Hídricos de la Nación (2002) y a Giraut *et al.* (2007).

Con el fin de dar consistencia al trabajo se comienza con un estudio de las precipitaciones como fuente principal de agua en la provincia y, posteriormente, con los resultados del balance de agua en el suelo, las deficiencias y los excesos de agua en el suelo, se analizan algunos eventos hidrológicos extremos y su distribución espacio-temporal.

Se debe aclarar que este es un estudio geográfico, por ello en lo concerniente al análisis histórico (periodo con información no sistematizada), éste se centra en minuciosas investigaciones desarrolladas por especialistas en el tema.

## PRECIPITACIONES

Las precipitaciones en la provincia de Buenos Aires presentan un comportamiento cíclico que se manifiesta en periodos con una disminución o con un aumento de las lluvias, lo que implica cambios en el uso del suelo. En distintas épocas se han señalado

numerosas “anomalías” en lo que hace a la marcha anual de las precipitaciones.

En el conocimiento de la lluvia en la región se observan dos etapas bien diferenciadas. La primera etapa, pre-científica y que llamaremos “no sistematizada”, está basada en relatos de viajeros, noticias de observación directa y percepción de fenómenos por los pobladores. La segunda, que se denomina “sistematizada”, se inicia con la creación del Servicio Meteorológico Nacional a mediados del siglo XIX.

### Periodo con información no sistematizada

El análisis de la información proveniente de la primera etapa tiene carácter muy general y es difícil en muchos casos deducir de ella la duración y gravedad de la sequía o inundación, el área abarcada y los perjuicios ocasionados. Salvedad hecha de estas limitaciones, reconocidas por los estudiosos del tema, es evidente la reiteración frecuente de situaciones críticas de tipo hídrico. Si bien se trata de información carente de precisión matemática se la puede tomar en cuenta como una contribución al conocimiento del clima de la región. Existen estudios muy minuciosos como los desarrollados por Ameghino (1884), Durán (1987), Ras (1994) y Moncaut (2003). En este estudio se trabajó con los conocimientos aportados por los tres últimos.

Según Moncaut (2003) la observación más antigua referida a condiciones meteorológicas proviene de los primeros españoles que habitaron la región. En la carta del 29 de marzo de 1576, don Hernando de Montalvo (Tesorero del Río de la Plata) escribe al Rey sobre la expedición de Juan Ortiz de Zárate. En ella manifiesta: “... el año fue fértil de aguas cuando llegaron (1574) y después acá en dos años y medio que estamos no hemos visto llover sino muy poco, en esta tierra tan estéril que se siembra y no grana...”. Según Ras (1994) la información más antigua sobre las condiciones climáticas de las colonias es de 1604, en que se vio comprometido un viaje del Gobernador Hernandarias, la que se encuentra en los 46 volúmenes de los Acuerdos del Cabildo de Buenos Aires. Ellos abarcan el largo periodo que va desde 1589 hasta 1821, año en que se suprimió el Cabildo.

En esos tiempos, los habitantes atribuían a la sequía, además de sus efectos sobre praderas,

aguadas, cultivos y ganados, un agravamiento de epidemias y enfermedades en hombres y animales. Esto tuvo como consecuencia que cada alarma por un periodo seco fuera acompañada de Acuerdos del Cabildo decretando cierres de comercio para novenarios, octavarios y procesiones en que se impetraba al santo patrono San Martín de Tours la mejoría de la inclemencia (*Ibid.*). En 210 años, entre 1600 y 1810 (año en que cesa el dominio español), los Acuerdos del Cabildo de Buenos Aires revelan un centenar de alarmas que llevaron a los citados exorcismos. Algunos de ellos pueden haberse debido a una fuerte dependencia anímica de la interpretación mágica, que se convocaba tal vez ante sequías de poca intensidad y duración.

El lapso referido puede ser considerado como seco en general, destacándose por lo menos dos periodos de sequías muy graves y prolongadas (entre 1690 y 1708 y entre 1753 y 1758) y muchas sequías breves. En medio de esta crisis de sequedad hay años de lluvias consideradas suficientes y solamente en 1636, 1671, 1685, 1774 y 1778, así como entre 1804 y 1810 hubo excesos de precipitaciones con encharcamiento, inundaciones y riadas de diversa gravedad.

Estos fenómenos naturales causaron múltiples trastornos, por sí mismos o unidos a las mangas de langosta y al recrudecimiento de diversas pestes. Años de malas cosechas trigueras, desaparición de “berduras y hortalizas” del mercado (lo que obligaba a pedir dispensa de comer carne por ser imposible observar los ayunos rituales) y, principalmente la reiteración de desbandadas, empapamientos y mortandades de ganado que llegaron a reducir las existencias de vacunos a la tercera parte durante 1791. Pueden agregarse a estas pérdidas la reducción de las tasas habituales de servicios y “procreos”, las ímprobos tareas que insumía devolver el ganado a las estancias, los problemas para abastecer las poblaciones con rebaños emigrados a lugares remotos en busca de aguadas y pastos, y el riesgo de antagonizar con los pobladores originarios, afectados simultáneamente por las mismas calamidades.

Los testimonios de los padres jesuitas de la Reducción del Pilar escriben con fecha 1 de setiembre de 1751 que:

... diez días emplearon los misioneros desde el Volcán hasta la Reducción de la Concepción: La causa fueron las grandes lluvias que hubo aquel año. Las campañas o pampas parecían más un océano de someras aguas, que terreno meramente, en parajes inundados (Moncaut, 2003).

Desde 1827 hasta 1832 reinó una gran sequía, periodo conocido como de la “Gran Seca” (*Ibid.*) o “Gran Seco” (Darwin, 1945). Llovió tan poco que la vegetación fue desapareciendo por completo y los campos se convirtieron en grandes polvaredas. Las aves, los mamíferos salvajes, las vacas y los caballos perecían de hambre y de sed.

Relata Moncaut (2003) que Juan Manuel de Rosas (importante político y gobernador) mantuvo una activa correspondencia con sus capataces de estancias que llegan a unas 2 000 fojas y que se conserva en el Archivo General de la Nación. En ella se puede leer que en 1843: “El mal tiempo continuó en aumento. El viento y la lluvia volteaban los corderos por cientos y morían a los pocos minutos. Truenos, rayos, torrentes de lluvia y el viento soplando como un huracán...”, que el escritor William Henry Hudson en 1846 escribía “Había sido una estación muy lluviosa y los campos bajos se habían convertido en verdaderas lagunas...” y que en el invierno de 1857 se registraron temporales que determinaron una terrible inundación al desbordarse los ríos y lagunas “encadenadas” Chis – Chis, El Burro, La Tablilla, Adela, entre otros. Es en este año que se registra un hecho sin precedente en la historia del Río Salado (normalmente no navegable): la llegada del “Río Salado del Sud”, un barco a vapor, con ruedas laterales a Chascomús donde llega el 11 de agosto. El mismo había partido de la boca del Riachuelo e ingresó al Río Salado por la Bahía de Sanborombón. Fue un acontecimiento que permitió a las ciudades de Dolores y Chascomús que permanecían aisladas, proveerse de frutas y verduras del Delta y a su vez, mandar sus lanas, cueros, etc., a la ciudad de Buenos Aires.

Según Ras (1994), en la época colonial, el clima probable de la región garantizaba “... niveles elevados de “confort” para el hombre y para la mayoría de los cultivos y animales domésticos introducidos desde el viejo Mundo...”. Tiene

... una enorme importancia la extrema variabilidad de las lluvias que crean desde siempre períodos de sequías marcadas, alternando con otros en que las lluvias son generosas y hasta excesivas, llegando a producir el anegamiento de vastas áreas de llanura de escasa pendiente.

Moncaut (2003) destaca 1877 como de importantes lluvias e inundaciones y cita al *Diario de Dolores* en su edición del 25 de marzo, que dice:

Sanborombón. Este río tenía el día de ayer una anchura de más de media legua. Desde las célebres crecientes del 57 que no se veía tan crecido el río. Temporal. Hace ocho días que sigue lloviendo copiosamente ... El pueblo de Dolores observado desde una azotea, parece una isla que flota en medio del mar.

Por lo contrario, el 16 de enero de 1883 cita el mismo diario:

Mal año. A las quemazones (por la seca) de campos tenemos que agregar otro mal no menos grave: la langosta que ha invadido ya una extensión, dejando los campos totalmente arrasados. Si la seca se prolonga el mal acrecentará notablemente.

En 1900 se producen nuevas inundaciones que llegan a ocupar más de 6 000 000 ha pastoriles y el 24 de setiembre se sanciona por ley la construcción de canales de desagüe. Entre los proyectados existía uno que desde el Arroyo Tapalqué (Canales 11, 12 y 9) pasaría por el norte de Dolores. Estas obras no dieron el resultado previsto y en algunos casos empeoraron la situación.

### **Periodo con información sistematizada**

Información sistematizada se denomina a aquella obtenida en lugares que constan de estaciones meteorológicas con instrumental específico y medición de elementos meteorológicos en forma metódica. Se puede mencionar que, por ejemplo, para la ciudad de Buenos Aires hay registros sistemáticos desde 1876.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN), anteriormente Oficina Meteorológica Argentina,

fue creado por la Ley N° 559, promulgada el 4 de octubre de 1872 durante la presidencia de Domingo F. Sarmiento en la ciudad de Córdoba. A finales de 1901, la Oficina Meteorológica Argentina se trasladó a Buenos Aires con el objeto de iniciar la publicación diaria de la "Carta del Tiempo" por el progreso logrado en las comunicaciones telegráficas. Se puede mencionar que la sección Climatología permaneció en Córdoba, publicando una pequeña Carta diaria de esa provincia (SMN, 2010).

Dentro de la etapa sistematizada se comienzan a realizar estudios desarrollados por científicos de diferentes disciplinas: geógrafos, meteorólogos, agrónomos, climatólogos, entre otros.

Se puede mencionar, como resumen, que las precipitaciones mensuales y anuales fueron muy superior a los valores medios de precipitación y se produjeron inundaciones en 1873, 1874, 1877, 1881, 1884, 1886, 1890, 1895, 1900, 1913, 1914, 1915, 1919, 1922, 1925, 1926, 1940, 1951, 1957, 1962, 1963, 1973, 1978, 1980, 1984, 1985, 1986, 1987, 1992, 1993, 2000, 2001 y 2002. En la última centuria se destacan las de 1980, 1985, 1991, 1993, 2001 y 2002 (González y Fernández 2007; Scarpati *et al.*, 2002 y 2011). Se considera como una de las peores inundaciones la que se registró en 1980, dado que en este año llovieron 30 000 millones de litros de agua que anegaron 37 partidos bonaerenses y cubrieron cuatro millones de hectáreas. La Cuenca del Río Salado es una región bonaerense muy característica, su superficie alcanza los 170 000 km<sup>2</sup> ubicados en la franja central y noroeste de la provincia, donde se obtiene el 25% de la producción agrícola-ganadera nacional.

La última inundación importante que para el territorio bonaerense significó pérdidas de U\$S 700 millones empezó a fines del 2000, ya que en noviembre los suelos se hallaban saturados, lo que significa que su capacidad de absorción y almacenaje estaban en su límite y la altura de la napa freática a muy pequeña profundidad. En el 2001 se observaron dos ciclos de inundaciones, uno a principios de año y otro a fines del mismo. En el mes de octubre estaban afectadas 2 000 000 ha provinciales y el fenómeno continuó y se agravó durante parte del 2002 (Forte Lay *et al.*, 2009) y se concentró en el noroeste y centro bonaerense (Scarpati *et al.*, 2008).

En lo referente a sequías, las precipitaciones mensuales y anuales fueron muy inferiores a los valores medios de precipitación y se produjeron en los años 1879, 1883, 1910, 1917, 1918, 1921, 1925, 1929, 1930, 1936, 1937, 1938, 1939, 1950, 1952, 1954, 1955, 1956, 1959, 1960, 1962, 1963, 1967, 1968, 1970, 1971, 1972, 1974, 1975, 1976, 1977, 1979, 1981, 1983, 1988, 1989, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008.

Las más graves se produjeron en 1974, 1989, 1995, 1996, 1999 y 2008. En 1996 la superficie afectada por la sequía fue 67% de la superficie total de la provincia y en el último trimestre de 1996 y mitad de 1997, se secaron por completo muchas lagunas, entre ellas la tan importante de “Las Barrancas”, cosa que no había sucedido en 60 años. El 11 de enero de 1997, en el partido de Castelli, se cortó el curso del Río Salado, permaneciendo así durante un mes. La sequía de 2008 afectó a todo el país, murieron cerca de un millón de cabezas de ganado y en Buenos Aires el gobierno nacional declaró el “Desastre Agropecuario”, destacando entre las áreas más afectadas a Patagones, Villarino, Bahía Blanca y Puan, (todo el sur de la provincia). Las precipitaciones disminuyeron de entre 40 a 60%, se redujo un 30% la cosecha de soja, un 20% la de trigo y se estimaron las pérdidas superiores a U\$S 700 millones.

La Región Pampeana ha experimentado durante las últimas décadas del siglo XX un aumento de las precipitaciones como han señalado, entre otros, Minetti y Vargas (1997), Rusticucci y Pernalba (2000), Barros *et al.* (2000 y 2008), Magrín *et al.* (2007), Forte Lay *et al.* (2008) y Antico y Sabbione (2010). Se debe hacer mención además a la relación entre los diferentes montos de precipitaciones con las tres fases del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENSO): El Niño, La Niña y Neutral y por ende con la humedad del suelos (Scarpati *et al.*, 2002 y 2007; Spescha *et al.*, 2004).

### Deficiencias de agua en el suelo

Mishra y Singh (2010) y Mishra *et al.* (2011) han realizado un exhaustivo trabajo en la recopilación y sistematización de la bibliografía sobre sequías en la que se destaca el uso del Índice de Severidad de Sequía de Palmer y el Índice Estándar de Precipita-

ción, ambos basados en la precipitación y, por otro lado, la escasez de estudios que utilicen el balance de agua en el suelo principalmente en Sudamérica.

En los últimos años se han observado serios fenómenos de sequías en la región pampeana, ocasionados por escasas precipitaciones como mencionan Forte Lay *et al.* (2007) y Botana *et al.* (2009). Minetti *et al.* (2010) encontraron que su principal causa está condicionada por la actividad del anticiclón del Océano Atlántico y su interacción con la depresión continental en la Pampa húmeda. Capriolo y Scarpati (2012) señalaron la distribución espacial de las sequías de acuerdo con diferentes valores de deficiencia de agua en el suelo.

### Excesos de agua en el suelo

Los excesos de agua en el suelo son los milímetros de lámina de agua precipitada que una vez colmada la capacidad de almacenaje del suelo (que depende de la profundidad de exploración que permite a las raíces vegetales, de su granulometría, de su contenido de materia orgánica, etc.), pasan a capas profundas del subsuelo para alimentar a las napas freáticas (infiltración profunda), o bien escurren superficialmente hacia las depresiones naturales del terreno o hacia la red hidrográfica de la región (escurrimiento superficial). Este último destino también lo puede alcanzar el agua sin necesidad de haber colmado la capacidad de almacenaje del suelo, en general cuando se producen lluvias torrenciales, dependiendo de la tasa de infiltración del suelo, de la intensidad de la lluvia, de la cobertura vegetal, etc. Por su parte, el agua subterránea también puede alimentar a la red hidrográfica (ríos o lagunas) o moverse lentamente hacia el mar.

Casi todos los años hay excesos de agua edáfica, principalmente durante la fase El Niño del ENSO aunque también se presenta en años La Niña. Las diferencias entre los valores de excesos en años El Niño y La Niña son más evidentes en el norte de la provincia y alcanzan valores de 100 mm. Al noreste de Buenos Aires hay un alto riesgo de suelos saturados y por ende de inundaciones durante el otoño, en años El Niño (Scarpati *et al.*, 2007).

Kruse *et al.* (2001) describieron la relación entre la precipitación, la evapotranspiración (agua que evapora el suelo y que transpiran las plantas),

el almacenaje de agua del suelo, el exceso de agua edáfica, el nivel de la capa freática y la escorrentía superficial en diferentes escenarios del noroeste de la provincia y observaron una buena relación temporal entre los niveles freáticos y el exceso de agua en el suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La Figura 1 muestra la provincia de Buenos Aires y sus principales características hidrológicas.

### Datos meteorológicos

Los datos de precipitación diaria del periodo 1969-2008 utilizado en la elaboración de este trabajo fueron suministrados por el SMN y el Instituto

Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Se utilizaron 29 estaciones del primer organismo y cinco del segundo, como se observa en el Cuadro 1 y en la Figura 2. Ellas y el periodo de tiempo (1969 - 2008), fueron seleccionadas por tener las series de datos completas y sin presentar faltantes. En estudios climáticos se deben considerar series de por lo menos 30 años, siendo ésta la cantidad mínima de años para poder efectuar cálculos estadísticos y obtener resultados significativos.

### Balance de agua en el suelo

El balance de agua en el suelo se realizó para cada estación meteorológica de la Figura 2, utilizando el modelo de Forte Lay *et al.* (2008), el cual se basa en el método de Thornthwaite-Mather con datos de precipitación diaria, de evapotranspiración de

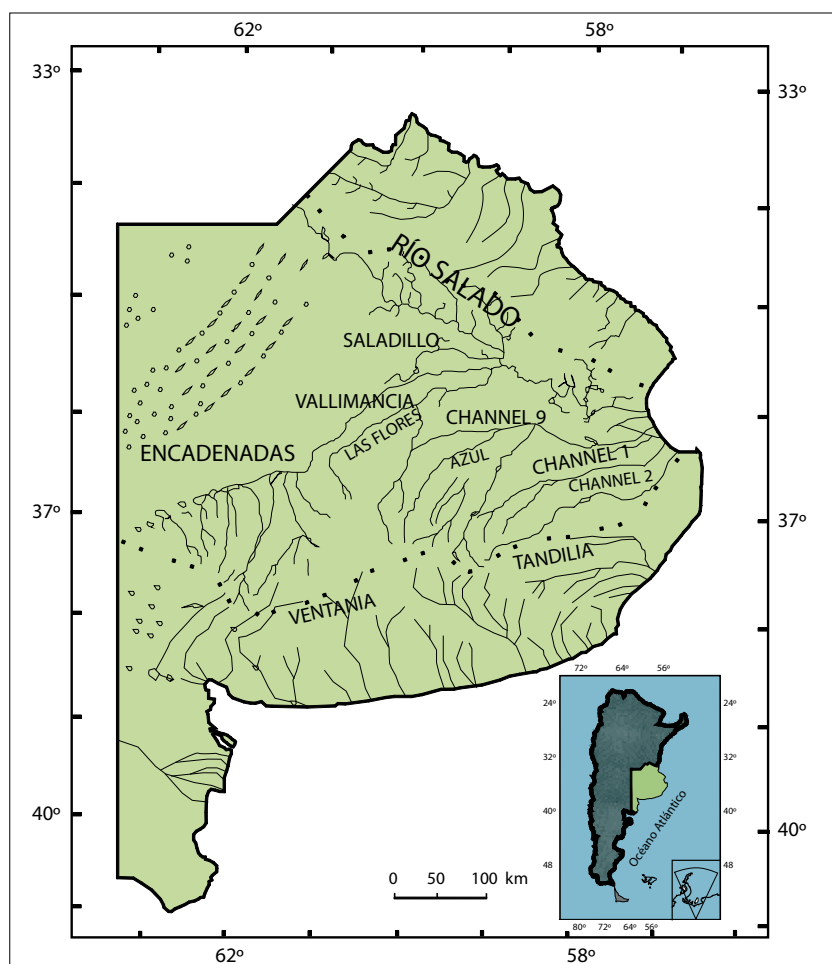


Figura 1. Provincia de Buenos Aires y sus principales características hidrológicas.

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas utilizadas

Número	Estación	Número	Estación
1	San Pedro INTA	18	Daireaux
2	Pergamino INTA	19	Santa Teresita
3	Junín	20	Azul
4	San Miguel	21	Olavarría
5	Mariano Moreno	22	Tandil
6	Aeroparque J. Newbery	23	Villa Gesell
7	Buenos Aires	24	Coronel Suarez
8	Ezeiza	25	Laprida
9	General Villegas	26	Pigüé
10	La Plata	27	Benito Juárez
11	Nueve de Julio	28	Balcarce INTA
12	Punta Indio	29	Bordenave INTA
13	Pehuajó	30	Coronel Pringles
14	Trenque Lauquen	31	Mar del Plata
15	Las Flores	32	Tres Arroyos
16	Bolívar	33	Bahía Blanca
17	Dolores	34	Hilario Ascasubi INTA

referencia obtenida con la fórmula de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2004) y con las constantes hidrológicas: Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) para los distintos tipos de suelo de la provincia de Buenos Aires según Forte Lay y Spescha (2001) a partir de valores extraídos *in situ*.

El modelo de balance de agua utilizado fue:

$$PP - EP + \Delta Alm + Ex + Def = 0 \text{ donde:}$$

*PP*: Precipitación diaria

*EP*: Evapotranspiración media de referencia

$\Delta Alm$ : Variación del almacenaje de agua en el suelo

*Ex*: Exceso de agua en el suelo

*Def*: Deficiencia de agua en el suelo

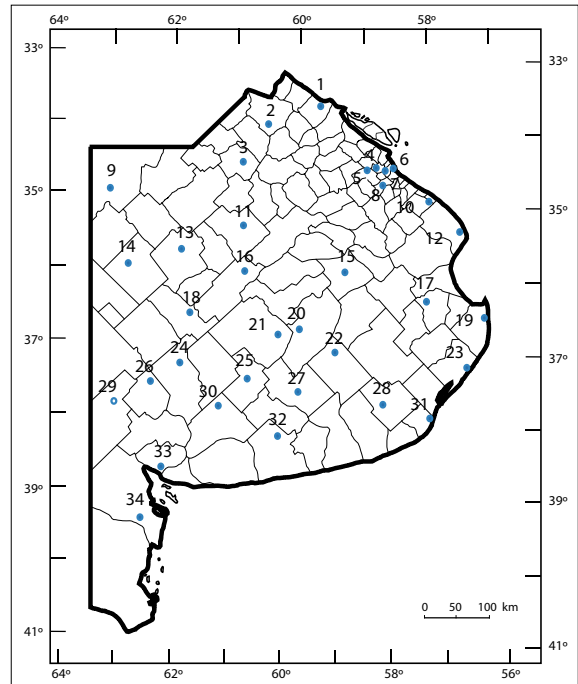


Figura 2. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Cuadro 2. Nivel de evento hidrológico anual (NEHA)

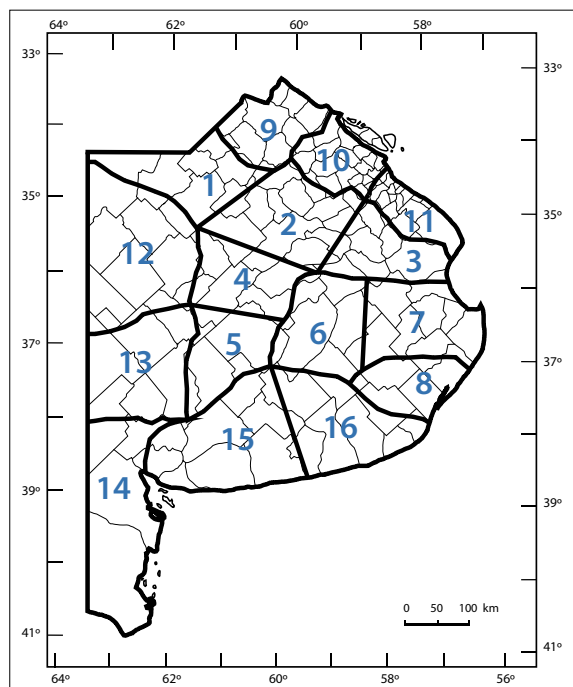
NEHA (mm)	≤ 200	≥ 200 y ≤ 300	≥ 300 y ≤ 400	≥ 400
	Bajo	Moderado	Severo	Extremo

Se consideró un valor umbral anual para riesgo de evento hidrológico extremo de 200 mm por ser un límite ecológico y un valor empírico de “señal de atención” en el área.

Se ha clasificado el nivel anual de evento hidrológico (inundación y sequía) que se ha encontrado como se observa en el Cuadro 2. Es decir, los milímetros de agua en el suelo (provengan de exceso o de deficiencia) que son desencadenantes de sequías o inundaciones durante el año.

### Áreas de drenaje de la provincia de Buenos Aires

La Figura 3 y el Cuadro 3 muestran los sectores analizados según el *Atlas de Recursos Hídricos de la Nación* (2002) y Giraut *et al.* (2007).



Fuente: elaboración propia a partir de información de Recursos Hídricos de la Nación (2002).

Figura 3: Áreas de drenaje de la Provincia de Buenos Aires.

### Elaboración de mapas

Los mapas de exceso y deficiencia anual de agua en el suelo (resultados del balance de agua para cada estación meteorológica) se realizaron con el software SURFER 8.0. Con este software de mapeo se realizó la construcción de mapas de isoclinas usando la opción Kriging el cual estima los valores de la grilla de nodos, con los valores de cada estación ingresados al software. En ellos se pudo observar la distribución espacial y temporal mediante un valor promedio para cada sector del Cuadro 3, obtenido por interpolación geográfica de ambos parámetros del balance de agua.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 4, que consta de una línea de tiempo, desde el año 1600 hasta 2008, fue realizada considerando la información de Ras (1994), de Durán (1987) que se ha completado con información

Cuadro 3. Sectores analizados de la provincia de Buenos Aires

Sector	Nombre
1	Noroeste de la cuenca del Río Salado
2	Centro de la cuenca del Río Salado
3	Desembocadura del Río Salado
4	Sur de la cuenca del Río Salado y norte de la cuenca del río Vallimanca
5	Sur de las cuencas de los ríos Salado y Vallimanca
6	Canales del oeste al sur de la cuenca del Río Salado
7	Canales al sur del Río Salado
8	Cuenca sudeste y arroyos
9	Cuenca del río Arrecifes
10	Cuenca de arroyos al noreste
11	Cuenca de drenaje del Río de la Plata al sur del río Samborombón
12	Región sin drenaje superficial
13	Lagunas al sudoeste
14	Pequeños ríos y arroyos con drenaje al Océano Atlántico
15	Cuencas y arroyos del sur (al oeste)
16	Cuencas y arroyos del sur (al este)

de Moncault (2003) y muestra en el último lapso resultados obtenidos por los autores.

En el Cuadro 4 se observa un conjunto de estaciones meteorológicas con distinta localización en la provincia y en la Figura 5 la evolución de sus precipitaciones decádicas desde 1940 a 2000. En ella se muestran claramente las fluctuaciones climáticas (o variabilidad climática) de las precipitaciones que siempre han formado parte de las características de la región. Todas las localidades analizadas presentan variaciones en sus montos de precipitación para los periodos de diez años, pero son llamativos Bahía Blanca y Nueve de Julio.

La evolución espacial y temporal del comportamiento de las lluvias en la región durante gran parte del siglo XX y lo que va del XXI, mantiene esa alternancia de periodos con mucha lluvia y con escasez de ellas.



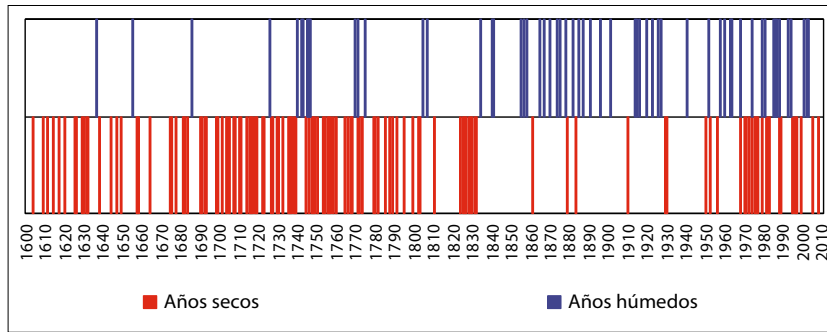


Figura 4. Distribución de años secos y lluviosos desde 1600 hasta 2008.

Cuadro 4. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas seleccionadas

Área	Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)
NE y E de Bs. As.	Buenos Aires Observatorio Central	34° 35'	58° 29'	25
	Junín Aero	34° 33'	60° 57'	81
SE de Buenos Aires	Mar del Plata Aero	37° 56'	57° 35'	24
SW y Centro-oeste de Buenos Aires	Azul Aero	36° 46'	59° 50'	133
	Tres Arroyos Aero	38° 23'	60° 16'	109
	Bahía Blanca Aero	38° 44'	62° 11'	83
	Nueve de Julio Aero	35° 27'	60° 53'	76

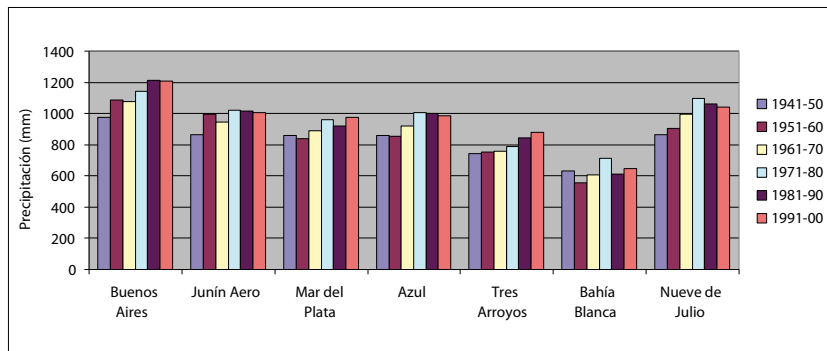


Figura 5. Precipitación media decádica de distintas localidades bonaerenses.

Fuente: elaboración propia a partir de datos diarios del SMN.

### Excesos de agua en el suelo

La Figura 6 permite observar la suma de excesos de agua en el suelo del 2002 en la provincia de Buenos Aires expresada en valores anuales de excesos de agua en el suelo (en milímetros) como resultado del balance del agua. El evento alcanzó valores mayores a 500 mm de excesos en toda la franja oriental de la provincia, mayores a 400 mm en el centro y valores entre 100 y 400 mm en la franja occidental. Este evento de inundación, como se mencionó anteriormente, comenzó a fines del 2000.

La Figura 7 muestra, para cada década del periodo estudiado, dónde se localizaron valores mayores de excesos de agua en el suelo, o sea las cuencas donde hubo riesgo de inundación por esta razón. En caso de estar marcada una cuenca en más de una ocasión significa que se alcanzó el mismo monto en más de una ocasión.

Las áreas 13 (lagunas al sudoeste), 14 (pequeños ríos y arroyos con drenaje al Océano Atlántico) y 15 (cuencas y arroyos del sur (al oeste)) son las que menos riesgo de inundación presentan,

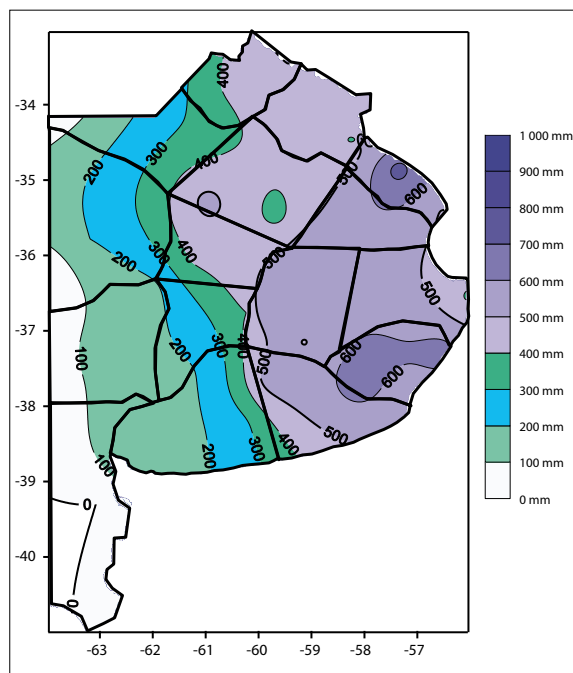


Figura 6. Suma de excesos de agua en el suelo del año 2002 expresada en milímetros.

mientras que la cuenca del Río Salado siempre muestra altos valores de excesos en toda o parte de su área de influencia, llegando a valores de 500-600 mm de excesos anuales.

La distribución de los máximos valores medios de excesos de agua en el suelo fueron los sectores 1 (noroeste de la cuenca del Río Salado) y 12 (región sin drenaje superficial) en la década 1969-1978, los sectores 2 (centro de la cuenca del Río Salado), 4 (sur de la cuenca del Río Salado y norte de la cuenca del Río Vallimanca), 5 (sur de las cuencas de los ríos Salado y Vallimanca), 6 (canales del oeste al sur de la cuenca del Río Salado) y 7 (canales al sur del Río Salado) para la década 1979-1988, los sectores 3 (desembocadura del Río Salado), 13 (lagunas al sudoeste), 14 (pequeños ríos y arroyos con drenaje al Océano Atlántico) y 15 (cuencas y arroyos del sur (al oeste)) para la década 1989-1998 y los sectores 8 (cuenca sudeste y arroyos), 9 (cuenca del río Arrecifes), 10 (cuenca de arroyos al noreste), 11 (cuenca de drenaje del Río de la Plata al sur del río Samborombón), 12 (región sin

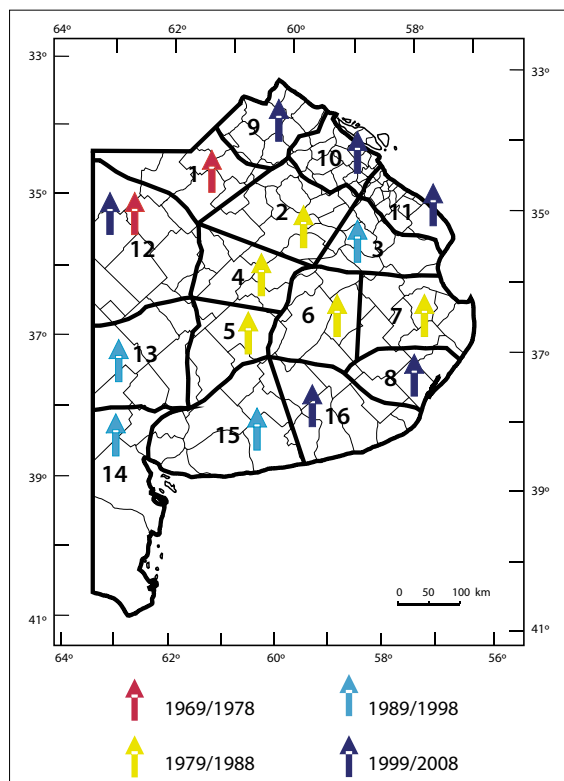


Figura 7. Década con el monto más alto de los valores medios de los excesos de agua en el suelo.

drenaje superficial) y 16 (cuencas y arroyos del sur (al este)) para la década 1999-2008.

### Deficiencias de agua en el suelo

La Figura 8 muestra el mapa correspondiente a 2008 con los valores anuales de deficiencia de agua en el suelo alcanzado como resultado de la realización del balance de agua en el suelo. Se ve que toda la provincia tuvo valores mayores a 250 mm, llegando a 500 mm en el noreste y oeste, mientras que en la zona norpatagónica alcanzó y pasó los 1 000 mm de sequía.

La Figura 9 permite observar la distribución de los valores máximos de deficiencias de agua en el suelo para la provincia de Buenos Aires durante el periodo 1969-2008. En caso de estar marcada una cuenca en más de una ocasión, significa que se alcanzó el mismo monto en varias décadas.

La década 1969-1978 tuvo riesgo de sequía en las áreas o sectores 4 (sur de la cuenca del Río

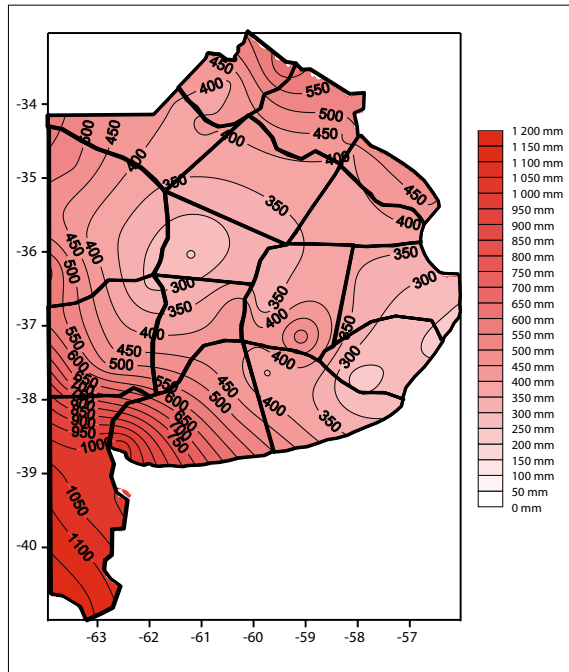


Figura 8. Suma de déficit de agua en el suelo para el año 2008 expresada en milímetros.

Salado y norte de la cuenca del Río Vallimanca), 12 (región sin drenaje superficial), 13 (lagunas al sudoeste) y 16 (cuencas y arroyos del sur (al este). La siguiente década, 1979-1988, los sectores 1 (noroeste de la cuenca del Río Salado), 2 (centro de la cuenca del Río Salado), 3 (desembocadura del Río Salado), 6 (canales del oeste al sur de la cuenca del Río Salado), 7 (canales al sur del Río Salado), 9 (cuenca del río Arrecifes), 10 (cuenca de arroyos al noreste), 11 (cuenca de drenaje del Río de la Plata al sur del río Samborombón) y 15 (cuencas y arroyos del sur (al oeste)) fueron los más afectados. Solamente el sector 14 (pequeños ríos y arroyos con drenaje al Océano Atlántico) presentó altos valores de deficiencias de agua en el suelo en la década 1989-1998. En la siguiente década (1999-2008) los sectores 4 (sur de la cuenca del Río Salado y norte de la cuenca del río Vallimanca), 5 (sur de las cuencas de los Ríos Salado y Vallimanca), 8 (cuenca sudeste y arroyos), 14 (pequeños ríos y arroyos con drenaje al Océano Atlántico), 15 (cuencas y arroyos del sur (al oeste)) y 16 (cuencas y arroyos

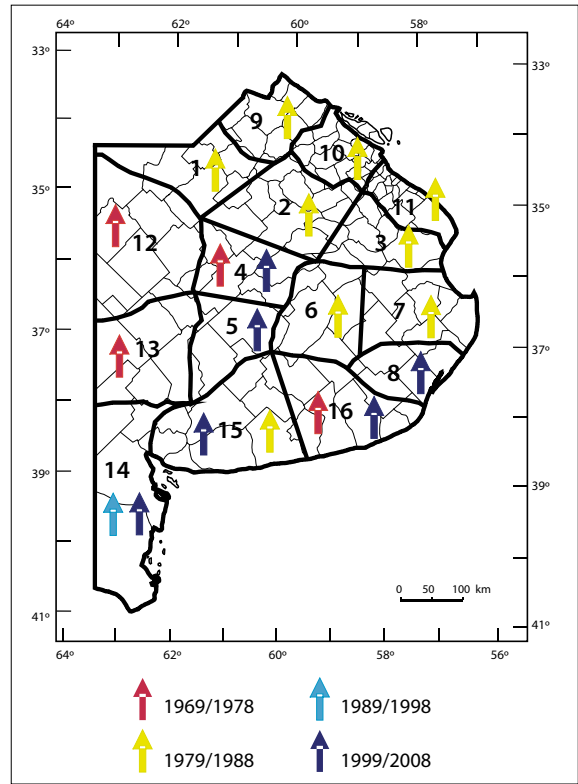


Figura 9. Década con el monto más alto de los valores medios de deficiencias de agua en el suelo.

del sur (al este)) tuvieron los valores más altos de deficiencia de agua.

A continuación se muestra para cada sector analizado la cantidad de ocasiones en que tuvo lugar un evento hidrológico extremo y el nivel de gravedad alcanzado, en el Cuadro 5 los correspondientes a excesos y en el Cuadro 6 los correspondientes a deficiencia de agua en el suelo. En ambos cuadros se han resaltado con el símbolo # los sectores con quince o más eventos clasificados bajos o moderados.

En el Cuadro 5 el sector 6 (canales del oeste al sur de la cuenca del Río Salado) es el que presenta valores más pequeños en todos los niveles de excesos. Se ha mostrado con el símbolo \* aquellos sectores que han tenido más de diez eventos severos y extremos, o más de cinco en cada una de estas categorías.

En el Cuadro 6 se ha señalado con el símbolo § aquellos sectores que han tenido menos de diez

Cuadro 5. Distribución de los niveles de excesos en la provincia de Buenos Aires

Sector	Nivel de excesos			
	Bajo	Moderado	Severo	Extremo
1	28 <sup>#</sup>	8	3	1
2	18 <sup>#</sup>	10	6*	6*
3	17 <sup>#</sup>	13	5*	5*
4	22 <sup>#</sup>	7	6*	5*
5	30 <sup>#</sup>	5	5	0
6	13	15 <sup>#</sup>	7*	5*
7	21 <sup>#</sup>	12	3	4
8	17 <sup>#</sup>	15	6	2
9	22 <sup>#</sup>	11	2	5
10	18 <sup>#</sup>	9	8*	5*
11	18 <sup>#</sup>	9	6*	7*
12	30 <sup>#</sup>	8	2	0
13	33 <sup>#</sup>	6	1	0
14	40 <sup>#</sup>	0	0	0
15	38 <sup>#</sup>	2	0	0
16	25 <sup>#</sup>	11	2	2

Referencias: #: sectores con quince o más eventos clasificados bajos o moderados y \* sectores que han tenido más de diez eventos severos y extremos, o más de cinco en cada una de estas categorías.

eventos severos y extremos: 4 (sur de la cuenca del Río Salado y norte de la cuenca del río Vallimanca), 6 (canales del oeste al sur de la cuenca del Río Salado), 7 (canales al sur del Río Salado) y 8 (Cuenca sudeste y arroyos) en el periodo estudiado.

Se debe considerar que son más serios los procesos de falta de agua pues actúan en forma más limitante de acciones paliativas que la inundación (como ser traslado de ganado a zonas más altas, plantaciones con diferente fecha de siembra, utilización de variedades con distinta longitud del ciclo de cultivos, etc.).

Las Figuras 8 y 9 señalan que en la provincia de Buenos Aires existe la presencia continua de ocurrencia de riesgo de eventos hidrológicos extremos en el balance de agua en el suelo. Ellos constituyen

Cuadro 6. Distribución de los niveles de sequía en la provincia de Buenos Aires

Sector	Nivel de Sequía			
	Bajo	Moderado	Severo	Extremo
1	0	19 <sup>#</sup>	17	4
2	5	22 <sup>#</sup>	12	1
3	1	21 <sup>#</sup>	17	1
4	11	23 <sup>#</sup>	6 <sup>§</sup>	0 <sup>§</sup>
5	6	20 <sup>#</sup>	12	2
6	9	23 <sup>#</sup>	7 <sup>§</sup>	1 <sup>§</sup>
7	10	23 <sup>#</sup>	6 <sup>§</sup>	1 <sup>§</sup>
8	22 <sup>#</sup>	17	1 <sup>§</sup>	0 <sup>§</sup>
9	3	21 <sup>#</sup>	12	4
10	5	19 <sup>#</sup>	15	1
11	3	15	16 <sup>#</sup>	6
12	1	11	18 <sup>#</sup>	10
13	0	2	19 <sup>#</sup>	19 <sup>#</sup>
14	0	0	0	40 <sup>#</sup>
15	0	0	4	36 <sup>#</sup>
16	7	16 <sup>#</sup>	15	2

Referencias: #: sectores con quince o más eventos clasificados bajos o moderados y § sectores que han tenido menos de diez eventos severos y extremos

un fenómeno natural que puede desencadenar un desastre con consecuencias sociales y económicas.

## CONCLUSIONES

En la provincia de Buenos Aires la presencia de eventos hidrológicos extremos de diversa severidad constituye una característica de la misma. Se puede considerar a los resultados del balance de agua en el suelo como detonante y/o calificador de los mismos. Ello se ha comprobado con el desarrollo del balance diario para el periodo 1969-2008. La cuenca del Río Salado es la más sensible a los excesos y la región sudoeste de la provincia a las deficiencias. Pero la alta presencia de valores por

encima de montos considerados “umbral” implica una constante de riesgo.

Este último es una condición latente o potencial y su nivel o grado depende de la intensidad probable del evento desencadenante y de los niveles de vulnerabilidad existentes.

Se debe enfatizar que en este trabajo no se ha incluido el accionar de obras hidráulicas, ya sean de orígenes nacionales, municipales o particulares por entender que ellos escapan a la finalidad del mismo y las existentes solo derivan los excesos al Océano Atlántico.

## REFERENCIAS

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, D. and M. Smith (2004), “Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements”, *Irrigation and drainage*, FAO, Paper 56, Roma.
- Ameghino, F. (1884), *Las secas y las inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. Obras de retención y no de desagüe*, M. A. A. de la Provincia de Buenos Aires, 1884-1984.
- Antico, P. L. y N. C. Sabbione (2010), “Variabilidad temporal de la precipitación en la ciudad de La Plata durante el período 1909-2007: tendencias y fluctuaciones cuasiperiódicas”, *GEOACTA*, núm. 35, pp. 44-53
- SMN (2010), Argentina, Servicio Meteorológico Nacional [<http://www.smn.gov.ar/>].
- SSRH-INA (2002), *Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina*, Buenos Aires [CD].
- Barros, V., M. Gonzalez, B. Liebmann and I. Camilloni (2000), “Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in South-eastern South America”, *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 3, no. 67, pp. 123-133.
- Barros, V., M. Doyle and I. Camilloni (2008), “Precipitation trends in southeastern South America: Relationship with ENSO phases and with low-level circulation”, *Theoretical and Applied Climatology*, no. 93, pp. 19-33.
- Botana, M. I., V. Pohl Schnake y O. E. Scarpati (2009), “Las sequías en la Provincia de Buenos Aires: zonas agroecológicas y análisis de las precipitaciones durante el periodo 1996-2007”, *XIX Jornadas de Investigación de la Facultad de Ciencias Humanas. La complejidad de la investigación universitaria en el contexto de cambio*, Eje temático: Estudios regionales, Universidad Nacional de la Pampa. 10 y 11 de septiembre de 2009.
- Capriolo A. D. and O. E. Scarpati (2012), “Modelling the distribution of agricultural drought by means of soil water deficit”, *Energy and Environment Research*, vol. 2, no. 2, Canadian Center of Science and Education, doi: 10.5539/eer.v2n2p1 [<http://dx.doi.org/10.5539/eer.v2n2p1>].
- Durán, D. (1987), *Sequías e inundaciones. Propuestas*, OIKOS, Asociación para la promoción de los estudios territoriales y ambientales.
- Forte Lay, J. A. y L. B. Spescha (2001), “Método para la estimación de la climatología del agua edáfica en las provincias pampeanas de la Argentina”, *RADA*, vol. 1, no. 1, pp. 67-75.
- Forte Lay, J. A., O. E. Scarpati, L. B. Spescha and A. D. Capriolo (2007), “Drought risk in the pampean region using soil water storage analysis”, in Jones, J. A. A. and O. E. Scarpati (eds.), *Environmental change and rational water use*, Session 1, pp. 146-168.
- Forte Lay, J. A., O. E. Scarpati and A. D. Capriolo (2008), “Precipitation variability and soil water content in pampean flatlands (Argentina)”, *Geofísica Internacional*, vol. 47, no. 4, pp. 341-354.
- Forte Lay, J. A., O. E. Scarpati and A. D. Capriolo (2009), “The 2000-2002 flood event in Buenos Aires province, Argentina”, *Journal of Flood Engineering*, vol. 1, no. 1, Serial Publications, India, pp. 29-40.
- Giraut, M. A., R. L. Agugliano, C. Lupano, E. Bozzarello, J. M. Cornejo y C. Rey (2007), “Regiones hídricas superficiales de la provincia de Buenos Aires – Actualización cartográfica digital”, Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Mar del Plata, 19 al 21 de setiembre [<http://www.aet.org.ar/>].
- González, M. H. and A. E. Fernández (2007), “Floods increasing in Buenos Aires Salado River Basin”, in Scarpati, O. E. and J. A. A. Jones (eds.), *Environmental Change and Rational Water Use*, International Geographical Union, Buenos Aires, Argentina, pp. 96-113.
- Kruse, E., J. A. Forte Lay, J. L. Aiello, A. Basualdo and G. Heinzenknecht (2001), “Hydrological processes on large flatlands: case study in the northwest region of Buenos Aires Province (Argentina)”, *IAHS*, 267, pp. 531-535.
- Magrin, G., M. Travasso, W. Baethgen, M. Grondona, A. Gimenez, G. Cunha, J. Castaño and G. Rodríguez (2007), “Past and future changes in climate and their impacts on annual crops yield in South East South America”, *Proc. TGICA Workshop*, IPCC WG I, Nadi, Fiji.
- Minetti, J. L. and W. M. Vargas (1997), “Trends and jumps in the annual precipitation en South America on the 15°S”. *Atmósfera*, no. 11, pp. 204-221.
- Minetti, J. L., W. M. Vargas, A. G. Poblete and M. E. Bobba (2010), “Regional drought in the southern of

- South America - physical aspects”, *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 25, no. 1, pp. 88-102.
- Mishra, A. K. And V. P. Singh (2010), “A review of drought concepts”, *Journal of Hydrology*, no. 391 (1-2), pp. 202-216.
- Mishra Ashok, K. and V. P. Singh (2011), “Drought modeling – A review”, *Journal of Hydrology*, no. 403, (1-2), pp. 157-175 [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411002393>].
- Moncaut, C. A. (2003), “Inundaciones y sequías tienen raíces añejas en la pampa bonaerense (1576-2001)”, en Maiola, O. C., N. A. Gabellone y M. A. Hernández (eds.), *Inundaciones en la región pampeana*, Honorable Cámara de Diputados de la provincia de Buenos Aires, Universidad Nacional de La Plata, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires.
- Ras, N. (1994), *Crónica de la frontera sur*, Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires.
- Rusticucci, M. y O. Penalba (2000), “Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature”, *Climate Research*, vol. 1, no. 16, pp. 1-15.
- Scarpatti, O. E., L. B. Spescha and A. D. Capriolo (2002), “Occurrence of the severe floods in the Salado River basin, Buenos Aires province, Argentina”, Jones, J. A. A. and Ming-Ko Woo (eds.), *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Kluwer Academic Publishers, vol. 7, no. 3, pp. 285-301.
- Scarpatti, O. E., J. A. Forte Lay, L. B. Spescha and A. D. Capriolo (2007), “Autumn soil water surplus during ENSO events in argentine pampean flatlands”, in Robinson, P. J., M-K. Woo and J. A. A. Jones (eds.), *Managing water resources in a changing physical and social environment*, IGU, Home of Geography Publication Series, Società Geografica Italiana Rome, Part 2, Chapter 4, pp. 27-36.
- Scarpatti, O. E., J. A. Forte Lay y A. D. Capriolo (2008), “La inundación del año 2001 en la Provincia de Buenos Aires, Argentina”, *Mundo Agrario*, Centro de Estudios Rurales, UNLP. 9, 17 [<http://www.mundoagrario.unlp.edu.ar/>].
- Scarpatti, O. E., L. B. Spescha, J. A. Forte Lay and A. D. Capriolo (2011), “Soil water surplus in Salado River Basin and its variability during the Last Forty Years (Buenos Aires Province, Argentina)”, *Water*, no. 3, DOI: 10.3390/w3010132, pp. 132-145.
- Spescha, L. B., J. A. Forte Lay, O. E. Scarpatti y R. Hurtado (2004), “Los excesos de agua edáfica y su relación con el ENSO en la Región Pampeana”, *Revista de la Facultad de Agronomía (UBA)*, vol. 24, no. 2, pp. 161-167.