

Extremos hidroclimáticos y recursos hídricos: estado de conocimiento en el suroeste bonaerense, Argentina

ANA CASADO¹ | ALICIA M. CAMPO²

Recibido: 17/01/2018 | Aceptado: 04/02/2019

Resumen

La recurrencia de sequías e inundaciones representa uno de los principales desafíos para el manejo sostenible de los recursos hídricos en el suroeste bonaerense. Este trabajo reúne y sintetiza los principales avances en el entendimiento de la variabilidad natural del clima que caracteriza la región y de sus repercusiones sobre la estabilidad de los recursos hídricos locales. Se exploran los procesos que determinan la variabilidad espacial y temporal de la precipitación y se examinan los mecanismos de respuesta hidrológica frente a extremos de precipitación. Se proporciona asimismo un inventario de los eventos hidroclimáticos extremos registrados en los últimos años, poniendo de relieve la multiplicidad de consecuencias negativas para la sociedad local. Los resultados subrayan la necesidad de conducir un análisis integrado que combine el complejo de procesos físicos y humanos que intervienen en torno a la ocurrencia y recurrencia de eventos hidroclimáticos extremos en el suroeste bonaerense y que considere la diversidad de daños potenciales de los mismos a escalas espaciotemporales anidadas.

Palabras clave: extremos hidroclimáticos; recursos hídricos; suroeste bonaerense.

Abstract

Hydroclimatic extremes and water resources: current state of knowledge in south-western Buenos Aires, Argentina

Drought and flood recurrence represents one of the greatest challenges for sustainable water resources management in south-western Buenos Aires. This paper bridges and summarizes recent advances in the understanding of the natural variability of the regional climate and its impacts on the stability of local water resources. It explores the processes that determine the spatial and temporal variability of rainfall, and examines the mechanisms of hydrological response to rainfall extremes. It also provides an inventory of extreme hydroclimatic events recorded in recent years to illustrate the multiplicity of negative consequences for the local society. Results underline the need for an integrated analysis that combines the complex of physical and human processes involved in the occurrence and recurrence of extreme hydroclimatic events in south-western Buenos Aires, and that considers the diversity of potential damages over a range of temporal and spatial scales.

Keywords: hydroclimatic extremes; water resources; south-western Buenos Aires.

1. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, CONICET GEOLAB UMR 6042, Université Clermont Auvergne, CNRS. ana.casado@uns.edu.ar

2. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, CONICET. amcampo@uns.edu.ar

Résumé

Extrêmes hydroclimatiques et ressources en eau : état des connaissances dans le sud-ouest de Buenos Aires, Argentine

La récurrence des sécheresses et des inondations représente l'un des principaux défis pour la gestion durable des ressources en eau dans le sud-ouest de Buenos Aires. Ce travail rassemble et synthétise les principales avancées dans la compréhension de la variabilité naturelle du climat régional et ses effets sur la stabilité des ressources en eau locales. Il explore les processus qui déterminent la variabilité spatiale et temporelle des précipitations et les mécanismes de réponse hydrologique aux événements de précipitation extrême. Il fournit également un inventaire des événements hydroclimatiques extrêmes enregistrés au cours des dernières années mettant en évidence la multiplicité de conséquences négatives pour la société locale. Les résultats soulignent la nécessité de mener une analyse intégrée combinant la complexité de processus physiques et humains impliqués dans l'occurrence et la récurrence des extrêmes hydroclimatiques dans le sud-ouest de Buenos Aires tenant compte de la diversité d'enjeux à des échelles spatiotemporelles imbriquées.

Mots clés : extrêmes hydroclimatiques; ressources en eau; sud-ouest de Buenos Aires.

1. Introducción

Las sequías y las inundaciones son una problemática recurrente en la provincia de Buenos Aires (Scarpati y Capriolo, 2013). Tales eventos ocurren como consecuencia de (i) la variabilidad natural de las precipitaciones, traducida por la alternancia de episodios extremos húmedos y secos cuya frecuencia, duración e intensidad es muy variable en espacio y tiempo (Aliaga et al., 2016; Labraga et al., 2002; Scian, 2000; Scian et al., 2006) y (ii) la baja energía del relieve y el predominio de procesos hidrológicos verticales (evaporación e infiltración) lo cual favorece la ocurrencia de sequías e inundaciones durante episodios climáticos extremos (Kruse y Laurencena, 2005).

En el suroeste de la provincia, la recurrencia y la intensidad de estos fenómenos se intensifican significativamente debido al carácter de transición que caracteriza al clima de la región (Campo et al., 2004). En efecto, la misma está sujeta a la alternancia permanente de masas de aire de distinta índole que imprimen una alta inestabilidad en las condiciones de precipitación en todas las estaciones del año (Campo et al., 2009). La progresión acumulada de las variaciones de precipitación por encima o por debajo de la normal afectan el contenido de humedad del suelo (Forte Lay et al., 2008; Taboada et al., 2009; Troha y Forte Lay, 1993), la estabilidad de los recursos hídricos (Bohn et al., 2016; Ferrelli y Aliaga, 2016; Kruse et al., 2000) y el rendimiento de los cultivos (Brescia et al., 1998; D'Ambrosio et al., 2013), con dramáticas repercusiones socioeconómicas tanto a escala local como regional (Andrade et al., 2009).

En este contexto, la recurrencia de sequías e inundaciones en el suroeste bonaerense constituye el foco de interés científico creciente. El propósito de este trabajo es reunir y armonizar los conocimientos actuales relacionados con la variabilidad climática que caracteriza la región con el objetivo de identificar (i) los mecanismos que determinan la variabilidad espacial y temporal de la precipitación, (ii) los procesos físicos que condicionan la respuesta de los recursos hídricos locales frente a extremos de precipitación y, (iii) la repercusión de tales eventos extremos para la sociedad local. Para ello se consulta y se sintetiza información extraída de fuentes bibliográficas de distinta índole y se analizan series de datos e índices hidroclimáticos para complementar e

ilustrar esta información. Se toma como ejemplo ilustrativo la cuenca del río Sauce Grande regulada por el embalse Paso de las Piedras para provisión de agua potable desde 1978. La relevancia regional del servicio ambiental que provee la misma la convierte en el foco central de atención de la región.

2. Metodología

2.1. Materiales y métodos

El presente trabajo reúne y sintetiza los principales avances en el entendimiento de la ocurrencia y recurrencia de extremos hidroclimáticos en el suroeste bonaerense y de sus repercusiones para la sociedad local. Para ello se consulta una amplia gama de información extraída de fuentes bibliográficas diversas, incluyendo trabajos científicos, tesis inéditas, informes técnicos, documentación de entidades y publicaciones periodísticas. Paralelamente, se obtuvieron series y bases de datos climáticos, socioeconómicos y cartográficos (Tabla 1) para cumplimentar e ilustrar la información obtenida de las fuentes citadas anteriormente.

Tabla 1: Series de datos complementarios utilizados en el análisis

Base	Datos	Periodo	Fuente
Climática	Valores mensuales de agua precipitable, presión atmosférica y vientos de baja altura (componentes U y V)	1981-2010	NCEP/NCAR Reanalysis PSD-ESRL*, NOAA
	Datos grillados de precipitación mensual a 0.5° de resolución (lat. /long.)	1981-2010	Global Precipitation Climatology Centre GPCC (Schneider et al., 2011) PSD-ESRL, NOAA
	Valores mensuales del Índice de Oscilación del Sur (SOI)	1950-2010	PSD-ESRL, NOAA
	Montos de precipitación mensual	1971-2010	Ministerio de Agroindustria (MinAgri)
Socio-económica	Variables e indicadores del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas	2010	Instituto Nacional de Estadística y Censo (INDEC)
Cartográfica	Unidades geoestadísticas por radio censal (formato shape)	2010	INDEC
	Bases cartográficas (formato shape)	-	Instituto Geográfico Nacional (IGN)

* Physical Sciences Division (PSD), Earth System Research Laboratory (ESRL).

El análisis de las series de datos se realizó mediante el uso combinado de la estadística básica y la geoestadística en un SIG (Sistema de Información Geográfica). La lectura, visualización y análisis de las series de datos de NOAA (formato NetCDF) requirió el uso complementario de programas específicos tales como Integrated Data Viewer (Unidata) y de distintos operadores NetCDF para manipulación de las bases de datos. Ello permitió obtener una variedad de series climáticas delimitadas, agregadas y promediadas a distintas escalas espaciales y temporales. Cabe destacar que la definición del fenómeno EL Niño - Oscilación del Sur (ENOS) utilizada en este trabajo se basa en los desvíos de la serie del SOI promediada cada cinco meses. Un episodio cálido (El Niño) se define por valores negativos del SOI que exceden -0.5 durante cinco meses consecutivos o más, mientras que un evento frío (La Niña) se define en el sentido contrario (Ropelewski y Jones, 1987).

2.2. Área de estudio

La densidad de población en el suroeste bonaerense es baja, con excepción del partido de Bahía Blanca que conforma el centro económico regional (Mapa 1). La agricultura y la ganadería extensiva sobre el pastizal natural constituyen la base de la economía (Sili, 2000). La variación anual e interanual del monto efectivo de las precipitaciones que caracteriza la región afecta directamente la cantidad de agua efectiva para almacenamiento y uso, constituyéndose en el mayor desafío no solo para la producción agropecuaria (Brendel et al., 2017; Brescia et al., 1998; Campo et al., 2012a) sino también para la gestión de los recursos hídricos locales (Andrés et al., 2009; Ferrera y Alamo, 2010).

El río Sauce Grande constituye uno de los recursos de agua dulce más importantes de la región (Schefer, 2004). El mismo recoge sus aguas en la vertiente oriental de la sierra de la Ventana y, con una longitud de 218 km, desemboca en el océano Atlántico en el partido de Monte Hermoso (Mapa 1). Además de su relevancia agroecosistémica a escala de la cuenca (Denegri y Gaspari, 2010; Carrascal Leal et al., 2013), el sistema fluvial está conectado a una zona más amplia debido al servicio ambiental que provee a las ciudades de Bahía Blanca y Punta Alta. En efecto, el embalse Paso de las Piedras provee actualmente el mayor suministro de agua potable de la región. La situación geográfica de la cuenca y la relevancia regional del recurso suponen un complejo de procesos físicos y humanos cuyas interacciones han sido un verdadero desafío para la gestión de los recursos hídricos locales.

3. Resultados

3.1. La variabilidad de las precipitaciones en el suroeste bonaerense

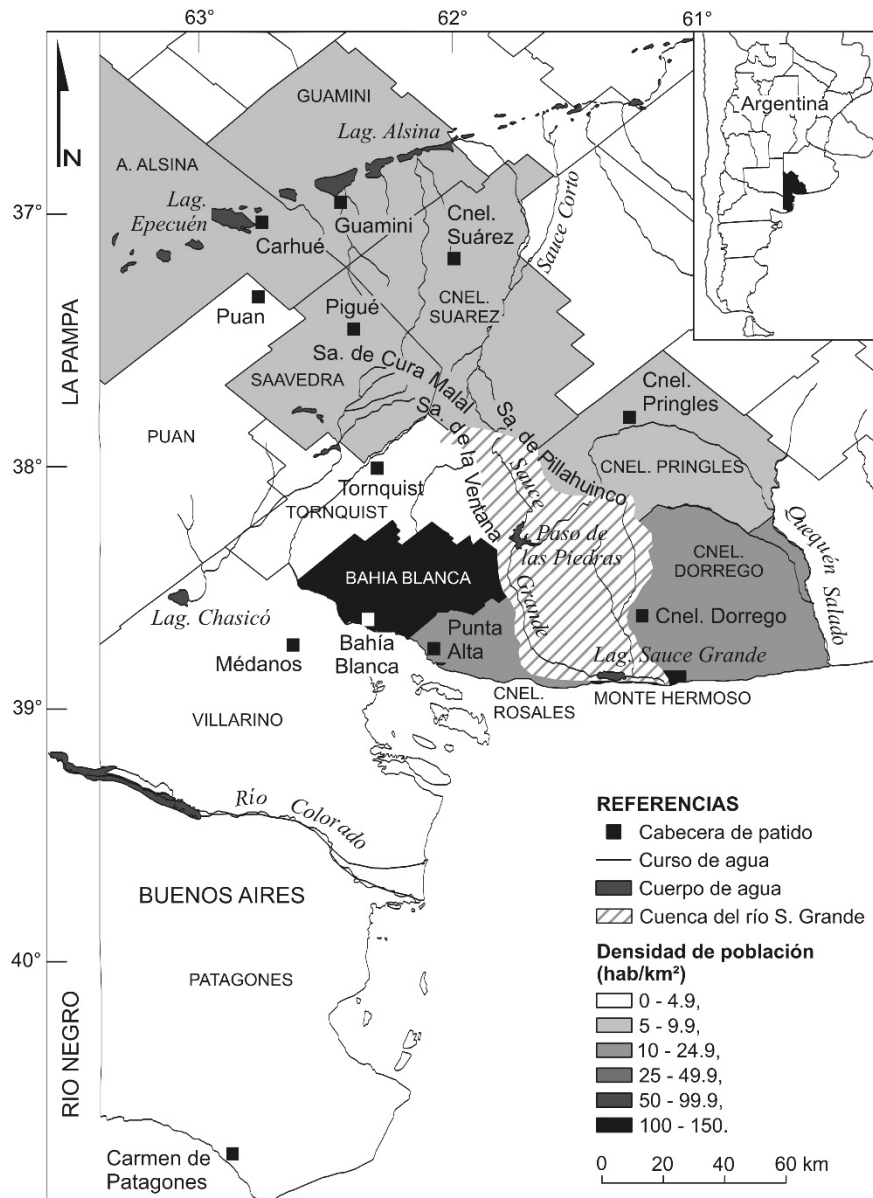
El suroeste bonaerense se encuentra en la franja planetaria de los climas templados, con estaciones térmicas y lluviosas bien definidas (Campo et al., 2004). Sin embargo, los efectos de la continentalidad, la topografía regional y la conjugación de fenómenos atmosféricos de pequeña a gran escala determinan una marcada variabilidad climática en espacio y tiempo (Campo et al., 2009). Dicha variabilidad alcanza todos los parámetros climáticos, aunque la variabilidad de las precipitaciones en el espacio y en el tiempo (alta y baja frecuencia) resulta el parámetro más evidente debido a las consecuencias negativas que conlleva para la sociedad local.

3.1.1. Variabilidad espacial

El mapa 2 ilustra la situación del suroeste bonaerense (SOB) en el contexto climático de América del Sur y los océanos adyacentes. La divergencia a baja altura de los anticiclones del Atlántico Sur y del Pacífico Sur es responsable de la mayor parte de la circulación atmosférica continental (Garreaud et al., 2009), con patrones latitudinales de circulación bien definidos y contrastados en estrecha relación con la topografía suramericana (Garreaud y Aceituno, 2007). En las latitudes bajas, la cordillera de los Andes constituye una barrera impenetrable para las masas de aire pacíficas (Marengo y Seluchi, 1998) favoreciendo el predominio de masas de aire atlánticas. Estas masas aportan grandes cantidades de humedad a los trópicos continentales (Garreaud et al., 2009) y su influencia se extiende hasta latitudes subtropicales (Gan et al., 2004). En las latitudes medias el patrón de circulación se invierte y las masas de aire pacíficas penetran en el continente en conexión con una disminución de la presión hacia los polos (Garreaud y Aceituno, 2007; Garreaud et al., 2009). El flujo pacífico aporta grandes cantidades de humedad a las costas suroccidentales

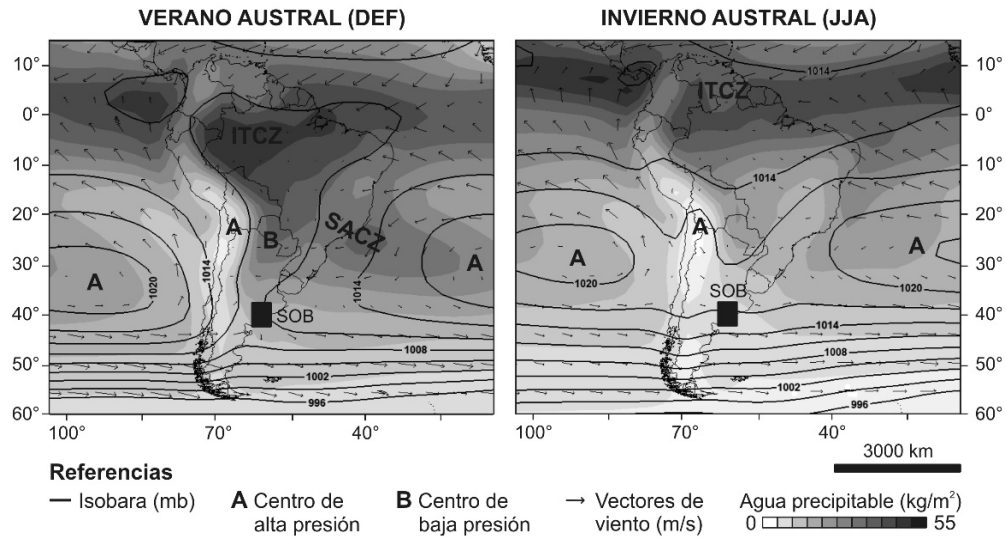
del continente; sin embargo, la subsidencia sobre el flanco oriental de los Andes australes favorece la penetración de masas de aire secas a través de la Patagonia argentina (Castañeda y Gonzalez, 2008). Sobre el océano Atlántico suroccidental se conforma una zona de convergencia de baja altura, divergencia en altura e intensa actividad convectiva conocida como la Zona de Convergencia del Atlántico Sur, SACZ por sus siglas en inglés (Barros et al., 2000; Garreaud y Aceituno, 2007; Nogués Paegle y Mo, 1997).

Mapa 1: Configuración del suroeste bonaerense y situación de la cuenca del río Sauce Grande en el contexto regional.



Fuente: elaborado sobre la base de datos geográfica del IGN y los datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 (INDEC).

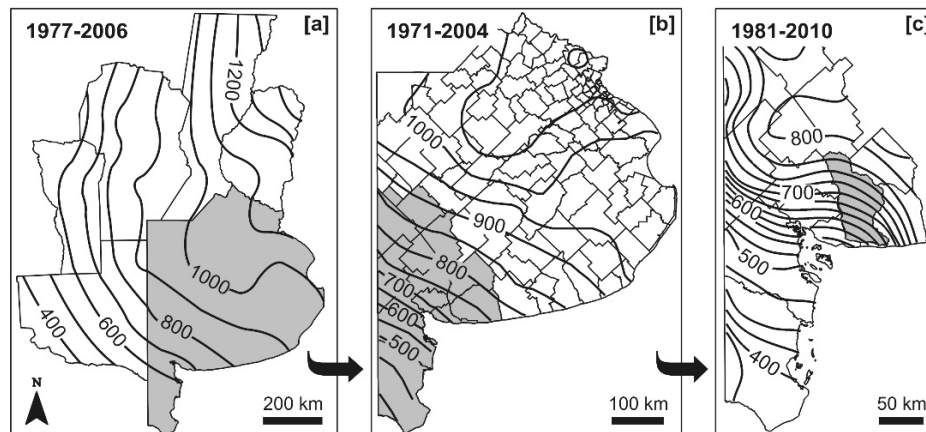
Mapa 2: Circulación atmosférica de baja altura y agua precipitable sobre América del Sur y los océanos adyacentes en verano e invierno



Fuente: elaborado en base a los promedios mensuales del NCEP / NCAR Reanalysis (1981-2010).

El suroeste bonaerense se sitúa bajo la doble influencia de masas de aire atlánticas y pacíficas que imponen condiciones sub-húmedas y sub-áridas, respectivamente (Capelli de Steffens y Campo, 1994). En efecto, el área se sitúa dentro de una zona de transición más amplia, localmente denominada Diagonal Árida (Bruniard, 1982), que constituye un auténtico límite climático para el avance de las masas de aire húmedas provenientes del Atlántico. Estas masas penetran por el noreste y se degradan a medida que avanzan sobre el continente. Como resultado, los montos de precipitación en el sureste suramericano decrecen en sentido noreste-suroeste (Mapa 3). A escala regional, Forte Lay et al. (2008) encontraron que la diferencia de precipitación media anual entre el noreste y el suroeste de la región pampeana es de 1000 mm. En la provincia de Buenos Aires, Kruse y Laurencena (2005) documentaron diferencias de hasta 700 mm en la precipitación media anual registrada en los departamentos nororientales y suroccidentales. A la escala del suroeste bonaerense, la diferencia entre los montos de precipitación media anual registrada al entre el noreste y al suroeste de la región supera los 400 mm (Gabella et al., 2010).

Mapa 3: Distribución espacial de la precipitación media anual en [a] la región pampeana, [b] la provincia de Buenos Aires y [c] el suroeste bonaerense.



Fuente: (a) Forte Lay et al. (2008); (b) Kruse y Laurencena (2005); (c) elaborado en base a los datos grillados del GPCC (ERSL-NOAA).

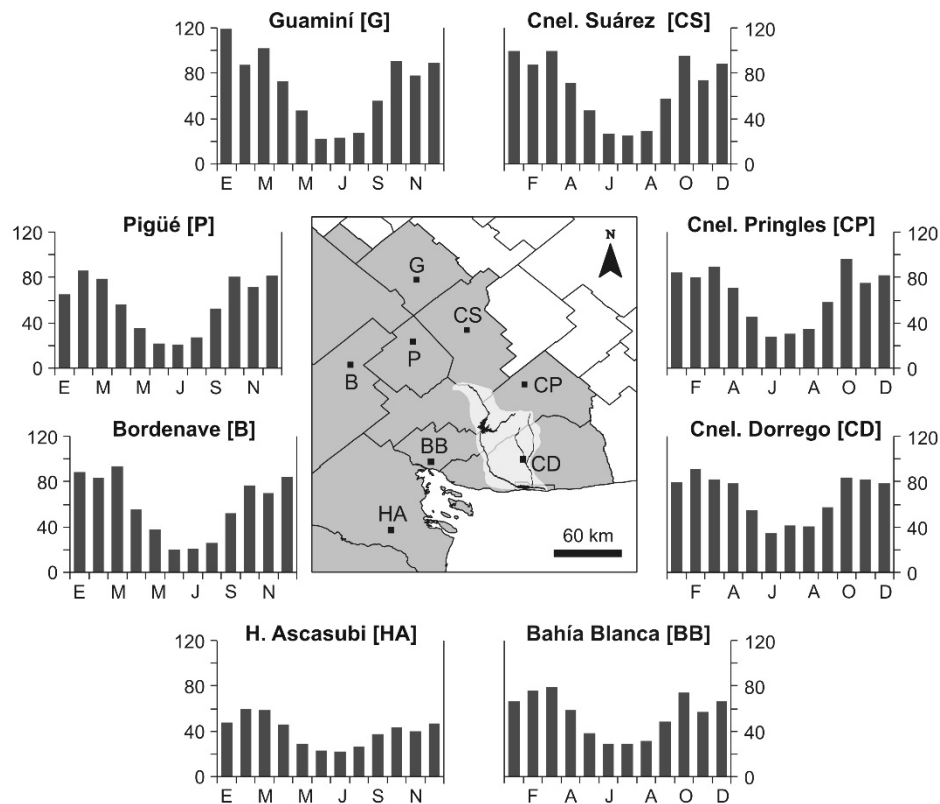
La cuenca del río Sauce Grande no escapa a estas tendencias. La precipitación media anual (1971-2010) decrece en sentido noreste-suroeste de 800 mm en las cabeceras a 600 mm en la cuenca media-baja (Casado, 2013). Al mismo tiempo, este gradiente decreciente se ve reforzado por el efecto orográfico del sistema de Ventania, el cual impone condiciones más húmedas de lo normal y máximos de precipitación sobre las laderas norestes (Gaspari et al., 2008; Gil, 2009). Por ejemplo, Gil (2009) señaló incrementos de los montos anuales de precipitación con la altura de hasta +400 mm sobre las laderas a barlovento entre estaciones ubicadas a una distancia lineal de 10 km. Por su parte, Gaspari et al. (2008) documentaron que la agresividad, la concentración y, en consecuencia, el potencial erosivo de las precipitaciones son notablemente superiores sobre las laderas serranas con orientación noreste.

3.1.2. Variabilidad temporal

El desplazamiento latitudinal de los principales centros de acción y los patrones estacionales de circulación atmosférica resultantes determinan estaciones lluviosas y secas distintivas para muchas áreas desde el ecuador hasta el sur de los 35° S (Gan et al., 2004). Durante el verano austral (diciembre, enero y febrero; DEF; Mapa 2), la zona de calentamiento se desplaza hacia el sur (Grimm et al., 2005), los centros térmicos de alta y baja presión continentales se intensifican (Zhou y Lau, 1998) y las masas de aire atlánticas penetran hasta los subtrópicos (Seluchi y Marengo, 2000). La SACZ se desplaza hacia el sur y se registra un incremento de la actividad convectiva sobre gran parte del sureste del continente (Barros et al., 2000; Nogués Paegle y Mo, 1997). Durante el invierno austral (junio, julio, agosto; JJA; Mapa 2), la zona de calentamiento se desplaza hacia el ecuador y el flujo atlántico migra hacia las latitudes bajas, en conexión con el debilitamiento de la alta y la baja continentales (Garreaud y Aceituno, 2007; Garreaud et al., 2009). Las precipitaciones se concentran en la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ por sus siglas en inglés) y la parte central del continente exhibe su estación seca, interrumpida ocasionalmente por el paso de frentes fríos provenientes de latitudes más altas (Garreaud y Aceituno, 2007). Aún si los vientos de baja altura nunca invierten su dirección (como ocurre con el Monzón asiático), la circulación atmosférica sobre América del Sur revela una estacionalidad semejante al Monzón (Grimm et al., 2005). Por ejemplo, Grimm et al. (2005) señalan que si se elimina la media anual, el viento superficial se invierte en asociación con el fuerte calentamiento diabático en las tierras altas subtropicales y, además, subrayan que el ciclo anual de las precipitaciones en la mayor parte del continente es muy similar al Monzón debido al gran contraste entre la estación de invierno y de verano. En consecuencia, varios autores se refieren a los efectos de un sistema monzónico suramericano (SAMS por sus siglas en inglés) basado en la marcha estacional de la insolación y en la migración latitudinal de los principales centros de acción (Gan et al., 2004; Marengo et al., 2010; Nogués Paegle et al., 2002; Vera et al., 2006; Zhou y Lau, 1998).

Los regímenes de precipitación del suroeste bonaerense reflejan esta tendencia estacional. Como se ilustra en el gráfico 1, describen una marcada estación lluviosa que se extiende de octubre a marzo y una estación relativamente seca de mayo a septiembre. Estudios anteriores determinaron que los extremos se van distanciando del verano hacia el oeste para transformarse en dos máximos bien diferenciados sobre fines de primavera y principios de otoño (Capelli de Steffens y Campo, 1994; Krepper et al., 1989). Sin embargo, estudios más recientes identificaron que la estación estival registra el mayor porcentaje de precipitación en numerosas estaciones a lo largo de la región (Gabella et al., 2010). En efecto, estos resultados coinciden con un incremento generalizado de la precipitación estival que ha sido documentado desde los años 1970 para una vasta porción del continente americano (Liebmann et al., 2004).

Gráfico 1: Distribución anual de la precipitación en el suroeste bonaerense. Periodo 1971-2010.



Fuente: elaborado en base a datos diarios de precipitación provistos por el MinAgri.

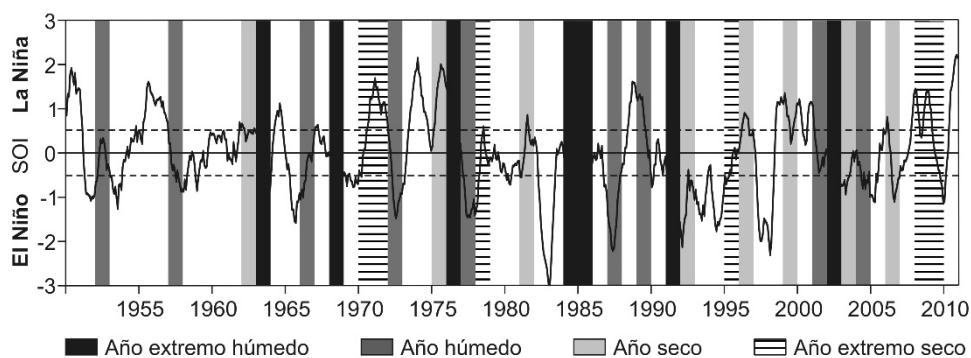
Durante la estación lluviosa, la precipitación se origina principalmente por actividad convectiva y sistemas frontales que se desarrollan a lo largo de la región (Barros et al., 2000; González y Barros, 2001; Sarochar et al., 2005). Zapperi et al. (2007) identificaron que la situación sinóptica que origina las precipitaciones estivales es el pasaje de frentes fríos y que las tormentas de masas de aire o de verano ocurren en menor frecuencia pero con mayor intensidad. El paso de frentes fríos fue igualmente identificado como la situación sinóptica al origen de la mayor parte de las precipitaciones en primavera (Gil et al., 2008). Por otra parte, Campo et al. (2004) señalaron que las masas de aire tropicales continentales son responsables de condiciones climáticas muy cálidas y secas características de la estación de verano. En la estación seca, la precipitación se relaciona principalmente con sistemas frontales (fríos y cálidos), ondas frontales y procesos de ciclogénesis (Zapperi et al., 2006). Al mismo tiempo, algunos episodios lluviosos, conocidos localmente como Sudestada, pueden ocurrir como resultado de la formación de un centro anticiclónico en el mar argentino por desprendimiento celular del océano Pacífico (Campo et al., 2004; Gil et al., 2008).

A pesar de la aparente estacionalidad de los regímenes pluviométricos regionales, el monto efectivo de las precipitaciones y su distribución anual exhiben una marcada variabilidad interanual (Aliaga et al., 2016; Bohn et al., 2011; Campo et al., 2009; Ferrelli et al., 2012; Scian, 2000). La variabilidad interanual de las precipitaciones locales responde a una conjunción de fenómenos atmosféricos y oceánicos (Scian et al., 2006). Entre ellos, el fenómeno ENOS emerge como el principal responsable de variabilidad climática y sus efectos sobre la variabilidad de la precipitación en Suramérica han sido ampliamente documentados para latitudes tanto tropicales como subtropicales (Aceituno, 1988; Andreoli y Kayano, 2005; Grimm et al., 2000; Grimm, 2011; Ropelewski y Halpert, 1987, 1989, 1996). El sureste suramericano es una de las regiones subtro-

picales más afectadas por el fenómeno ENOS, con repercusiones en los montos y la distribución de la precipitación a escala interanual, anual, estacional e incluso sinóptica (Grimm et al., 2000; Grimm, 2011). Al respecto, Ropelewski y Halpert (1987) identificaron que la fase cálida del ENOS (El Niño) se relaciona con anomalías de precipitación positivas que presentan su mayor correlación en los meses de noviembre a febrero. Durante la fase fría (La Niña), las anomalías de precipitación tienden a ser negativas y con mayor correlación de julio a diciembre (Ropelewski y Halpert, 1989).

La relación entre el fenómeno ENOS y las anomalías de precipitación en el suroeste bonaerense fue evaluada por Scian (2000) quien correlacionó los desvíos del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) para numerosas estaciones en la región pampeana argentina con el SOI y las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3. Scian (2000) señaló que la región del suroeste se caracteriza por presentar anomalías positivas muy marcadas, las cuales ocurren mayoritariamente al final de la primavera y alcanzan sus valores pico en el verano tanto para la fase cálida como la fase fría del ENOS. El gráfico 2 resume los resultados obtenidos por Scian (2000) y combina los resultados obtenidos por Campo et al. (2009) y Bohn et al. (2011) basados en el análisis de los periodos secos y húmedos que caracterizan la región. Se ilustra igualmente la señal del SOI promediada cada cinco meses. Entre 1950 y 2010 se identificaron siete años extremo húmedos, de los cuales tres se asociaron con episodios El Niño (1963, 1991, 2002) y cuatro correspondieron a condiciones neutras (1968, 1976, 1984, 1985). También se reconocieron varios años más húmedos de lo normal, de los cuales el 66 % correspondió a las fases cálidas del ENOS. Los años secos fueron comparativamente menos frecuentes. Cinco años registraron anomalías negativas, de los cuales tres ocurrieron bajo episodios La Niña (1970, 1971 y 2008) y dos ocurrieron bajo condiciones neutras (1978 y 1995).

Gráfico 2: Años húmedos y secos identificados en el suroeste bonaerense entre 1950 y 2010.



Fuente: Elaborado en base a los resultados de Scian (2000), Campo et al. (2009) y Bohn et al. (2011). Los valores mensuales del SOI fueron provistos por PSD-ERSL, NOAA.

Del gráfico 2 se desprende que no todos los eventos extremos se relacionan con episodios ENOS. En efecto, Scian (2000) señaló que la correspondencia entre anomalías positivas (negativas) del IPE y episodios El Niño (La Niña) es del 71% (70%) y que muchos eventos extremos húmedos y secos ocurrieron bajo condiciones neutras. Basados en los resultados de Labraga et al. (2002), Scian et al. (2006) investigaron las anomalías de precipitación en la región pampeana bajo condiciones que no son ENOS y demostraron que una gran proporción de eventos extremos se relaciona con anomalías en el transporte horizontal de vapor de agua en el sureste suramericano. Al respecto, otros estudios reportaron una complejidad de procesos atmosféricos involucrados en la variabilidad de los regímenes de precipitación regionales incluyendo anomalías en la temperatura

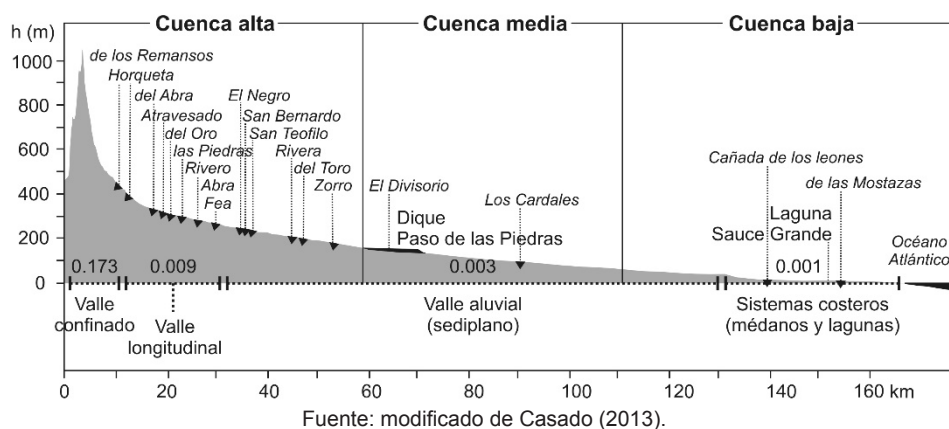
superficial del mar en el Océano Atlántico Sur y variaciones en la actividad convectiva dentro de la SACZ (Barros et al., 2000; Barros y Doyle, 2002; Liebmann et al., 1999; Nogués Paegle y Mo, 1997). Asimismo, numerosos estudios han documentado variaciones interdecádicas de los montos anuales de precipitación con una tendencia al aumento desde mediados del siglo XX a una variedad de escalas espaciales, incluyendo el sureste de Suramérica (Castañeda y Barros, 1994; Rusticucci y Penalba, 2000), el centro-noreste de la Argentina (Penalba y Vargas, 2004), la región pampeana (Forte Lay et al., 2008), la provincia de Buenos Aires (Kruse y Laurencena, 2005) y las cuencas serranas del suroeste de la provincia (Gentili y Gil, 2013), entre otros. Algunos autores atribuyen este fenómeno a las tendencias de algunos índices hemisféricos como el SOI (Scian, 2000), a variaciones en la circulación atmosférica continental y en la posición de la SACZ (Gonzalez et al., 1998) y a variaciones del gradiente medio de temperatura (Castañeda y Barros, 1994; Rusticucci y Penalba, 2000).

Tanto bajo condiciones ENOS como bajo condiciones que no son ENOS, el área se ve gravemente afectada por la recurrencia de periodos anómalos más húmedos y más secos que lo normal. Se ha demostrado que la duración, la frecuencia y la intensidad de estos eventos son muy variables en el espacio y el tiempo, aunque con frecuencia la gravedad de los mismos radica en la progresión acumulada de condiciones de sequedad o humedad extremas (Llano y Penalba, 2011).

3.2. Respuesta hídrica frente a extremos de precipitación

[Texto borrado] El suroeste bonaerense constituye una región de planicies extendidas donde la llanura constituye la unidad morfológica más representativa en términos areales (González Uriarte, 1984). La interrelación entre las aguas superficiales y subterráneas es muy estrecha y, en consecuencia, los movimientos de agua verticales (evapotranspiración e infiltración) predominan sobre el escurrimiento (Kruse y Laurencena, 2005; Sala et al., 1984). Una particularidad de la cuenca del río Sauce Grande es el contraste geomorfológico entre la cuenca alta, excavada en el sistema serrano de Ventania y las cuencas media y baja, que discurren en el dominio de la llanura subserrana (Gráfico 3). La morfología y los materiales que caracterizan estos dominios determinan una respuesta hidrológica diferencial frente a las anomalías de precipitación, ya sean repentinas o acumuladas.

Gráfico 3: Principales características hidrogeomorfológicas de la cuenca del río Sauce Grande.



En la cuenca alta, el predominio de formaciones impermeables y la topografía escarpada favorecen el escurrimiento sobre los procesos de evaporación e infiltración (Gil et al., 2009). El sistema

de drenaje exhibe una densa red de cárcavas y colectores profundos de diseño dendrítico que disectan las formaciones metamórficas del sector austral del sistema serrano (Luque et al., 1979). La densidad de drenaje disminuye con la pendiente a medida que los cursos se integran conformando un valle amplio que separa longitudinalmente los cordones serranos (Rabassa, 1982). Por otra parte, el régimen de los cursos refleja la estacionalidad de la precipitación (Campo et al., 2012b). Los cursos de bajo orden permanecen secos durante varios meses y los colectores principales exhiben un flujo residual de base durante la mayor parte del año. En temporada de lluvias, el régimen es de tipo torrencial y las tormentas pueden ocasionar el desbordamiento de los colectores principales (Campo et al., 2012b; Gil y Campo, 2006; Gil et al., 2016). Sin embargo, estos eventos exhiben una corta duración ya que el agua se evacua rápidamente pendiente abajo donde es interceptada por el dique-embalse Paso de las Piedras (Casado, 2013).

En las cuencas media y baja el drenaje se integra en un amplio valle elaborado en las sedimentitas pampeanas con relleno sedimentario muy potente (Borromei, 1991; Rabassa, 1982). La pendiente general es baja y la topografía es homogénea, siendo los valles del río Sauce Grande y sus tributarios los únicos elementos destacables del relieve (Casado et al., 2016). La continuidad areal de la llanura junto con el carácter permeable de la litología superficial contribuye a reducir la velocidad de escurrimiento (Casado et al., 2016). Además, la superficialidad del acuífero favorece el intercambio de agua vertical, el acuífero constituyendo la principal fuente de escurrimiento superficial en periodos secos (Luque et al., 1979).

En resumen, la respuesta hidrológica frente a los extremos de precipitación a lo largo de la cuenca y, por extensión, a lo largo de la región del suroeste bonaerense varía en función de la topografía y los materiales predominantes. En áreas de relieve escarpado, donde la conjunción entre topografía y litología favorece el escurrimiento sobre la infiltración y la evaporación, los extremos de precipitación se traducen en fluctuaciones cuasi sincrónicas del sistema hidrológico. Así, la escasez de precipitaciones conducirá rápidamente al desecamiento de la reserva superficial y sub-superficial (Campo et al., 2012b), mientras que el exceso de precipitaciones puede desencadenar crecidas repentinas de corta duración pero de gran intensidad (Campo et al., 2011a). En las zonas de planicies extendidas, donde la relación entre el escurrimiento superficial y subterráneo es muy estrecha, los excesos y déficits hídricos ocurrirán por progresión acumulada de anomalías de precipitación y su duración y extensión será, por tanto, mucho más amplia. Un ejemplo de ello es la marcada variación que registra la extensión areal de los cuerpos de agua superficiales entre periodos climáticos húmedos y secos, alcanzando proporciones del orden de $\pm 30\%$, en promedio (Bohn et al., 2016; Ferrelli y Aliaga; 2016), con máximo registrado en el embalse Paso de las Piedras (-52% entre 2001 y 2009; D'Ambrosio et al., 2013).

3.3. Repercusión de los extremos hidroclimáticos sobre la sociedad local

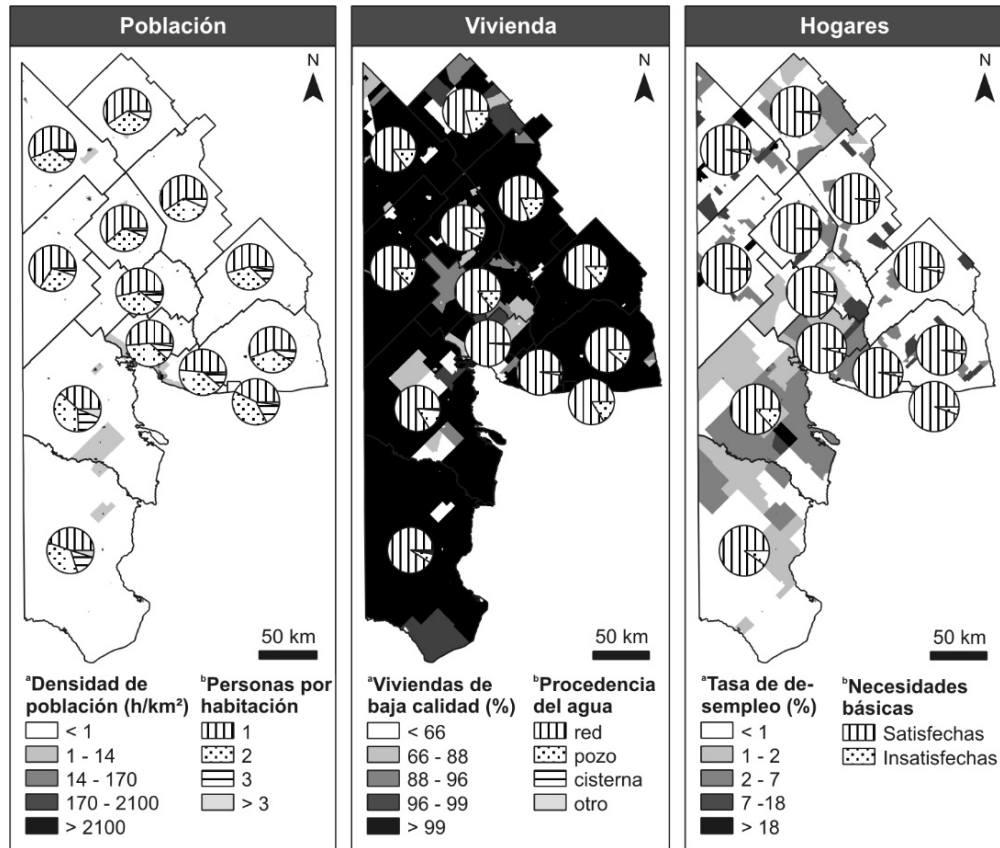
Los impactos sociales y económicos de los extremos hidroclimáticos a la escala del suroeste bonaerense han recibido comparativamente menor atención que los mecanismos físicos al origen de los mismos. Se destacan, sin embargo, numerosos estudios enfocados en los efectos sobre la producción agropecuaria (ej., Brescia et al., 1998; Campo et al., 2012a; Brendel et al., 2017), con particular énfasis en los efectos de la sequía sobre el rendimiento de cultivos de gran difusión regional como el trigo y el maíz (ej., Minetti et al., 2007; Carbone et al., 2008; D'Ambrosio et al., 2013). Efectivamente, las sequías se tradujeron en bajas importantes del rendimiento de los principales cultivos regionales (ej., hasta -57 % durante la sequía de 2009; D'Ambrosio et al., 2013), lo que impactó negativamente las economías locales y la productividad y la competitividad de

la región a escala nacional. Paralelamente, la sucesión de periodos extremos húmedos y secos no solo afectó las prácticas agrícolas regionales sino también la relación entre el uso y el manejo del recurso hídrico (Andrés et al., 2009). La recurrencia de sequías y la consecuente escasez hídrica, sumado al incremento sostenido de la demanda de agua para consumo urbano, agrícola e industrial, se tradujo en situaciones de estrés que, con distinto grado de severidad, impactaron negativamente el equilibrio entre las necesidades de agua de la población local y la cantidad y la calidad del agua disponible para consumo. Si bien estas situaciones de estrés impulsaron avances sistemáticos de las prácticas locales de gestión (Casado, 2013), el manejo de los recursos hídricos regionales conoce aún serias deficiencias tanto cuantitativas (cantidad) como cualitativas (calidad del servicio).

Más allá de la relevancia incuestionable de los estudios citados anteriormente, existen varios aspectos que hacen del suroeste bonaerense una región particularmente susceptible a los efectos de los extremos hidroclimáticos (Mapa 4). El interés por el impacto de eventos extremos sobre la producción primaria se justifica por el carácter marcadamente rural de la región (la densidad de población es inferior a 1 hab./km² sobre el 96 % del territorio). Sin embargo, se observa que (i) entre el 6 y el 24 % de los hogares alberga 3 personas o más por habitación, valores que corresponden a los partidos de Puán y Villarino, respectivamente y (ii) la proporción de viviendas de baja calidad constructiva es notablemente elevada en toda la región, con máximos netos en las zonas rurales (> 99 %). Así, varios sectores de la población urbana y la casi totalidad de la población rural se verán particularmente afectados por las inundaciones y los anegamientos en razón de las condiciones de hacinamiento y/o la insuficiencia de los materiales de construcción de las viviendas. Paralelamente, se observa que entre el 8 y el 21 % de los hogares no posee acceso a agua de red, con excepción de los hogares localizados en los partidos de Bahía Blanca y Coronel Rosales que benefician de la provisión procedente del embalse Paso de las Piedras. Ello afectará lógicamente el acceso de la población al agua potable durante periodos de sequía prolongados, con máximo agravante en los hogares que exhiben condiciones de hacinamiento. Finalmente, se observa que la tasa de desocupación es igual o superior a la media provincial (5,5 % en 2010) sobre el 10 % del territorio y que el 4 % de los hogares en la región exhibe necesidades básicas insatisfechas, lo que afectará notoriamente la capacidad de la población para reponerse de los impactos de las sequías e inundaciones.

Estos aspectos cobran particular relevancia al considerar la frecuencia e intensidad crecientes con que se manifiestan los eventos hidroclimáticos extremos en la región (Campo et al., 2011b). El Gráfico 4 reconstruye la sucesión de eventos extremos ocurridos entre 2001 y 2015 sobre la base de numerosos artículos publicados por la prensa local, La Nueva Provincia (LNP) y sumariados en el Inventario de Eventos Climáticos-Meteorológicos Extremos del Grupo de Geografía Física Aplicada de la Universidad Nacional del Sur (Campo et al., 2011b y actualizaciones posteriores). Se considera *tormentas* a los eventos que registraron grandes cantidades de precipitación en un corto período de tiempo y que desencadenaron inundaciones localizadas, cortes de ruta y destrucción de infraestructuras. Cuando estas tormentas incluyeron anegamientos, ya sean por desborde de cursos de agua (inundaciones lineales) o por acumulación de agua en zonas llanas deprimidas (inundaciones areales) se clasifican como *inundaciones* (Fuschini Mejía, 1994). Por otro lado y de acuerdo con Andrade et al. (2009), se considera *sequía agrícola* cuando la escasez de precipitaciones involucra un déficit hídrico en el suelo. La *sequía hidrológica* ocurre después de períodos de déficit prolongados que afectan no solo la humedad del suelo, sino también las fuentes de agua dulce como el escurrimiento superficial y el almacenamiento superficial y subterráneo.

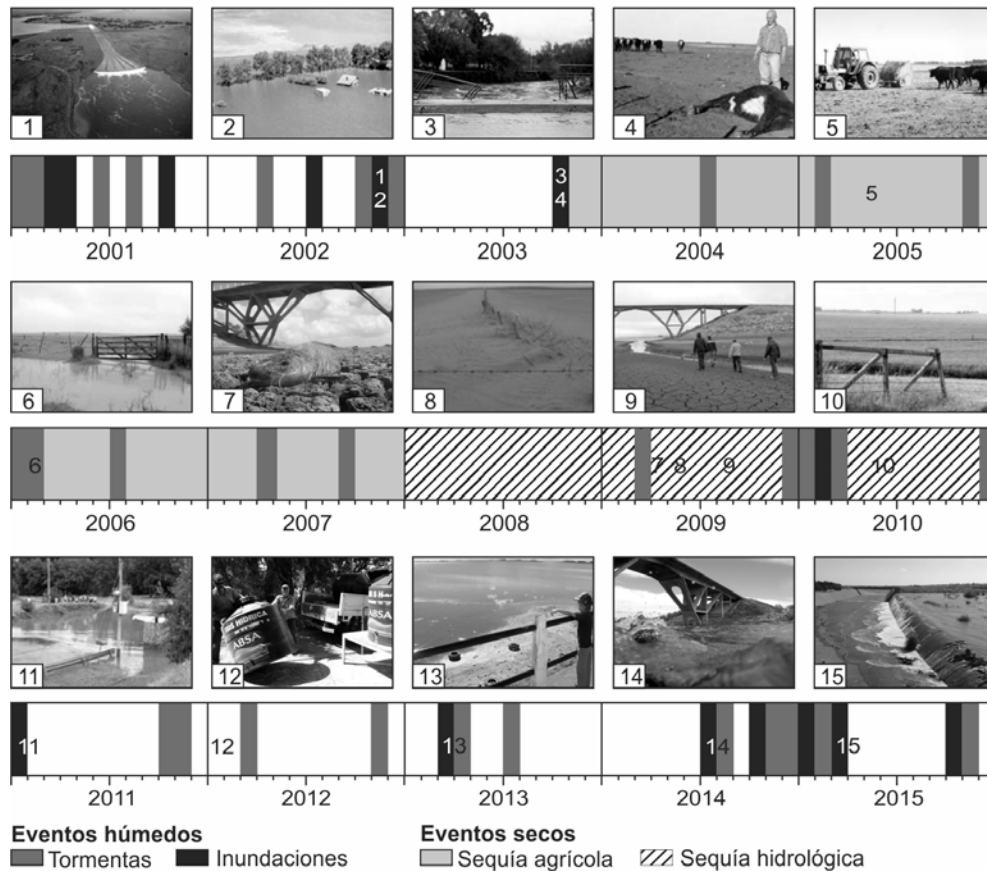
Mapa 4: Características de la población, la vivienda y los hogares en el suroeste bonaerense (a) por radio censal y (b) por partido



Fuente: elaborado en base a los datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 (INDEC). Bases cartográficas provistas por el INDEC y el IGN.

De acuerdo con el periódico local, LNP, los años 2000, 2001 y 2002 fueron lluviosos y registraron varias tormentas que, con diferentes grados de intensidad, afectaron a numerosas localidades de la región. El evento extremo húmedo de mayor magnitud se registró en noviembre de 2002, con precipitaciones que superaron los 200 mm en varias localidades y alcanzaron un máximo de 416 mm en localidades de la zona serrana. Sumado a las precipitaciones acumuladas de los años anteriores, el sistema hidrológico no pudo absorber la masa de agua y colapsó. La tormenta causó daños significativos en varias localidades, incluyendo cortes de ruta por anegamiento y deslizamientos de tierra, caída de árboles y líneas eléctricas, inundaciones urbanas y desbordamiento de cursos de agua en toda la región. Sin embargo, los daños más significativos ocurrieron como resultado de la crecida del río Sauce Grande y el incremento repentino del nivel de embalse del dique Paso de las Piedras, de donde se descargó un excedente hídrico de 87 hm³ durante cinco días consecutivos (Gráfico 4-1). Sumado a las inundaciones por saturación del acuífero y desborde de los arroyos locales, la descarga de embalse provocó el anegamiento de más de 200.000 ha aguas abajo. La ciudad de Monte Hermoso permaneció aislada durante tres días consecutivos (Gráfico 4-2) y los partidos de Coronel Dorrego y Coronel Rosales fueron declarados en estado de emergencia. Según el diario local, la pérdida económica alcanzó varios millones de dólares.

Gráfico 4: Eventos extremos húmedos y secos registrados en el suroeste bonaerense durante el periodo 2001-2015

**Crédito de las fotografías**

1. Panorama después de las lluvias. Paso de las Piedras está superando bien la prueba (LNP, 12/11/2002).
2. Continúa cortada la Ruta 78. Las aguas no descienden en el acceso a Monte (LNP, 15/11/2002).
3. Los registros en la zona no resultaron significativos. La escasa lluvia de ayer no alcanzó para alentar a los productores (LNP, 07/10/2003).
4. Temporal: en la ciudad pasó sin consecuencias, pero en Sierra hizo desastres (LNP, 8/10/2003).
5. La sequía compromete al campo en Coronel Pringles (LNP, 25/05/2005).
6. Hubo importantes milimetrajés, pero no en el momento indicado. La lluvia llegó tarde para el campo (LNP, 25/02/2006).
7. La sequía que mata (LNP, 19/04/2009).
8. Los milimetrajés promedio, otro reflejo del fenómeno. Cóctel terrible: más sequía y lluvias recién para septiembre (LNP, 31/05/2009).
9. Dramática situación. El dique tiene agua para menos de un año (LNP, 09/08/2009).
10. Comienza a definirse la suerte del trigo en la zona. La gota que falta (LNP, 20/05/2010).
11. Otra vez desbordó el arroyo San Bernardo (LNP, 26/01/2011).
12. Primeros tres tanques. ABSA comenzó a repartir agua mediante cisternas (LNP, 10/01/2012).
13. Monte Hermoso. Preocupación y malestar por la laguna Sauce Grande (LNP, 06/03/2013).
14. Lluvias: el dique Paso de las Piedras alcanzó la cota máxima de los últimos cinco años (LNP, 09/07/2014).
15. El dique Paso de las Piedras superó la cota máxima y desbordó hacia el vertedero (LNP, 18/03/2015).

Recuperadas de <http://www.lanueva.com>.

Fuente: elaborado en base a diversos artículos periodísticos publicados por La Nueva Provincia (LNP) y sumariados en el Inventario de Eventos Climáticos-Meteorológicos Extremos (Campo et al., 2011b y actualizaciones posteriores).

En octubre de 2003, la cuenca alta del río Sauce Grande registró una tormenta de más 300 mm en 6 horas, lo que ocasionó inundaciones de más de 1,2 m de altura y 200 evacuados en Sierra de la Ventana (Gráfico 4-3). Paralelamente, la sequía se declaró en varios partidos de la región, siendo Coronel Dorrego el más afectado por las pérdidas de cultivos y ganado (Gráfico 4-4). Este episodio marcó el inicio de una sequía agrícola que afectó en mayor o menor medida a todo el suroeste bonaerense durante varios años consecutivos (Gráfico 4-5). Si bien ocurrieron distintas tormentas a lo largo del periodo, las lluvias fueron tardías y/o demasiado intensas para favorecer

las prácticas agrícolas (Gráfico 4-6). El comienzo de la sequía hidrológica puede establecerse en enero de 2008 cuando LNP publica por primera vez «Bahía Blanca se enfrenta a una situación difícil debido a la falta de agua potable», el día 9 de enero. Un año más tarde, titulares como «Las consecuencias de la sequía. Paso de las Piedras: hacia el nivel más bajo de agua» (2 de enero de 2009) posicionaron al dique-embalse y su gestión en el centro de atención regional. Ciertamente, poco más de seis años después de que el embalse desbordara por segunda vez en su historia, el nivel de agua embalsada descendió cerca de la cota crítica para abastecimiento. Sobre mediados de año, la severidad de la sequía quedó reflejada por el desecamiento de los cursos de agua (Gráfico 4-7), la fijación de arena sobre campos de cultivo (Gráfico 4-8) y la notable reducción de la superficie de agua embalsada (Gráfico 4-9).

Sobre finales de 2009 y principios de 2010 se registraron precipitaciones abundantes y la prensa local publicaba titulares como «Se recupera el perfil de humedad de los suelos. Después de muchos meses, volvieron las lluvias de relevancia a la zona» (20 de diciembre de 2009) y «¿Fin de la sequía en el sudoeste bonaerense? El feliz retorno de la lluvia» (8 de abril de 2010). Sin embargo y más allá de la recuperación aparente del sector agrícola (Gráfico 4-10), las autoridades de la Autoridad del Agua (ADA), organismo provincial a cargo de la gestión del dique-embalse, anunciaron que continuarían las restricciones al consumo de agua hasta alcanzar un nivel de embalse útil de 10 m. El año 2011 registró inundaciones y fuertes tormentas (Gráfico 7-11) y se perfiló tan húmedo como el anterior. Sin embargo, las precipitaciones no fueron suficientes para incrementar el nivel de embalse y la calidad de sus aguas se afectó por la proliferación de algas. En enero de 2012, la empresa Aguas Bonaerenses SA (ABSA) comenzó a proveer agua potable mediante cisternas localizadas en distintos puntos de la ciudad de Bahía Blanca (Gráfico 4-12). A mediados de 2012, el periódico local publicaba «Sigue empeorando la calidad del agua en el dique. Durante casi 90 días ininterrumpidos las algas le confirieron mal olor y sabor al agua de red» (23 de junio) y, sobre finales del mismo año, la ADA declaró a LNP que continuarían las restricciones al consumo de agua potable (10 de diciembre). Así, la sequía hidrológica permanecería instalada durante varios meses adicionales en toda la región. Un ejemplo de ello es el artículo publicado por LNP en marzo de 2013, donde se manifiesta la preocupación y el malestar por el descenso del nivel de la laguna Sauce Grande (Gráfico 4-13), principal cuerpo de agua natural del sistema hidrográfico.

Las tormentas características de la región contribuyeron a incrementos considerables del nivel de embalse; sin embargo, la recurrencia de olas de calor que caracterizó el final del periodo 2013 causó descensos igualmente importantes. El nivel de embalse útil superó los 10 m en julio de 2014 y, como resultado de las crecidas sucesivas que caracterizaron el periodo invernal, se colocó en 13 m sobre finales de agosto (Gráfico 4-14). En noviembre de 2014, la cota de embalse se encontraba tan sólo a 70 cm por debajo de la cota máxima de retención (165 m s. n. m.) y desde el periódico local alertaban que «El dique Paso de las Piedras no podrá absorber otra crecida del río Sauce Grande» (4 de noviembre). Ello sucedió en marzo de 2015, cuando una nueva crecida del río Sauce Grande causó el tercer rebalse del dique a lo largo de su historia (Gráfico 4-15). El cuarto episodio de rebalse se registró en octubre de 2015 como resultado de las fuertes precipitaciones que se registraron en toda la región. Sin embargo, el incremento del nivel de embalse causado por estos episodios no fue significativo y la descarga del volumen excedente no ocasionó mayores daños aguas abajo.

4. Conclusiones

El presente trabajo reunió e integró un importante cuerpo de conocimiento sobre la variabilidad natural de las precipitaciones en el suroeste bonaerense, los mecanismos de respuesta hídrica frente a extremos de precipitación y las repercusiones de tales eventos para la sociedad local. La contribución de estos trabajos al entendimiento de las causas y las consecuencias de la ocurrencia y recurrencia de extremos hidroclimáticos en la región es indiscutible. Sin embargo, el estado actual del conocimiento se presenta sesgado, en detrimento de una visión integrada y se advierte que los componentes físicos poseen un peso mayoritario, en detrimento de los componentes social y económico. Paralelamente, se observa que muchos estudios de base climática e hidrológica se encuentran desactualizados, o bien cubren escalas de tiempo que no reflejan la variabilidad natural del clima. La carencia general de estudios integrados sobre la ocurrencia y recurrencia de extremos hidroclimáticos en la región se hace evidente al considerar la repercusión de estos últimos sobre la sociedad local. Efectivamente, la sucesión de periodos extremos húmedos y secos registrados en los últimos años afectó no solo las prácticas agrícolas regionales sino también la relación entre el uso y el manejo del recurso hídrico, especialmente cuando se consideran cuestiones como las deficiencias cualitativas y cuantitativas en la provisión de agua potable a las que asiste la región actualmente. En este contexto, son varias las cuestiones que emergen cuando se plantea el desafío de vincular variabilidad climática, recursos hídricos y sociedad.

Existe una tendencia general a analizar los eventos de sequía e inundación por separado; o bien, cuando se toma como base una línea climática, muy pocos estudios evalúan los efectos de la variabilidad del clima sobre los recursos hídricos a largo plazo. En este sentido, se advierte que estas secuencias extremas húmedas y secas no son realmente «anormales» sino que forman parte del *continuum* de un clima variable. Paralelamente, cabe cuestionarse los efectos del cambio climático sobre la frecuencia y la intensidad con que se manifiestan los extremos hidroclimáticos en la región, base de la determinación de modelos prospectivos sobre el corto y el mediano plazo.

Otro aspecto a resaltar es la escasez general de estudios que focalicen sobre los aspectos que convierten al suroeste bonaerense en una región particularmente vulnerable frente a los extremos hidroclimáticos. Mientras que los impactos de estos últimos sobre la producción agropecuaria han recibido considerable atención, las características socioeconómicas de la población expuesta restan comparativamente pobremente evaluadas. Paralelamente, cabe cuestionarse en qué medida la relación entre el uso y manejo de los recursos hídricos se ve afectada por la variabilidad climática y qué parte corresponde a los cambios evolutivos de las necesidades de la sociedad involucrada. En efecto, existe una tendencia general a sesgar el análisis del componente antrópico en su carácter activo, cuya influencia en el comportamiento y funcionamiento de los sistemas hídricos se ha convertido en un elemento integral en el último siglo.

Así, el desafío consiste en integrar el análisis de la diversidad de componentes que intervienen en torno a la ocurrencia, recurrencia y repercusión de extremos hidroclimáticos en el suroeste bonaerense sobre escalas de tiempo que comprendan y reflejen la variabilidad natural del clima que caracteriza la región. Este desafío requiere nuevos métodos analíticos, sistémicos y transversales a los enfoques tradicionales y aplicables a escalas témporo-espaciales anidadas. Este entendimiento es fundamental para definir políticas de planificación que consideren el potencial catastrófico de eventos pasados de baja probabilidad pero de gran intensidad y políticas de prevención y mitigación orientadas a sectores socioeconómicos estratégicos.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Physical Science Division del ESRL (NOAA), al Ministerio de Agroindustria, al Instituto Nacional de Estadística y Censo y al Instituto Geográfico Nacional por proveer gratuitamente las series de datos y las bases cartográficas utilizadas en este estudio. Ana Casado agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el financiamiento obtenido para la realización y presentación de este trabajo (beca posdoctoral).

6. Referencias bibliográficas

- Aceituno, P. (1988). «On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate». *Monthly Weather Review*, 116 (3), 505-524.
- Aliaga, V., Ferrelli, F., Alberdi Algarañaz, E., Bohn, V. y Piccolo, M. (2016). «Distribución y variabilidad de la precipitación en la región pampeana, Argentina». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42 (1), 261-280.
- Andrade, M. I., Laporta, P. y Iezzi, L. (2009). «Sequías en el Sudoeste Bonaerense: vulnerabilidad e incertidumbre». *Geograficando*, 5 (5), 213-233.
- Andreoli, R. V. y Kayano, M. T. (2005). «ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes». *International Journal of Climatology*, 25 (15), 2017-2030.
- Andrés, F., Bambill, E., Bandoni, A., Campaña, H., Carrica, J., Cifuentes, O., Parodi, E. R., Piccolo, M. C., Poggio, J., Varela, H. y Schefer, J. C. (2009). «Aspectos relevantes de la problemática del agua en la región de Bahía Blanca». Informe técnico de la Universidad Tecnológica Nacional y de la Universidad Nacional del Sur (41 pp.). Bahía Blanca: UNS-UTN.
- Barros, V., Gonzalez, M., Liebmann, B. y Camilloni, I. (2000). «Influence of the South Atlantic Convergence Zone and South Atlantic Sea surface temperature on inter-annual summer rainfall variability in Southeastern South America». *Theoretical and Applied Climatology*, 67 (3), 123-133.
- Barros, V. y Doyle, M. E. (2002). «Midsummer low-level circulation and precipitation in subtropical South America and related sea surface temperature anomalies in the South Atlantic». *Journal of Climate*, 15 (23), 3394-3410.
- Bohn, V. Y., Piccolo, M. C. y Perillo, G. M. E. (2011). «Análisis de los periodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)». *Revista de Climatología*, 11, 31-43.
- Bohn, V. Y., Delgado, A. L., Piccolo, M. C. y Perillo, G. M. E. (2016). «Assessment of climate variability and land use effect on shallow lakes in temperate plains of Argentina». *Environmental Earth Sciences*, 75:818.
- Borromei, A. M. (1991). *Geología y palinología de los depósitos cuaternarios en el valle del río Sauce Grande* (Tesis de Doctorado inédita). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Brendel, A. S., Bohn, V. Y. y Piccolo, M. C. (2017). «Variabilidad de la precipitación y su relación con los rendimientos agrícolas en una región semiárida de la llanura pampeana (Argentina)». *Estudios Geográficos*, 78 (282), 7-29.
- Brescia, V., Lema, D. y Parellada, G. (1998). «El fenómeno ENSO y la agricultura pampeana: impactos económicos en trigo, maíz, girasol y soja». Documento de Trabajo N°1 (35 pp.). Buenos Aires: INTA.
- Bruniard, E. D. (1982). «La diagonal árida argentina: un límite climático real». *Revista Geográfica*, 95, 5-20.
- Campo, A. M., Capelli, A. y Diez, P., (2004). *El clima del Suroeste bonaerense*. Bahía Blanca: EdiUNS.
- Campo, A. M., Ramos, M. B. y Zapperi, P. (2009). «Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el Suroeste bonaerense, Argentina». Trabajo presentado en el XII Encuentro de Geógrafos de América Latina, Montevideo, Uruguay.
- Campo, A. M., Silva, A. M. y Gil, V., (2011a). «Aplicación de cartografía temática para la identificación y análisis de la exposición al peligro de inundación por crecidas repentinas. Sierra de la Ventana, Buenos Aires, Argentina». *Revista Geográfica del Sur*, 2, 73-86.
- Campo, A. M., Gil, V., Gentili, J. O., Volonté, A. y Duval, V. (2011b). Inventario de eventos climáticos-meteorológicos extremos. Suroeste bonaerense (1995-2010). *Revista Párrafos Geográficos*, 1, 102-116.
- Campo, A. M., Bagnulo, C. y Pacheco, R., (2012a). «Cambios en el régimen pluviométrico y sus efectos sobre la producción agropecuaria en el partido de Púan». *Revista Electrónica Geografía Austral*, 4, 1-11.

- Campo, A. M., Gentili, J. y Gil, V. (2012b). «Estudio de las precipitaciones en valles interserranos del Sistema de Ventania, Argentina». Trabajo presentado en el XXXIII Congreso Nacional y XVIII Internacional de Geografía, Tarapacá, Chile.
- Capelli de Steffens, A. y Campo, A. M. (1994). *La transición climática en el sudoeste bonaerense*. Bahía Blanca: SIGEO.
- Carbone, M. E., Scian, B. y Piccolo, M. C. (2008). «Agricultural drought in the Claromecó river basin, Buenos Aires province, Argentina». *Revista de Climatología*, 8, 1-13.
- Carrascal Leal, C. C., Denegri, G. A. y Delgado, M. I. (2013). «Costos mínimos de compensación y cuantificación de la oferta hídrica en la cuenca alta del río Sauce Grande, Argentina». *Investigaciones Geográficas*, 2013 (80), 55-70.
- Casado (2013). *Human impacts and fluvial metamorphosis. The effects of flow regulation on the hydrology, morphology and water temperature of the Sauce Grande River, Argentina* (Tesis de Doctorado inédita). Université Blaise Pascal - Universidad Nacional del Sur, Clermont-Ferrand, Francia.
- Casado, A., Peiry, J.-L. y Campo, A. M., (2016). «Geomorphic and vegetation changes in a meandering dryland river regulated by a large dam, Sauce Grande River, Argentina». *Geomorphology*, 268, 21-34.
- Castañeda, M. y Barros, V. (1994). «Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes». *Meteorológica*, 19 (1), 23-32.
- Castañeda, M. y Gonzalez, M. (2008). «Statistical analysis of the precipitation trends in the Patagonia region in Southern South America». *Atmósfera*, 21 (3), 303-317.
- D'Ambrosio, G. T., Bohn, V. Y. y Piccolo, M. C. (2013). «Evaluación de la sequía 2008-2009 en el oeste de la Región Pampeana (Argentina)». *Cuadernos Geográficos*, 52 (1), 92-45.
- Denegri, G. A. y Gaspari, F. J. (2010). «Lineamientos para la formulación de pagos por servicios ambientales. Estudio de caso: Alta cuenca del Río Sauce Grande. Argentina». *Cuadernos Geográficos*, 46 (1), 93-110.
- Ferrelli, F., Bohn, V. Y. y Piccolo, M. C. (2012). «Variabilidad de la precipitación y ocurrencia de eventos secos en el sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina)». En: *Actas de las IX Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Bahía Blanca: UNS, 15-28.
- Ferrelli, F. y Aliaga, V. S. (2016). «Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la región pampeana, Argentina». *Revista Huellas*, 20, 242-246.
- Ferrera, I. M. y Alamo, M. (2010). «La problemática del agua en el sudoeste bonaerense: la ciudad de Bahía Blanca». En: Dalmaso, M. G., Camiletti, C. M. y Hernández, R. (Eds.). *Actas del III Congreso Pampeano del Agua*. Santa Rosa: Base1, 191-199.
- Forte Lay, J., Scarpati, O. y Capriolo, A. (2008). «Precipitation variability and soil water content in Pampean Flatlands (Argentina)». *Geofísica Internacional*, 47 (4), 341-354.
- Fuschini Mejía, M. C. (1994). *El agua en las llanuras*. Montevideo: UNESCO - ORCYT.
- Gabella, J. I., Zapperi, P. y Campo, A. M. (2010). «Distribución estacional de las precipitaciones en el Suroeste Bonaerense». En: *Actas de las VIII Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Posadas: UNL, 7 pp.
- Gan, M. A., Kousky, V. E. y Ropelewski, C. F. (2004). «The South America Monsoon circulation and its relationship to rainfall over west-central Brazil». *Journal of Climate*, 17, 47-66.
- Garreaud, R. D. y Aceituno, P. (2007). «Atmospheric circulation and climatic variability». En: Veblen, T., Young, K. y Orme, A. (Eds.). *The Physical Geography of South America*. Oxford: Oxford University Press, 45-66.
- Garreaud, R. D., Vuille, M., Compagnucci, R. y Marengo, J. A. (2009). «Present-day South American climate». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281 (3), 180-195.
- Gaspari, F. J., Rodríguez-Vagaría, A. M., Sensiterra, G. E. y Delgado, M. I. (2008). «Determinación espacio-temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires-Argentina». *Revista Geográfica Venezolana*, 49 (1), 57-66.
- Gentili, J. O. y Gil, V. (2013). «Variabilidad temporal de las precipitaciones en vertientes opuestas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina». *Revista Universitaria de Geografía*, 22 (1), 147-166.
- Gil, V. y Campo, A. M. (2006). «Caracterización morfológica sectorizada del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina». *Revista Geográfica de Valparaíso*, 38, 19-28.
- Gil, V., Zapperi, P., Campo, A. M., Iuorno, M. V. y Ramborger, M. A. (2008). «Análisis de las precipitaciones de otoño y primavera en el Suroeste bonaerense». En: *Actas de las VII Jornadas de Geografía Física*. San Salvador de Jujuy: UCSE, 149-158.

- Gil, V. (2009). *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas* (Tesis de Doctorado inédita). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Gil, V., Gentili, J. y Campo, A. M. (2009). «Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, Sistema de Ventania, Argentina». *Papeles de Geografía*, 49 (50), 55-68.
- Gil, V., Gentili, J., Campo, A. M., Jelinski, G. y Crisafulli, M. (2016). «Evaluación del peligro potencial de crecidas en cuencas serranas. Sistema de Ventania, provincia de Buenos Aires». Trabajo presentado en el III Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos, Ezeiza, Argentina.
- González Uriarte, M. (1984). «Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires». En: *Actas del IX Congreso Geológico Argentino*. San Carlos de Bariloche: AGA, Tomo III, 556-576.
- González, M., Nery, J. T. y Barros, V. (1998). «Características de la precipitación en Argentina subtropical y Brasil meridional y de la convección tropical». Trabajo presentado en el VIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y X Congreso Brasileiro de Meteorología, Brasilia, Brasil.
- González, M. y Barros, V. (2001). «La precipitación en Argentina subtropical y su relación con el monzón sudamericano». En: Pérez Cueva, A., López Baeza, E. y Tamayo Carmona, J. (Eds.). *El tiempo del clima*. Valencia: Garmas Impresores, 565-574.
- Grimm, A. M., Barros, V. y Doyle, M. E. (2000). «Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events». *Journal of Climate*, 13 (1), 35-58.
- Grimm, A. M., Vera, C. S. y Mechoso, C. R. (2005). «The South American monsoon system». En: Chang, C.-P., Wang, B. y Lau, N.-C. (Eds.). *The global monsoon system: research and forecast*. Hangzhou: WMO, 219-238.
- Grimm, A. M. (2011). «Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change». *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25 (4), 537-554.
- Krepper, C. M., Scian, B. V. y Pierini, J. O. (1989). «Time and space variability of rainfall in central-east Argentina». *Journal of Climate*, 2 (1), 39-47.
- Kruse, E., Forte Lay, J. A., Aiello, J. L., Basualdo, A. y Heinzenknecht, G. (2000). «Hydrological processes on large flatlands: case study in the northwest region of Buenos Aires Province (Argentina)». En: Owe, M., Brubaker, K., Ritchie, J. y Rango, A. (Eds.). *Remote Sensing and Hydrology*. Santa Fe: IAHS Publ., 531-535.
- Kruse, E. y Laurencena, P. (2005). «Aguas superficiales. Relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamiento». En: *Actas del XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata: AGA, 313-326.
- Labraga, J. C., Scian, B. y Frumento, O. (2002). «Anomalies in the atmospheric circulation associated with the rainfall excess or deficit in the Pampa Region in Argentina». *Journal of Geophysical Research*, 107 (23), 4666-4681.
- La Nueva Provincia (2001-2015). Artículos diversos extraídos de las secciones La Ciudad, La Región, El País y Sociedad. Recuperado de <http://lanueva.com>
- Liebmann, B., Kiladis, G. N., Marengo, J. A., Ambrizzi, T. y Glick, J. D. (1999). «Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone». *Journal of Climate*, 12 (7), 1877-1891.
- Liebmann, B., Vera, C., Carvalho, L. M. V., Camilloni, I., Hoerling, M. P., Barros, V. R., Báez, J. y Bidegain, M. (2004). «An observed trend in central South American precipitation». *Journal of Climate*, 17 (22), 4357-4367.
- Llano, M. P. y Penalba, O. C. (2011). «A climatic analysis of dry sequences in Argentina». *International Journal of Climatology*, 31 (4), 504-513.
- Luque, J. A., Paoloni, J. D. y Bonorino, G. A. (1979). *Estudio hidrológico e hidrogeológico de la cuenca del río Sauce Grande*. Bahía Blanca: UNS.
- Marengo, J. A. y Seluchi, M. E. (1998). «Tropical mid-latitude exchange of air masses in South America. Part I: Some climatic aspects». Trabajo presentado en el VIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y X Congreso Brasileiro de Meteorología, Brasilia, Brasil.
- Marengo, J. A., Liebmann, B., Grimm, A. M., Misra, V., Silva Dias, P. L., Cavalcanti, I. F. A., Carvalho, L. M. V., Berbery, E. H., Ambrizzi, T., Vera, C. S., Saulo, A. C., Nogués-Paegle, J., Zipser, E., Sethk, A. y Alvese, L. M. (2010). «Recent developments on the South American monsoon system». *International Journal of Climatology*, 32 (1), 1-21.
- Minetti, J. L., Vargas, W. M., Vega, B. y Costa, M. C. (2007). «Las sequías en La Pampa Húmeda: impacto en la productividad del maíz». *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22 (2), 218-232.
- Nogués Paegle, J. y Mo, K. C. (1997). «Alternating Wet and Dry Conditions over South America during Summer». *Monthly Weather Review*, 125 (2), 279-291.

- Nogués Paegle, J., Mechoso, C. R., Fu, R., Berbery, E. H., Chao, W. C., Chen, T.-C., Cook, K., Diaz, A. F., Enfield, D., Ferreira, R., Grimm, A. M., Kousky, V., Liebmann, B., Marengo, J. A., Mo, K. C., Neelin, J. D., Paegle, J., Robertson, A. W., Seth, A., Vera, C. S. y Zhou, J. (2002). «Progress in Pan American CLIVAR research: understanding the South American monsoon». *Meteorologica*, 27 (12), 1-30.
- Penalba, O. C. y Vargas, W. M. (2004). «Interdecadal and interannual variations of annual and extreme precipitation over central-northeastern Argentina». *International Journal of Climatology*, 24 (12), 1565-1580.
- Rabassa, J. (1982). «Variación regional y significado geomorfológico de la densidad de drenaje en la cuenca del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires». *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 37 (3), 268-284.
- Ropelewski, C. F. y Halpert, M. S. (1987). «Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation». *Monthly Weather Review*, 115 (8), 1606-1626.
- Ropelewski, C. F. y Jones, P. D. (1987). «An extension of the Tahiti–Darwin southern oscillation index». *Monthly Weather Review*, 115 (9), 2161-2165.
- Ropelewski, C. F. y Halpert, M. S. (1989). «Precipitation patterns associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation». *Journal of Climate*, 2 (3), 268-284.
- Ropelewski, C. F. y Halpert, M. S. (1996). «Quantifying Southern Oscillation-precipitation relationships». *Journal of Climate*, 9 (5), 1043-1059.
- Rusticucci, M. y Penalba, O. (2000). «Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature». *Climate Research*, 16 (1), 1-15.
- Sala, J. M., González, N. y Kruse, E. (1984). «Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires». En: Fuschini Mejía, M. C. (Ed.). *Actas del VIII Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras*. Olavarría: UNESCO - MOSP, 973-1009.
- Seluchi, M. E. y Marengo, J. A. (2000). «Tropical-midlatitude exchange of air masses during summer and winter in South America: Climatic aspects and examples of intense events». *International Journal of Climatology*, 20 (10), 1167-1190.
- Sarochar, R. H., Ciappesoni, H. H. y Ruiz, N. E. (2005). «Precipitaciones convectivas y estratiformes en la Pampa Húmeda: una aproximación a su separación y aspectos climatológicos de ambas». *Meteorologica*, 30 (1-2), 77-88.
- Scarpati, O. E. y Capriolo, A. D. (2013). «Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal». *Investigaciones Geográficas*, 2013 (82), 38-51.
- Schefer, J. C. (2004). *Los recursos hídricos y el abastecimiento de agua*. Bahía Blanca: CEPADE.
- Schneider, U., Becker, A., Finger, P., Meyer Christoffer, A., Rudolf, B. y Ziese, M. (2011). GPCP Full Data Reanalysis Version 6.0 at 0.5°: monthly land-surface precipitation from rain-gauges built on GTS-based and historic data. DOI: 10.5676/DWD_GPCP/FD_M_V7_050.
- Scian, B. (2000). «Episodios ENSO y su relación con las anomalías de precipitación en la pradera pampeana». *Geoacta*, 25, 23-40.
- Scian, B., Labraga, J. C., Reimers, W. y Frumento, O. (2006). «Characteristics of large-scale atmospheric circulation related to extreme monthly rainfall anomalies in the Pampa Region, Argentina, under non-ENSO conditions». *Theoretical and Applied Climatology*, 85 (1-2), 89-106.
- Sili, M. (2000). *Los espacios de la crisis rural : geografía de una pampa olvidada*. Bahía Blanca: EdiUNS.
- Taboada, M. A., Damiano, F. y Lavado, R. S. (2009). «Inundaciones en la región pampeana. Consecuencias sobre los suelos». En: *Alteraciones de la fertilidad de los suelos: el halomorfismo, la acidez, el hidro-morfismo y las inundaciones*. Buenos Aires: EFA-INTA, 103-127.
- Troha, A. y Forte Lay, J. A. (1993). «Análisis de las principales sequías edáficas ocurridas en la provincia de Buenos Aires». *Geoacta*, 20, 79-85.
- Vera, C., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R. D., Gochis, D., Gutzler, D., Lettenmaier, D., Marengo, J. A., Mechoso, C. R., Nogués-Paegle, J., Silva, P. L. y Zhang, C. (2006). «Toward a Unified View of the American Monsoon Systems». *Journal of Climate*, 19 (20), 4977-5000.
- Zapperi, P., Campo, A., Gil, V. y Campo, A. M. (2006). «Caracterización de las precipitaciones invernales en el Suroeste bonaerense». En: Cazzaniga, N. y Vaquero, M. (Eds.). *Ambiente natural, campo y ciudad: Estrategias de uso y conservación en el Sudoeste Bonaerense*. Bahía Blanca: EdiUNS, 63-68.

- Zapperi, P., Ramos, B., Gil, V. y Campo, A. M. (2007). «Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense». En: *Contribuciones Científicas*. Posadas: GAEA, 483-491.
- Zhou, J. y Lau, K.-M. (1998). «Does a Monsoon climate exist over South America?». *Journal of Climate*, 11 (5), 1020-1040.

Sobre las autoras

ANA CASADO

Becaria posdoctoral del CONICET y Ayudante de Docencia con dedicación simple en la asignatura Climatología, Departamento de Geografía y Turismo (DGyT), Universidad nacional del Sur (UNS), Argentina. Además, es Miembro Asociado del Laboratoire de Géographie Physique et Environnementale UMR 6042 GEOLAB de la Université Clermont Auvergne - CNRS, Francia.

ALICIA M. CAMPO

Investigadora Principal del CONICET y Profesora Titular con dedicación exclusiva en las asignaturas Climatología y Geografía Física del DGyT, UNS. Además, se desempeña como Vice-decana del DGyT y como Directora del Programa de Posgrado en Geografía (Doctorado) de la UNS. Es Directora del Comité Editor de la Revista Universitaria de Geografía y Secretaria General de la Red Argentina de Geografía Física.