

Comportamiento hidrológico en grandes llanuras: caso de estudio Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina

Hydrological behaviour in large plains: case study in the northwest of Buenos Aires Province, Argentina

Eduardo Kruse^{a*}, Jerónimo Ainchil^b

Palabras clave:

hidrología, Pampa Arenosa, inundaciones y sequías, aguas superficiales, agua subterránea

Keywords:

hydrology, sandy Pampa, floods and droughts, surface water, groundwater

ABSTRACT

Sandy Pampas located in the northwest of Buenos Aires Province is a vast plain characterised by an important high-yield agricultural system. One of the most significant impacts affecting this system is constituted by strong hydrological anomalies (floods/droughts). It is a wind-eroded landscape where different palaeoforms related to dune ridges can be observed. The present-day humid climatic conditions contrast with the origin of an aeolian landscape associated with a former arid climate. The dominant features are the lack of a drainage network and the accumulation of water in the interdunal or deflation basins. The hydrological factors (precipitations, water excess, soil humidity, water tables) affecting the most significant impacts are analysed. The most distinctive hydrological characteristic is the predominance of vertical water movements. Such vertical movements (evaporation, transpiration, infiltration, unsaturated zone and water table exchanges) prevail over horizontal movements (surficial and subsurface), with the variations in surface and groundwater storage acquiring relevance. The sensitivity of the region to climate fluctuations (water deficits and excesses) and to anthropogenic activities can be observed. It is suggested that hydrological applications and research in large plains should aim at identifying tools to solve the complex hydrological problems occurring in such environments.

RESUMEN

La Pampa Arenosa en el Noroeste de la Provincia de Buenos Aires es una extensa llanura que se caracteriza por presentar un importante sistema agrícola de alta producción. Uno de los impactos de mayor significación que afecta a este sistema está representado por las fuertes anomalías hídricas (inundaciones – sequías). Se trata de un paisaje de modelación eólica, donde se reconocen distintas paleoformas relacionadas con cordones de dunas. Las condiciones climáticas húmedas actuales contrastan con el origen de un paisaje eólico asociado a un clima árido anterior. La característica dominante es la ausencia de una red de drenaje y la acumulación de agua en las cubetas de deflación o intermedanos. Se analizan los factores hidrológicos (precipitaciones, excesos de agua, humedad del suelo, niveles freáticos) que afectan a los impactos de mayor significación. La característica hidrológica fundamental es el predominio de los movimientos verticales del agua. Estos movimientos verticales (evaporación, transpiración, infiltración, intercambios en la zona no saturada y la capa freática), prevalecen sobre los movimientos horizontales (superficial y subterráneo), adquiriendo importancia las variaciones de almacenamiento superficial y subterráneo.

Se reconoce la sensibilidad de la región a las fluctuaciones climáticas (excesos y déficit de agua) y a las actividades antrópicas. En este trabajo de revisión se plantea el desafío que presentan las investigaciones y aplicaciones hidrológicas de grandes llanuras, para lo cual se debe tender a identificar herramientas que resuelvan los complejos problemas hídricos que se presentan en estos ambientes.

RECIBIDO 24 DE MAYO DE 2016; ACEPTADO: 1 DE DICIEMBRE

^a Centro de Investigaciones y Transferencias del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (CONICET – UNNOBA) y Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), Monteagudo 2772, Pergamino. ekruse@conicet.gov.ar

^b Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA) y Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP), Monteagudo 2772, Pergamino. geofisicaaplicada@gmail.com

*Autor para correspondencia: ekruse@conicet.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Una buena parte de la población mundial habita en regiones llanas, siendo muchas de ellas tierras proveedoras de alimentos para la humanidad. El conocimiento de los procesos hidrológicos en las llanuras adquiere una importancia primaria para el desarrollo socioeconómico, para preservar sus características ambientales y una de las bases esenciales para la vida en este tipo de regiones.

En la actualidad las actividades humanas se han vuelto uno de los factores más influyentes del cambio en la biosfera de la tierra, dando como resultado el deterioro en la calidad de las aguas, la sobreexplotación de los recursos de agua dulce y la degradación de la tierra, los cuales convierten los problemas hidrológicos de las grandes llanuras en problemas complejos.

Esas mismas actividades también afectan el funcionamiento de los ecosistemas y su capacidad de proveer bienes y servicios de los que dependen los seres humanos que habitan una extensa llanura. Por ello, existe la necesidad de contar con herramientas interdisciplinarias de gestión para poder entender mejor los recursos hídricos vistos como un recurso abiótico y un servicio provisto por los ecosistemas.

La hidrología de llanura presenta aspectos particulares, con especial vinculación a las bajas pendientes topográficas y ello debe ser considerado en cualquier evaluación. Es así que surge como un desafío desarrollar investigaciones y aplicaciones hidrológicas en las grandes llanuras, que tiendan a identificar herramientas que se encuadran en un concepto de hidrocomplejidad (Kumar, 2015), cuya finalidad será resolver problemas hídricos complejos, en distintos ecosistemas y zonas climáticas.

Avances recientes en la hidrología de llanuras estuvieron orientados, a incluir al agua subterránea como un elemento importante en cuestiones ambientales, cuantificándose procesos de infiltración, evapotranspiración, transporte del agua en la zona no saturada (ZNS) y en la zona saturada (ZS) (Kruse & Zimmermann, 2002; Usunoff, 2002).

El objetivo de este trabajo de revisión es plantear el desafío que presentan los estudios hidrológicos de grandes llanuras, con especial referencia a la dificultad de la aplicación del concepto tradicional de cuenca utilizado en regiones de mayor pendiente. Para ello se presenta como caso de estudio un sector de la llanura Pampeana, denominada Pampa Arenosa.

ENFOQUE METODOLÓGICO

La hidrología clásica tiende a tratar los procesos de flujo del agua en cuencas de drenaje bien definidas, considerando la presencia de altas pendientes y constituidas en general por rocas de baja permeabilidad. En otro extremo, están las condiciones de las grandes llanuras, con pendientes topográficas muy bajas y desarrolladas en terrenos de sedimentos no consolidados, donde generalmente el escurrimiento superficial es insignificante.

La denominación de llanura, independientemente de las condiciones hidrológicas, lleva implícito un carácter morfológico. Una llanura es un relieve plano de baja pendiente topográfica. No es frecuente que quede definido un valor límite para esta pendiente, aunque tradicionalmente se indican valores inferiores al 1%.

Se debe resaltar que existen pendientes que son mucho menores, tal es el caso de la Pampa Arenosa, en que regionalmente pueden ser del orden de 1 por mil. Dentro de este marco se pueden localizar microambientes que localmente superan las pendientes señaladas.

En una zona de relieve más abrupto es posible reconocer afloramientos de distintas unidades geológicas que se visualizan directamente en el campo, lo cual permite fijar su permeabilidad, posición en el espacio, y en base a ello su extrapolación al subsuelo. En una llanura la situación es más difícil ya que en superficie sólo se observa el suelo desarrollado sobre sedimentos recientes cubiertos por vegetación y las unidades geológicas no son observables en forma directa.

El principal rasgo distintivo de la hidrología de llanura es la baja energía morfológica del terreno (Usunoff *et al.*, 1999), lo cual hace que la energía hídrica se disipe a través de movimientos verticales del agua. En tierras húmedas, esto determina la inundación temporaria del área, anegamiento del suelo, acumulación de sales (especialmente sodio) cerca de la superficie y en muchos casos, el desarrollo de pantanos y lagunas poco profundas. Aguas superficiales y subterráneas se deben considerar que conforman una unidad.

En una llanura los movimientos verticales del agua prevalecen sobre los movimientos horizontales por lo cual son fuertemente sensibles a las fluctuaciones climáticas (excesos y déficit de agua) así como a las actividades antrópicas.

Esto ha llevado a reconocer a las llanuras como sistemas hidrológicos no típicos (SHN) (Fertonani & Prendes, 1983), lo cual se vincula a una causa fundamental, que es la pendiente topográfica del terreno.

En un sistema hidrológico de llanura (no típico), la pendiente topográfica es muy pequeña o nula, insuficiente para generar una red de drenaje integrada, escurrimiento superficial o procesos erosivos fluviales.

Como consecuencia de ellos los métodos de cuantificación, medición y pronósticos presentan adaptaciones particulares que lo diferencian.

El tratamiento científico de la hidrología de llanura es complejo. Los resultados de los trabajos en ejecución deben tender a posibilitar un manejo racional del agua, el suelo y la vegetación, con el objeto de satisfacer las necesidades humanas y para la preservación del medio ambiente desde un punto de vista de un desarrollo sostenible de una región.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de la región

El noroeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), conocido bajo la denominación tradicional de Pampa Arenosa, se extiende en una superficie de aproximadamente 50000 Km² (Figura 1). Es un paisaje de modelación eólica, donde se reconocen distintas paleoformas relacionadas con cordones de dunas. Las condiciones climáticas húmedas actuales contrastan con el origen de un paisaje eólico del holoceno medio asociado a un clima de escasa cantidad de agua disponible (Zárate & Rabassa, 2005). La característica dominante es la ausencia de una red de drenaje y la acumulación de agua en las cubetas de deflación o intermedanos.

La región representa a una extensa llanura situada entre 120 y 130 m snm, con una suave pendiente topográfica regional hacia el E de aproximadamente 0,1 m.km⁻¹. Dentro de esta morfología general se reconocen formas topográficas menores que adquieren importancia hidrológica. Se alternan elevaciones con depresiones que lugar a un relieve ondulado. Representan formas alineadas típicas de un ambiente de paleodunas. La región muestra crestas alargadas con una dirección predominante hacia el sur, con una longitud del orden de 10 km y un ancho de aproximadamente 2 km (Figura 2).

Desde el punto de vista hidrogeológico la región está cubierta por sedimentos recientes relativamente permeables, compuestos por arena fina y limos que forman las dunas, donde se han reconocido varios ciclos eólicos superpuestos (Kruse *et al.*, 2001). En los bajos intermedanos los sedimentos son más finos con una menor permeabilidad relativa. Es un ambiente arreico y las inundaciones se producen en los bajos intermedanosos durante los períodos húmedos (Kruse *et al.*, 2006). En la superficie, los sedimentos eólicos de arena tienen espesores que van desde unos pocos centímetros hasta 6 metros. Estos sedimentos se apoyan sobre una unidad limosa con proporciones variables de arena y arcilla y materiales calcáreos, generalmente

conocidas como "sedimentos pampeanos" (Fidalgo *et al.*, 1975).

La precipitación media anual en la región es de aproximadamente 850 mm.año⁻¹ y la temperatura media anual de 16 °C. El esquema de lluvias en la región muestra una

alternancia entre periodos secos y húmedos siendo la primera mitad del siglo pasado más seca que la segunda. En la Figura 3 se muestra la serie anual de las precipitaciones en la localidad de 9 de Julio. Se reconoce la alternancia entre períodos húmedos y secos y la tendencia positiva de las precipitaciones.

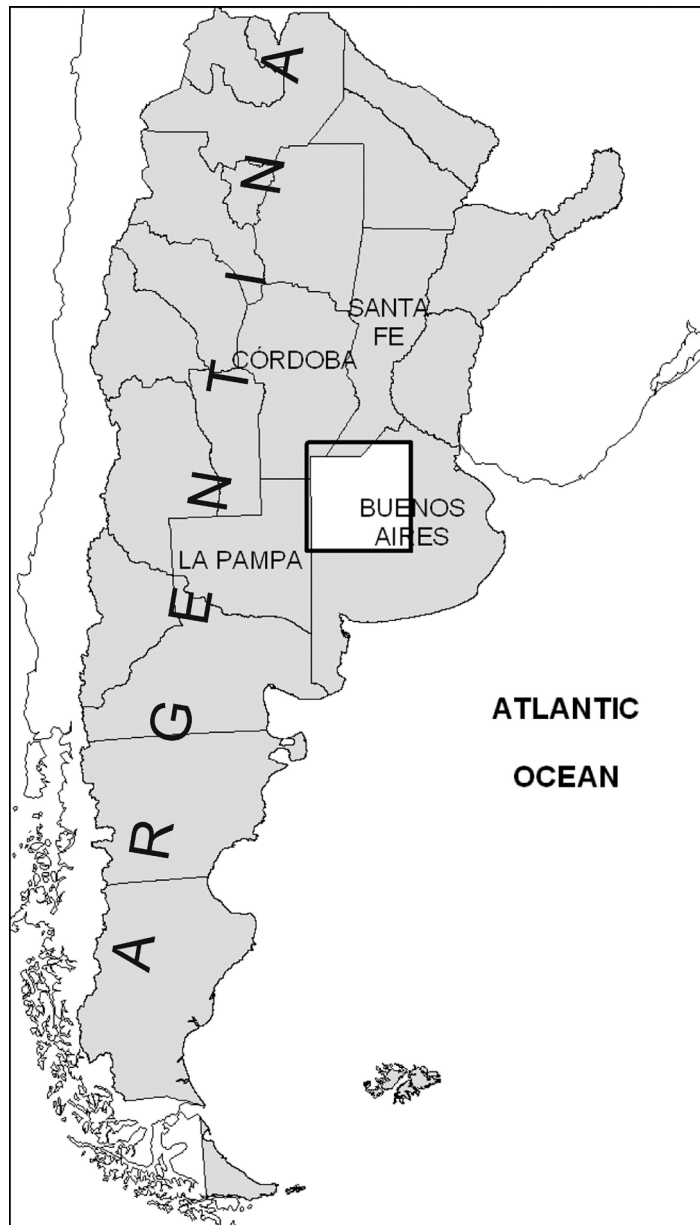


Figura 1. Mapa de ubicación del noroeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina)

Figure 1. Location map of the northwest of Buenos Aires Province (Argentina)

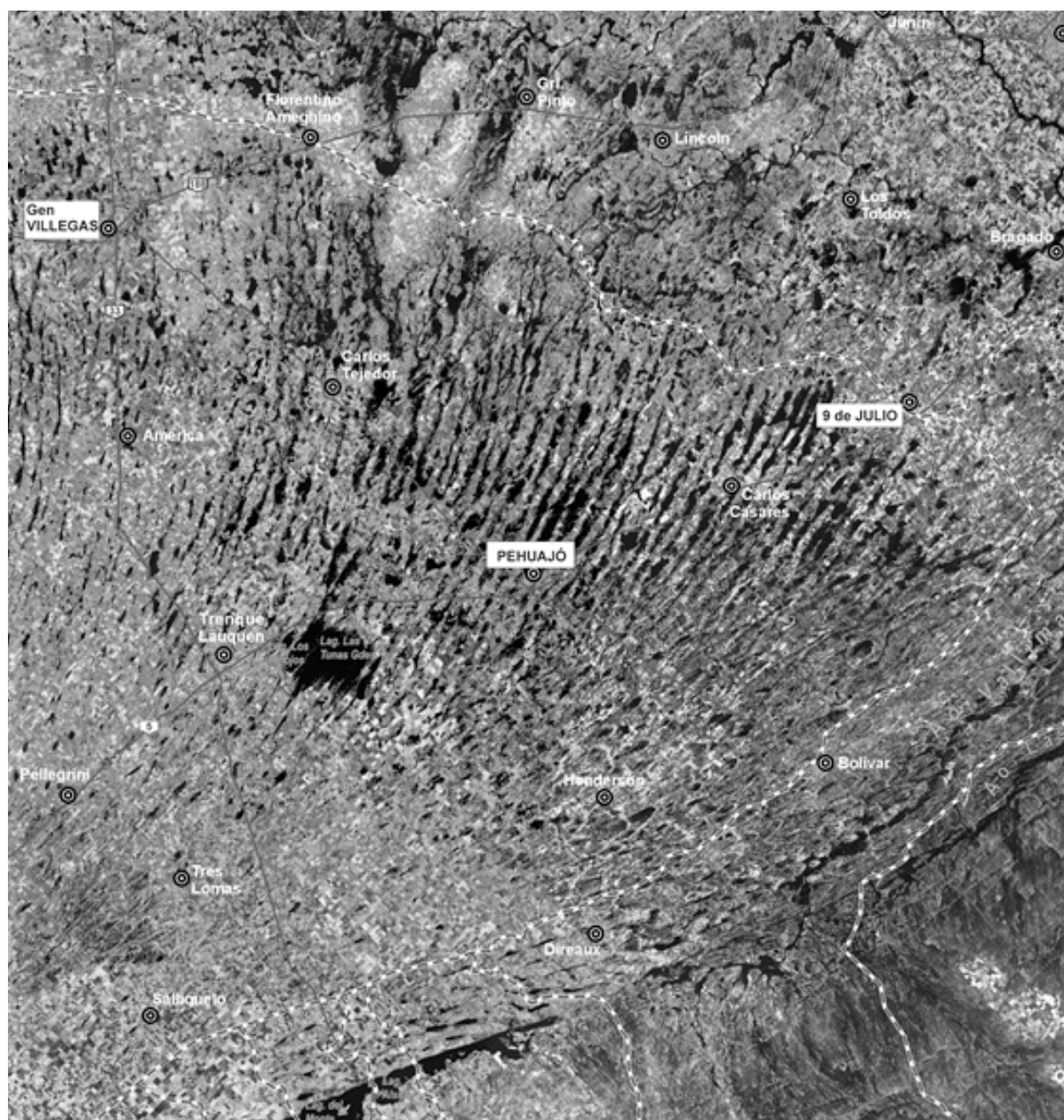


Figura 2. Imagen satelital del noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina
Figure 2. Satellite image of the northwest of Buenos Aires Province, Argentina

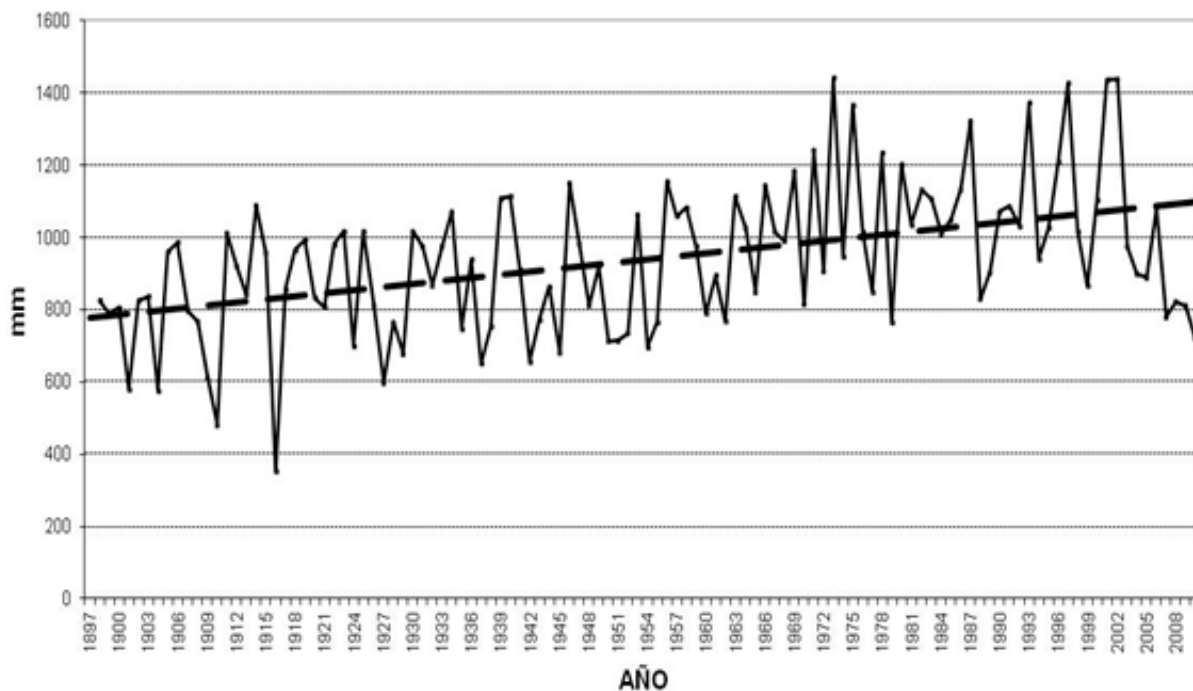


Figura 3. Precipitación anual en 9 de Julio

Figure 3. Annual rainfall for 9 de Julio

El problema de inundaciones y sequías

En esta región, desde 1970 se advierte un ciclo climático húmedo, caracterizado por un aumento de las precipitaciones. Un análisis de los campos de precipitaciones medias anuales permite caracterizar la influencia del ciclo húmedo citado a partir de la década del 70. El incremento en las precipitaciones en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires supera los 150 mm.año⁻¹.

Como consecuencia de este aumento en las precipitaciones, la región ha manifestado una tendencia a un incremento constante de las superficies destinadas a la agricultura. Estas áreas han sufrido un cambio en su régimen hidrológico que ha beneficiado sus posibilidades productivas. Como contrapartida ha dado lugar a variadas e innumerables áreas inundadas, de diverso grado y frecuencia. Estas inundaciones disminuyen las tierras disponibles para la producción agropecuaria y causan perjuicios a la infraestructura vial y urbana.

La ejecución de balances hidrológicos posibilita la estimación de los excesos de agua, que alimentarán a la humedad de agua en el suelo, a la infiltración o se almacenarán en los bajos existentes en la superficie del terreno. Un indicador de las variaciones hídricas de influencia directa en las actividades agropecuarias, está representado por la reserva de agua útil en el suelo.

Las variaciones de los niveles freáticos están directamente relacionadas con las variaciones en las precipitaciones y excesos de agua.

La Figura 4 muestra las fluctuaciones de la capa freática en sitios característicos. La profundidad de la capa freática oscila entre 0 y 4 m, las fluctuaciones son variables según el área donde se ubica el sitio de medición y no son cíclicas. En consecuencia, la extensión de los cuerpos de agua registra una expansión o reducción periódica en coincidencia con el ascenso o profundización de los niveles freáticos.

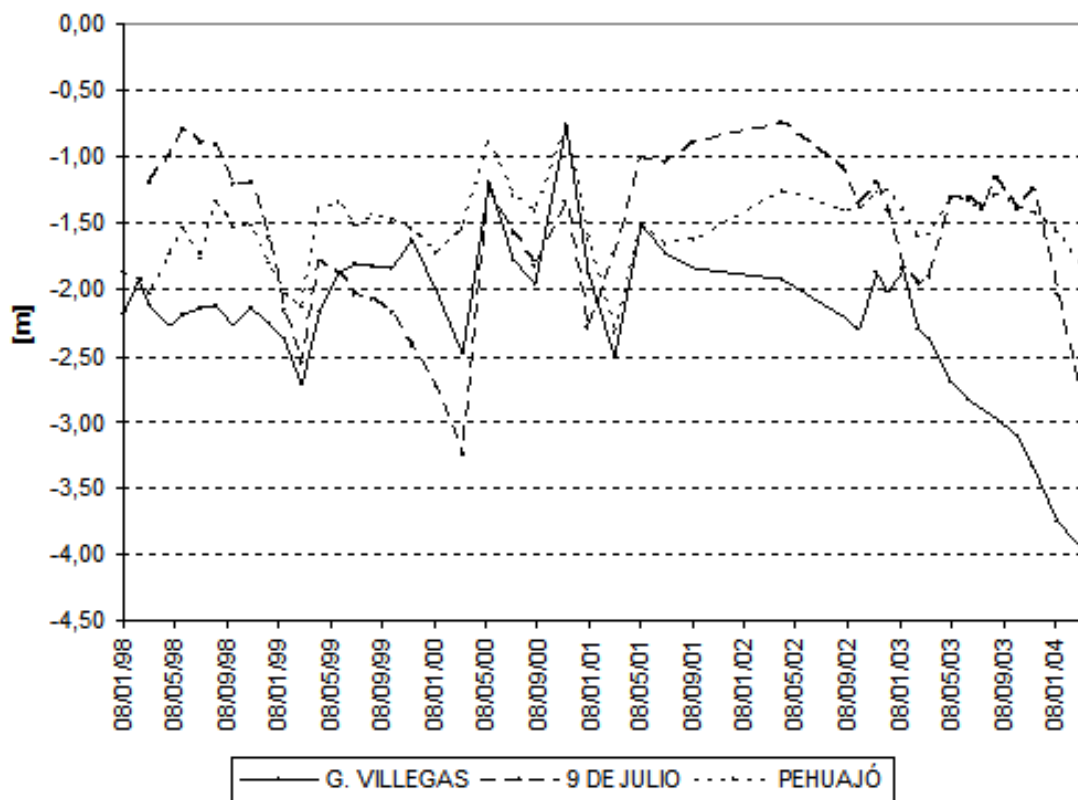
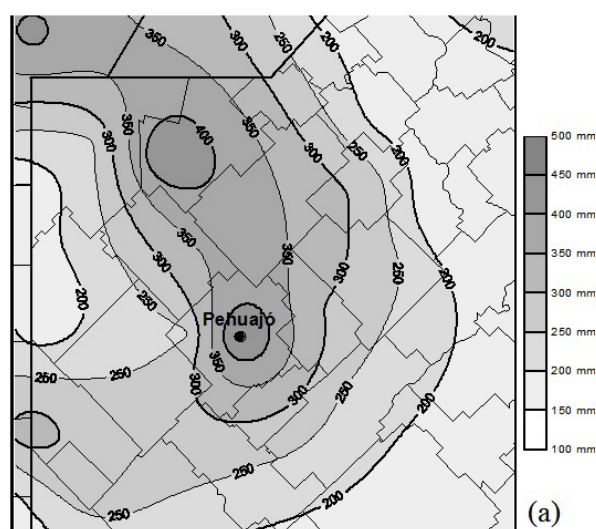


Figura 4. Fluctuaciones de los niveles freáticos en sitios característicos (General Villegas, 9 de Julio y Pehuajó)
Figure 4. Water table fluctuations (1998 - 2004) at characteristic sites (General Villegas, 9 de Julio and Pehuajó)

El efecto de un evento extremo puede ser ejemplificado con el registrado en marzo de 1999. En este caso en la Figura 5(a) se muestra la distribución de la precipitación de dicho mes, que indica un máximo en Pehuajó (450 mm). La estimación del balance hídrico revela los excesos de agua durante este evento (Figura 5(b)) que es superior a 200 mm. La Figura 5(c) representa el ascenso que se produjo en los niveles freáticos, que supera 1,2 m en algunas áreas. Este evento generó un importante incremento en las áreas anegadas.



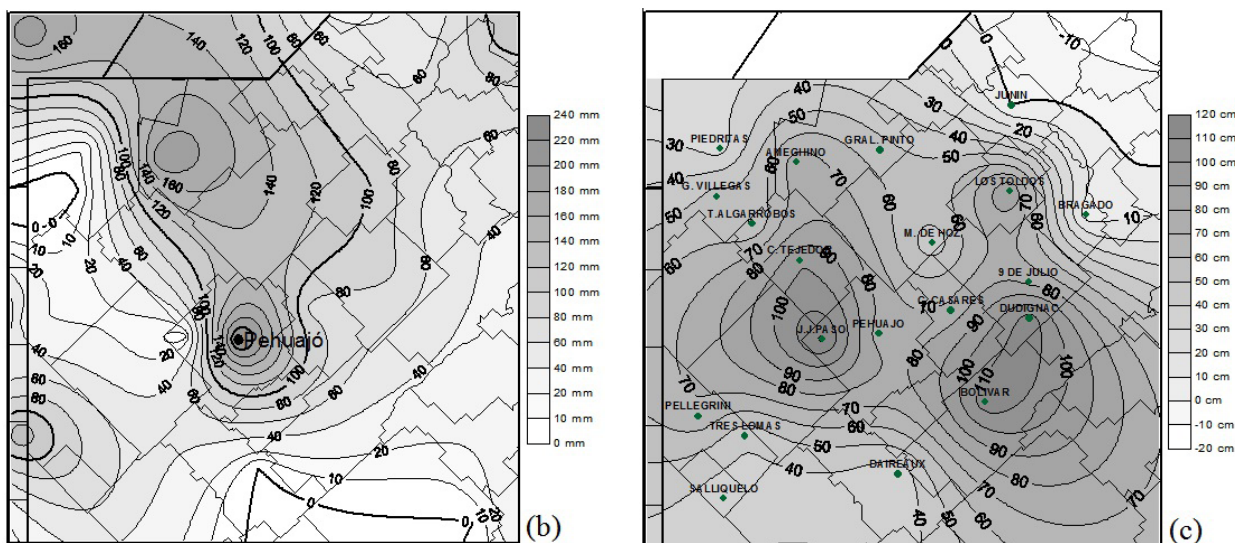


Figura 5. Situación hidrológica en marzo de 1999 con respecto a: (a) precipitación, (b) excesos de agua y (c) fluctuaciones de los niveles freáticos

Figure 5. The hydrological situation in March 1999 with respect to: (a) precipitation, (b) water excess, and (c) water table fluctuations.

Un ejemplo de bajas precipitaciones en el cual no existieron excesos de agua en el balance hídrico corresponde al período enero - marzo de 2004. La Figura 6(a) muestra la distribución areal de las precipitaciones en ese período, en el cual como consecuencia de la bajas precipitación y alta evapotranspiración, los excesos fueron

nulos. La Figura 6(b) representa el grado de profundización sufrido por los niveles freáticos en este período que en algunos casos excedió los 0,60 m. La profundidad de dichos niveles indica una relación con la reducción de las áreas anegadas y en la mayoría de los casos las depresiones se encuentran secas durante este evento.

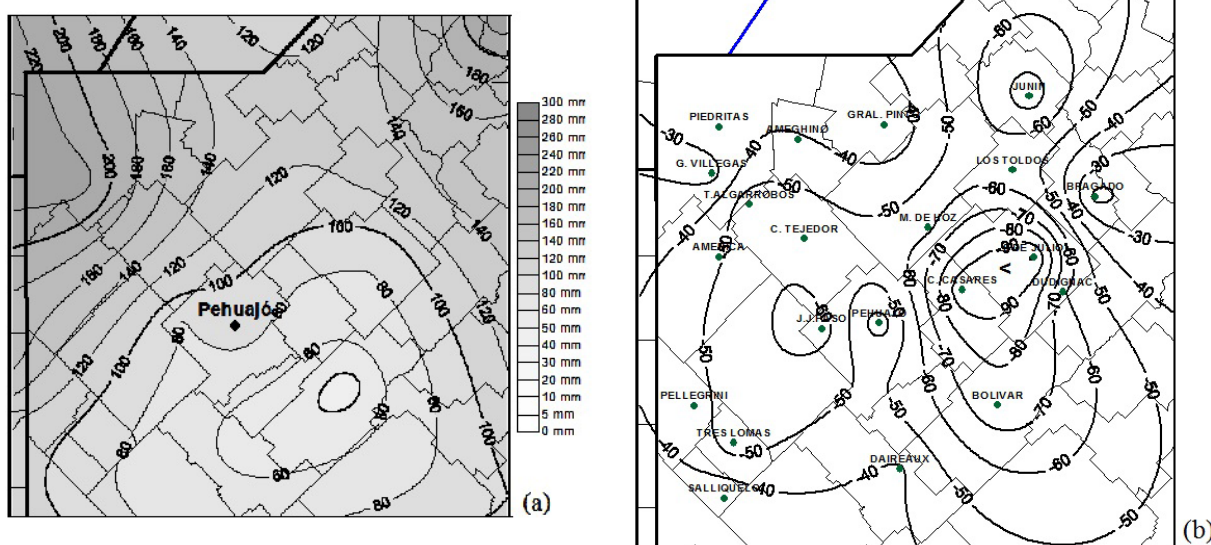


Figura 6. Situación hidrológica en enero - marzo de 2004 con respecto a: (a) precipitación y (b) fluctuaciones de los niveles freáticos

Figure 6. The hydrological situation in January - March 1999 with respect to: (a) precipitation, and (b) water table fluctuations.

Este comportamiento permite establecer diferentes respuestas hidrológicas de acuerdo a la presencia de períodos húmedos y secos.

En un período húmedo, el ascenso de los niveles freáticos puede generar anegamientos en las zonas deprimidas, dificultando el uso agrícola de estos sectores, y a su vez puede mantener un alto valor de humedad en los suelos de las zonas altas, lo cual permite satisfacer en forma adecuada las necesidades de agua de los cultivos. En esta situación el ascenso y afloramiento de niveles freáticos origina la permanencia de agua en los sectores bajos.

El ascenso de los niveles coincide con mayores excesos de agua que favorecen la infiltración. El afloramiento de estos niveles en las partes bajas provoca que el agua tienda a ocupar los cuerpos lacustres en toda su extensión y el agua almacenada en los bajos puede superar naturalmente su capacidad, produciéndose transferencia de sus aguas. Esta situación, en que los niveles freáticos se encuentran próximos a la superficie (entre 1 y 2 m de profundidad), resulta indicadora de una alta peligrosidad de inundación.

En una época seca la evaporación supera a los ingresos, produciéndose la profundización de los niveles freáticos y la disminución de áreas anegadas. En los sitios que se reconoce esta posición de los niveles freáticos es menor la amenaza de inundaciones.

La disminución en las precipitaciones y excesos de agua (período seco) genera la retracción o desaparición del agua de las depresiones y es máxima la profundización de niveles freáticos, disminuyendo los volúmenes de escurrimiento subterráneo regional.

DISCUSIÓN

La región soporta a un importante sistema productivo, sometido periódicamente a fuertes anomalías hídricas. El paisaje se caracteriza por bajas pendientes topográficas, por la inexistencia de cursos fluviales y por la presencia de materiales permeables en la superficie del terreno. Ello hace que al producirse precipitaciones el

agua no tienda a escurrir por la superficie, sino que predominen los movimientos verticales, como son la filtración a través del suelo, evaporación y transpiración. Además, se genera acumulación de agua en las zonas deprimidas (bajos y lagunas) y en el subsuelo (variación de los niveles freáticos).

Por otra parte debe tenerse en cuenta que las particularidades mencionadas y la presencia frecuente del nivel freático a escasa profundidad de la superficie, hacen que el agua de las lagunas y el agua subterránea se encuentren directamente relacionadas y deban tratarse como una unidad.

La problemática de estos sectores se ha visto agravada por el comportamiento de canalizaciones que transfieren los excedentes de agua a sectores que ya tienen una situación de saturación, que luego se ve agravada por la ocurrencia de precipitaciones.

De esta forma, en el estado hidrológico están incidiendo además del factor climático, condiciones que se asocian a las características geomorfológicas. Por otra parte, el factor antrópico tiene un papel preponderante, ya que son numerosas las oportunidades en las cuales las rutas, canales o ferrocarriles promueven la modificación de la distribución natural de las aguas.

Debe tenerse en cuenta que esta llanura no es homogénea, sino que en ella se pueden diferenciar particularidades topográficas - morfológicas, hidrogeológicas y variaciones en la distribución de cuerpos lagunares y redes de drenaje.

La alternancia de situaciones húmedas y secas adquiere un significado crucial para la producción agrícola pues la cantidad y calidad del agua resulta el disparador de un importante paquete tecnológico que ha instalado hoy nuestro sistema productivo (Forte Lay *et al.*, 2008).

La realización de balances hidrológicos constituye un paso fundamental para entender el comportamiento en la región. Según las características físicas del área analizada, el balance hidrológico queda definido por:

Entradas - Salidas = \pm Variación de la capacidad de almacenamiento

Las variables fundamentales intervinientes son:

a) Entradas: precipitaciones

b) Salidas: evapotranspiración; escurrimiento fluvial; flujo subterráneo

c) Capacidad de almacenamiento:

- subterráneo: representa al volumen de agua con posibilidad de almacenarse entre el nivel freático y la superficie del terreno (zona no saturada). Aparece como relevante por su continuidad areal y por la porosidad del medio superficial.
- superficial: corresponde al volumen de agua potencialmente almacenable en los cuerpos lagunares, cañadas, bajos, que almacenan temporariamente y/o retardan la infiltración directa, escurrimiento superficial y/o flujo subterráneo.

En la región se pueden considerar probables comportamientos, teniendo en cuenta si se trata de estados hidrológicos húmedo y seco.

En uno húmedo los ingresos superan a los egresos. El grado de diferencia genera una disminución en la capacidad de almacenamiento subterráneo (ascenso de niveles freáticos) y/o superficial (incremento de las áreas anegadas).

En un estado hidrológico seco, las salidas superan a los ingresos. El déficit es alimentado por reservas geológicas, aumentando el almacenamiento subterráneo (profundización de niveles freáticos) y/o superficial (reducción de cuerpos lagunares).

De esta forma para conocer la situación hidrológica actual adquieren relevancia el conocimiento de las variaciones en las precipitaciones, la influencia de la evapotranspiración, la evolución de los niveles freáticos y de las áreas cubiertas por el agua en la superficie.

CONCLUSIONES

Los impactos naturales más notables en la Pampa Arenosa están representados por la

alternancia de períodos secos y húmedos. Durante un período seco, la profundización del nivel freático dificulta la satisfacción natural de la demanda de agua de los cultivos. Durante los períodos húmedos el nivel freático se encuentra en una posición somera, suele producir anegamientos en las partes bajas, afectando negativamente a la producción agrícola. El nivel freático se encuentra próximo a la superficie, lo que indica que las aguas superficiales (lagunas) y aguas subterráneas están fuertemente relacionadas, por lo que debe ser tratada como una sola unidad. El monitoreo a partir de imágenes de satélite permiten reconocer las fluctuaciones en las lagunas, siendo importantes indicadores de comportamiento hidrológico.

Las bajas pendientes topográficas de la Pampa Arenosa dan lugar a que no exista una energía hídrica suficiente como para generar una red de drenaje integrada, siendo mínimo el escurrimiento superficial. Debido a esta característica no es posible aplicar el concepto tradicional de la unidad de estudio que es una cuenca hidrológica. Resulta más apropiado el uso del término región hidrológica para definir el balance de agua en un área determinada.

Estas características conducen a que los términos de mayor significación en dicho balance sean la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración y las variaciones de almacenamientos superficial y subterráneo. Los estudios hidrológicos en Pampa Arenosa deben tender a la medición y determinación de estas variables.

Una adecuada red de medición de niveles freáticos y de niveles en lagunas, datos meteorológicos y el uso de distintas imágenes satelitales seriadas permitirán analizar la evolución de los fenómenos hidrológicos. Ello permite efectuar pronósticos seguros, lo cual posibilita un manejo sustentable de los recursos hídricos en esta región y encarar las medidas necesarias para la mitigación de los efectos no deseados de sequías e inundaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fertoni M & Prendes H. 1983. Hidrología en áreas de llanura. Aspectos conceptuales teóricos y metodológicos. *Coloquio Internacional sobre hidrología de grandes llanuras*. Olavarría, Argentina. Tomo I: 120-156
- Fidalgo F, De Francesco O & Pascual R. 1975. Geología superficial de la Llanura Bonaerense. *Relatorio VI Congreso Geológico Argentino*: 103-138
- Forte Lay JA, Kruse E & Aiello JL. 2008. Hydrologic Scenarios Applied to the Agriculture Management of the Northwest of the Buenos Aires Province (Argentina). *Geojournal*. DOI 10.1007/s10708-008-9140-1
- Kumar P. 2015. Hydrocomplexity: Addressing water security and emergent environmental risks. *Water Resources Research*, 51: 5827-5838 doi:10.1002/2015WR017342.
- Kruse E, Forte Lay JA & Aiello JL. 2006. Water table fluctuations: An indicator of hydrologic behavior in the Northwest region of Buenos Aires Province (Argentina). *IAHS-AISH Publication*, UK, 302: 91-97
- Kruse E, Forte Lay JA, Aiello JL, Basualdo A & Heinzenknecht G. 2001. Hydrological Processes on Large Flatlands. Case Study: Northwest region of Buenos Aires Province (Argentina). *IAHS-AISH Publication*, UK, 267: 531- 536
- Kruse E & Zimmermann E. 2002. Hidrogeología de Grandes Llanuras. Particularidades en la Llanura Pampeana (Argentina). *Workshop Groundwater and Human Development*. Mar del Plata (Argentina). XXXII IAH Congress: 2025-2038
- Usunoff E, Varni M, Weinzettel P & Rivas R. 1999. Hidrogeología de grandes llanuras: La pampa húmeda argentina. *Boletín geológico y minero*. 110: 391-406
- Usunoff E. 2002. Framework for assessing hydrogeology of large plains. *Workshop Groundwater and Human Development*. Mar del Plata (Argentina). XXXII IAH Congress: 2039-2042
- Zárate M & Rabassa J. 2005. Geomorfología de la Provincia de Buenos Aires. *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*: 119-138