

Comportamiento del nivel freático a lo largo de una transecta en un área llana de pastizales naturales en la cuenca del arroyo del Azul

Sofía Zeme^{1,2}, Marcelo Varni¹, Ilda Entraigas¹ y Natalia Vercelli^{1,2}

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras "Eduardo Usunoff", CC 44, Campus Universitario Azul, (7300) Azul, Argentina

² Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), La Plata, Argentina

Mail de contacto: marcelovarni@gmail.com

RESUMEN

Se analizan los niveles freáticos y las conductividades eléctricas del agua subterránea somera en seis pozos ubicados en una transecta orientada en dirección perpendicular al escurrimiento superficial en el sector más deprimido de la cuenca del arroyo del Azul. Las mediciones se llevaron a cabo durante el período 03/2012 – 01/2014, con una frecuencia aproximadamente mensual, lo que permite interpretar primariamente los comportamientos del agua subterránea en el área de estudio. La vegetación característica de esta zona corresponde a los típicos pastizales naturales de la Pampa Deprimida, dentro de los cuales se reconoce cierta heterogeneidad espacial. En general, las correlaciones entre los niveles en las distintas perforaciones es alta, excepto en la ubicada en un peladar de *Distichlis spicata*, la cual tiene una dinámica diferente. Este sitio también se caracteriza por la elevada conductividad eléctrica (CE) del agua subterránea, y altos valores de CE y pH del suelo. Luego, se analiza la expresión de las comunidades vegetales que se desarrollan en los sitios donde se encuentra cada una de las perforaciones, a partir de la caracterización de la representatividad de los distintos grupos funcionales (graminoides y dicotiledóneas) en los períodos correspondientes a las primaveras de 2012 y 2013.

Palabras clave: nivel freático, conductividad eléctrica, llanura, pastizales naturales.

ABSTRACT

Groundwater levels and electrical conductivities of shallow groundwater in six wells in a transect located in a flat area of the Azul Creek watershed are analyzed. The measurements were conducted during the period March 2012- January 2014, with an approximately monthly basis, allowing a primarily interpretation of the behavior of groundwater in the study area. The vegetation corresponds to typical natural grasslands of the Flooding Pampa, within which certain spatial heterogeneity is recognized. In general, the correlation between the levels in the different perforations is high except for the one located in a *Distichlis Spicata* area, which has a different groundwater dynamic. Also the groundwater in this area is characterized by a higher electrical conductivity (EC) and by highers soil EC and pH values. Then, the correlation between groundwater dynamics and the expression of four communities (*Paspalum quadrifarium* grassland, a *Distichlis Spicata* area, *Nassella formicarum* and *Nassella nessiana* areas) are specifically analyzed in the periods corresponding to the springs 2012 and 2013.

Keywords: water table level, electrical conductivity, plain, natural grasslands.

1 INTRODUCCIÓN

La cuenca del arroyo del Azul se ubica en el centro de la provincia de Buenos Aires, entre los 58° 51' y 60° 10' de longitud Oeste y 36° 09' y 37° 19' de latitud Sur, abarcando, con una superficie de 6.237 km², la casi totalidad del partido de Azul y algunos sectores de los partidos de Las Flores, Rauch, Tapalqué, Olavarría y Benito Juárez. Según los datos aportados por la Estación Azul Aero del Servicio Meteorológico Nacional, la temperatura media mensual es de 14,4°C (período 1966-2011; máximas en enero, con 21,5°C y mínimas en julio, con 7,6°C), mientras que la precipitación media alcanza los 911 mm (1901-2011), destacándose marzo como el mes más lluvioso (120 mm) y agosto como el más seco (44 mm). El clima del partido se define entonces como subhúmedo-húmedo, mesotermal, con poca o nula deficiencia de agua (Thorntwaite y Mather, 1955). Las cabeceras de cuenca se encuentran asociadas al Sistema Serrano de Tandilia, sector que se halla por encima de los 200 m.s.n.m., al sur del partido de Azul y que representa tan sólo un 10% del total del área (cuenca alta). Inmediatamente al norte es posible reconocer una llanura con suaves ondulaciones, que se desarrolla hasta los 130 m.s.n.m. y oficia de transición entre los dos subsistemas principales (cuenca media). La cuenca baja, con más del 60% de representación espacial, está compuesta por una amplia llanura en la que la pendiente disminuye gradualmente desde 0,2% en cercanías de la ciudad de Azul hasta 0,1%, hacia el límite nororiental del Partido, punto que se encuentra aproximadamente a 60 m.s.n.m. (Fig. 1).

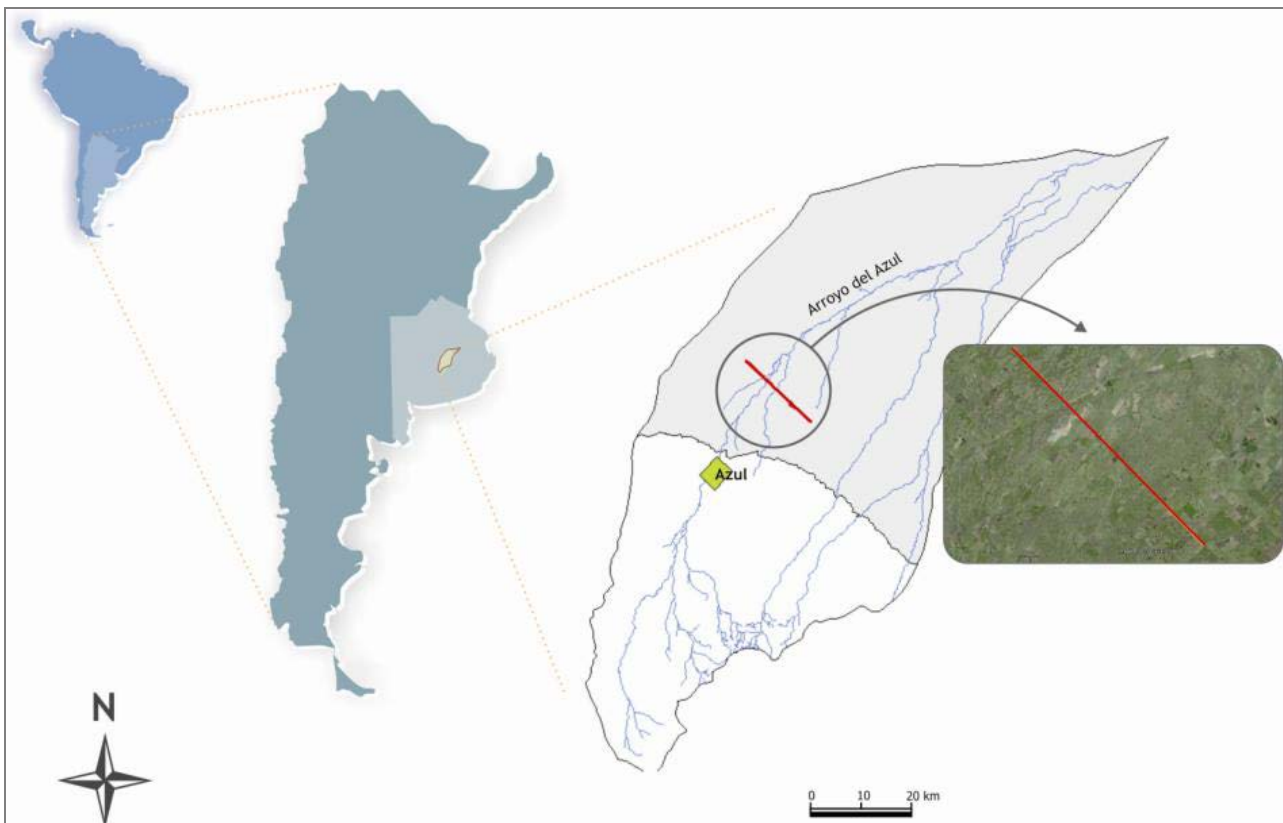


Figura 1 - Ubicación relativa de la cuenca del arroyo del Azul; se destacan el sector correspondiente a la cuenca baja (sombreado gris) y el sitio de muestreo.

En el sistema descrito, las divisorias de agua sólo están bien definidas en las zonas de serranía, pero a medida que el curso principal y sus tributarios ingresan en la planicie distal, los cauces pierden definición y la delimitación de áreas de aporte se ve impedida debido a las características morfológicas que adquiere el paisaje, el cual vira hacia una matriz deprimida de la que sobresalen geofomas con relieve positivo (dunas, lomas y lomadas de escasa altura). De esta manera, al ingresar en la cuenca baja, las diferencias topográficas entre las planicies de inundación de los diversos cursos y cuerpos de agua y las áreas de divisoria son extremadamente sutiles y se manifiestan particularmente a través de las variaciones en los diferentes perfiles de

suelo (Zárate y Mehl, 2010).

Las características topográficas y las propiedades edáficas propias de los paisajes deprimidos, interactúan entre sí y varían espacialmente conformando un mosaico en el paisaje que es acompañado con una distribución particular de la vegetación. Así, el área presenta las comunidades tradicionales de la pampa deprimida, tales como pajonales de paja colorada, flechillares, praderas húmedas, praderas saladas, duraznilares y juncales, las cuales alternan unas con otros formando un intrincado mosaico de vegetación (Vervoort, 1967). Lo mencionado, sumado a la existencia de un nivel freático cercano a la superficie y a la ocurrencia de anegamientos periódicos, resulta en la manifestación de un sistema típico de llanura subhúmeda, regulado por la interacción de los diversos factores ambientales y de manejo, pero en el que la topografía y la dinámica hídrica adquieren una especial relevancia.

El objetivo del presente trabajo es analizar la evolución de los niveles freáticos y la salinidad del agua subterránea en distintos sitios de un sector de la cuenca baja del Arroyo del Azul a lo largo de una transecta, para luego interpretar y discutir las diferencias entre ellos. También se analiza la expresión de las comunidades vegetales que se desarrollan en dichos sitios, a partir de la caracterización de la representatividad de los distintos grupos funcionales (graminoides y dicotiledóneas) en los períodos correspondientes a las primaveras de 2012 y 2013. La elección de estos grupos funcionales se debe a que hay claras evidencias que las inundaciones afectan de diferente manera a las dicotiledóneas y a las graminoides del pastizal (Sala et al., 1986; Insausti y Soriano, 1987; Chaneton et al., 1988; Rusch y Oesterheld, 1997), por lo esta división propuesta es un de las más significativas (Wilson y Roxburgh, 1994).

Los datos expuestos constituyen resultados preliminares y forman parte del seguimiento que se viene realizando desde el año 2012 en seis pozos someros ubicados a lo largo de una transecta de 18 km de longitud que se desarrolla hacia ambos lados de la Ruta Nacional N°3, a la altura de la Estación Shaw. La misma se encuentra ubicada 20 km al norte de la ciudad de Azul y se sitúa en forma perpendicular al sentido de escurrimiento general del agua. El estudio en transectas presenta la particularidad de recortar el objeto de estudio, linealizando los gradientes topográficos y de aguas, estando su empleo recomendado ya en las conclusiones del Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras (Fuschini Mejía, 1983).

A lo largo de su extensión, la transecta descrita atraviesa diversos ambientes. Cuatro de las perforaciones se encuentran ubicadas en típicos pastizales naturales de la Pampa Deprimida sometidos a similares presiones de pastoreo, mientras que los otros dos restantes se localizan en el seno y en el borde de una cubeta de deflación. A continuación se presenta una breve caracterización de cada uno de ellos, a partir de su fisonomía general y sus especies indicadoras.

Flechillar de *Nassella formicarum* ("Flechillar 1"): comunidad graminosa en la que se desarrolla un estrato basal de escasa altura conformado por especies rastreras y arrosadas, del que sobresalen especies de mayor altura entre las que se destaca *Nassella formicarum*, acompañada por varias especies de ciperáceas (*Cyperus reflexus*, *C. corymbosus*, *Eleocharis macrostachya*, *Juncus microcephalus*, *Carex bonariensis*). Estos sitios están sometidos a la influencia de anegamientos prolongados.

Flechillar de *Nassella neesiana* ("Flechillar 2"): comunidad graminosa de estructura similar a la anterior, en cuyo estrato superior la presencia de *Nassella neesiana*, acompañada por *Bothriochloa laguroides*, *Piptochaetium bicolor*, *Bromus hordeaceus*, entre otras. Esta comunidad se desarrolla sobre los sectores más altos de los campos tendidos del área de estudio.

Peladar de *Distichlis spicata* ("Peladar"): comunidad dominada por especies típicas de suelos halomórficos, entre las que se destacan aquellas del género *Distichlis*, acompañadas por *Spergula ramosa*, *Sporobolus pyramidatus*, *Lepidium spicatum*, *Leptochloa fusca*, *Hordeum pusillum*, entre otras. En general estos sitios tienen cobertura vegetal discontinua, dejando grandes espacios de suelo desnudo.

Pajonal de *Paspalum quadrifarium* ("Pajonal"): comunidad formada casi exclusivamente por poblaciones de paja colorada, una gramínea formadora de matas altas y densas, entre las que crecen especies acompañantes cespitosas, rastreras y arrosadas, tales como *Piptochaetium*

stipoides, *Linum bienne*, *Eryngium paniculatum*, *Plantago lanceolata*, entre otras.

En lo que respecta a la cubeta de deflación, una de las perforaciones (“Cubeta”) se encuentra ubicada en el seno de la misma, donde se desarrolla un duraznilar de *Solanum glaucophyllum*, en el que también se encuentran especies palustres como *Ludwigia peploides*, *Hydrocotyle bonariensis*, *Polygonum hydropiperoides*, *Alternanthera philoxeroides*, entre otras. La otra perforación (“Lunette”), en tanto, se localiza en el borde correspondiente a la lunette de la cubeta, donde se desarrolla una comunidad de transición en la que encontramos especies típicas tanto de flechillares como de praderas húmedas, tales como varias especies de los géneros *Nassella*, *Panicum*, *Hypochaeris*, *Eleocharis* y *Mentha*.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Cada uno de los sitios mencionados cuenta con un piezómetro de 4 m de profundidad, entubado en PVC de 1 y 1/2”, abierto en el fondo y ranurado en los 50 cm inferiores.

La lectura de niveles freáticos constituye una operación que se viene realizando con una frecuencia aproximadamente mensual desde inicios de 2012, a través de la introducción en los pozos de sondas freaticométricas. En este sentido, cabe aclarar que dicho procedimiento no se realiza de manera regular, sino que se ajusta a la ocurrencia o no de precipitaciones, buscando reflejar también situaciones contrastantes. La conductividad eléctrica (CE) del agua fue medida en campo utilizando un dispositivo multiparamétrico portátil, tras tiempos adecuados de bombeo. Asimismo, se procedió a la toma y traslado de muestras determinar la CE en laboratorio, siendo estos últimos los valores que finalmente fueron tenidos en cuenta para el análisis de datos, debido a su mayor nivel de confiabilidad. Los resultados expuestos en la Tablas 1 y 2 surgen de aplicar el coeficiente de correlación lineal de Pearson.

Los valores del catión sodio presente en agua fueron determinados en el Laboratorio de Análisis Químicos del Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff”, durante los meses de abril, mayo y junio de 2012. La técnica analítica utilizada fue la espectrofotometría de absorción atómica de llama (SM 3111 B).

Los valores de pH y CE del suelo se determinaron en base a muestras extraídas con barreno, correspondientes a la sección de 0-20cm de profundidad. Los ensayos en laboratorio se realizaron siguiendo la metodología propuesta por USDA (1999). Dicho procedimiento se realizó en cuatro momentos diferentes, a lo largo del año 2013.

Para analizar la expresión de las comunidades vegetales que se desarrollan en los sitios estudiados, se llevaron adelante muestreos en dos primaveras consecutivas (2012-2013), utilizando una cuadrícula de 4 m² dentro de la cual se registraron todas las especies encontradas. Posteriormente, en gabinete, las especies se clasificaron de acuerdo a su grupo funcional (graminoide – dicotiledónea) para luego calcular la representatividad porcentual de cada uno. Cabe destacar que el relevamiento de vegetación se restringió a los cuatro pastizales descriptos y no así en las comunidades ubicadas en la cubeta de deflación, ya que este último ambiente corresponde a un humedal con características particulares (origen, estructura y dinámica) muy diferentes a aquellos agrosistemas dominados por vegetación gramínea.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se aprecia la evolución de los niveles freáticos en los seis sitios. Cabe destacar que el pozo ubicado bajo la cubeta es el que presenta los niveles freáticos más someros, siendo que durante largos períodos de tiempo incluso se ha encontrado con agua por sobre la superficie del suelo. Más allá de ese caso en particular, puede advertirse que el pozo del flechillar de *Nassella formicarum* (“Flechillar 1”) evidencia en determinados momentos picos acentuados que revelarían eventos de recarga más significativos que en los otros pozos. De modo similar, el pozo ubicado en el peladar también exhibe niveles más cercanos a superficie que los registrados en las perforaciones restantes (nuevamente, exceptuando los registrados en la cubeta). Estos dos pozos estarían asociados a distintos comportamientos del agua en suelos cubiertos y semidesnudos, tal como describen Cantero et al. (1996). El peladar se corresponde con un bajo alcalino, cuyas

características principales son la acumulación superficial de sales donde el escurrimiento superficial predomina sobre la infiltración debido a la baja permeabilidad del suelo. La conductividad eléctrica del suelo es cercana a 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y su pH entre 9,1 y 9,6. Allí el movimiento del agua en el perfil de suelo es predominantemente ascendente, por capilaridad desde el nivel freático (muy somero). La evaporación directa extrae el agua de la parte superior de la franja capilar la cual es repuesta por más flujo ascendente. Este ascenso es de agua con sales que, al ser evaporada, deja las sales en el perfil. Por ello es que los suelos en estos bajos son altamente alcalinos, medianamente salinos. El mencionado ascenso de agua por capilaridad no impide que en algún momento se produzcan flujos descendentes en eventos de lluvia, que producen pulsos de ascenso del nivel freático. La Tabla 1 expresa las correlaciones entre los diferentes sitios y permite afirmar que la dinámica de los niveles freáticos a lo largo de la transecta estudiada es bastante similar. La Tabla 2 exhibe las correlaciones presentes entre las CE del agua registradas en las seis perforaciones. En este contexto se destaca la existencia de cuatro correlaciones positivas y significativas, a saber: Flechillar 2 - Flechillar 1; Cubeta - Flechillar 2; Lunette - Flechillar 2; y Pajonal - Cubeta. El pozo del peladar, por el contrario, no presenta correlación significativa con ninguno de los demás.

En el caso del flechillar de *Nassella formicarum*, existe una tendencia altamente significativa de reducción de la salinidad de las aguas subterráneas someras bajo alta cobertura vegetal. Esta última favorece la infiltración del agua y, por lo tanto, el flujo descendente por el perfil de suelo lo que, sumado a su condición de sitios más bajos en el terreno, resulta en aguas freáticas someras diluidas. En la Figura 3 pueden verse las conductividades eléctricas medias estacionales para cada pozo. Se destaca claramente por su alta salinidad el pozo del peladar, mientras que el menos salino es el del mencionado flechillar. Esto concuerda con lo antes expresado sobre que el flechillar de *Nassella formicarum* se caracterizaría por su alta recarga (predominio de flujos descendentes de agua) mientras que el peladar se distingue por tener flujos verticales ascendentes en el suelo por capilaridad para satisfacer la demanda de agua por evaporación. Otro aspecto que puede apreciarse en la Figura 3, es que en todos los pozos, excepto el peladar, la conductividad eléctrica es mayor en verano. Esto correspondería con una tendencia negativa de los balances de agua subterránea en el verano, con más descargas que recargas, lo que se traduce en un descenso del nivel freático y un aumento de la salinidad, en general. Por otra parte, en invierno, aunque llueve menos la incidencia de la evapotranspiración es poco significativa, por lo que el agua freática en su sector superior tiende a diluirse. En el pozo del peladar ocurre lo contrario: en verano predominan los flujos ascendentes, mientras que en invierno, dada la baja demanda evaporativa, predominan los flujos descendentes, los cuales lavan las sales del perfil de suelo trasladándola al nivel freático y aumentando por consiguiente su salinidad.

La Fig. 4 muestra los contenidos de sodio en el agua de los pozos. Nuevamente se destaca el pozo del peladar, con un alto contenido de sodio.

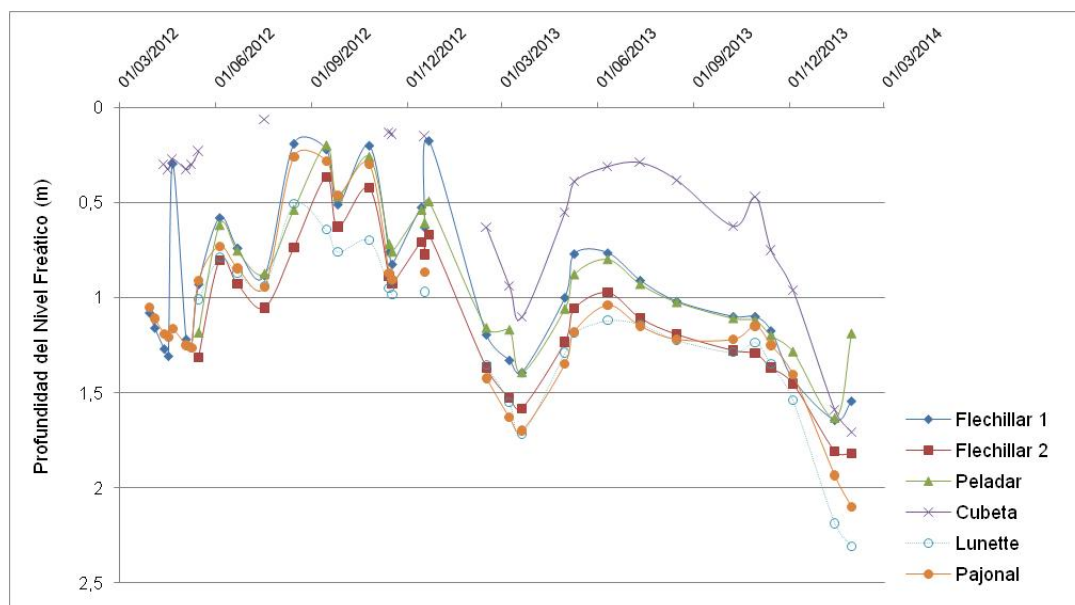


Figura 2 - Variaciones del nivel freático en los pozos analizados.

Tabla 1 - Correlaciones de niveles freáticos.

	Flechillar 1	Flechillar 2	Peladar	Cubeta	Lunette	Pajonal
Flechillar1	1					
Flechillar2	0,97	1				
Peladar	0,95	0,97	1			
Cubeta	0,75	0,93	0,81	1		
Lunette	0,93	0,92	0,85	0,99	1	
Pajonal	0,88	0,95	0,90	0,95	0,96	1

Todas las correlaciones son significativas al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 2 - Correlaciones de conductividades eléctricas en el agua subterránea.

	Flechillar 1	Flechillar 2	Peladar	Cubeta	Lunette	Pajonal
Flechillar 1	1					
Flechillar 2	0,68 (**)	1				
Peladar	0,10	0,04	1			
Cubeta	0,24	0,54(*)	0,07	1		
Lunette	0,20	0,58(*)	0,36	0,43	1	
Pajonal	0,26	0,40	0,13	0,78 (**)	-0,08	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

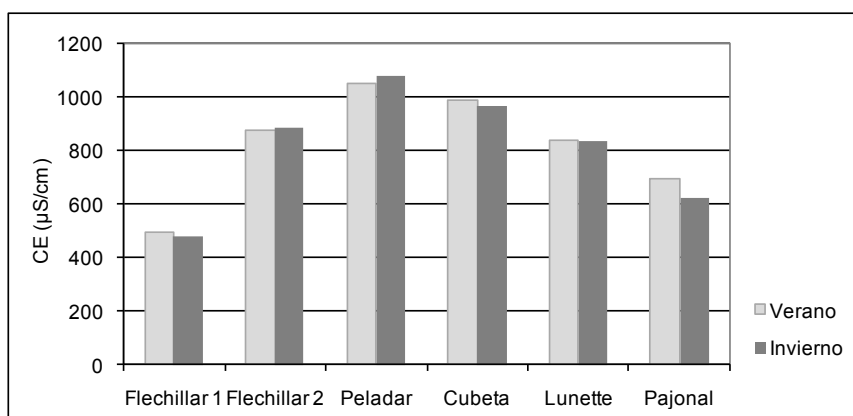


Figura 3 - Valores medios de conductividad eléctrica en los pozos analizados.

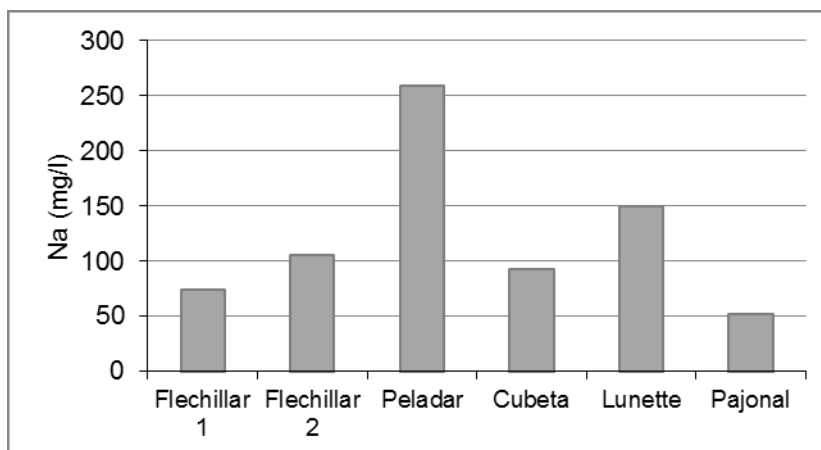


Figura 4 - Contenidos de Na en el agua de los pozos estudiados.

En la Tabla 3 se observan los datos del pH y la conductividad eléctrica de los suelos en cercanías de cada uno de los pozos, en cuatro fechas a lo largo de 2013, excepto para los de la cubeta y la lunette, en donde se realizó un solo muestreo. Se destacan nuevamente los altos valores tanto de pH como de CE en el peladar, mientras que los valores más bajos se dan en el flechillar de *Nassella neesiana* ("Flechillar 2") y en la lunette. En cada lugar se dan ciertas variaciones a lo largo del año pero son en general mucho más significativas las variaciones espaciales.

Tabla 3 - pH y conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de los suelos en correspondencia con los pozos.

	23/01/2013		30/04/2013		10/09/2013		01/12/2013	
	pH	CE	pH	CE	pH	CE	pH	CE
Flechillar 1	7,2	257	7,6	444	6,0	315	7,7	544
Flechillar 2	7,0	80	7,7	298	6,6	399	8,0	639
Peladar	10,3	1602	9,6	1780	9,9	1387	9,8	2470
Cubeta			7,6	360				
Lunette			7,8	262				
Pajonal	6,6	63	7,8	631	7,2	388	8,2	1082

Con respecto al análisis de la vegetación, los datos de representatividad de cada grupo funcional se detallan en la Tabla 4. Los resultados muestran que en la primavera de 2012 (período en el cual los niveles freáticos se encontraban más próximos a la superficie), el porcentaje de especies pertenecientes al grupo de las graminoides fue mayor que el de las dicotiledóneas, tanto en el pajonal como en los flechillares. En el peladar, por su parte, no se registraron diferencias y, además, el número de especies encontradas en su seno fue muy exiguo (ejemplares pertenecientes a solamente 5 especies). Durante la primavera de 2013, con condiciones hidrológicas muy diferentes, las dicotiledóneas recuperaron en gran medida su protagonismo en la conformación de las distintas comunidades, excepto en el peladar que, una vez más, se comportó de manera diferente al resto.

Tabla 4 - Representatividad de grupos funcionales de vegetación en cada pozo.

	2012				2013			
	Graminoides		Dicotiledóneas		Graminoides		Dicotiledóneas	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Flechillar de <i>Nassella formicarum</i> ("Flechillar 1")	14	60,9	9	39,1	12	52,2	11	47,8
Flechillar de <i>Nassella neesiana</i> ("Flechillar 2")	17	70,8	7	29,2	16	51,6	15	48,4
Peladar de <i>Distichlis spicata</i> ("Peladar")	5	50	5	50	9	64,3	5	35,7
Pajonal de <i>Paspalum quadrifarium</i> ("Pajonal")	18	54,5	15	45,5	7	43,7	9	56,3

4 CONCLUSIONES

Los ecosistemas controlados por el agua son complejos, y sus estructuras y dinámicas dependen de las relaciones interactuantes entre el clima, el suelo y la vegetación. Estas influencias recíprocas son las responsables de que el clima y el suelo favorezcan el desarrollo de una determinada vegetación y, al mismo tiempo, que la vegetación controle el balance de agua en el sistema. Los resultados encontrados reflejan el papel activo de las plantas en el uso del agua, condicionando fuertemente el balance de agua del sistema. La predominancia de flujos ascendentes de agua en el suelo desde el nivel freático (descarga) o de flujos descendentes hacia el nivel freático (recarga) es fundamental para el balance de masas de sales en el perfil. En cuanto a la representatividad de los grupos funcionales, las dicotiledóneas (que en una proporción importante no son nativas de estos pastizales), disminuyen su abundancia bajo condiciones de excesos hídricos, como los anegamientos prolongados o los niveles freáticos muy cercanos a la superficie. Las gramínoides (con una alta proporción de especies nativas de estos pastizales), por su parte, utilizan estos disturbios hidrológicos como subsidio, ya que están especialmente adaptadas para tolerarlos e, incluso, para beneficiarse con ellos.

REFERENCIAS

- Cantero, J.J., Cantero, A. y Cisneros, J.M., 1996. *La vegetación de los paisajes hidrohalmórficos del centro de Argentina*. Universidad Nacional de Río Cuarto, 298 p.
- Chaneton, E.J., Fascelli, J.M. and León R.J.C., 1988. Floristic changes induced by flooding on grazed and ungrazed lowland grasslands in Argentina. *Journal of Range Management* 41:497-501.
- Fuschini Mejía, M.C. (Editor), 1983. Conclusiones y recomendaciones. *Hidrología de las grandes llanuras*, I:71-77. Comité Nacional Argentino para el Programa Hidrológico Internacional – UNESCO.
- Insausti, P. y Soriano, A., 1987. Efecto del anegamiento prolongado en un pastizal de la Depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires-Argentina): dinámica del pastizal en conjunto y de *Ambrosia tenuifolia*. *Darwiniana* 28:397-403.
- Rusch, G.M. and Oesterheld, M., 1997. Relationship between productivity, and species and functional group diversity in grazed and non-grazed pampas grassland. *Oikos* 78:519-526.
- Sala, O.E., Oesterheld, M., León, R.J. and Soriano, A., 1986. Grazing effects upon plant community structure in subhumid grassland of Argentina. *Vegetatio* 67:27-32.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1955. The water balance. *Laboratory of Climatology Report No. 8*, Drexel Institute of Technology, New Jersey, USA.
- USDA, 1999. *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Traducción al español por Lutens, A; Salazar, J.C. and P. Lea. Buenos Aires. CRN-CNIA-INTA: 14-15.
- Vervoorst, F.B., 1967. La vegetación de la República Argentina. VII. Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado (provincia de Buenos Aires). *Serie Fitogeográfica N° 2*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria e Instituto de Botánica Agrícola.
- Wilson, J.B. and Roxburgh, S.H., 1994. A demonstration of guild-based assembly rules for a plant community, and determination of intrinsic guilds. *Oikos* 69:267-276.
- Zárate, M. y Mehl, A., 2010. Geología y geomorfología de la cuenca del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina. En: M. Varni; I. Entraigas y L. Vives (eds.). *I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*, I:65-78. Editorial Martín. Mar del Plata, Argentina.