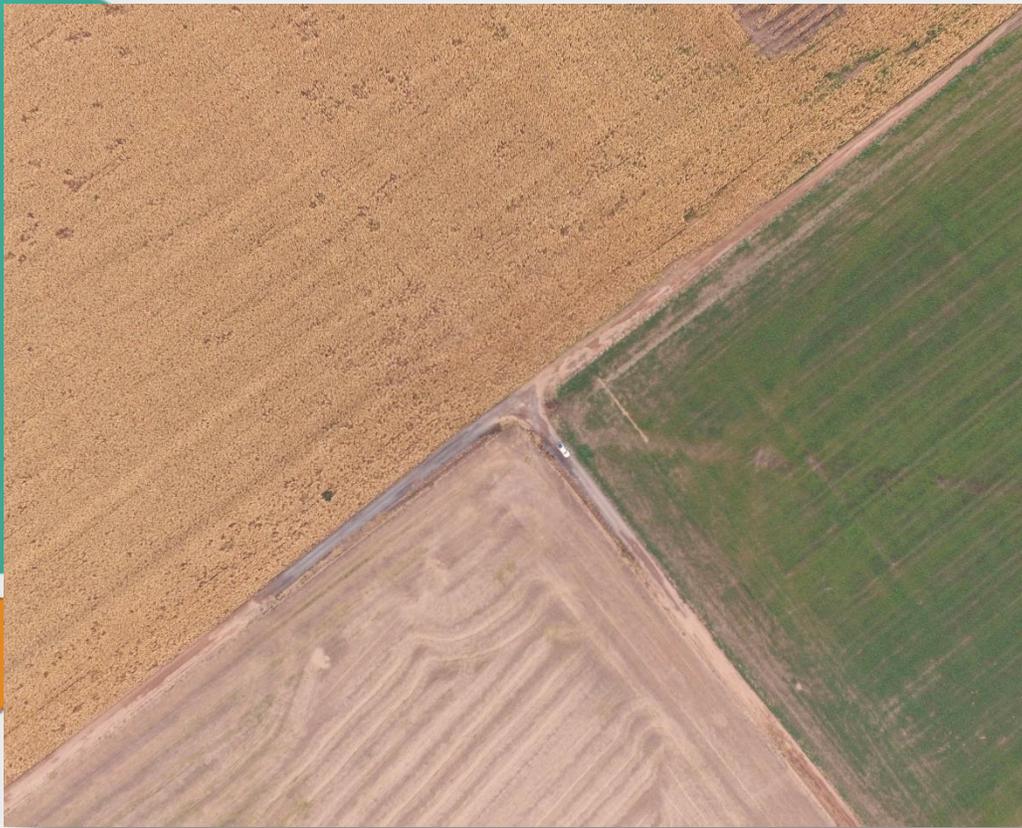




¿Podemos manejar la profundidad de la napa freática con planteos agrícolas?



Ezequiel Cola^{12*}, M. Pía Bonamico¹², Ariel Angeli¹², Guillermo Garcia¹²³

¹IDIC-Arraigada, Río Cuarto, Argentina.

²CREA, Argentina.

³IMASL-CONICET, San Luis, Argentina

Resumen

En las grandes llanuras se establece una fuerte interacción entre el clima, y el uso y agua del suelo, con presencia de napas freáticas poco profundas, las cuales pueden tener un efecto neutro, positivo o negativo sobre el rendimiento de los cultivos. En este trabajo, se evaluó a campo la dinámica de napa freática bajo planteos agrícolas con diferente nivel de intensificación, en campañas contrastantes en el nivel de precipitaciones. El foco estuvo puesto en estrategias para reducir el riesgo de ascensos freáticos primaverales que imposibiliten labores y afecten el establecimiento de cultivos estivales. Se evidenció el impacto del clima y el uso del suelo sobre la dinámica de la napa freática, resultando ser el doble cultivo una estrategia útil para deprimir napas someras durante invierno-primavera. En este caso, el cultivo de trigo mostró un mayor consumo que el de cobertura, asociado a su mayor duración de ciclo. En la campaña con precipitaciones por debajo de lo normal, dejar el suelo bajo barbecho químico durante el invierno no mostró resultados finales diferentes a la adopción de un doble cultivo, en lo que a consumo de napa freática se refiere. La información generada pretende asistir el diseño de estrategias de uso del suelo en función del nivel freático para el sur de Córdoba.

Palabras clave

Clima, uso del suelo, agua, intensificación, doble cultivos, estrategias

Introducción

En hiper-llanuras como la Pampeana (i.e., pendientes regionales $< 0.1\%$) existe una fuerte interacción entre el clima, y el uso y agua del suelo (Jobbágy et al., 2008). En estos paisajes la evacuación horizontal de excesos hídricos es limitada, con presencia de napas freáticas someras. Si la napa está profunda (i.e., más de 3-5 m de profundidad), las raíces de los cultivos no pueden alcanzar el agua subterránea, y la provisión de agua al sistema depende exclusivamente de las precipitaciones. En cambio, si la napa está cercana a la superficie, las raíces alcanzan el agua subterránea, la cual puede proveer hasta el 50% de los requerimientos hídricos de los cultivos (Nosetto et al., 2009). Este aporte ayuda entonces a estabilizar los rendimientos bajo secano cuando las precipitaciones son insuficientes. Sin embargo, cuando la napa está muy cercana a la superficie aparecen efectos negativos asociados, por ejemplo, al anegamiento, salinización, y la transitabilidad de la maquinaria agrícola. Este último escenario favorece, además, rápidas y masivas inundaciones (Viglizzo et al., 2009). La profundidad de la napa freática es el resultado del balance entre la recarga (mayormente a través de precipitaciones) y descarga (vía evapotranspiración de la cubierta vegetal) del agua subterránea. Los principales controles del balance hídrico son las condiciones climáticas, la topografía, el tipo de vegetación y su manejo, y las obras hidráulicas como por ejemplo el drenaje (Florio et al., 2015).

El uso del suelo y el agua (i.e., sistema de producción) en la Región Pampeana han sufrido cambios en las últimas décadas. Se ha pasado de sistemas agrícola-ganaderos mixtos a una agricultura continua, y si bien existe una marcada variabilidad inter-decadal en las precipitaciones, se han observado incrementos anuales (principalmente en primavera-verano) desde los 70s (Haylock et al., 2006). Entonces, las mayores precipitaciones junto a la mayor proporción de cultivos de granos, los cuales (al ocupar el campo durante pocos meses) consumen anualmente menos agua que una pastura o pastizal han favorecido el ascenso de la napa freática en la región (Viglizzo et al., 2009). En las últimas campañas este ascenso ha sido más notorio, pasando de ser una “ventaja” a convertirse en una “amenaza” para el funcionamiento de los sistemas de producción agropecuarios.

Si tenemos en cuenta que en la Región Pampeana (i) las obras hidráulicas tienen generalmente un impacto muy localizado (Menéndez et al., 2012), (ii) a pesar de ser promocionadas como alternativa de regulación hidrológica (Alconada Magliano et al., 2009), las forestaciones son poco frecuentes, y (iii) como se mencionó anteriormente, el área destinada a pasturas perennes ha disminuido, la elección y manejo de cultivos agrícolas merece marcada atención como vía para influenciar la dinámica freática (Florio et al., 2015). En principio, sistemas de doble cultivo como trigo-soja (Mercau et al., 2016) o el uso de cultivos de cobertura para suministrar C y N al suelo (Pinto et al., 2017) incrementan la evapotranspiración total, pudiendo descender la napa freática. La efectividad de la adopción sistemática de estas medidas de manejo es, entonces, un aspecto a estudiar.

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar a campo la dinámica de napa freática bajo planteos agrícolas con diferente nivel de intensificación, en campañas agrícolas contrastantes en el nivel de precipitaciones, haciendo foco en estrategias para reducir el riesgo de ascensos freáticos primaverales que imposibiliten labores y afecten el establecimiento de cultivos estivales. La información generada pretende asistir el diseño de estrategias de uso del suelo en función del nivel freático para el sur de Córdoba.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El trabajo se llevó a cabo en el establecimiento Melideo, cercano a De la Serna (provincia de Córdoba). Este sitio se encuentra en la subunidad Occidental de la Pampa Interior. Una descripción completa de las características agroecológicas y productivas de esta y las demás zonas de la Región Pampeana puede encontrarse en Hall et al. (1992), Calviño y Monzon (2009) o Satorre (2011). Los suelos predominantes en el establecimiento son Ustorthent típico (8% arcilla, 74% arena) en lomas pronunciadas, y Haplustol éntico (12% arcilla, 52% arena) en lomas y pendientes suaves. El clima es templado sub-húmedo, con una temperatura media anual de 16.1 °C y una precipitación media 742 mm anuales. El

establecimiento es netamente agrícola, teniendo como planteo objetivo destinar el área 50% a soja y 50% a maíz. Estos cultivos estivales se implantan sobre barbechos químicos, sobre cultivos de cobertura (centeno principalmente), sobre trigo. Por lo tanto, durante el verano, la mitad del establecimiento está destinada a soja de primera o de segunda, y la otra mitad a maíz temprano, tardío o de segunda. Los cultivos de grano son manejados con un alto nivel tecnológico en lo que respecta a estructura, nutrición y protección, mientras que en los cultivos de cobertura el nivel fue medio, principalmente en estructura (densidad de siembra) y nutrición (fertilización nitrogenada).

Planteos agrícolas evaluados y mediciones de napa freática

La influencia del planteo agrícola y del clima sobre la dinámica de napa freática se evaluó a partir de los registros obtenidos en 13 freatómetros del establecimiento, durante 2 campañas (2016/17 y 2017/18). Los planteos evaluados fueron: (i) barbecho químico seguido de maíz temprano o soja de primera, (ii) cultivo de cobertura (avena o centeno) seguido de maíz tardío o soja de primera, y (iii) trigo seguido de maíz o soja de segunda. Se utilizaron solo los freatómetros del establecimiento influidos por un planteo específico. En este sentido, para aumentar la cantidad de mediciones, no se realizaron evaluaciones separadas de los cultivos de verano dada la ubicación de los freatómetros, i.e. cercano al alambrado que separa dos lotes contiguos (Figura 1). La frecuencia de medición de la profundidad freática fue variable, pero en promedio se obtuvo aproximadamente una medición mensual. Una estación meteorológica (Ventage Pro 2, Davis Instruments Co. Inc., San Francisco, EEUU) instalada en el establecimiento registró los datos diarios de precipitaciones.

Características hídricas de las campañas evaluadas

Las campañas agrícolas (i.e., mayo - abril) evaluadas fueron diferentes en el nivel de precipitaciones (Figura 2). En 2016/17 se registraron 784 mm, mientras que en 2017/18 fueron 423 mm. La primera de estas campañas fue levemente más húmeda que la media del establecimiento (742 mm), debido fundamentalmente a las abundantes lluvias ocurridas en abril, ya que durante septiembre y noviembre las lluvias fueron escasas. La

segunda campaña estuvo claramente por debajo de la media, producto de menores precipitaciones primaverales y estivales, época en las que se concentra más del 70% de las precipitaciones anuales de la zona.

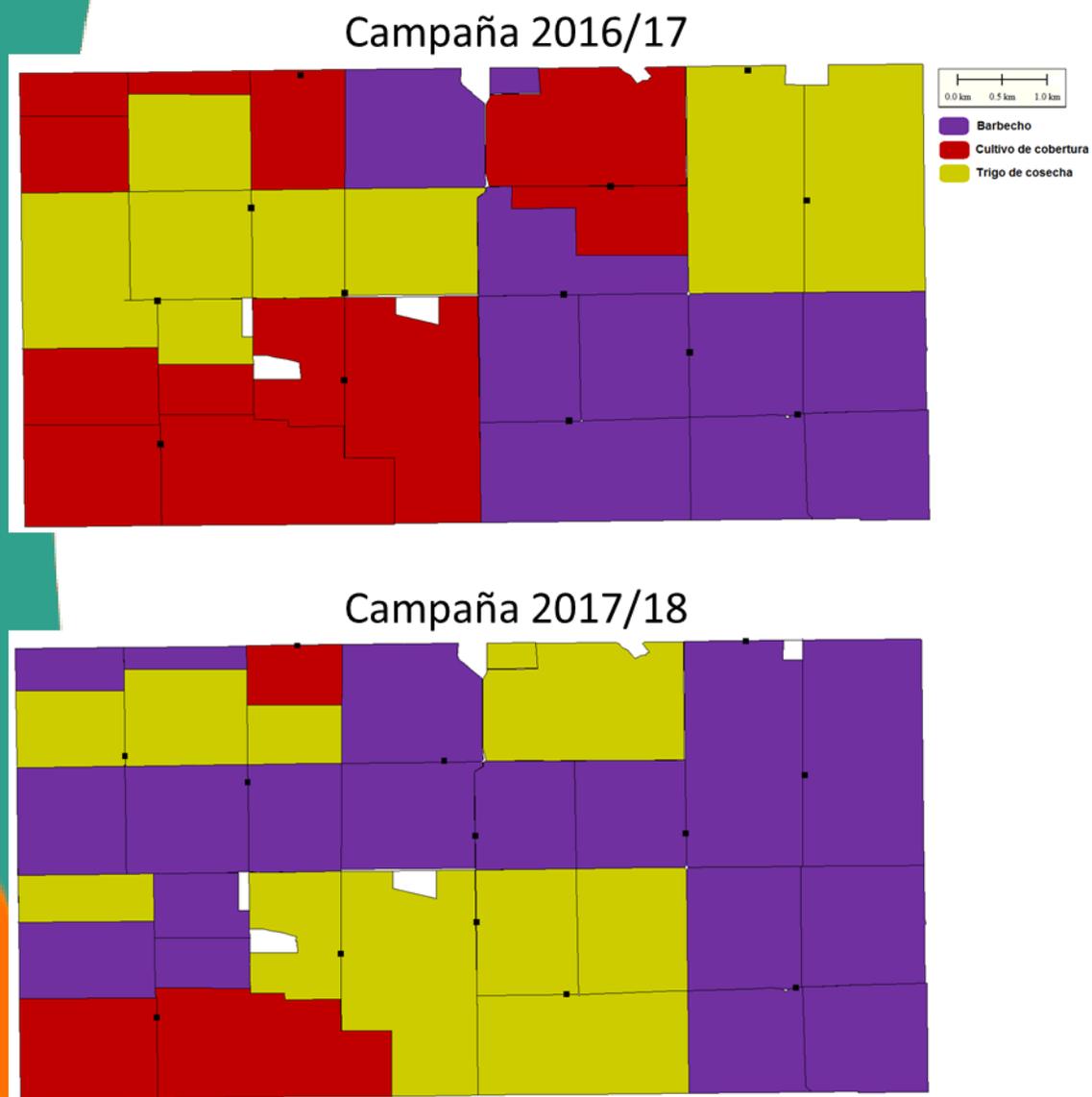


Figura 1. Uso del suelo invernal en todo el establecimiento durante las campañas 2016/17 y 2017/18. Los puntos negros indican la ubicación de los freáticos utilizados en el análisis.

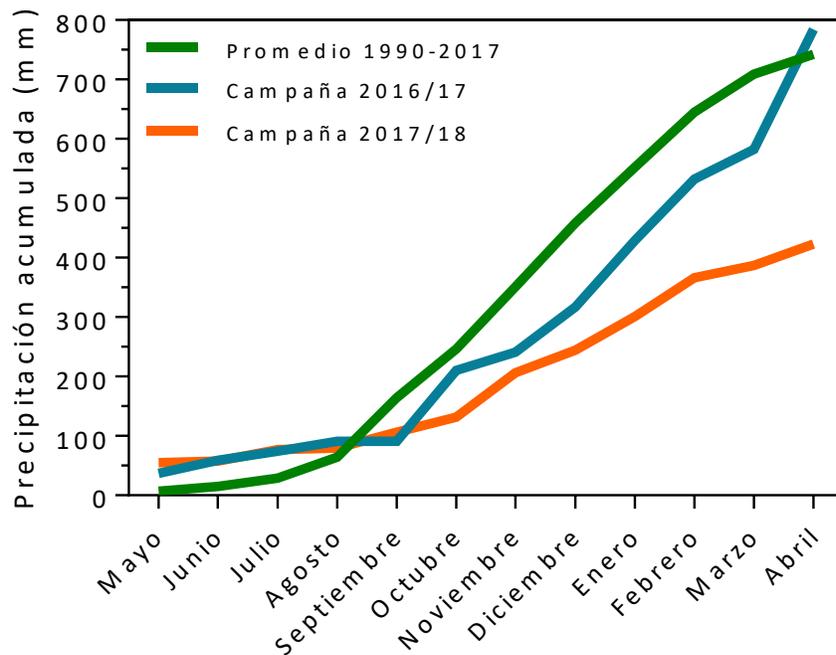


Figura 2. Precipitación mensual acumulada media 1990-2017, y durante las dos campañas agrícolas analizadas.

Análisis

Dada la variabilidad observada en la profundidad de napa freática al inicio de cada campaña (i.e., medición de mayo), se decidió agrupar los freatímetros según esta variable. De esta forma, se evaluó (i) la influencia del planteo agrícola y del clima sobre la dinámica de napa freática con similares condiciones iniciales, y, de ser posible, (ii) el impacto de la profundidad inicial sobre las dinámicas anteriores. Los freatímetros se agruparon, según la medición realizada al inicio de cada campaña agrícola (i.e., mayo), en diferentes categorías iniciales: napas demasiado profundas ($> 3\text{m}$), ideales (1.5 a 3m), riesgosas (0.7 a 1.5m) o problemáticas ($< 0.7\text{m}$) para planteos agrícolas (Jobbágy et al., 2017). La Tabla 1 detalla los grupos de freatímetros. En ambas campañas, la profundidad inicial de napa más recurrente y la cual incluyó los tres usos de suelo objetivo de evaluación fue la considerada “ideal” (ca. 1.75m). Los freatímetros agrupados en esta categoría no

difierieron en profundidad inicial de napa entre campañas ($p = 0.82$) o usos del suelo ($p = 0.15$). En ningún caso, se registraron napas demasiado profundas al inicio de cada campaña.

Tabla 1. Grupos de freáticos seleccionados y categorizados en cada campaña agrícola por tener similar profundidad de napa freática inicial (PNFi), i.e., mediciones de mayo. Se indica la categoría considerada, la PNFi promedio, el número de freáticos y los diferentes usos del suelo inverno-primaveral que tuvo cada grupo.

Campaña	PNFi (categoría)	PNFi (m)	Freatímetros (#)	Uso del suelo
2016/17	Napa problemática	0.21 ± 0.13	2	Tg - CC
	Napa riesgosa	0.71 ± 0.11	3	Tg - CC
	Napa ideal	1.73 ± 0.08	6	BQ - Tg - CC
2017/18	Napa problemática	0.29 ± 0.11	3	BQ - Tg - CC
	Napa ideal	1.76 ± 0.08	7	BQ - Tg - CC

BQ: barbecho químico, Tg: trigo, CC: cultivo de cobertura

Resultados y Discusión

Dinámica temporal de la napa freática

La dinámica temporal de la napa freática fue modulada tanto por el clima como por el uso del suelo (Figura 3). En general, en la Región Pampeana, la dinámica freática bajo agricultura se caracteriza por estabilidad invernal, variabilidad primaveral, descensos estivales, y ascensos otoñales (Jobbágy et al., 2010). Este comportamiento se evidenció en la campaña 2016/17, mostrando valores de profundidad de napa similares entre inicio y fin de campaña (Figura 3), lo cual se relacionó con las abundantes precipitaciones otoñales (Figura 2). En 2017/18, en cambio, el descenso freático estival se pronunció aún más durante el otoño. Un verano seco y un otoño normal ayudan a explicar este comportamiento.

La variabilidad primaveral en profundidad de la napa freática está asociada al balance entre precipitaciones y consumo por parte de la vegetación, lo cual se comprobó en el presente trabajo. La adopción de cultivos invernales aumentó la evapotranspiración, registrándose descensos freáticos primaverales; mientras que en las situaciones de barbecho químico se observaron ascensos (Figura 3). Entre los cultivos invernales, las mayores diferencias se observaron en la campaña 2016/17. En dicha campaña, en los lotes destinados a trigo se registraron descensos freáticos de ca. 1 m (fines de primavera), asociados principalmente a un fuerte consumo durante el periodo crítico y llenado de granos del cultivo. En los lotes destinados a cultivos de cobertura (i.e., centeno o avena) el comportamiento fue similar hasta el secado de los mismos, observándose un descenso freático considerablemente menor (menos de un cuarto del registrado en trigo). En la campaña 2017/18, en cambio, el descenso freático fue similar entre lotes destinados a cultivos de cosecha o cobertura, observándose valores similares de profundización (ca. 0.3 m) al momento de la siembra de los cultivos estivales. En lo que respecta a estos últimos, en ambas campañas se observaron comportamientos parecidos. En lotes con maíz o soja sembrada sobre barbecho químico ocurrieron descensos de la napa freática más pronunciados, posiblemente asociado al desarrollo vegetativo más temprano de los mismos. Este comportamiento, sumado al menor consumo inicial de cultivos de segunda sobre trigo, ayuda a explicar por qué se observaron niveles de napa freática similares entre ambos usos del suelo al inicio del otoño. Lotes con cultivos de cobertura y soja o maíz mostraron un comportamiento análogo en la campaña 2016/17, pero deprimieron menos la napa durante la campaña 2017/18 (campaña más seca). Esta diferencia puede estar asociada a: (i) un menor consumo respecto al cultivo de cosecha (i.e., trigo) durante la primavera, y/o (ii) un menor consumo de los cultivos estivales respecto de aquellos sembrados tempranamente sobre barbecho químico.

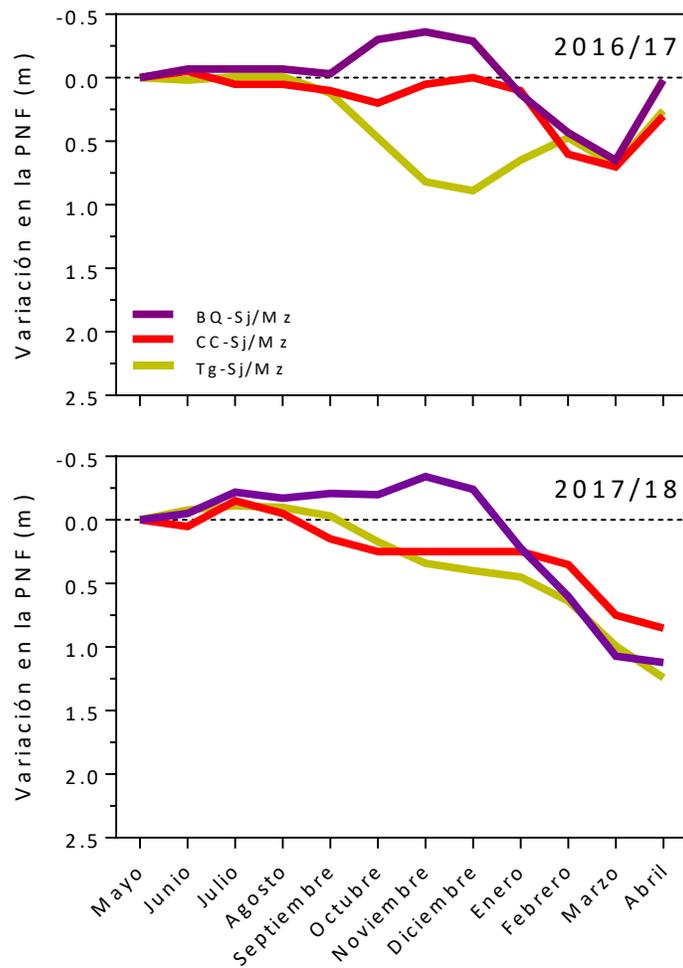


Figura 3. Variación temporal de la profundidad de la napa freática (PNF) respecto al valor inicial (i.e., mayo), bajo diferentes usos del suelo en cada campaña analizada. Los usos de suelo fueron barbecho químico (BQ), cultivo de cobertura (CC) o trigo (Tg), seguidos por soja (Sj) o maíz (Mz) en todos los casos. El valor de PNF inicial promedio para los tres usos del suelo y las dos campañas agrícolas fue ca. 1.75 m (considerada profundidad ideal).

Los comportamientos freáticos descritos pueden variar según la profundidad inicial de la napa (Figura 4). Los tres usos de suelo evaluados pudieron compararse bajo diferentes profundidades de napa iniciales (i.e., mayo) solo en la campaña 2017/18 (Tabla 1). En este caso, se comparó la dinámica freática entre profundidades iniciales de ca. 0.3 y 1.8 m. En líneas generales, cuando se partió de napas muy someras consideradas “problemáticas”, el descenso freático fue más pronunciado bajo cualquier uso del suelo, destacándose el

trigo. En lotes destinados a este cultivo de invierno, el descenso freático fue cuantitativamente importante durante primavera y verano, finalizando la campaña (i.e., abril) con napas ca. 0.7 y 0.4 m más profundas que en lotes destinados a cultivos de cobertura o barbecho químico, respectivamente.

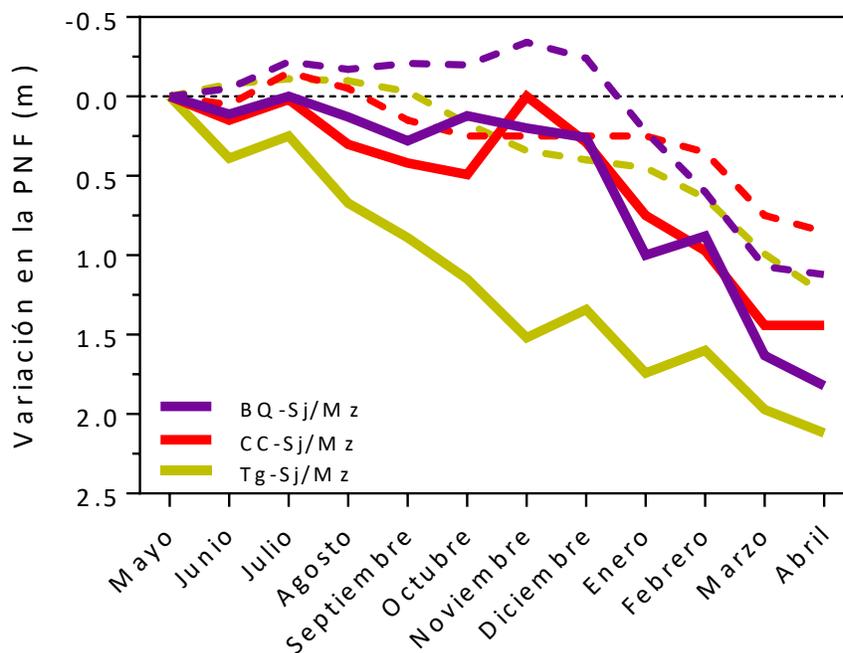


Figura 4. Variación temporal de la profundidad de la napa freática (PNF) respecto al valor inicial (i.e., mayo), bajo diferentes usos del suelo, y profundidades iniciales, en la campaña 2017/18. Los usos de suelo fueron barbecho químico (BQ), cultivo de cobertura (CC) o trigo (Tg), seguidos por soja (Sj) o maíz (Mz) en todos los casos. Las líneas continuas corresponden a un valor de PNF inicial promedio de los tres usos del suelo de 0.29 m (considerada profundidad problemática), mientras que las líneas discontinuas corresponden a un valor promedio de 1.76 m (considerada profundidad ideal, ver Figura 3).

Cambio en la profundidad de la napa freática

Se cuantificó el cambio en la profundidad de napa freática bajo diferentes usos del suelo durante el invierno, profundidades iniciales, y cantidad de precipitaciones (i.e., campañas), durante toda la campaña (Figura 5), como durante los períodos mayo-noviembre y noviembre-abril (Figura 6). No todos los usos del suelo fueron evaluados en

todas las categorías de profundidad de napa inicial definidas cada campaña (Tabla 1). Como se describió en las dinámicas temporales, en la campaña 2016/17, la profundidad de napa freática luego de transcurrida toda la campaña fue similar a la registrada al inicio, no observándose grandes diferencias entre usos del suelo (Figura 5). Aquí, las diferencias primaverales producto del uso invernal, donde se destaca un mayor descenso en lotes destinados a trigo, tienden a desaparecer durante el periodo estival, al invertirse los consumos (Figura 6, panel superior). Por el contrario, la campaña más seca (2017/18) terminó con napas claramente más profundas que las registradas al inicio de la misma, cualquiera sea la condición inicial o el uso del suelo asignado (Figura 5). La diferencia con la campaña anterior se dio fundamentalmente durante el período estivo-otoñal, donde hubo un fuerte descenso de la napa freática (Figura 6, panel inferior), producto del marcado consumo de este recurso por parte los cultivos de soja y maíz en un escenario de escasas precipitaciones (Figura 2). Por ejemplo, en lotes provenientes de barbecho químico donde se implantaron cultivos tempranos de soja o maíz, el descenso freático desde noviembre hasta abril fue de ca. 1.5 m, unos 450 mm si se considera una porosidad drenable de ca. 30% para los suelos del establecimiento.

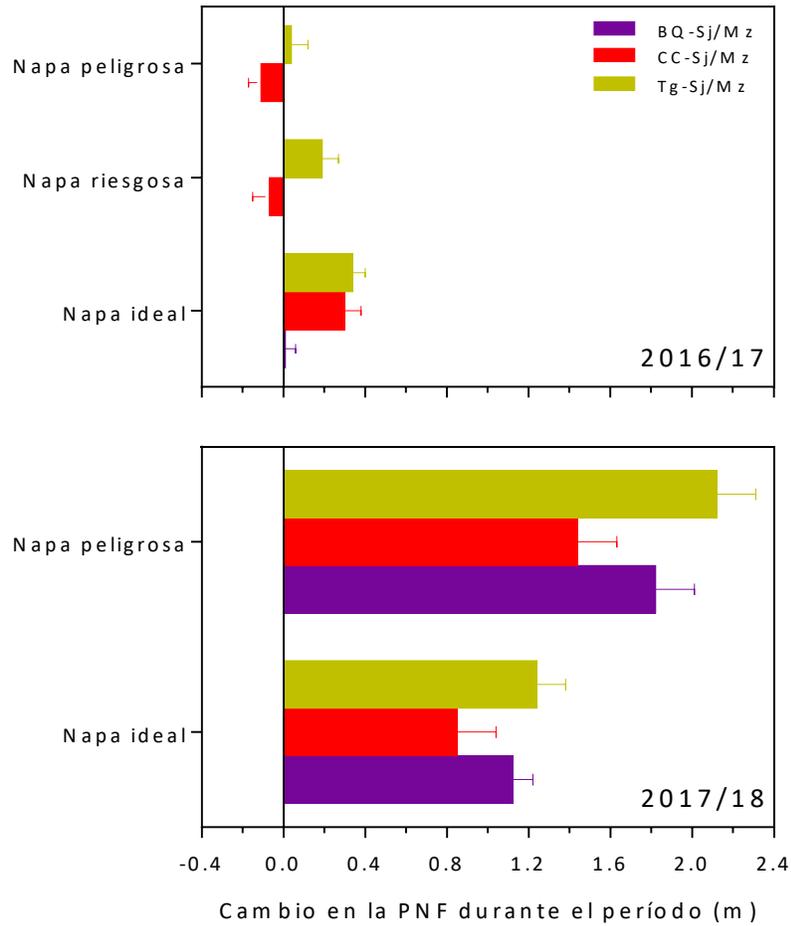


Figura 5. Cambios (media y error estándar) registrados entre mayo y abril (i.e., 12 meses) en la profundidad de la napa freática (PNF), bajo diferentes usos del suelo y valores iniciales en cada campaña analizada. Valores positivos (negativos) indican descenso (ascenso) de la napa freática. Los usos de suelo fueron barbecho químico (BQ), cultivo de cobertura (CC) o trigo (Tg), seguidos por soja (Sj) o maíz (Mz) en todos los casos.

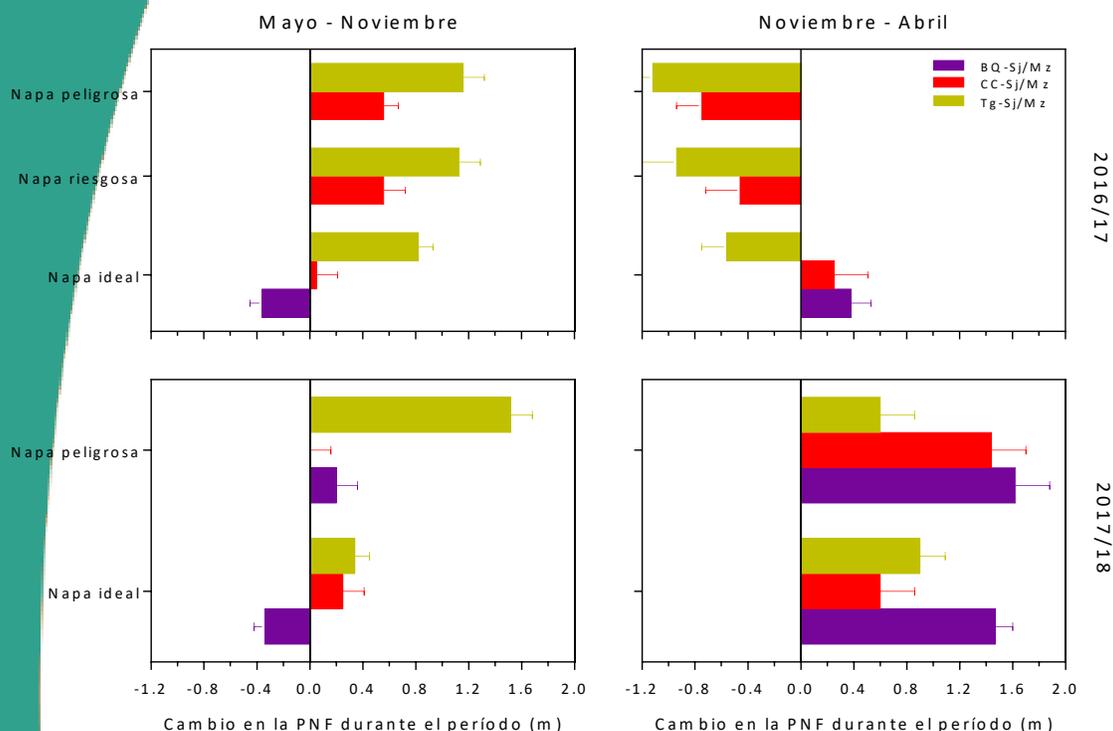


Figura 6. Cambios (media y error estándar) registrados en la profundidad de la napa freática (PNF), bajo diferentes usos del suelo y valores iniciales en cada campaña analizada, en los periodos mayo-noviembre y noviembre-abril. Valores positivos (negativos) indican descenso (ascenso) de la napa freática. Los usos de suelo fueron barbecho químico (BQ), cultivo de cobertura (CC) o trigo (Tg), seguidos por soja (Sj) o maíz (Mz) en todos los casos.

Conclusiones

El presente trabajo evidenció el impacto del clima y el uso del suelo sobre la dinámica de la napa freática. El doble cultivo resultó ser una estrategia útil para deprimir napas someras durante invierno-primavera. En este caso, el cultivo de trigo mostró un mayor consumo que el de cobertura, asociado a su mayor duración de ciclo. Para equiparar el consumo de agua de ambos cereales de invierno (i.e., avena o centeno vs. trigo) posiblemente sea necesario un planteo tecnológico (densidad, fertilización N) más agresivo y un retraso en la fecha de secado en las coberturas. Frente a una campaña “seca”, dejar el suelo bajo barbecho químico durante el invierno no mostró resultados finales diferentes a la adopción de un doble cultivo, en lo que a consumo de napa freática

se refiere. El menor consumo invierno-primaveral de esta opción se compensa por el mayor consumo estival de los cultivos de soja o maíz tempranos. En resumen, bajo las condiciones evaluadas, la adopción de doble-cultivos resultó ser una estrategia útil para amortiguar posibles ascensos freáticos primaverales que dificulten el establecimiento de los cultivos de soja y maíz, aumentando la productividad anual del sistema.

Referencias

- Alconada Magliano, M.M., Bussoni, A., Rosa, R., Carrillo Rivera, J.J., 2009. El bio-drenaje para el control del exceso hídrico en Pampa Arenosa, Buenos Aires, Argentina. *Investigaciones geográficas* 50-72.
- Calviño, P., Monzon, J., 2009. Farming systems of Argentina: yield constraints and risk management, In: Sadras, V., Calderini, D. (Eds.), *Crop Physiology*. Academic Press: San Diego, pp. 55-70.
- Florio, E.L., Mercau, J.L., Nosetto, M.D., 2015. Factores que regulan la dinámica freática en dos ambientes de la Pampa Interior con distintos regímenes de humedad. *Ciencia del Suelo* 33(2) 263'272.
- Hall, A.J., Rebella, C.M., Ghersa, C.M., Culot, J.P., 1992. Field-crop systems of the Pampas, In: Pearson, C.J. (Ed.), *Field Crop Ecosystems: Ecosystems of the World*. Elsevier: Amsterdam, Holland, pp. 413-450.
- Haylock, M.R., Peterson, M.C., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y.M.T., Baez, J., Barros, V.R., Berlato, M.A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V., Garcia, V.J., Grimm, A.M., Karoly, D., Marengo, J.A., Marino, M.B., Moncunill, D.F., Nechet, D., Quintana, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J.L., Trebejo, I., Vincent, L.A., 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with Sea Surface Temperature. *Journal of Climate* 19 1490-1512.
- Jobbágy, E.G., Mercau, J.L., Nosetto, M.D., 2010. ¿Lo sabía?...Bueno, ¡Ahora lo sabe! Grupo de Estudios Ambientales, IMASL, Universidad Nacional de San Luis y CONICET: San Luis, Argentina, p. 5.
- Jobbágy, E.G., Nosetto, M.D., Gimenez, R., Mercau, J.L., 2017. Napas y anegamiento en la llanura: Clima, paisaje, selección de cultivos y obras hidráulicas, Kairós: El tiempo de los nativos sustentables. Apresid: Rosario, Argentina.
- Jobbágy, E.G., Nosetto, M.D., Santoni, C.S., Baldi, G., 2008. El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. *Ecología Austral* 18 305-322.
- Menéndez, Á.N., Badano, N., Lecertua, E., Re, F., Re, M., 2012. Evaluación de las inundaciones y las obras de drenaje de la Cuenca del Saldo (prov. Buenos Aires) mediante modelación numérica. Instituto Nacional del Agua: Ezeiza, Argentina, p. 323.
- Mercau, J.L., Nosetto, M.D., Bert, F., Giménez, R., Jobbágy, E.G., 2016. Shallow groundwater dynamics in the Pampas: Climate, landscape and crop choice effects. *Agricultural Water Management* 163 159-168.
- Nosetto, M.D., Jobbágy, E.G., Jackson, R.B., Sznaider, G.A., 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Research* 113(2) 138-148.
- Pinto, P., Fernández Long, M.E., Piñeiro, G., 2017. Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: Is it possible in croplands of Southern South America? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 248 48-57.
- Satorre, E.H., 2011. Recent changes in pampean agriculture: possible new avenues in coping with global change challenges, In: Araus, J.L., Slafer, G.A. (Eds.), *Crop Stress Management and Global Climate Change*. CABI: Wallingford, UK, pp. 47-57.
- Viglizzo, E.F., Jobbágy, E.G., Frank, F.C., Aragón, R., De Oro, L., Salvador, V., 2009. The dynamics of cultivation and floods in arable lands of Central Argentina. *Hydrology and Earth System Sciences* 13 491-502.