



## DINAMICA DE LA NAPA FREATICA EN SISTEMAS AGRICOLAS DEL CHACO SEMIARIDO BAJO DIFERENTES SECUENCIAS DE CULTIVO

Giménez, R.<sup>1,2,\*</sup>, J.L. Mercáu<sup>3</sup>, W.A. Schultz<sup>4</sup>, E. Scheffer<sup>5</sup>, E.G. Jobbágy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Estudios Ambientales, Instituto de Matemática Aplicada UNSL-CONICET; <sup>2</sup> Depto. de Geología, FCFMyN, Univ. Nac. de San Luis; <sup>3</sup> AEE INTA San Luis, <sup>4</sup> CREA Guayacan, <sup>5</sup> AEE INTA Bandera \*Almirante Brown 907, (D5700HHW), San Luis, Argentina., gimenezgea@gmail.com

**RESUMEN:** En las últimas campañas diferentes sectores del Chaco semiárido han experimentado situaciones recurrentes de ascenso freático, anegamiento e inundación que comprometen seriamente la producción agrícola de la región. A raíz de esta situación, este trabajo presenta datos de una red de freatómetros, instalada y monitoreada por iniciativa de productores locales, para comprender como el manejo agrícola puede contribuir a regular la dinámica de la napa. Se analizaron mediciones periódicas del nivel de la napa durante la presente campaña (agosto 2019 a febrero 2020) tomadas de 17 lotes de producción, distribuidos en dos campos distintos, abarcando 4 manejos o tratamientos: barbecho (**Bb**), centeno (**Cc**) o vicia (**Vic**) como cultivos de cobertura y trigo (**Tr**) como antecesor de cultivos de verano en esquemas de doble cultivo. Estas mediciones se contrastaron con estimaciones del consumo hídrico de los cultivos realizadas mediante sensores remotos, para explicar los procesos de recarga o consumo de la napa freática en diferentes etapas del período estudiado. Los resultados de este trabajo aportan mensajes claros y de utilidad para el manejo de los cultivos en la región, que se resumen a continuación: i) dejar los lotes en barbecho, sin vegetación, no permite deprimir la napa por debajo del metro de profundidad, lo cual implica un alto riesgo de anegamiento; ii) los cultivos invernales o de cobertura pueden lograr depresiones importantes del nivel freático (1-1.5 m) hasta un límite máximo cercano a ~3 m de profundidad; iii) adelantar la siembra de los cultivos estivales favorece un mayor consumo temprano del agua del suelo, lo que contribuye a deprimir el nivel de napa para amortiguar su recarga.

**PALABRAS CLAVE:** anegamiento, napa freática, intensificación agrícola

### INTRODUCCION

Durante las últimas campañas, diferentes sectores del Chaco semiárido han experimentado recurrentes situaciones de anegamiento que comprometen seriamente la producción agrícola en la región (ej. declaraciones de emergencia agropecuaria, Res. N° 17/2019-MPYT y 19/2019-MPYT por excesos hídricos en la Prov. del Chaco y departamentos de Santiago del Estero, respectivamente, AFIP, 2020). Si bien se han registrado precipitaciones por encima de los promedios históricos, estos anegamientos son actualmente agravados por la escasa profundidad del nivel freático, que ha ido subiendo con los años a causa de desbalances hídricos ligados al cambio de uso de la tierra (Jobbágy, et al., 2008). La combinación de la deforestación del monte nativo para establecer cultivos y pasturas y la implementación de sistemas de cultivo de bajo consumo de agua para minimizar el riesgo de déficits hídricos, han reducido la capacidad evapotranspirativa de la vegetación a nivel regional, generando excesos hídricos que han incrementado el stock de agua en el suelo y la napa (Giménez, et al., enviado). El ascenso freático presenta, además, el agravante de que la napa puede transportar hacia la superficie gran cantidad de sales que naturalmente se encuentran distribuidas en el perfil de los suelos de la región, generando un potencial riesgo de salinización (Giménez et al., 2016; Giménez et al., 2017). En una región donde los productores

están más habituados a convivir con la sequía que con los excesos hídricos, este nuevo escenario de napa cercana (y ocasionalmente salina) requiere del diseño de nuevas alternativas de uso agrícola y manejo de la tierra que maximicen el aprovechamiento del agua tanto para la producción como para prevenir la degradación de los suelos (Mercau et al., 2016; Zellner et al., 2020).

El objetivo de este trabajo es el de evaluar el efecto de diferentes secuencias de cultivo sobre la dinámica de la napa freática en sistemas agrícolas del Chaco semiárido. Se presentan los primeros datos de una red de freatómetros instalada y monitoreada *in situ* por iniciativa de productores locales en lotes de producción con manejos contrastantes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de Estudio

El área de estudio se ubica en el SO de la provincia del Chaco (domo central), en las proximidades de las localidades de Pampa del Infierno (sitio 1) y General Capdevila (sitio 2). Estos sitios se encuentran a una distancia de ~80km en sentido norte-sur, entre sí. La precipitación media anual ronda los 800-900 mm, y se concentra fundamentalmente entre los meses de octubre y abril. Los suelos predominantes son molisoles y alfisoles, con capacidades de uso III y IV (Insaurrealde, 2017).

### Instalación y seguimiento de freatómetros

A raíz de inconvenientes generados por inundación y anegamiento, tras una campaña en que las precipitaciones casi duplicaron la media histórica (1800 mm en 2018/19), se instaló una red de freatómetros para monitorear el nivel de la napa freática, y analizar como su dinámica se ve modificada por diferentes intervenciones de manejo agrícola. En agosto de 2019 se instalaron 17 freatómetros, 10 en el sitio 1 y 7 en el sitio 2, siguiendo el protocolo de INTA (<https://inta.gov.ar/documentos/965nstalación-de-freatimetro-con-barreno-de-fertilidad>). Los mismos se colocaron en lotes de producción que se encontraban bajo diferentes manejos y con niveles freáticos iniciales que variaron entre 60 y 170 cm de profundidad.

Se tomaron mediciones periódicas del nivel freático en forma manual con cinta métrica. El periodo monitoreado en este trabajo abarca aproximadamente 6 meses, desde agosto de 2019 a enero de 2020 inclusive, con un intervalo entre mediciones de  $10 \pm 6.5$  días. En cada momento de medición se registró, además, la precipitación acumulada entre mediciones mediante lecturas de pluviómetros instalados *in situ*. Los tratamientos (manejos) analizados fueron:

- **Bb**: lotes en barbecho, sin cobertura vegetal
- **CC**: centeno como cultivo de cobertura
- **Vic**: vicia como cultivo de cobertura
- **Tr**: trigo de cosecha, como antecesor de un cultivo estival en planteos de doble cultivo.

Dado que no se trata de un experimento manipulativo la distribución y asignación de los tratamientos no respondió a un diseño experimental preestablecido por lo que los tratamientos no estuvieron igualmente representados. A saber, hubo 7 lotes en **Bb** (2 en sitio 1 y 5 en sitio 2), 2 con **CC** (sitio 1), 1 con **Vic** (sitio 1) y 7 con **Tr** (5 en sitio 1, 2 en sitio 2).

### Estimación del consumo hídrico de los cultivos mediante imágenes satelitales

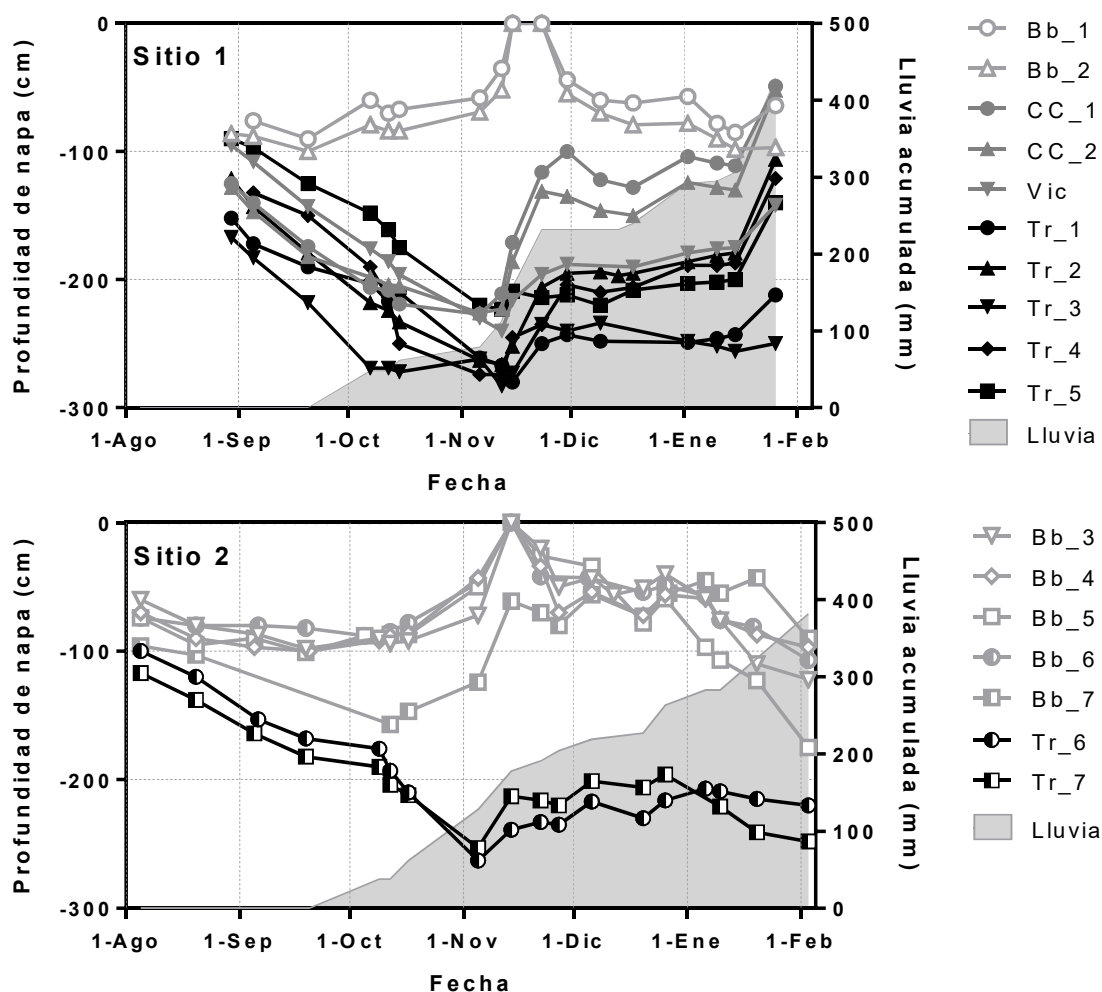
El consumo hídrico de los cultivos se estimó mediante el método FAO-56 (Allen, et al., 1998) como el producto de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) y el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), que varía según el nivel de cobertura y actividad del canopeo. ET<sub>0</sub> fue calculada mediante la fórmula FAO-Penman-Montheith, en base a datos meteorológicos obtenidos de una estación meteorológica cercana, ubicada en Pampa del Infierno (<http://siga2.inta.gov.ar/>). La evolución del coeficiente K<sub>c</sub>, se estimó a partir de la dinámica temporal del índice de vegetación NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) de imágenes satelitales Sentinel-2, extraídas de la ubicación de cada freatómetro mediante la plataforma Google Earth Engine (Gorelick, et al.,

2017). Se extrajeron los valores de NDVI de todas las fechas de adquisición de imágenes Sentinel-2 libre de nubes del periodo analizado. Los valores de NDVI resultantes fueron interpolados a paso diario y el Kc diario se calculó según la ecuación 1 (Kamble, et al., 2013):

$$Kc = 1.457 NDVI - 0.1725 \quad (\text{Ecuación 1})$$

## RESULTADOS Y DISCUSION

La figura 1 muestra la evolución de la napa freática y la precipitación acumulada durante el periodo estudiado en los sitios 1 y 2. A simple vista pueden distinguirse patrones atribuibles a los manejos evaluados, que se repiten en los dos sitios. Del mismo modo se aprecia que la precipitación acumulada no difirió marcadamente entre sitios, aunque en el sitio 1 la lluvia fue algo mayor que en el 2 y ocurrió en eventos más concentrados.

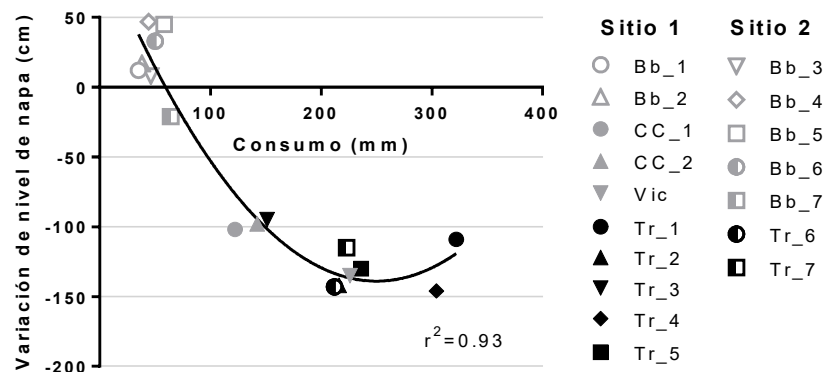


**Figura 1:** Evolución del nivel freático y precipitación acumulada en los sitios 1 (arriba) y 2 (abajo). Símbolos diferentes corresponden a freatómetros colocados en lotes diferentes donde **Bb** indica situaciones en barbecho, **CC** indica lotes con centeno como cultivo de cobertura, **Vic** indica vicia como cultivo de cobertura y **Tr** indica trigo en planteos de doble cultivo. Niveles de agua por encima de la superficie se registraron como 0 cm de profundidad de napa.

A fin de simplificar la descripción de los procesos de recarga y descarga freática, el periodo analizado se dividió en 3 etapas, procurando que sean comparables entre los 2 sitios:

**Etapas 1: Consumo de napa por cultivos invernales y/o de cobertura** (septiembre-octubre). Durante esta etapa los cultivos de invierno (**Tr**) y de cobertura (**CC** y **Vic**) estaban en pleno crecimiento. Las precipitaciones ( $87 \pm 12$  mm y  $101 \pm 28$  mm en sitios 1 y 2, respectivamente) no alcanzaron a cubrir la demanda de los cultivos (120-320 mm), por lo que el consumo de

agua del suelo provocó la depresión del nivel freático, especialmente antes de las lluvias de octubre en el sitio 1 y posteriormente en el sitio 2 (Fig. 1). La variación del nivel freático estuvo directamente relacionada con el consumo de los cultivos invernales estimado mediante imágenes satelitales (Fig. 2): Los lotes de trigo, que se cosecharon a mediados de noviembre, lograron los máximos consumos de agua (entre 200 y 320 mm) deprimiendo el nivel freático entre 1 y 1.5m; los lotes de centeno que se secaron un poco antes (oct-nov) lograron consumos intermedios (122–142 mm) deprimiendo la napa 1m; mientras que los lotes que permanecieron en barbecho, que presentaron el mínimo consumo (48±10 mm) y comenzaron la etapa con niveles de 1 metro o menos de profundidad, no sólo no lograron deprimir la napa por debajo del metro sino que evidenciaron una recarga freática variable que elevó el nivel de la napa (20±24 mm). El único lote sembrado con vicia, logró niveles de consumo y de depresión de la napa similares a los del trigo (226 mm y -135 mm, respectivamente). A pesar de las diferencias de consumo, al final de la etapa 1 todos los lotes de trigo (excepto **Tr\_5** que arrancó a una profundidad menor) alcanzaron una profundidad de napa máxima similar (263±7 cm), lo que sugiere un límite en la capacidad utilizar la napa freatica en el trigo cercano a los 3 m de profundidad. Este límite permitiría explicar por qué **Tr\_1** y **Tr\_4**, con consumos muy superiores a **Tr\_2**, **Tr\_5**, **Tr\_6** y **Tr\_7**, no lograron mayores depresiones de la freática y el menor consumo en **Tr\_3** que, al partir de una situación de napa más profunda, se aproximó a este límite antes que el resto de los lotes de trigo.



**Figura 2:** Relación entre el cambio en el nivel freático en la etapa 1 (sep-oct) y el consumo de las coberturas estimado mediante imágenes satelitales. Símbolos diferentes corresponden a freatímetros colocados en lotes diferentes donde **Bb** indica situaciones en barbecho, **CC** indica lotes con centeno como cultivo de cobertura, **Vic** indica vicia como cultivo de cobertura y **Tr** indica trigo en planteos de doble cultivo.

### Etapa 2: Recarga de noviembre (noviembre).

En menos de un mes ocurrieron importantes lluvias (159±22 mm en sitio 1, 93±24 mm en sitio 2) que superaron ampliamente la capacidad de consumo de los cultivos (28±16 mm), que durante esta etapa estaban madurando, siendo secados o cosechados. Estos excedentes condujeron a la recarga de la humedad del suelo y la napa freática especialmente en el sitio 1, donde la precipitación fue mayor y más concentrada (Fig.1). Como consecuencia, se verificó un marcado ascenso freático que varió según las coberturas y la profundidad freática inicial: en todos los lotes en barbecho (excepto en **Bb\_7**, que estuvo parcialmente vegetado según las imágenes satelitales) el nivel freático pasó de 40-70 cm de profundidad a alcanzar el nivel de superficie con las primeras lluvias de noviembre. Con la disminución de las lluvias durante la segunda quincena de noviembre, el nivel freático fue deprimiéndose hasta volver a los 40-80 cm por efecto de la evaporación directa y, posiblemente, por la ocurrencia de flujos laterales tendientes a equalizar el nivel freático con el de zonas de napas mas profundas. **CC** fue el cultivo que mayor recarga experimentó en respuesta a las lluvias de noviembre. Aun partiendo de niveles freáticos similares a **Tr\_5** y **Vic** (~2.3 m), el nivel freático bajo **CC\_1** y **CC\_2** ascendió 127 y 91 cm, respectivamente, mientras que los correspondientes a **Tr\_5** y **Vic**

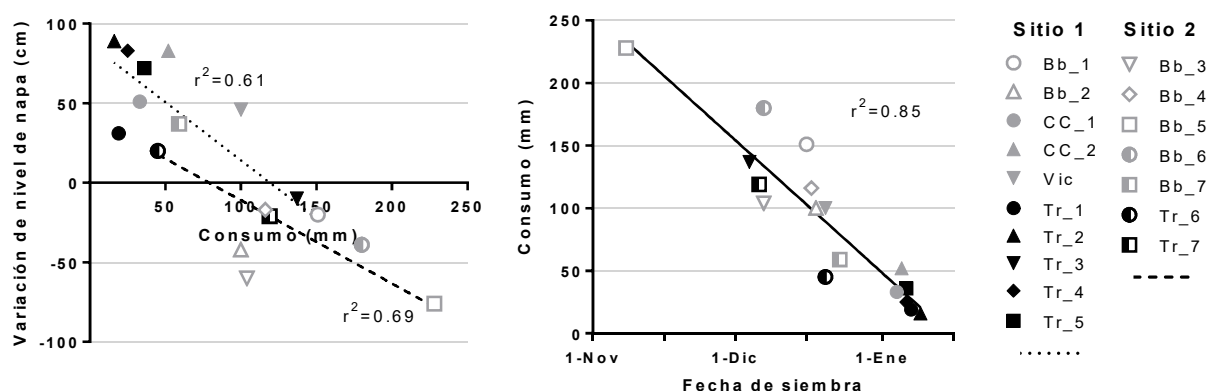
ascendieron solo 8 y 42 cm. El centeno como cultivo de cobertura se realiza para favorecer la recarga de humedad del suelo durante la primavera ya que una vez secado favorece la infiltración y reduce la evaporación de la lluvia (Unger & Vigil, 1998). Estas características, y el hecho de que se le suprima el consumo mediante la aplicación de desecantes, van en consonancia con la mayor recarga evidenciada bajo este cultivo. Por su parte los lotes de trigo, que mayoritariamente partieron de niveles freáticos cercanos a los 2.5m de profundidad, presentaron recarga variable, con ascensos entre 8 y 70 cm (en promedio, 35 cm), correspondiendo el valor mínimo a **Tr\_5**, el único lote de trigo que en noviembre aún mantenía cierta cobertura verde (y un consumo estimado para la etapa 2 de 45 mm).

### **Etapla 3: Siembra y establecimiento de los cultivos de verano** (diciembre-enero).

La siembra de los cultivos de verano se concentró entre principios de diciembre y principios de enero. La única excepción fue **Bb\_5** que se sembró con la pastura megatérmica gatton panic (*Panicum maximum*) a principios de noviembre. Los lotes que venían de trigo se sembraron con soja en diciembre (**Tr\_3**, **Tr\_6** y **Tr\_7**) o maíz en enero (**Tr\_1**, **Tr\_2**, **Tr\_4** y **Tr\_5**). Sobre **CC** se sembró soja (enero) y sobre **Vic** maíz (diciembre). Los lotes en barbecho se sembraron en diciembre con maíz (**Bb\_1**, **Bb\_2** y **Bb\_8**), soja (**Bb\_3** y **Bb\_4**), sorgo (**Bb\_6**) o gatton panic (**Bb\_5**).

Durante el mes de diciembre se registró poca fluctuación de la napa (<25 cm en todos los casos) debido a la escasa precipitación (50±10 mm y 63±13 mm en sitios 1 y 2, respectivamente) y al incipiente o nulo desarrollo de los cultivos estivales capaces de deprimir los niveles de napa. En enero comienza a hacerse más evidente el consumo y depresión del nivel freático, especialmente en los lotes con napa a menos de un metro de profundidad. A mediados de mes, el sitio 1 recibió 125 mm de lluvia que elevaron el nivel freático en todos los lotes, con un efecto menos marcado en los de napa más profunda. Por su parte, el sitio 2 que recibió solo 70 mm, mejor distribuidos en el tiempo, no acusó mayor recarga (Fig.1).

La variación del nivel freático durante esta etapa estuvo en parte regulada por el consumo de los cultivos estivales (Fig. 3). La diferencia en la precipitación recibida entre sitios determinó que, a niveles comparables de consumo, el sitio 1 experimente mayor recarga que el sitio 2. De hecho, la mayoría de los lotes del sitio 1 experimentaron una recarga neta de 20-90cm, mientras en el sitio 2, prevaleció el consumo de napa cuyo nivel disminuyó entre 20 y 75 cm. Independientemente del cultivo, el consumo durante esta etapa estuvo íntimamente ligado a la fecha de siembra de los cultivos estivales, por lo que los cultivos de segunda y aquellos sembrados luego de cultivos de cobertura presentaron, en general, menor consumo acumulado y mayor recarga que los cultivos que venían de barbecho, sembrados antes.



**Figura 3:** Izq: Variación del nivel freático en la etapa 3 (dic-ene) en relación al consumo estimado de los cultivos estivales; Der: Consumo estimado en la etapa 3 en función de la fecha de siembra de los cultivos estivales.

### **CONCLUSIONES**

Los resultados de este trabajo aportan información relevante para la toma de decisiones sobre el manejo de los cultivos en la región, ante escenarios de napa cercana al inicio de la

campaña: i) dejar los lotes en barbecho, sin vegetación, no permiten deprimir la napa por debajo del metro de profundidad, lo cual implica un alto riesgo de anegamiento por lluvias primaverales intensas; ii) los cultivos invernales o de cobertura pueden lograr depresiones importantes del nivel freático (1-1.5 m en este trabajo, posiblemente mayores si se analizara todo el ciclo de los cultivos) hasta un límite máximo de 2.8 - 3 m de profundidad, lo cual contribuye a reducir este riesgo; iii) adelantar la siembra de los cultivos estivales favorece un mayor consumo temprano del agua del suelo, lo que contribuye a deprimir el nivel de napa para amortiguar su recarga por lluvias intensas de verano.

## AGRADECIMIENTOS

La presentación de este trabajo se financió parcialmente con fondos de los proyectos PICT-2017-2352 “Claves para el manejo del agua en sistemas agrícolas semiáridos: captura, conservación y uso del agua de lluvia durante el barbecho” y PICT-2018-01213 “Monitoreo y manejo estratégico del agua del suelo para mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas a las inundaciones y sequías”

## BIBLIOGRAFIA

- AFIP. 2020. Biblioteca Electrónica. Cuadros legislativos / Emergencia Agropecuaria y Zona de Desastre. Consultado el 21 de febrero de 2020 y disponible online en: <http://biblioteca.afip.gob.ar/cuadroslegislativos/cuadrosLegislativosIndex.aspx>
- Allen RG, LS Pereira, D Raes, M Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. In: FAO Irrigation and Drainage Paper. Rome, Italy. FAO.
- Giménez R, JL Mercau, M Nosoetto, R Páez, & EG Jobbágy. 2016. The ecohydrological imprint of deforestation in the semiarid Chaco: insights from the last forest remnants of a highly cultivated landscape. *Hydrological Processes*, 30(15), 2603-2616.
- Giménez R, JL Mercau, M Nosoetto, R Páez, V Marchesini & EG Jobbágy. Indicios de salinización secundaria en el sudeste santiagueño: ¿la punta de un iceberg para la sustentabilidad de la agricultura en el Chaco Semiárido? V Reunión de la Red Argentina de Salinidad. Octubre 2017. Villa Mercedes, San Luis, Argentina. ISBN 978-987-42-5601-0.
- Giménez R, JL Mercau, FE Bert, S Kuppel, G Baldi, J Houspanossian, PN Magliano & EG Jobbágy. Hydrological and productive impacts of recent land use changes in the semiarid Chaco: understanding novel water excess in water scarce farmlands. *Enviado a Ecohydrology*.
- Gorelick N, et al., 2017. Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202, 18–27.
- Insaurralde JA. 2017. Estudio de los procesos de degradación ambiental en el suroeste de la provincia de Chaco en relación con la última expansión agrícola. Tesis para acceder al grado de Doctor en Geografía. Universidad Nacional del Sur.
- Jobbágy EG, MD Nosoetto, CS Santoni, & G Baldi. 2008. El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. *Ecología Austral*, 18(3), 305-322.
- Kamble B, A Kilic, & K Hubbard. 2013. Estimating Crop Coefficients Using Remote Sensing-Based Vegetation Index. *Remote Sensing*, 5(4), 1588–1602. doi:10.3390/rs5041588.
- Mercau JL, MD Nosoetto, FE Bert, R Giménez & EG Jobbágy. 2016. Shallow groundwater dynamics in the Pampas: Climate, landscape and crop choice effects. *Agricultural Water Management*, 163: 159-168. ISSN: 0378-3774.
- Unger PW & MF Vigil. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. *Journal of Soil and Water Conservation* 53:200-207.
- Zellner M, GA Garcia, FE Bert, D Massey & MD Nosoetto. 2020. Exploring reciprocal interactions between groundwater and land cover decisions in flat agricultural areas and variable climate. *Environmental Modelling & Software*, 104641.