



FAUBA

RAS

Red Argentina de Salinidad



AACS

ASOCIACION ARGENTINA  
CIENCIA DEL SUELO



# VI RAS

VI CONGRESO DE LA RED ARGENTINA DE SALINIDAD

Los diferentes medios salinos y alcalinos  
y el análisis de su desafío en diferentes  
escalas de percepción.

## CONFERENCIAS, TRABAJOS Y RESUMENES

22 al 25  
de julio  
**2019**  
FAUBA

Compiladores:  
Helena Rimski-Korsakov y Raúl S. Lavado



**VI Congreso de la Red Argentina de Salinidad**  
**Los diferentes ambientes salinos y alcalinos.**  
**El análisis de su desafío en diferentes escalas de percepción.**  
**22 al 25 de julio de 2019**  
**Facultad de Agronomía UBA**



**IMPACTO DE LA PRESENCIA DE HORIZONTES PETROCÁLCICOS EN EL PROCESO DE SALINIZACIÓN DE PARCELAS FORESTADAS EN AMBIENTES DE LLANURA**

**Mujica C.R.<sup>1</sup>, G.M. Milione<sup>2</sup>, S.A. Bea<sup>3</sup>, J.E Gyenge<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> CONICET, IHLLA. Av. Rca de Italia 780, Azul, Buenos Aires, Argentina. - [cmujica@ihlla.org.ar](mailto:cmujica@ihlla.org.ar).

<sup>2</sup> CONICET, IHLLA y Cátedra de Dasonomía (UNCPBA). Av. Rca de Italia 780, Azul, Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup> CONICET, IHLLA. Av. Rca de Italia 780, Azul, Buenos Aires, Argentina.

<sup>4</sup> CONICET - AER Tandil, EEA Balcarce INTA, Gral. Rodríguez 370 (7000), Tandil, Buenos Aires, Argentina.

**RESUMEN:** La llanura Pampeana naturalmente estuvo cubierta con pastizales y estos han sido reemplazados. Este cambio en el uso del suelo ha modificado los flujos hídricos y de solutos de estos sistemas. La forestación de estos pastizales aumenta el consumo de agua y sumados a la toma selectiva de solutos y exclusión ha generado salinización de los suelos. Una de las condiciones del modelo conceptual vigente para este proceso, es el acceso de la forestación a fuentes de agua freáticas. Por otro lado, la presencia de horizontes petrocálcicos es común en la llanura Pampeana, así como en otras regiones del mundo, y estos horizontes son considerados una barrera física para las raíces y el flujo de agua. El impacto de la forestación de pastizales sobre suelos con presencia de horizontes petrocálcicos no ha sido suficientemente estudiado. Para ampliar la comprensión de estos casos se monitorearon variables hidrológicas de un conjunto parcelas de pastizal y forestación apareadas, con niveles de horizontes petrocálcicos. Se desarrolló un modelo numérico basado en procesos físicos/biológicos y condiciones de contorno atmosféricas, con el objetivo de cuantificar los flujos hídricos y el origen del agua transpirada por la forestación. Los resultados del modelo sugieren desconexión hidráulica entre la forestación y el freático debido a la presencia del horizonte petrocálcico, con solo un ~13% de agua adquirida a través del horizonte petrocálcico. Se predicen largos períodos de estrés hídrico durante los momentos de gran demanda atmosférica, y consumo de agua por parte de la forestación está restringido a las porciones por encima del horizonte petrocálcico. Las tasas de transpiración fueron de (~700 mm/año) similar, o aun mayor a lo reportado en la zona. El horizonte petrocálcico reduce el drenaje profundo y almacena agua, permitiendo la actividad forestal y evita el acceso de las raíces al freático impidiendo la salinización.

**PALABRAS CLAVE:** forestación de pastizales, salinización, horizonte petrocálcico.

**INTRODUCCION:**

Los ambientes de llanura albergan importantes actividades económicas como es el caso de la región Pampeana (Carreño et al., 2012). El reemplazo de los pastizales por forestaciones ha ganado importancia en los últimos años debido a la gran demanda de productos forestales, al mercado de secuestro de carbono y, en particular en la región Pampeana, a los incentivos fiscales y financieros nacionales y provinciales (Wright et al., 2000). Esta práctica ha mostrado tener un efecto negativo sobre la fertilidad del suelo y ha generado una fuerte salinización (Herron et al., 2002; Jobbágy & Jackson, 2007; Nosetto et al., 2012; Paruelo et al., 2006; Ramankutty et al. 2018). Los árboles aumentan la demanda de agua por su mayor rugosidad aerodinámica, área foliar, intercepción de lluvia y desarrollo de raíces, y menor albedo (Calder, 1998; Jackson et al., 2001; Nosetto et al., 2012), esto revierte la recarga hidrológica neta que se daba en el pastizal y permite una descarga de agua subterránea que es la fuente de los solutos que se concentran dando origen a la salinización (Jobbágy & Jackson, 2004). En estos



ambientes con escasas pendientes topográficas, los flujos de agua son preferentemente verticales, y el escurrimiento es casi nulo (Varni & Usunoff, 1999). Además, estos sistemas se caracterizan por la presencia de heterogeneidades, como horizontes argílicos y petrocálcicos, que afectan la infiltración y el drenaje (Dietrich et al., 2014). Los horizontes petrocálcicos (conocidos también como “tosca”) están ampliamente distribuidos en estos sitios y son considerados habitualmente como una barrera física para el desarrollo de las raíces, y el flujo de agua (Pazos & Mestelan, 2002). La dinámica del flujo de agua en estos ambientes ha sido poco estudiada (Duniway et al., 2007, 2010) y algunos autores sugieren que estas capas almacenan agua que es usada por determinadas comunidades vegetales naturales (Herbel et al., 1972; Duniway et al., 2010). La distribución global, la importancia económica y el riesgo de degradación de los suelos en ambientes de llanura hacen que comprender su funcionamiento ecohidrológico sea de crucial importancia. Los modelos numéricos son una herramienta capaz de capturar los procesos físicos/biológicos en el continuo suelo-planta-atmósfera, que controlan el flujo de agua en estos ambientes (e.g., modelo MIN3P, Bea et al., 2012; Mayer et al., 2012). Estos resuelven las ecuaciones que controlan el flujo de agua y vapor, y el transporte de energía. El objetivo de este trabajo es aplicar estas herramientas numéricas al análisis del efecto de la presencia de la tosca en los flujos subsuperficiales de un pastizal forestado.

## MATERIALES Y MÉTODOS:

Este estudio se localizó en la subcuenca sur del arroyo Azul, entre 36°49'39" y 37°21'6" S, y entre 60° 9'10" y 59°45'53" W. El clima es templado húmedo a subhúmedo (Burgos & Vidal, 1951), las temperaturas rondan los 24 y 10 °C en verano e invierno, respectivamente. El suelo fue clasificado como Argiudol petrocálcico (Soil Survey Staff, 2014) y tiene un horizonte petrocálcico cementado desde 0.7m hasta 1.1 m de profundidad. Se estudió un conjunto de parcelas apareadas de pastizal y forestación. La parcela de pastizal espontáneo (Cabrera, 1976), está dominada por matas mono-específicas de poáceas (*Paspalum quadrifarium*, *Stipa brachychaeta*, *Pithochaetium spp.*, *Mellica spp.*, *Bothriochloa laguroides*), y apiáceas (*Eryngium paniculatum*). La forestación de 7.8 ha fue plantada con *Eucalyptus viminalis* en 1999 con un marco de plantación de 2,5 por 3 m. Actualmente el 33% de los árboles se perdió por su alta densidad de plantación inicial, y por la ausencia de manejo, permaneciendo vivos actualmente ~893 árboles ha<sup>-1</sup>. El sotobosque es escaso, casi totalmente compuesto por *Cynodon dactylon*. En estas parcelas se midió, desde el 10 de diciembre del 2015 al 23 de febrero del 2017, la temperatura del aire ( $T_{at}$ ) y la humedad relativa (RH) en intervalos de una hora con sensor Cavadevices (modelo TC1047A, HIH4000 y 2K14; Cavadevices.com, Inc., CABA, Bs. As., AR). Las precipitaciones (P) y el flujo fustal se recolectaron con pluviómetro y embudo instalado en el tronco, respectivamente con intervalos de un mes. Esta información se complementó con datos de dos estaciones meteorológicas localizadas a 4.3 y 8.2 km (“La Chiquita” y “La Germania”, BDH, 2016). Por otro lado, en el mismo periodo se midió el contenido de agua (VWC, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) y la conductividad eléctrica (EC<sub>1.2.5</sub>, dS m<sup>-1</sup>) del suelo; y conductividad eléctrica (EC<sub>wt</sub>) y nivel del freático, a intervalos de una hora con sensores Decagon (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, US.). En el suelo los sensores se instalaron a 0.2 y 0.5 m de profundidad por duplicado en ambas parcelas y se validaron por el método gravimétrico una vez por mes durante todo el período. Las mediciones en el freático se hicieron en pozos encamisados con PVC de 6 m de profundidad.

Se midió el flujo de savia en 9 árboles mediante sensores de disipación de calor tipo Granier (ver Granier, 1987). Esta consiste de dos termocuplas instaladas en contacto con el xilema del árbol y separadas a 10 cm entre sí y a 1m de altura en el tronco, solo una de ellas se calienta, y el flujo de savia se calcula en base a la diferencia de temperaturas entre ellas. Estas mediciones se complementaron con mediciones del área basal (BA, m<sup>2</sup> de sección transversal de madera por hectárea) de la forestación para calcular la transpiración del rodal ( $Q_{T,S}$  mm día<sup>-1</sup>), las mediciones de BA se hicieron a través del método de Bitterlich (Bitterlich, 1948).

Se montó un modelo con el código MIN3P (para más detalle ver Bea et al., 2012 y Mayer et al., 2012) que abarca el mismo periodo que las mediciones y cuyo dominio consistió de un bloque de 5.4 m de profundidad con 6 capas correspondientes a los horizontes de suelo observados. En cada uno de estos horizontes, la textura se determinó por medio del método de Bouyoucos (1936), la densidad aparente se obtuvo de cilindros de volumen conocido de suelo sin disturbar. Por otro lado, las densidades de raíces se calibraron usando el modelo PEST (Doherty, 2016) acoplado a MIN3P, utilizando los valores observados de VWC y  $Q_T$  como punto de referencia. En la parte superior del modelo se impusieron condiciones atmosféricas medidas, mientras que los límites laterales se consideraron impermeables al flujo de agua y calor. Por otro lado, la radiación solar se calculó utilizando los datos de la estación meteorológica, y se escaló por un factor dado por la cobertura forestal del suelo. Esta se obtuvo a través de análisis de imágenes tomadas desde abajo del dosel, utilizando el software Image J. El nivel freático se impuso como nivel variable en el tiempo en el contorno inferior del dominio de acuerdo a las mediciones.

## RESULTADOS Y DISCUSION:

En el pastizal el VWC responde rápidamente a las lluvias tanto a 0.2m, como a 0.5m (Figura 1). En la forestación, VWC también respondió a los eventos de precipitación a 0.2 m, pero los valores alcanzados rápidamente decrecieron hasta el punto de marchitez permanente (WP, Figura 1) en el periodo invernal de escasas precipitaciones. A 0.5 m prácticamente los VWC no son perturbados por los eventos de lluvia en la forestación (Figura 1). Se observa un aumento del almacenamiento en el suelo de la parcela herbácea mientras que en la forestal se alcanza el WP y el agua disponible para las plantas es cercana a cero. Los niveles freáticos evolucionaron de manera similar en ambas parcelas, partiendo de ~3.8 m de profundidad al inicio y descendió durante todo el periodo monitoreado hasta ~5.4m de profundidad. Cabe destacar que no se observó una relación directa entre los niveles freáticos, y la presencia de la forestación. Respecto de las mediciones de  $Q_{T,S}$  solo se obtuvieron dos series cortas de mediciones y el promedio diario fue de ~3 mm día<sup>-1</sup> (entre 0.97 y 5.38 mm day<sup>-1</sup>), no se encontró correlación entre la radiación y el déficit de presión de vapor (resultados no mostrados), como sí ha sido encontrado en otros sitios de la región Pampeana (Engel et al., 2005). La conductividad eléctrica medida EC tanto en el suelo como en el freático no alcanzó valores perjudiciales para la mayoría de los cultivos comerciales y responde al VWC y la evaporación, la presencia de la forestación no generó cambios significativos (Figura 2).

Como resultado de la calibración de la distribución de raíces se obtuvo una mayor distribución en la superficie (93.23 % en los primeros 0.3 m y alcanzan 1.0 m de profundidad con un 0.5% en la capa de tosca) estas distribuciones son similares a los observados por otros autores (Lambais et al., 2017). El modelo capturó el comportamiento hídrico del sistema forestal respecto de las mediciones realizadas (VWC y  $Q_{T,S}$ ), representó tanto la respuesta del VWC a las lluvias, como los periodos de estrés (Figura 1). El balance hídrico del calculado se resume en la Tabla 1. Estos resultados se consiguieron con una rizósfera que prácticamente no atraviesa la capa de tosca, y por lo tanto sin hacer uso del freático. Esto se condice con la ausencia de correlación de  $Q_{T,S}$  con la variación del nivel freático y con el déficit de vapor. Esto indica que los horizontes petrocálcicos constituyen una barrera física para el flujo de agua y el crecimiento de las raíces, disminuyendo (e incluso impidiendo) su acceso al freático que en el periodo estudiado se mantuvo a una profundidad mayor a lo común para la región (Varni & Usunoff, 1999). En estas circunstancias el riesgo de salinización es escaso o nulo ya que la forestación se encuentra transpirando casi exclusivamente (un 87%) el agua proveniente de las precipitaciones. En este sentido el horizonte petrocálcico actúa como reservorio de agua (Duniway et al., 2010). Cabe aclarar que distribuciones de raíces que hipotéticamente alcancen el nivel freático darían como resultado mayores tasas de transpiración y mayores VWC que los observados.

Tabla 1. Balance hídrico calculado por el modelo (valores anuales)

Precipitaciones (mm)	Intercepción (mm)	Transpiración total (mm)	Tasa de transpiración media (mm/día)	Evaporación (mm)	Condensación (mm)	Uso de agua del freático (mm)	Flujo en el límite inferior <sup>a</sup> (mm)	Cambio en el almacenamiento del suelo <sup>a</sup> (mm)
695	133.64	722.64	1.97	149.55	78.09	91.52	-139.85	-372.6

<sup>a</sup> (-) = salidas da agua

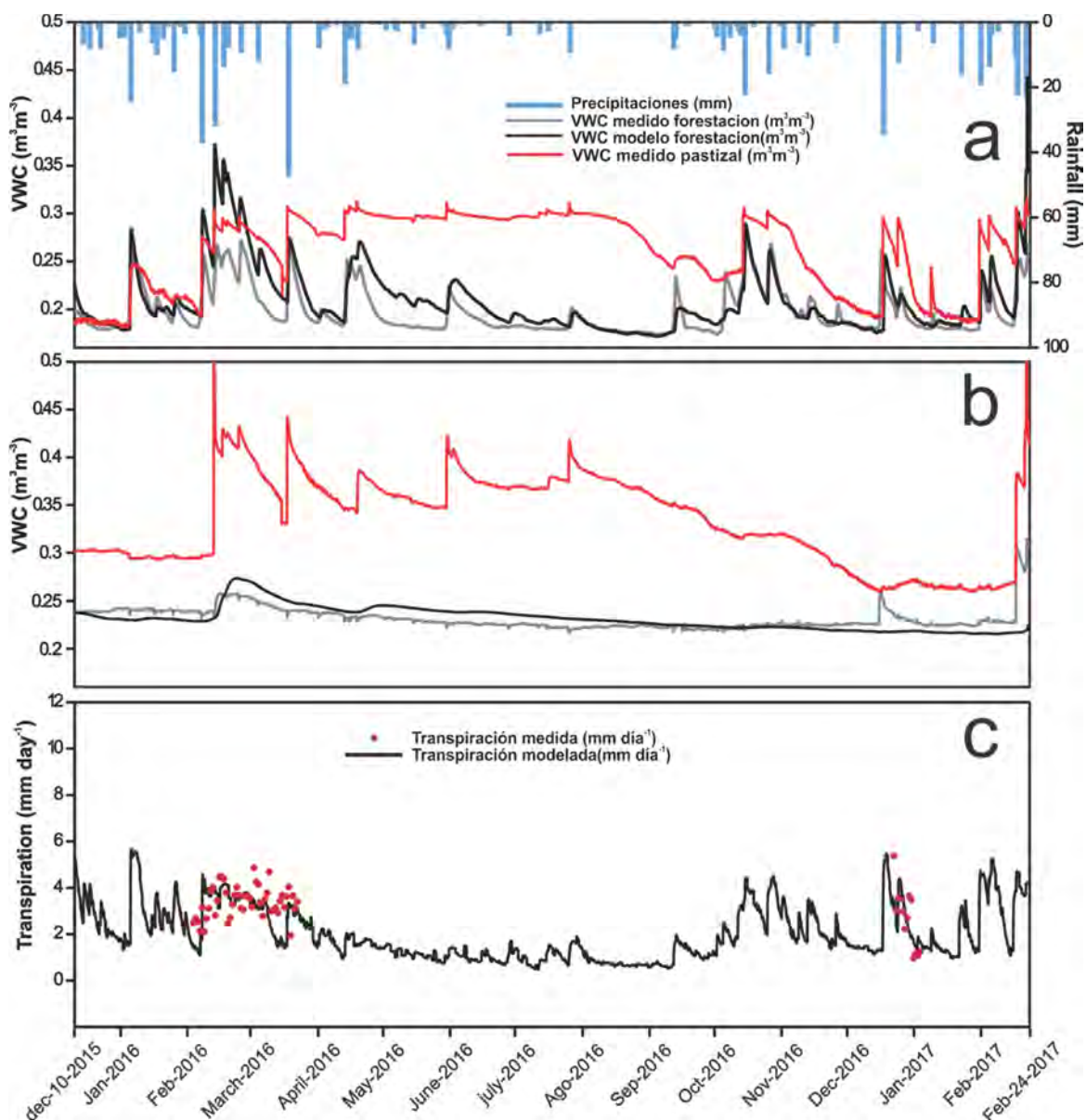


Figura 1. Resultados de mediciones y modelo. Contenido de agua (VWC) medido en pastizal y forestación a 0.2 y 0.5 m de profundidad; VWC modelado en la forestación a 0.2 y 0.5 m de profundidad; transpiración medida y modelada.

## CONCLUSIONES:

Los horizontes petrocálcicos son frecuentes en estos ambientes y constituyen una barrera de flujo de agua y tienen capacidad de almacenarla, la forestación probablemente utiliza este recurso dado el caso de que no puede acceder libremente a recursos hídricos más profundos. Se estableció y validó un modelo conceptual de funcionamiento hídrico para pastizales forestados en paisajes de llanura con la presencia de un horizonte petrocálcico. La

disponibilidad de agua y la improbable ocurrencia del proceso de salinización, permitirían el uso de estas áreas para la agricultura, pasturas e incluso la producción aceptable de madera.

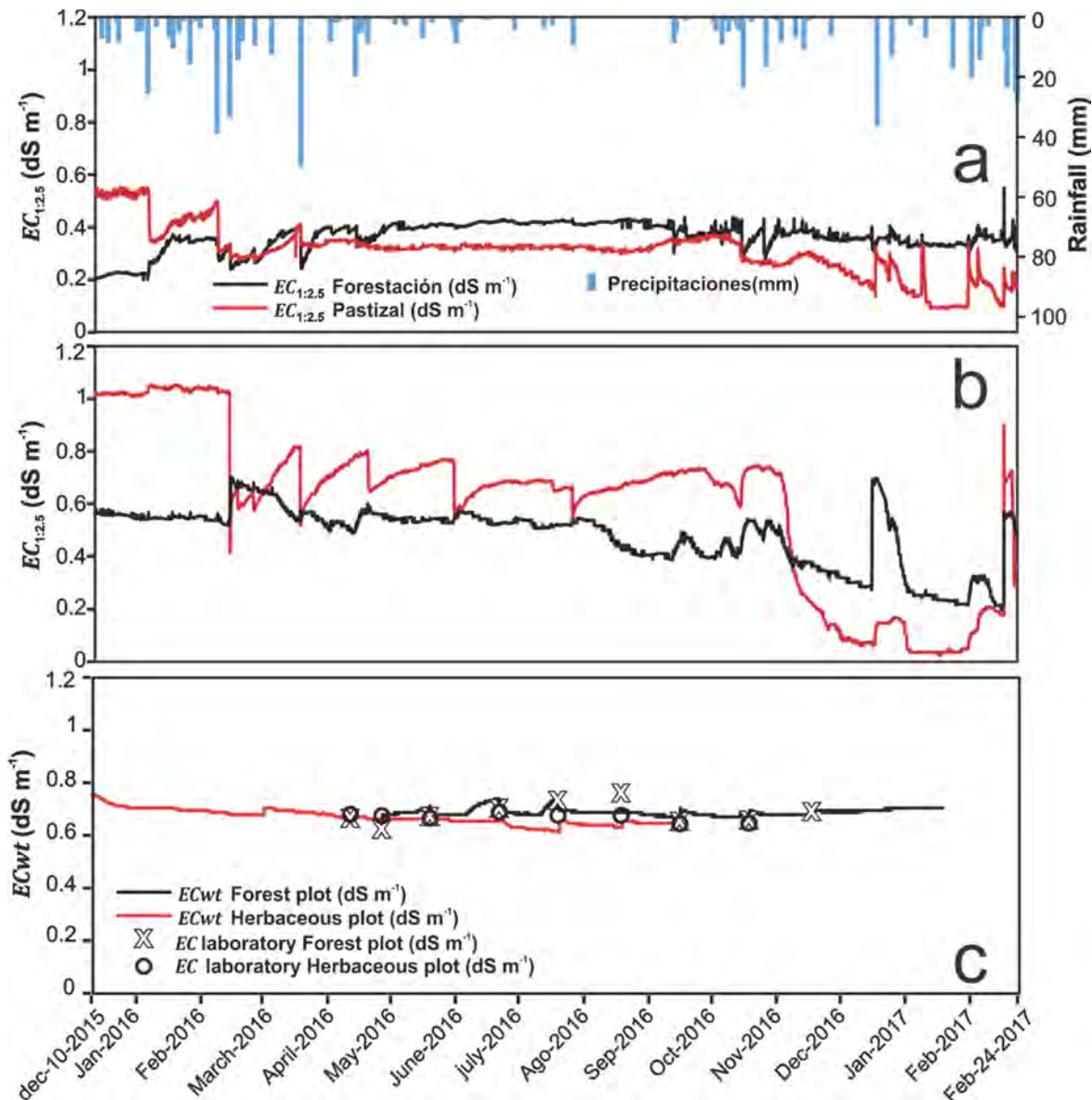


Figura 2. Conductividad eléctrica medida en pastizal y forestación a 0.2, 0.5 m de profundidad y en el freático.

#### BIBLIOGRAFIA:

- Carreño L, F C Frank & EF Viglizzo. 2012. Tradeoffs between economic and ecosystem services in Argentina during 50 years of land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 154, 68–77.
- Wright JA, A Dinicola & E Gaitan. 2000. Latin American forest plantations: opportunities for carbon sequestration, economic development, and financial returns. *Journal of Forestry*, 98(9), 20-23.
- Herron N, R Davis & R Jones. 2002. The effects of large-scale afforestation and climate change on water allocation in the Macquarie River catchment, NSW, Australia. *Journal of Environmental Management*, 65(4), 369–381.
- Jobbágy EG & RB Jackson. 2007. Groundwater and soil chemical changes under phreatophytic tree plantations. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112(2), 1–15.



Nosetto MD, EG Jobbágy, AB Brizuela, & RB Jackson. 2012. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 154, 2–11.

Paruelo JM, JP Guerschman, G Piñeiro, EG Jobbágy, SR Verón, G Baldi & S Baeza. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos Conceptuales Para Su Análisis. *Agrociencia*, 10, 47–61.

Ramankutty N, Z Mehrabi, K Waha, L Jarvis, C Kremen, M Herrero & LH Rieseberg. 2018. Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. *Annual Review of Plant Biology*, 69(1), annurev-arplant-042817-040256.

Jobbágy EG & RB Jackson. 2004. Groundwater use and salinization with grassland afforestation. *Global Change Biology*, 10(8), 1299–1312.

Calder IR. 1998. Water use by forests, limits and controls. *Tree Physiology*, 18(8\_9), 625–631.

Jackson RB, SR Carpenter, CN Dahm, DM McKnight, RJ Naiman, SL Postel & SW Running. 2001. WATER IN A CHANGING WORLD. *Ecological Applications*, 11(4), 1027–1045.

Varni MR & EJ Usunoff. 1999. Simulation of regional-scale groundwater flow in the Azul River basin, Buenos Aires Province, Argentina. *Hydrogeology Journal*, 7(2), 180–187.

Dietrich S, PA Weinzettel & M Varni. 2014. Infiltration and drainage analysis in a heterogeneous soil by electrical resistivity tomography. *Soil Science Society of America Journal*, 78(4), 1153–1167.

Duniway MC, JE Herrick & HC Monger. 2010. Spatial and temporal variability of plant-available water in calcium carbonate-cemented soils and consequences for arid ecosystem resilience. *Oecologia*, 163(1), 215–226.

Pazos SM & AS Mestelan. 2002. Variability of depth to tosca in udoll sand soil classification, Buenos Aires Province, Argentina. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 1256–1264.

Duniway MC, JE Herrick & HC Monger. 2007. The High Water-Holding Capacity of Petrocalcic Horizons. *Soil Science Society of America Journal*, 71(3), 812.

Herbel CH, FN Ares & RA Wright. 1972. Drought Effects on a Semidesert Grassland Range. *Ecology*, 53(6), Bloor, J. M. G., Bardgett, R. D. (2012). *Stabili*.

Bea SA, SA Wilson, KU Mayer, GM Dipple, IM Power & P Gamazo. 2012. Reactive Transport Modeling of Natural Carbon Sequestration in Ultramafic Mine Tailings. *Vadose Zone Journal*, 11(2), 0.

Mayer KU, RT Amos, S Molins & F Gerard. 2012. Reactive Transport Modeling in Variably Saturated Media with MIN3P: Basic Model Formulation and Model Enhancements. *Groundwater Reactive Transport Models*, (January), 186–211.

Burgos JJ & AL Vidal. (1951). Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Meteoros* 1, 1–32.

Soil Survey Staff, 2014. *Keys to Soil Taxonomy* (12th Ed.). United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service.

Cabrera AL. 1976. *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería*. Tomo II. Fascículo I. Regiones fitogeográficas Argentinas., second ed. Editorial Acme S.A.C.I, Buenos Aires.

Granier A. 1985. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. *Annales Des Sciences Forestieres*, 42(2)(2), 193–200.

Bitterlich W. 1948. Die Winkelzahlprobe. *Allg. forst- u. holzw. Ztg* 59, 4-5

Bouyoucos GJ. 1936. Directions for making mechanical analyses of soils by the hydrometer method. *Michigan Agricultural & Eperitmental Station*, 269, 225–229.

Doherty JE. 2016. *Model-independent Parameter Estimation User Manual Part I: Pest Sensan and Global Optimisers*. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia, 390.

Engel V, EG Jobbágy, M Stieglitz, M Williams & RB Jackson. 2005. Hydrological consequences of Eucalyptus afforestation in the Argentine Pampas. *Water Resources Research*, 41(10), 1–14.

Lambais GR, C Jourdan, M de Cássia Piccolo, A Germon, RC Pinheiro, Y Nouvellon, ... JP Laclau JP. 2017. Contrasting phenology of Eucalyptus grandis fine roots in upper and very deep soil layers in Brazil. *Plant and Soil*, 1–18.