

Impacto del uso del suelo sobre el contenido hídrico de Entisoles de Corrientes Argentina

Impact of land use change on the water dynamics of Entisols de Corrientes Argentina

Tania Soledad Rey Montoya ^{aa} , Alicia Fabrizio de Iorio ^b , Juan Fernando Gallardo Lancho ^c ,
Ditmar Bernardo Kurtz ^a , Carolina Fernández López ^a 

*Autor de correspondencia: ^a Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Corrientes. El Sombrero, Corrientes, Argentina, tel: +5491160470602, soledad.reymontoya@gmail.com

^b Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.

^c Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca España, CSIC, Salamanca, España.

RESUMEN

El incremento de las hectáreas de forestaciones en la provincia de Corrientes en suelos con capa freática cercana a la superficie posiblemente genera impactos en la dinámica hídrica. El objetivo fue evaluar la dinámica del agua del suelo tras el reemplazo de los pastizales naturales por plantaciones forestales. Tratamientos analizados: Plantación forestal de mediano plazo (PMP) y pastizal (TPN). La zona de estudio fue Concepción-Corrientes-Argentina, se colocaron estaciones meteorológicas automáticas portátiles, que incluyen un sensor de humedad con mediciones cada 0,10 m hasta la profundidad de -1,20 m. Los datos obtenidos de ambas estaciones fueron analizados estadísticamente para la humedad del suelo con el test de LSD. Se trabajó con tres repeticiones de cada tratamiento; al inicio del estudio para determinar la profundidad de la capa freática y corroborar las características del suelo. Los meses evaluados fueron nueve, considerando estación húmeda y seca según las características zonales. El contenido hídrico fue constante y significativamente mayor en el testigo que en PMP para cada una de las profundidades evaluadas, excepto para los meses de enero 2018 (-25 a -30 cm) y marzo 2018 a la profundidad de -65 cm, donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas, lo cual fue corroborado mediante los datos de los freatímetros para el mes de marzo (2018), donde se obtuvo la menor diferencia en profundidad de la capa de agua (-18,4 cm). Se halló que PMP disminuyen el contenido hídrico edáfico y, en consecuencia, deprimen el nivel de la capa freática respecto a la del pastizal.

Palabras clave: capa freática, forestales, pastizales.

SUMMARY

The increase in hectares of forested land in the province of Corrientes on soils with a water table close to the surface may have an impact on water dynamics. The objective was to evaluate the dynamics of soil water after the replacement of natural grasslands. The treatments analyzed were: Medium-term forest plantation (PMP) and grassland (TPN). The study area was Concepción-Corrientes-Argentina, we placed portable automatic weather stations, which include a humidity sensor with measurements every 0.10 m up to the depth of 1.20 m. The data obtained from both stations were statistically analyzed for soil moisture with the LSD test. We worked with three repetitions of each treatment; at the beginning of the study, to determine the depth of the water table and corroborate the characteristics of the soil under study. The months evaluated were nine, considering wet and dry season according to the zonal characteristics. The volumetric moisture content was consistently and significantly higher in the control than in the medium-term plantation for each of the depths evaluated, except for the months of January 2018 (-25 to -30 cm) and March 2018 at the depth of -65 cm, where no statistically significant differences were found, which was corroborated by the freatmeter data for the month of March (2018), where the smallest difference in height of the water layer (-18.4 cm) was obtained. It was found that PMP decrease the volumetric content of soil water and, consequently, depress the level of the water table with respect to that of the grassland.

Keywords: water table, forestry, grasslands.

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Corrientes en Argentina, la dinámica geológica provoca procesos de fracturas de basamento con

reorganización de bloques que influyen sustancialmente en el modelado actual de la región (Iriondo 1994). El paisaje geomorfológico presenta un relieve en plataforma con una cobertura sedimentaria que la transforma en una extensa

llanura prolongándose hacia el oeste y sur del territorio. Los suelos dominantes de esta llanura pertenecen al Orden Entisoles, con texturas que oscilan entre arenosas y francoarenosas. Son suelos profundos a moderadamente profundos, pero pobres en nutrientes.

En algunos casos, estos suelos poseen capas freáticas cercanas a la superficie, generalmente debido a un cambio textural abrupto a -70 cm, donde el contenido de arcilla en el horizonte inferior se duplica y puede llegar a triplicarse en el subsiguiente, dependiendo de la historia del suelo. La principal característica física de estos suelos es la dificultad en el movimiento de agua en las capas profundas, conocida como “capa freática colgada” (Escobar *et al.* 1996).

Entendiendo que la capa freática se define como la superficie que limita las zonas de aireación y de saturación del suelo (Varela 2016), o techo de la zona saturada (Jobbágy *et al.* 2008), correspondiendo al acuífero libre o freático. Taboada y Lavado (2009) afirman que la capa freática es la superficie de agua que llena un pozo a cielo abierto o un pozo con instrumental de medición, es decir, la parte superior del agua libre que puede fluir desde el suelo hacia un freatímetro o pozo a cielo abierto, bajo la influencia de las fuerzas gravitacionales. La zona de ascenso capilar se encuentra sobre la capa freática y esta agua no entra en los freatímetros, pozos a cielo abierto o piezómetros, solo puede de identificarse mediante mediciones del contenido hídrico.

La capa freática se destaca por su movilidad en el tiempo, tanto ascendente como descendente, especialmente en relieves muy planos y con redes de escurrimiento superficial bien definidas. Estas fluctuaciones dependen principalmente del agua de lluvia que se infiltra moviéndose hacia la zona de saturación. Los indicadores de campo utilizados para inferir condiciones de suelo saturado recurrentes se basan en la visualización de fenómenos de oxidorreducción y no simplemente por saturación hídrica. La saturación debe ser confirmada con el uso de freatímetros, piezómetros, pozos a cielo abierto u otros equipos, según la definición de saturación que se esté utilizando (Taboada 2009).

Los suelos arenosos con capa freática colgada (una falsa capa freática de agua) ocupan unos 3.000 km² de la llanura arenosa correntina y presentan ventajas y desventajas asociadas a las condiciones climáticas imperantes, especialmente respecto a las lluvias. El ascenso del agua por capilaridad permite un contenido de humedad razonable en el perfil durante años secos, pero durante períodos lluviosos el ascenso de la capa freática provoca un déficit de oxígeno por saturación acuosa (Nosetto *et al.* 2009, Taboada y Lavado 2009). Algunos de estos suelos también se pueden clasificar como hidromórficos, según los indicadores descritos por Imbellone (2018), debido a que están afectados por excesos de humedad en algún momento del año. Cuando la erosión desmantela parcialmente las lomas, el estrato arcilloso queda más cercano a la superficie, y la hidromorfia se hace más evidente. En este caso, se facilita la interconexión de depresiones y la formación de vías de

drenaje longitudinales en los sistemas de escurrimientos por esteros y cañadas (Popolizio 2004).

La influencia del agua edáfica en estos paisajes determina la necesidad de comprender los mecanismos y controles que rigen las fluctuaciones de nivel tanto a largo como a corto plazo. Esta información es fundamental para predecir posibles cambios de nivel y para diseñar estrategias de manejo sostenibles en el tiempo. El estudio del agua del suelo permite comprender los procesos físicos, fisicoquímicos, bioquímicos y biológicos del suelo, desde la meteorización y los procesos formadores, hasta el estado energético del agua, su capacidad de retención hídrica, movimiento y disponibilidad para la transpiración de las plantas, evaporación, drenaje, etc. (García *et al.* 2012).

Habiendo presentado las características del suelo de estudio, se infiere que la implantación de coníferas podría extraer agua de la zona de saturación, lo cual resultaría beneficioso para otros cultivos como las pasturas a implantar en zonas aledañas. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es evaluar el contenido hídrico del suelo en pastizales naturales y en plantaciones forestales de coníferas a medio plazo en Entisoles.

MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el Departamento de Concepción (Corrientes, Argentina). Zona del Macrosistema Iberá (subcuenca del río Santa Lucía, cuenca del río Corrientes). Se caracterizada por dos amplios cordones arenosos de origen fluvial en lomadas amplias y suavemente onduladas, donde aparecieron suelos arenosos correspondientes a Entisoles apoyados sobre Paleosuelos, clasificados como Psammacuent típico, serie Chavarría. Serie de suelo con aptitud ganadero-forestal y, en menor medida, agrícola, siendo la de mayor extensión en la Provincia de Corrientes (Escobar *et al.* 1996).

Los suelos de esta serie presentaron un horizonte órico, arenoso franco, seguido de un horizonte álbico con abundantes moteados (evidencia de fenómenos de oxidorreducción), sobre un argílico enterrado ($2B_{tbg}$), franco arcilloarenoso, con lenta permeabilidad. Existiendo entre ambos horizontes un cambio textural abrupto que dificulta la infiltración profunda del agua, produciendo una capa de agua colgada que fluctúa cerca de la superficie. Esta capa pudo tener movimientos laterales, ocasionando incluso erosión subsuperficial.

Tratamientos Analizados

- Forestación (PMP): Plantación forestal de mediano plazo (7 años) de *Pinus* sp., con una densidad de 608 plantas por hectárea, podadas a 5,4 m de altura.
- Pastizal (TPN): Testigo pastizal natural, compuesto por pajonales con predominio de especies de paja colorada (*Andropogon lateralis* Nees) y paja amarilla (*Sorghastrum* sp.), en combinación con especies de menor porte como

pasto horqueta (*Paspalum* sp.) y *Axonopus* sp., además de algunas leguminosas como *Desmodium* sp.

Se trabajó con tres repeticiones de cada tratamiento. Al inicio del estudio se abrieron calicatas en los sitios para determinar la profundidad de la capa freática y corroborar las características del suelo en estudio.

El contenido hídrico se evaluó durante nueve meses (desde diciembre de 2017 hasta agosto de 2018), considerando las estaciones húmeda y seca según las características zonales. Estos datos se analizaron considerando el último valor diario para evitar errores por precipitaciones durante el día y períodos de máxima evapotranspiración de la vegetación.

Mediciones en Campo

- Indirectas. Se utilizó el principio FDR (Frequency Domain Reflectometry) que, basado en sensores capacitivos, hicieron circular una corriente a través de electrodos insertados en el suelo, formando un condensador donde el suelo actuó como dieléctrico. Los cambios en el contenido de agua afectaron la frecuencia del condensador, detectados por los sensores y almacenados en un Datalogger. Para medir indirectamente el contenido de agua del suelo y las fluctuaciones de la capa freática colgada tras el cambio de uso del suelo, se utilizaron sensores de frecuencia FDR (sonda Sentek, Drill & Drop, Norwood, Australia), similares a los usados por Pachas *et al.* (2016). Estos sensores se dispusieron cada 10 cm hasta una profundidad de -120 cm. Los datos se almacenaron en un Datalogger. Las sondas utilizadas correspondían a las estaciones Nimbus III (prototipos) de la red de estaciones meteorológicas desarrolladas por el INTA (ICyA) y la UTN (FR Avellaneda). Los sensores registraron datos cada 10 minutos, los cuales fueron calibrados con mediciones de humedad y densidad aparente del suelo. Con los datos obtenidos, se realizó una prueba de comparación de medias LSD Fisher ($\alpha = 0,05$) para la variable profundidad de capa freática y para el tratamiento PMP respecto al sitio TPN. También se aplicó la prueba de comparación de medias LSD Fisher ($\alpha = 0,05$) para la variable contenido de agua volumétrica (SWC) en ambos sitios, utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.* 2018). Se efectuó un análisis de varianza y una prueba LSD para cada una de las profundidades evaluadas en cada uno de los meses de monitoreo de freatímetros, utilizando datos mensuales (datos tomados semanalmente y promediados). El análisis estadístico se realizó de la misma manera con el software Infostat.
- Directas. Las mediciones directas se realizaron utilizando freatímetros ($n = 3$) en cada uno de los

tratamientos, con las repeticiones correspondientes (3). Los freatímetros se construyeron con tubos de PVC de 150 cm de profundidad y 10 cm de diámetro.

RESULTADOS

Al inicio del ensayo en el mes de septiembre de 2017 se encontró la presencia de la capa freática colgada en el tratamiento TPN a los -55 cm de profundidad y a los -75 cm en PMP, mientras que al comienzo del monitoreo (diciembre de 2017) había bajado hasta los -85 y los -110 cm respectivamente (figura 1). Las precipitaciones medias de la zona en estudio (figura 1); fueron más escasas durante los meses invernales australes.

Los resultados mostraron diferencias estadísticas ($P < 0,05$) dentro de cada fecha y para todos los meses analizados al comparar el comportamiento hídrico de los dos tipos de uso del suelo. Se pudo observar fluctuaciones de la capa freática (figura 1), siendo éstas más pronunciadas en TPN que en PMP, donde la oscilación de la curva bajo los pinos fue más suave.

Al analizar en detalle el contenido de agua edáfica en los diferentes meses contemplados en ambos sitios (figura 2) se repitió el mismo patrón de que, entre -65 a -75 cm de profundidad, se encontró agua acumulada colgada sobre el horizonte iluvial ($2B_{tbs}$), ocurriendo las oscilaciones de contenido de agua edáfica mayormente por encima de la citada profundidad sólo en el sitio testigo.

El contenido de humedad volumétrica (figura 2) fue constante y significativamente mayor en el testigo que en la plantación de mediano plazo para cada una de las profundidades evaluadas ($P < 0,05$), excepto para los meses de enero 2018 (25-30 cm) y marzo 2018 a la profundidad de -65 cm, donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas, lo cual fue corroborado mediante los datos de los freatímetros para el mes de marzo (2018), donde se obtuvo la menor diferencia en profundidad de la capa de agua (-18,4 cm; figura 1).

DISCUSIÓN

Los datos indican que no hay correspondencia entre las precipitaciones y la profundidad de la capa freática; según lo definido por Jobbág *et al.* (2008) y Varela (2016) se infiere que hay un efecto de bombeo de agua por la vegetación (evapotranspiración) durante la época inverno-primaveral durante el periodo estudiado (figura 2) significativamente más marcado en el PMP. Además, la menor evaporación invernal incide en mayor cantidad de agua en superficie, en especial en el pastizal, lo que podría deberse también a un mayor consumo de la misma.

Posteriormente, a partir del inicio del periodo lluvioso (hacia fin del año) la capa freática se encuentra más superficial y, de manera independiente de las precipitaciones mensuales; alcanzando la mínima profundidad en marzo en PMP y en mayo en TPN (menor gasto de agua). Se-

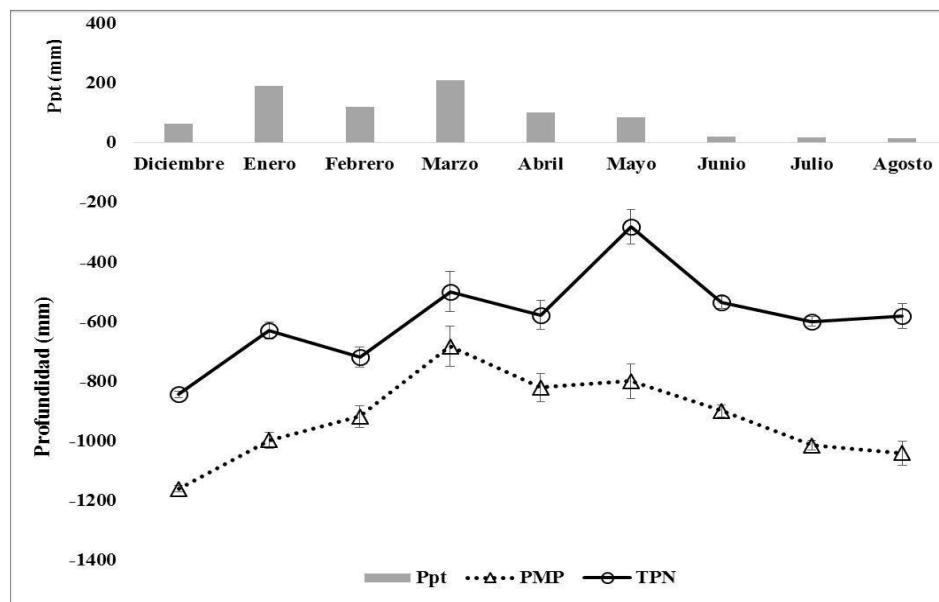


Figura 1. Fluctuación de la capa freática en una plantación de medio plazo de pino (PMP) respecto al sitio testigo pastizal natural (TPN) en relación con las precipitaciones acumuladas mensuales (Ppt). Las barras indican el error estándar; periodo desde diciembre de 2017 a agosto de 2018.

Fluctuation of the water table in a medium-term pine plantation (PMP) with respect to the natural grassland control site (TPN) in relation to the monthly accumulated rainfall (Ppt). The bars indicate the standard error; period from December 2017 to August 2018.

gún estudios previos este resultado puede deberse a una recarga por escurrimiento subsuperficial de la capa de agua freática desde las lagunas aledañas, teniendo en cuenta que las mismas están cercanas a los sitios de estudio y son características del Macrosistema Iberá (Popolizio 2004, Liger 2014).

Los resultados obtenidos muestran que la profundidad de la capa freática se mantiene en niveles superiores a -1,5 m durante los meses evaluados. Esto puede generar efectos positivos para los pastizales en años con escasas precipitaciones, sobre todo teniendo en cuenta que en la provincia de Corrientes los suelos arenosos con falsa capa freática ocupan una importante superficie.

Los datos de las diferencias de profundidades de la capa freática entre TPN y PMP (figura 2) indican que las masas forestales pueden aportar a reducir los excesos hídricos en épocas de inundaciones. Sin embargo, para arribar a esas conclusiones se necesitan más años de evaluación, en especial considerando que los años en los que se realizaron las mediciones fueron más bien lluviosos.

En períodos lluviosos el ascenso de la capa provoca saturación hídrica (con déficit de oxígeno), lo que puede representar un riesgo potencial en los pastizales en años con precipitaciones normales o superiores a la media, ocasionando ascensos freáticos hasta profundidades cercanas a la superficie que derivan en efectos negativos sobre la producción; por efecto de los fenómenos de reducción y aparición de formas tóxicas, como Mn^{2+} y Fe^{2+} (Taboada y Lavado 2009), la logística y, también, contribuyendo a

la degradación del suelo (e incluso produciendo en ciertos casos erosión hídrica). En estos casos la forestación es una alternativa de manejo contemplada en el mundo para hacer frente a este tipo de problemáticas; en nuestro país se promociona en la región pampeana como una alternativa de regulación hidrológica (Alconada *et al.* 2009), pero tiene la complejidad de ser poco competitiva con la agricultura, por lo que aquí en Corrientes es una alternativa dado que los suelos no compiten con dicha actividad.

Estos aspectos han sido también estudiados por diferentes autores, observándose evidentes contrastes al comparar vegetación herbácea con forestaciones, dado que las últimas generan una notable depresión de los niveles freáticos (Heuperman 1999) como los que se observan en nuestros resultados. Similarmente a lo que ocurre con los bosques, Nosoeto *et al.* (2015) encontraron que las pasturas perennes también deprimen significativamente los niveles freáticos, aunque en nuestro caso los pastizales nativos deprimen menos acusadamente la capa freática.

El conocimiento y la dinámica del nivel freático en ecosistemas como los estudiados pueden y debieran utilizarse como información básica en la toma de decisiones del manejo apropiado, ya sea para mitigar sus efectos negativos sobre las condiciones edáficas como para aprovechar las nuevas oportunidades que pueden brindar otros cultivos alternativos. En la zona de evaluación no hay estudios de este tipo y es la primera vez que se monitorean las napas freáticas haciendo uso de estos instrumentos de medición.

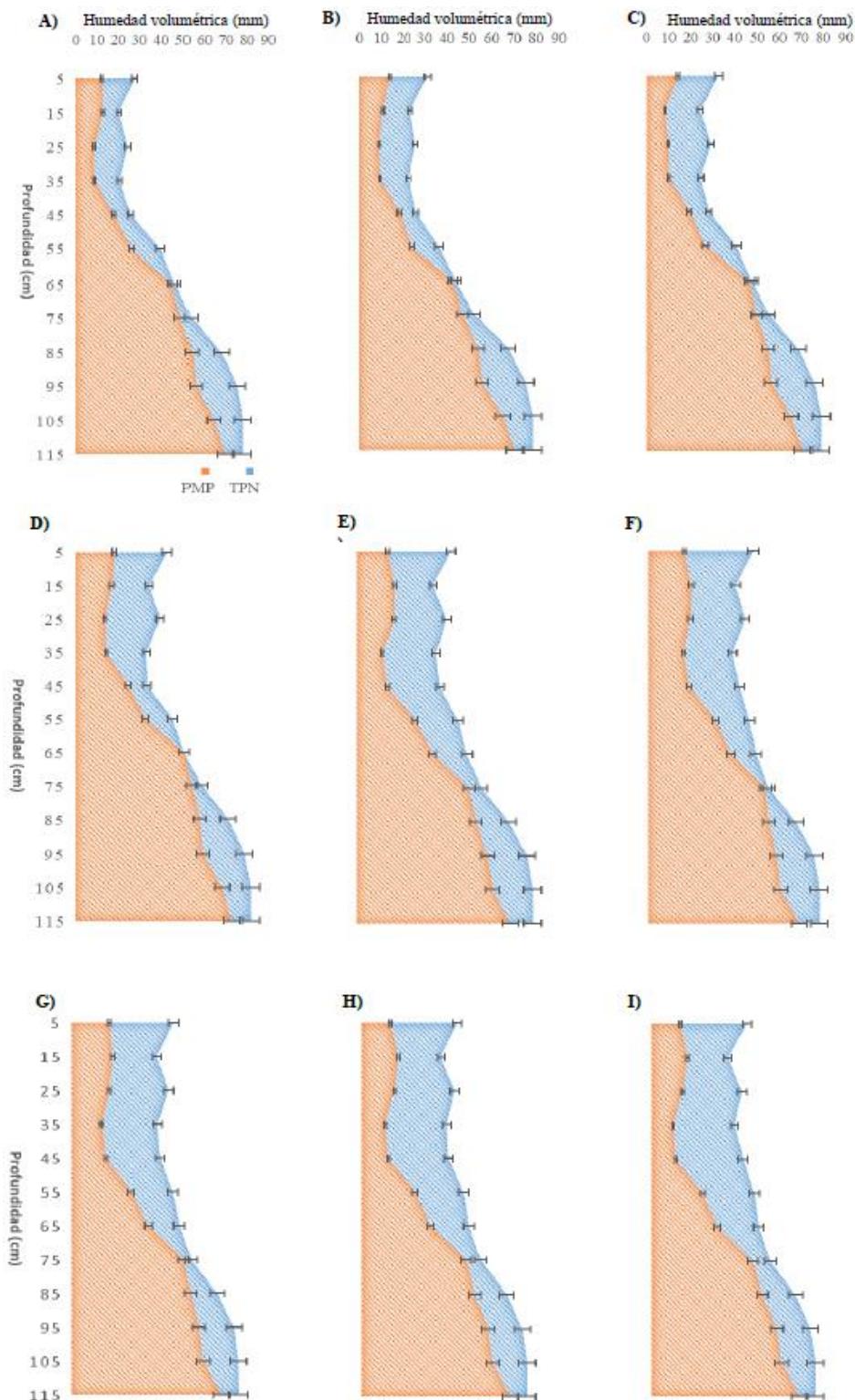


Figura 2. Contenido de humedad volumétrica del suelo a distintas profundidades para una plantación de medio plazo de pino (PMP) en comparación con el sitio testigo de pastizal (TPN) en los meses: A) diciembre, B) enero, C) febrero, D) marzo, E) abril, F) mayo, G) junio, H) julio y, por último, I) agosto. Las barras indican el error estándar.

Volumetric moisture content of the soil at different depths for a medium-term pine plantation (PMP) compared to the grassland control site (TPN) in the months: A) December, B) January, C) February, D) March, E) April, F) May, G) June, H) July and finally I) August. The bars indicate the standard error.

CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos, se verifica que la dinámica del nivel freático en los ecosistemas estudiados está influenciada tanto por los eventos climáticos como por el uso del suelo.

Específicamente, las plantaciones forestales de mediano plazo ejercen un efecto notable sobre el contenido de agua del suelo y la profundidad de la capa freática. En comparación con el pastizal natural, las plantaciones exhiben una mayor capacidad para deprimir el nivel freático, lo que puede atribuirse a una mayor evapotranspiración, especialmente durante el período inverno-primaveral.

Esta capacidad de las plantaciones forestales para reducir el exceso de agua en el suelo podría ser una herramienta valiosa para mitigar el impacto de crecidas o inundaciones en la región. Sin embargo, es crucial continuar el monitoreo a largo plazo, incluyendo años con diferentes patrones de precipitación, para comprender completamente el papel de las forestaciones en la regulación hidrológica en la región.

Por otro lado, el ascenso de la capa freática en períodos lluviosos destaca la importancia de considerar estrategias de manejo para prevenir la saturación hídrica en estos ecosistemas. En este sentido, la forestación actúa como una alternativa, ofreciendo beneficios tanto en términos de regulación hidrológica como de diversificación productiva en áreas donde la agricultura tradicional puede enfrentar desafíos.

El presente estudio, siendo el primero en monitorear las napas freáticas en la zona de evaluación, proporciona información crucial sobre la dinámica del nivel freático en relación con el uso del suelo. Este conocimiento es fundamental para la toma de decisiones informadas en el manejo de estos ecosistemas, permitiendo tanto mitigar los efectos negativos del ascenso freático como aprovechar las oportunidades que brindan alternativas productivas como la forestación.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Tania S. Rey Montoya, Ditmar B. Kurtz y Carolina Fernández López diseñaron el estudio y el diseño experimental, T.S. Rey Montoya y C. Fernández López realizaron la recopilación de datos de campo y analizaron los resultados, y T.S. Rey Montoya, Alicia F. de Iorio y Juan F. Gallardo Lancho contribuyeron a la discusión e interpretación de los resultados. Los cinco autores prepararon el manuscrito.

FINANCIAMIENTO

Al Fondo de Adaptación al Cambio Climático de las Naciones Unidas, a la Unidad para el Cambio Rural, a la Oficina de Riesgo Agropecuario y a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación por el finan-

ciamiento de los equipos instalados a campo. A la RIST 067de la Cartera INTA 2015, por el financiamiento para movilidad e instalación y monitoreo.

AGRADECIMIENTOS

A M. Belloni, A. Serritella, M. Padín, L. Vallejos, F. Rosso, F. Stiefel, P. Matteio, D. Ybarra y E. Serafini por la puesta a punto y calibración de los equipos a campo, además del acompañamiento en el monitoreo y mantenimiento de los equipos. Y se agradece especialmente a G. Perrens y D. Yogui por abrirnos las puertas de la estancia para instalar los ensayos, por la incomparable atención, el acompañamiento y control de equipos a campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alconada M, A Magliano, A Busconi, R Rosa, JJ Carrillo-Rivera. 2009. El biodrenaje para el control del exceso hídrico en Pampa Arenosa, Buenos Aires, Argentina. *Invest. Geog.* (Méjico) 68: 50-72. I.S.S.N.: 2448-727.
- Di Rienzo JA, F Casanoves, MG Balzarini, L González, M Tablada, CW Robledo. 2018. InfoStat. Versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado 30 jul. 2018. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.
- Escobar EH, HD Ligier, R Melgar, H Matteo, O Vallejos. 1996. Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes 1:500.000. EEA INTA Corrientes, Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales. Corrientes (Argentina). 218 p.
- García J, F Sosa, J Fernández de Ullivarri. 2012. El agua del suelo. Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán. Consultado 30 jul. 2018. Disponible en <http://www.edafologia.com.ar>.
- Heuperman A. 1999. Hydraulic gradient reversal by trees in shallow water table areas and repercussions for the sustainability of tree-growing systems. *Agric. Water Manage.* 39: 153-167. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00076-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00076-6)
- Imbellone P. 2018. Guía de descripción e interpretación de suelos hidromórficos. In Quiroga AR, R Fernández y C Alvarez (Eds.). Análisis y evaluación de propiedades físichídricas de los suelos. Ediciones INTA, Anguil, La Pampa (Argentina). 1: 9-20.
- Iriondo M. 1994. El clima del Cuaternario en la región pampeana. Comunicaciones Museo Provincial de Ciencias Naturales, Santa Fé (Argentina). 48 p.
- Jobbágy EG, MD Nosetto, C Santoni, G Baldi. 2008. El desafío eco-hidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la Llanura Chaco-pampeana. *Ecología Austral* 18: 305-322. Consultado el 17 mar. 2025. Disponible en: https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/1377
- Ligier HD, HR Matteo, JM Garay, O Vallejos, S Inomata, DB Kurtz, RA Barrios, DD Ybarra, AR Perucca, SC Perucca, MC Sanabria, MJ Bernardi, SN Maciel, TS Rey Montoya, JP Matteo, CL Flores. 2014. Evaluación de tierras para el cultivo de caña de azúcar en la Provincia de Corrientes. CFI Provincia de Corrientes. EEA INTA Corrientes. INTA, Buenos Aires, Argentina. 210 p.
- Nosetto MD, EG Jobbágy, RB Jackson, GA Sznajder. 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in san-

- dy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Res.* 113: 138–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.016>
- Nosetto MD, R Paez, SI Ballesteros, EG Jobbág. 2015. Higher water-table levels and flooding risk under grain vs. livestock production systems in the subhumid plains of the Pampas. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 206: 60-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.009>
- Pachas NA, H Max Shelton, CJ Lambrides, SA Dalzell, DC Macfarlane, GJ Murtagh. 2016. Uso de agua, actividad radicular y drenaje profundo en una pastura leguminosa-gramínea perenne: Un estudio de caso en el sur de Queensland, Australia. *Forrajes Trop.* 4: 129-138. DOI: 10.17138/TGFT (4)129-138.
- Popolizio E. 2004. Geomorfología del Macrosistema Iberá. Revista Nordeste. 2^a época, N° 22. Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes (Argentina). 155 p.
- Taboada MA. 2009. Alteraciones de la fertilidad causadas por el hidromorfismo edáfico. En *Alteraciones de la fertilidad de los suelos: El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones*, 1^a ed., Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 160 p.
- Taboada MA, RS Lavado. 2009. Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, (Argentina). 163 p.
- Varela, MF. 2016. Descomposición de residuos, dinámica del fósforo y evolución de variables físicas de suelo en la secuencia soja / cultivos de cobertura en el Oeste de la Región Pampeana. Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias. 142 p.

Recibido: 03.12.2023

Aceptado: 17.03.2025

