

Respuesta a la infiltración en distintos complejos suelo-vegetación en las sierras de Ventania, Argentina

Infiltration rate in different soil-vegetation complexes in the hilly lands of Ventania, Argentina

Delgado María Isabel^{1,2}, J. Gaspari Fernanda¹, E. Senisterra Gabriela¹

Resumen

La infiltración de un suelo es un importante indicador respecto de la eficiencia de los procesos de irrigación y drenaje, permitiendo optimizar el rendimiento de los cultivos. El objetivo de este trabajo fue establecer la infiltración del suelo bajo distintos usos del mismo. El estudio se centró en la cuenca del arroyo Belisario, en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires; la infiltración se midió utilizando un infiltrómetro de anillo simple. Junto a la escasa cobertura del suelo, tuvo un papel fundamental la compactación que presenta el suelo. Durante el ensayo el agua tardó más en infiltrarse en los sectores con Pastizal Degradado, favoreciéndose el escurrimiento superficial y potenciando sus posibles efectos adversos. El Pastizal natural en buenas condiciones presentó un efecto superador en cuanto a su capacidad de infiltración, secundada por la Cobertura forestal y luego por el Cultivo conservacionista.

Palabras Clave: ensayos a campo, infiltrómetro de anillo simple, uso del suelo, paisaje serrano

Abstract

Soil infiltration is an important indicator regarding efficiency of irrigation and drainage process, allowing to optimize crop yield. The aim of this work was to establish soil infiltration for different land uses. Study was carried out in the watershed of Belisario Creek, in the SouthWest of the Buenos Aires Province; infiltration was measured using a single ring infiltrometer. Scarce vegetation and soil compaction had an important role concerning infiltration. During the assay water infiltration was retarded in the Degraded grassland, with the consequent increment in runoff and its negative effects. Natural grassland in good conditions showed superior effect concerning infiltration capacity, followed by Forest and Crops with conservation measures.

Keywords: field assays, single ring infiltrometer, land use, hilly landscape

1. Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, UNLP Diag. 113 N° 469 Tercer Piso, La Plata, CP 1900. Argentina

2. CONICET

Recibido / Received: Febrero 25 del 2017 Aprobado / Aproved: Marzo 25 del 2017

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica Terminada

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: UNLP

Autor para comunicaciones / Author communications: isabeldelgado@agro.unlp.edu.ar

Las autoras declaran que no tienen conflicto de interés.

Introducción

La interpretación de los procesos hidrológicos que ocurren en la superficie terrestre, así como sus respuestas a los cambios climáticos y transformaciones en el uso del suelo, han sido objeto de investigación desde hace más de cien años. La transformación dependiente de las condiciones climáticas y las características físicas establece una condición hídrica particular en cada unidad hidrológica [1].

El tipo de vegetación y uso del suelo en una cuenca modifican la cantidad de agua involucrada en la evaporación desde el suelo y la transpiración de los árboles, consecuentemente en la disponibilidad de agua edáfica y las posibilidades de infiltración / permeabilidad y escurrimiento superficial. Mintegui Aguirre, y López Unzú [2] sostienen que al aumentar la permeabilidad del suelo se incrementa la infiltración y disminuye la lámina escurrida.

La vegetación aumenta la capacidad de infiltración de los suelos, retardando el flujo en superficie, dando de este modo tiempo adicional al agua para penetrar al suelo [3]. Las raíces disminuyen la disgregación del suelo, dependiendo la profundidad edáfica de tal efecto del tipo de suelo y de la naturaleza de la vegetación. La infiltración y el escurrimiento dependen de las condiciones de la superficie del suelo, del contenido de agua y de su conductividad hidráulica [4].

La medición del agua infiltrada en el suelo es un importante indicador en cuanto a la eficiencia de los procesos de irrigación y drenaje, permitiendo optimizar la disponibilidad de agua para las plantas y mejorando el rendimiento de los cultivos [5]. A su vez, se considera que la capacidad de infiltración de los suelos es un componente clave del ciclo hidrológico, que puede aportar elementos al conocimiento sobre el posible control de las tasas de escurrimiento así como de la erosión del suelo [6].

La capacidad de infiltración, conocida también como infiltrabilidad del suelo, es el flujo de agua que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a presión atmosférica [7]. La velocidad de infiltración del agua en un suelo no saturado es máxima inicialmente y luego decrece a medida que el mismo se humedece, hasta alcanzar un valor constante llamado infiltración básica (I_b). Esta

última coincide con la conductividad hidráulica a saturación del horizonte menos permeable del suelo [8]. La determinación in situ de las propiedades hidráulicas del suelo se reconoce actualmente como un requerimiento fundamental de los modelos de simulación que describen los procesos de infiltración y escurrimiento, basados en variables físicas [9].

El objetivo del presente trabajo fue establecer la tasa de infiltración del suelo bajo distintos complejos suelo-vegetación, en una cuenca serrana del Sistema de Ventania, en el sudoeste bonaerense (Argentina).

Materiales y métodos

Área de estudio

La cuenca del arroyo Belisario, ubicada en el sector serrano de Ventania (provincia de Buenos Aires, Argentina) fue el sitio elegido para este estudio, con una superficie de 2.596 ha (Figura 1) [10]. El ambiente de Ventania está conformado por un conjunto de cadenas montañosas, con orientación noroeste a sudeste [11], con diferencias altitudinales, de pendientes, exposición y sustratos, cuyo efecto modificador actúa sobre el clima local [12].

En la cuenca se emplaza la localidad turística de Villa Ventana, fundada en 1947, la cual presenta un marcado proceso de expansión demográfica, por actividad turística.

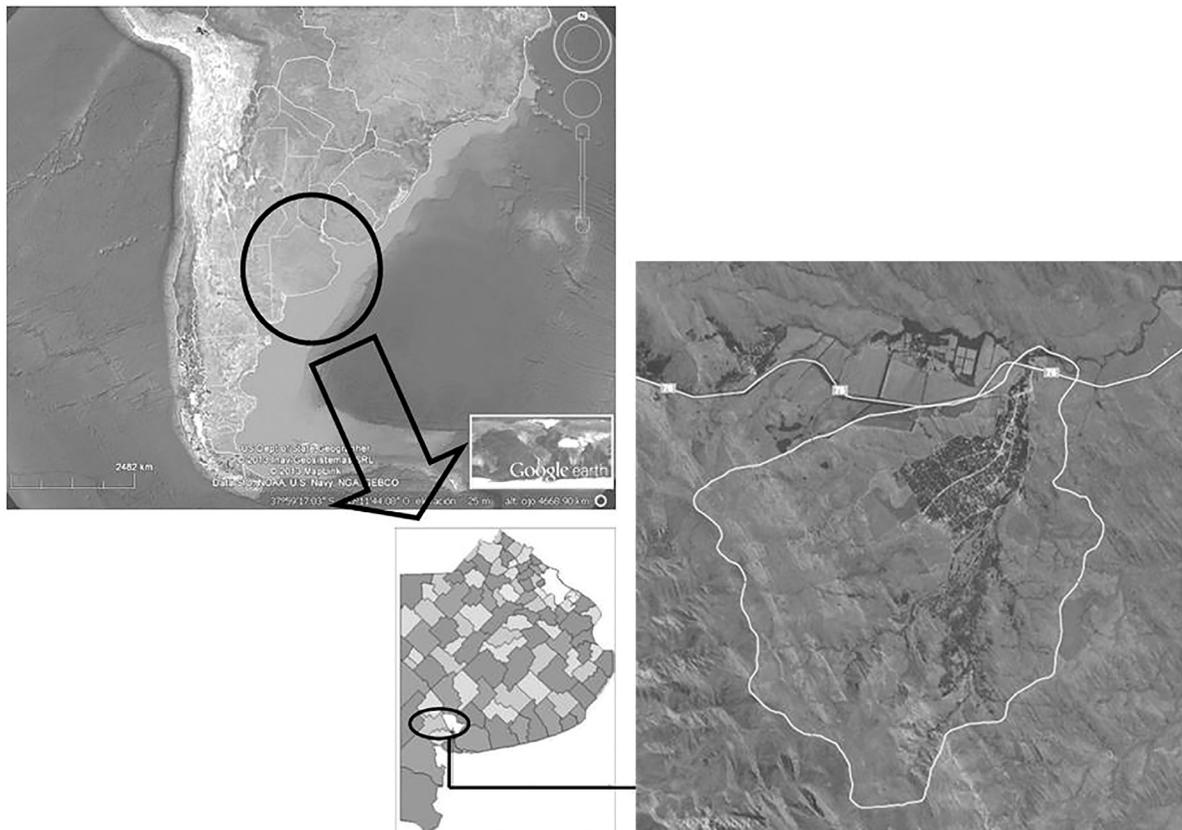
La cuenca es tributaria del Río Sauce Grande, el cual provee agua potable a la ciudad de Bahía Blanca, a través del Dique Paso de Las Piedras.

Los suelos de la cuenca del arroyo Belisario se han desarrollado sobre un material originario representado en su integridad por rocas sedimentarias correspondientes a dos grupos geológicos del Devónico Inferior denominados Providencia y Lolén [13]. La cubierta sedimentaria moderna tiene un espesor variable de hasta 30 m [14], mientras que la escasa profundidad del suelo pone en evidencia el alto riesgo potencial que podrían acarrear las actividades humanas en la zona [15]. Los suelos dominantes en la cuenca alta son Hapludoles líticos que ocupan principalmente las laderas en pendientes abruptas, por encima de las cuales aparecen rocas aflorantes despro-

vistas de suelo. Sólo en lugares donde la capa de loess, material original, alcanzó un espesor suficiente, se encuentran Hapludoles típicos. La escasa profundidad y presencia de fragmentos de roca y tosca, asociadas a

las fuertes pendientes, son las principales limitaciones de esta unidad. En la cuenca media y baja los suelos dominantes son Hapludoles típicos, con la aparición de Hapludoles líticos en las pendientes más fuertes [13].

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona en estudio. Cuenca del Arroyo Belisario



Fuente: El autor.

Caracterización de sitios edáfico-vegetal

Se identificaron sitios representativos en la cuenca para la realización de los ensayos de infiltración según la interacción de las diferentes condiciones edáficas que coincidieron con las diversas coberturas vegetales, que se denominaron complejos suelo-vegetación (CSV).

En cada CSV se realizó un análisis edáfico de composición textural y de contenido de materia orgánica, para definir los parámetros físicos y variables particulares,

como ser: punto de marchitez permanente (a 1500 kPa), capacidad de campo (33 kPa), saturación (0 kPa), agua disponible, conductividad hidráulica saturada, densidad aparente, potencial mátrico y conductividad hidráulica.

Además, se aplicó el modelo Soil Water Characteristics (SWC, Versión 6.02.74) generado por Saxton y Rawls Este programa informático gráfico se utiliza para estimar las características hidrológicas de retención y transmisión de agua de una capa de perfil de suelo agrícola. Estima las relaciones entre el contenido de agua en el suelo, la tensión y la conductividad y los contenidos de agua estándar asociados [16].

Ensayos de infiltración a campo

La infiltración a campo se midió utilizando un infiltrómetro de anillo simple (Figura 2), cuya dimensión es de 21 cm de diámetro y 12 cm de alto, con un frasco alimentador de Mariotte (graduado en mm), que deja una carga de agua constante de 10 mm sobre el nivel del suelo [8]. El anillo se clavó en el suelo hasta una profundidad de 6 cm. De acuerdo con [17], el tiempo de medición a utilizar dependerá de la humedad, textura y estructura del suelo, así como de los objetivos del estudio en cuestión. Como mencionan Walsh y Mc Donnell [18] las tasas de infiltración registradas utilizando un infiltrómetro de anillo simple no difieren significativamente de aquellos registrados con un infiltrómetro de anillo doble, a su vez estos autores enfatizan que las diferencias no son significativas entre ensayos de 15 y 120 minutos de extensión.

Figura 2. Infiltrómetro de anillo simple.



Fuente: El autor.

Se efectuaron seis repeticiones por cada CSV, con una distribución al azar y un distanciamiento mínimo de 5 metros. El flujo de infiltración fue monitoreado hasta alcanzar un estado semiconstante durante 60 minutos.

La infiltración se cuantificó en función de una tasa que representa la velocidad con la que el agua penetra el suelo. La infiltración acumulada se consideró como menciona [19] que es la profundidad acumulada de agua infiltrada dentro de un período dado. Se aplicó el ajuste de Horton [20], el cual deriva del supuesto que la capacidad de reducción de la infiltración durante la lluvia es directamente proporcional a la tasa de infiltración y es aplicable sólo cuando la intensidad de lluvia efectiva es mayor que la infiltración base. El ajuste de Horton (Ecuación 1), expresa que la velocidad de infiltración del agua en un suelo no saturado hasta alcanzar un valor constante denominado infiltración básica, que es coincidente con la conductividad hidráulica a saturación del horizonte menos permeable del suelo [8]. Para su determinación se utilizó la planilla de cálculo ideada por Eiza [21], la cual integra la ecuación de Horton a los registros de las determinaciones a campo con el infiltrómetro de anillo simple.

$$I_{\text{tiempo}} = I_b + (I_i - I_b)e^{(-kt)}$$

Ecuación 1. Tasa de infiltración según Horton.

Donde: I_{tiempo} : Tasa de infiltración en función del tiempo; I_b : Valor de equilibrio de infiltración; I_i : Valor de infiltración al tiempo $t=0$; k : Factor de caída de la infiltración; t : tiempo.

La ecuación de Horton es una metodología ampliamente utilizada por diversos autores. Aoki y Sereno [22] mencionan que es la ecuación que mejor simula las modificaciones de porosidad y estructura superficial que se van produciendo durante el proceso de infiltración.

Resultados y Discusión

Caracterización edáfico-vegetal

Los CSV definidos se corresponden al Grupo Lolén con suelos Hapludoles líticos, sobre areniscas finas y grauvacas gruesas; con perfiles poco desarrollados (AC); y

en Hapludoles típicos sobre areniscas y loess (depósitos cuaternarios), muy profundos, con perfiles bien desarrollados (ABC) y a veces con estratos sepultados; y a tres tipos de uso del suelo, representados por Cultivo agrícola, Pastizal y Cobertura forestal.

Los Suelos Hapludoles líticos cubren parte del sector serrano, su máxima extensión se distribuye sobre el sector de las lomadas del Grupo Lolén. Son suelos jóvenes, que van desde los litoles hasta 50 cm de profundidad. El relieve a partir de la zona de contacto hasta el pie de las laderas es excesivo, siendo casi normal al cierre de la cuenca. Las pendientes son variables, entrecortadas y de gran longitud, con valores que van del 5% al 45%. Por las mismas características fisiográficas, el escurrimiento y la clase de drenaje son muy variables. La pedregosidad disminuye a medida que se aproximan las lomadas. Al igual que en los suelos anteriores se hallaron fragmentos gruesos en los horizontes, con la diferencia que estos poseen un mayor estado de meteorización.

Los Suelos Hapludoles típicos se ubican en las lomadas, desarrolladas sobre el pie del sector serrano, junto con áreas pequeñas formadas a partir de deposición de materiales durante las sucesivas avenidas, como así también por los desprendimientos de las laderas con pendientes suaves. El relieve es normal en la mayor parte, aunque aparecen algunas zanjas de erosión (cárcavas) como consecuencia del uso irracional de las tierras. Las pendientes presentan gradientes que van del 1 al 5%. El escurrimiento superficial se considera de lento a medio,

con una clase de drenaje moderada. La pedregosidad es casi nula, siendo mayor al pie de las sierras. No existen afloramientos rocosos.

Los usos del suelo considerados para la realización de los ensayos de infiltración fueron:

1. Cultivo agrícola con prácticas conservacionistas (Avena spp en curvas de nivel)
2. Cobertura forestal (Pinus spp.)

La cobertura vegetal del *Pastizal* se encuentra representada por diversas especies del género *Stipa ssp* asociadas a un piso de leguminosas conformado por *Trifolium sp.* y *Medicago sp.*, junto a Brusquillas (*Discaria sp.*) y Flor morada (*Echium plantagineum*). Para los ensayos de infiltración se consideraron tres situaciones:

3. Pastizal natural con buena cobertura
4. Pastizal degradado en lomadas
5. Pastizal degradado en sierras

En general, los suelos forestados son más maduros, con perfiles de gran desarrollo y horizontes genéticos bien definidos. La presencia de cultivos se asocia a suelos aluvionales rudimentarios, muy profundos y con estratos no siempre vinculados genéticamente.

Los datos analíticos de los distintos complejos edáfico-vegetales sobre los que se aplicó el SWC se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros edáficos de los sitios de muestreo.

Tipo de cobertura	Hapludoles sobre lolem				
	Típico			Lítico	
	Cultivo	Forestal	Pastizal	Pastizal degradado en lomadas	Pastizal degradado en sierra
Parámetros	Valores				
Espesor del Horizonte (cm)	0-82	0-180	0-55	0-44	0-20
pH	6,5	5,4	6,2	8,4	5,7
Materia Orgánica (%)	5,24	22,4	8,7	10,21	7,6
Nitrógeno orgánico	0,15	0,37	0,22	0,34	0,32

Tipo de cobertura	Hapludoles sobre lolem				
	Típico			Lítico	
	Cultivo	Forestal	Pastizal	Pastizal degradado en lomadas	Pastizal degradado en sierra
Parámetros	Valores				
Relación C/N	21/1	36/1	23/1	17/1	13/1
Textura (%)	Franco arenos	Franco	Franco arenos	Franco arenos	Franco arenos
Arena (%)	58,9	47,2	53,2	59,56	61,8
Limo (%)	29	39,7	36,7	31	29
Arcilla (%)	12,1	13,1	10,1	9,44	9,2
Salinidad (ds/m)	0,15	0,24	0,45	0,26	0,11
Compactación	Normal	Normal	Normal	Normal	Densa
Punto de marchitez (%v)	13,9	14	12,7	12,5	12,5
Capacidad de campo (%v)	28,4	31,2	29	26,7	25,9
Saturación (%v)	60,4	62,4	62,6	61,6	57,6
Agua disponible (cm/cm)	0,14	0,17	0,16	0,14	0,13
Conductividad hidráulica saturada (mm/hr)	78,54	74,79	94,02	101,31	76,83
Densidad aparente (g/m ³)	1,05	1	0,99	1,02	1,12
Potencial Mátrico (kPa)	886	982	642	542	520
Conductividad hidráulica (mm/hr)	5,85E-07	1,72E-06	2,94E-06	1,83E-06	1,43E-06

Fuente: El autor.

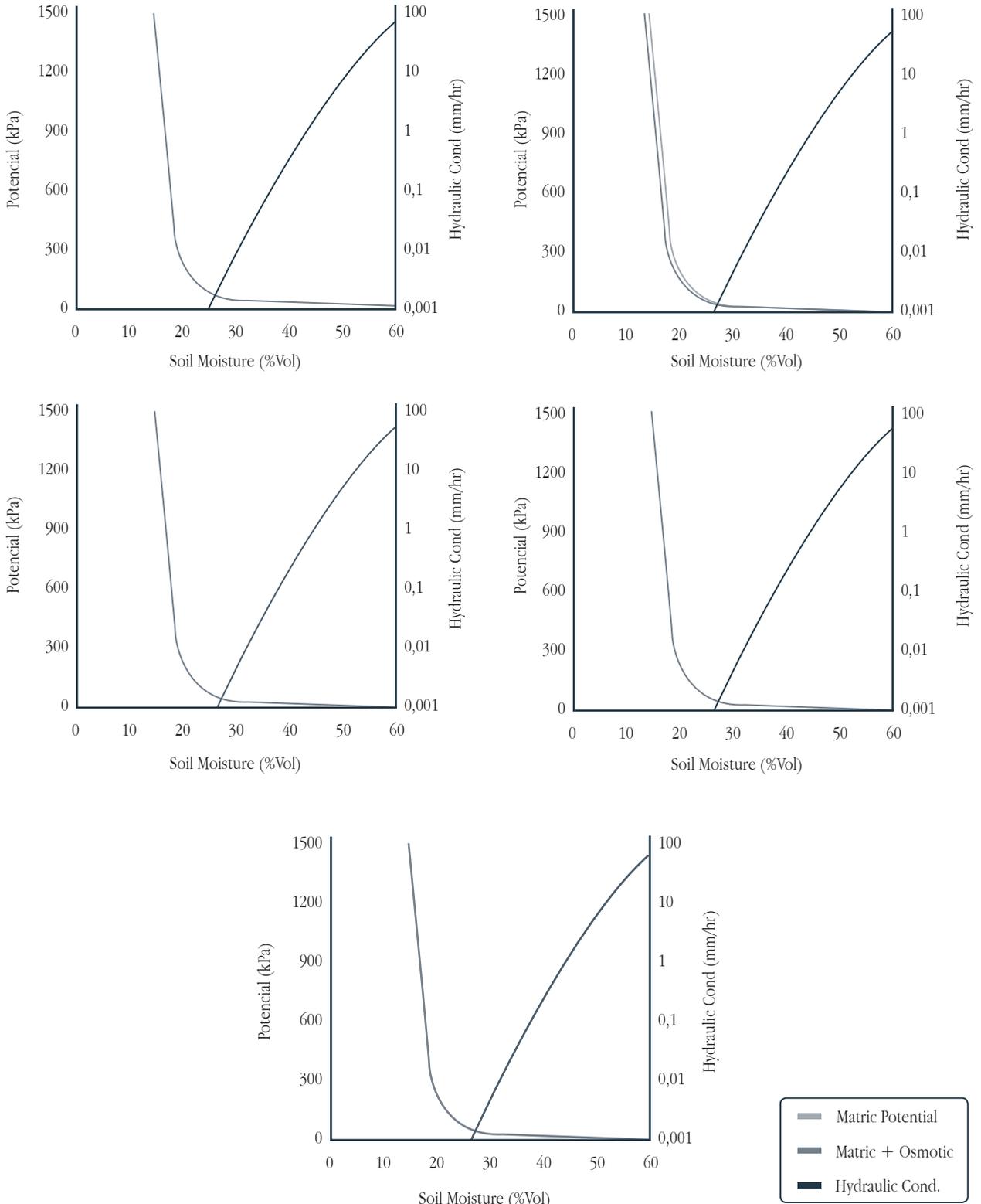
El Pastizal degradado en lomadas sobre Hapludol lítico se torna marcadamente alcalino mientras que para el resto de los sitios los valores de pH son levemente ácidos.

Otra diferencia marcada se percibe para el porcentaje de Materia orgánica, el cual toma valores de 22,4% para la Cobertura forestal sobre Hapludol típico (con el valor mínimo de pH de 5,4), mientras que el resto de los sitios presentan valores entre 5,24% hasta 10,21% según CSV; y siendo el caso del sitio con cobertura forestal donde la textura es Franca, y con Franca-arenosa en el resto.

Si bien existen dos sitios caracterizados como Pastizal degradado, sólo en el caso del Pastizal degradado en sierra, es donde la compactación es densa, mientras que en el resto de los sitios se caracteriza como normal.

En la Figura 3 se presentan las curvas de potencial mátrico y conductividad hidráulica que se derivan de la textura y contenido de materia orgánica, para un estado hídrico del suelo dentro del rango entre el punto de marchitez permanente a saturación en los sitios de muestreo.

Figura 3. Potencial mátrico y conductividad hidráulica: a) Hapludol típico en áreas de cultivo agrícola; b) Hapludol típico en área forestal; c) Hapludol típico con pastizal; d) Hapludol lítico en Pastizal en lomadas y e) Hapludol lítico en Pastizal en sierras.



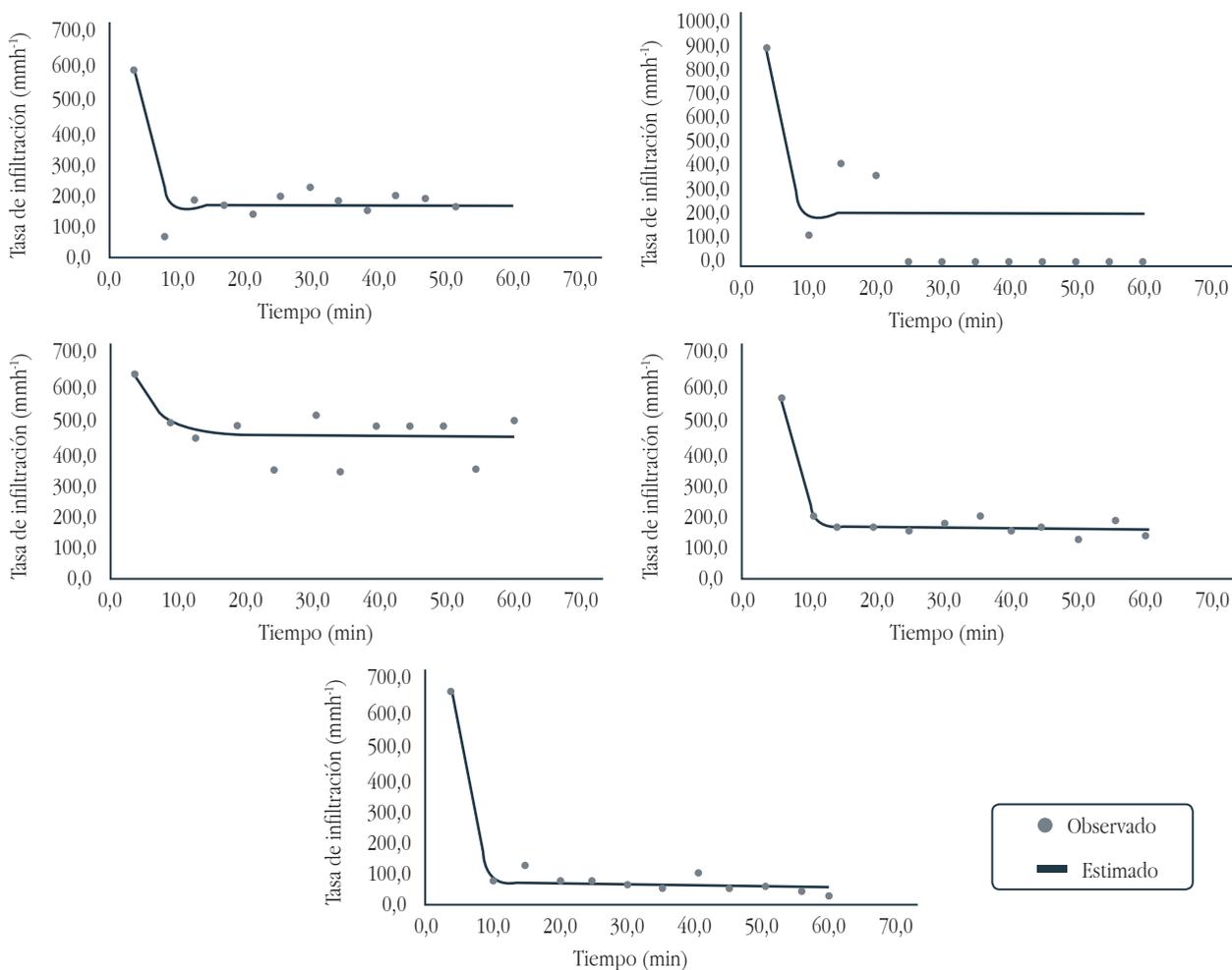
Ensayos de infiltración a campo

Con los resultados de los ensayos a campo se determinaron las tasas de infiltración de cada complejo suelo-vegetación. En la Figura 4 se expone la respuesta de la ecuación de Horton para los complejos suelo-vegetación analizados. Por su parte, en el Pastizal degradado en sierras sobre Hapludol lítico presenta los registros

mínimos de infiltración en comparación con los otros usos del suelo, lo cual se basa principalmente en el alto grado de compactación, como fuera previamente expuesto en la Tabla 1.

La degradación de este tipo de cobertura, tanto en situaciones de lomadas como de sierra, tiende a un mayor escurrimiento con un potencial riesgo de pérdida de suelo superficial.

Figura 4. Tasa de infiltración. a) Hapludol típico en áreas de cultivo agrícola; b) Hapludol típico en área forestal; c) Hapludol típico con pastizal; d) Hapludol lítico en Pastizal en lomadas y e) Hapludol lítico en Pastizal en sierras.

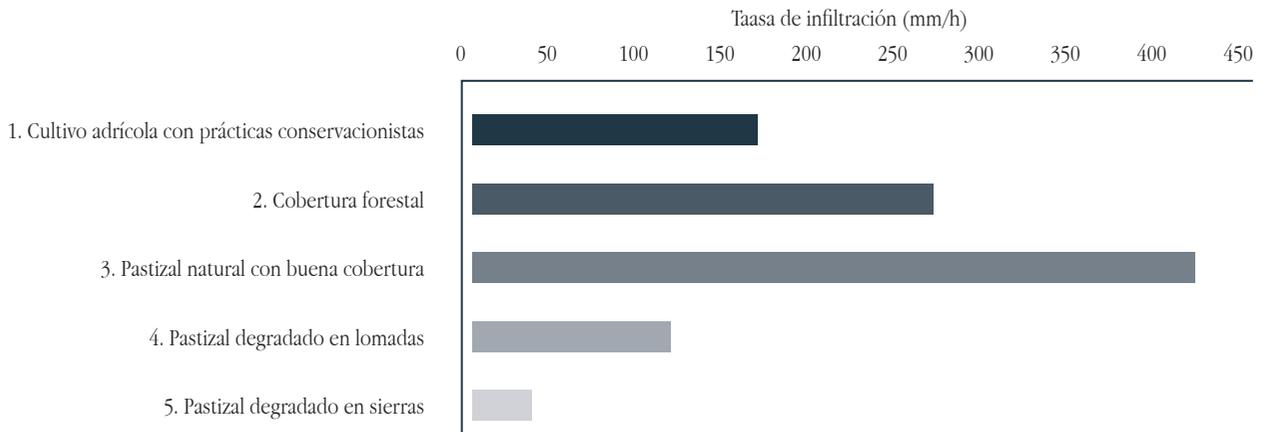


En cuanto a los dos usos del suelo que abarcan coberturas vegetales de carácter no autóctono (Cobertura forestal y Cultivo agrícola), el análisis de los resultados demuestra que el cultivo con medidas conservacionistas presenta buena tasa de infiltración debido a las prácticas agrícolas de manejo del suelo implementadas. La Cobertura forestal muestra una muy buena tasa de infiltración

y la favorable agregación de las partículas de suelo por acción del mantillo (Figura 5).

Ensayos realizados por [24 y 25] mencionan que la tasa de infiltración inicial puede variar debido a la acción de clavar el anillo en el suelo alterando el área de infiltración durante el comienzo del ensayo, sobre todo en los suelos menos estables.

Figura 5. Tasa de infiltración en los distintos complejos suelo-vegetación.



Conclusiones

A partir del análisis de los resultados obtenidos en los ensayos a campo se observó una respuesta diferencial en los complejos suelo-vegetación y se concluye que frente a un evento pluvial el agua tardará mucho más en infiltrarse en los complejos con presencia de Pastizal degradado, favoreciéndose de este modo el escurrimiento superficial y sus posibles efectos adversos, siendo mínima la tasa de infiltración en la zona de serranía; por su parte, en la zona de lomadas fue muy similar a la respuesta del Cultivo agrícola. El sector con Pastizal con buena cobertura presentó un efecto superador en cuanto a su capacidad de infiltración, secundada en primer lugar por la Cobertura forestal y luego por el Cultivo agrícola. La presencia de mejoras conservacionistas en este último representa una estrategia efectiva de manejo del recurso suelo-agua-vegetación.

Se recomienda que los resultados alcanzados en este trabajo sean considerados en el planteo de un futuro ordenamiento territorial en la cuenca del Arroyo Belisario, ya que ha permitido demostrar las diferentes respuestas hidrológicas por ambiente.

Referencias

- [1] Delgado, M.I. y F.J. Gaspari. (2010). Caracterización morfométrica geoespacial de una cuenca hidrográfica. Estudio de caso: Cuenca del Arroyo Belisario, Argentina. *Tecnociencia Chihuahua*, 4 (3): 154-163.
- [2] Mintegui Aguirre, J. A. y F. López Unzú. (1990). La ordenación agrohidrológica en la planificación. I parte. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. 172 pp.
- [3] Linsley, R.; Kohler, M. y J. Paulhus. (1993). Hidrología para ingenieros. Segunda edición. Editorial McGraw-Hill. 386 pp.
- [4] Villar Mir, J. y F. Ferrer Alegre. (2005). Agua y Agroonomía. Capítulo I Técnicas de medida y control del agua en el suelo. Mundi-Prensa. España. p 23-86.
- [5] Selim, T. (2011). The effect of land use on soil infiltration rate in a heavy clay soil in Egipto. *VATTEN*, 67:161-166.
- [6] Burguet, M.; Di Prima, S.; Prosdocimi, M.; Taguas, E. y A. Cerdà. (2016). Minidisk against ring infiltrometer measurements to assess the saturated hydraulic conductivity in Mediterranean vineyards (*Vitis vinifera* L.) under Tillage and No-Tillage management. *Geophysical Research Abstracts*, 18EGU: 5625.
- [7] Ruiz Estevez, F.; Venialgo, C.A.; Gutierrez, N.C; Ingarano, O. y M.C. Briend. (2004). Infiltración de agua en el suelo con diferentes usos en el Departamento 9 de Julio (Chaco). *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas - Universidad Nacional del Nordeste*. A-070.
- [8] Michelena, R; Irurtia, C.; Eiza, M.; Carfagno, P. y T. Pirolo. (2010). Manual de Procedimientos de

- Análisis Físicos de Suelos. Realizado en el marco del PROYECTO AEGA 224012. INTA Castelar. 10 pp.
- [9] Latorre, B.; Peña, C.; Lassabatere, L.; Angulo-Jaramillo, R. y D. Moret-Fernández. (2015) Estimate of soil hydraulic properties from disc infiltrometer three-dimensional infiltration curve. Numerical analysis and field application. *Journal of Hydrology*, 527: 1-12.
- [10] Delgado, M.I. (2010). Modelización de la pérdida de suelo en sierras del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, Tomo 42. N°2: 1-14.
- [11] Harrington, H. I. (1972). Sierras Australes de Buenos Aires. Academia Nacional de Ciencias. Geología Regional Andina. Córdoba. Argentina. P. 394-405.
- [12] Frangi, J. y Bottino, O. (1995). "Comunidades vegetales de Sierra de la Ventana, Pcia. de Buenos Aires, Argentina". *Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata*, Tomo 71 (1): 93-133.
- [13] Hauri, B.A. y F.J. Gaspari. (2012). Erosión hídrica superficial asociada al uso del suelo. *Fundamentos, Conceptos y Métodos con aplicación en cuencas hidrográficas*. Ed. Académica Española. 168 p. Saarbrücken. Alemania. ISBN 978-3-659-01924-1.
- [14] Giusso, M; Ainchil, J. y E. Kruse. (1995). Estudio de factibilidad para el abastecimiento de agua potable a Villa Ventana. Partido de Tornquist. Provincia de Buenos Aires. Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP.
- [15] Delgado, M.I.; Gaspari, F.J. y E. Kruse. (2015). Land use and sediment yield on a hilly watershed in Central-East Argentina. *Soil and Water Research*, 10 (3): 189–197.
- [16] Saxton y Rawls (2009). Soil Water Characteristics. Hydraulic properties calculator. Washington State University. Disponible: <https://hrsl.ba.ars.usda.gov/soilwater/Index.htm>
- [17] Alvarez, C.; Andriani, J.; Eiza, M.; Fernandez, R.; Gil, R.; Michelena, R. y H. Sánchez. (2012). Metodología de muestreo de suelo. Protocolo básico común: agua del suelo. En Santos, D.; Wilson M. y M. Ostinelli (Editores) Metodología de muestreo de suelo y ensayos a campo: protocolos básicos comunes. Ediciones INTA. 70 pp.
- [18] Walsh, E. and K.P. Mc Donnell. (2012). The influence of measurement methodology on soil infiltration rate. *International Journal of Soil Science*, 7 (4): 168-176.
- [19] Chow, V.T.; Maidment, D. y L. Mays. (1994). *Hidrología Aplicada*. Editorial Mc Graw Hill. Colombia.
- [20] Horton R.E. 1938. The interpretation and application of runoff experiments with reference to soil erosion. *Proceedings of the Soil Science Society of America* 3: 340–349.
- [21] Eiza, M. (2012). *Calcula IN.FI*. Instituto de Suelos, Centro de Investigaciones de Recursos Naturales, INTA Castelar.
- [22] Aoki, A.M. y Sereno R. (2006). Evaluación de la infiltración como indicador de calidad de suelo mediante un microsimulador de lluvias. *AGRISCIENCIA*. XXIII (1): 23-31.
- [23] Nave M.; Pedrani, A.; Vich, A.; Mariani, A. (1994) Ajuste del modelo de Horton mediante datos de infiltración obtenidos en el piedemonte mendocino. *Multequina*, 3, 133-140
- [24] Bagarello V.; Iovino M. y Lai Jian-Bin. (2013). Field and Numerical Tests of the Two-Ponding Depth Procedure for Analysis of Single-Ring Pressure Infiltrometer Data. *Pedosphere* 23(6): 779–789.
- [25] Bagarello V.; Baiamonte G.; Castellini M.; Di Prima S. y M. Iovino. (2014). A comparison between the single ring pressure infiltrometer and simplified falling head techniques
- [26] *Hydrological Processes*, 28: 4843–4853.

Agradecimientos

Se agradece la contribución de 6 infiltrómetros para los ensayos a campo otorgados por el Instituto de Suelos de Castelar, dependiente del Instituto Nacional de Tecnología

Agropecuaria (INTA). Se agradece a su vez a los Proyectos de Investigación de la UNLP, dependientes del Programa de Incentivos a los Docentes – Investigadores, Ministerio de Educación, Argentina: “Pago por Servicios Ambientales para el Ordena-

miento Territorial en Cuencas Hidrográficas con fenómenos de degradación ambiental por erosión hídrica superficial” (11/A181) y “Estudio de los servicios hidrológico-ambientales para aportar a la sustentabilidad de la Región Serrana Bonaerense” (11/A286).

Las Autoras



Maria Isabel Delgado

Ingeniera Forestal y Doctora en Ingeniería. Se desempeña como docente en el curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas (FCAyF-UNLP) desde el año 2006, y como investigadora asistente de CONICET desde el año 2016.

Ha realizado diversas publicaciones en revistas científicas internacionales y presentaciones en eventos de la especialidad.



Fernanda Julia Gaspari

Ingeniera Forestal y Magister en Conservación y Gestión del Medio Natural. Doctora en Ingeniería Hidráulica. Es Profesora del Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas (FCAyF-UNLP), codirectora del CEIDE (Centro de Estudios Integrales de Dinámica Exógena) y Directora de la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Sus publicaciones superan los 11 libros, 8 capítulos de libro, 45 artículos en revistas y 102 trabajos en congresos.



Gabriela Elba Senisterra

Ingeniera Forestal y Magister en Manejo Integral de Cuencas (UNLP, Argentina). Es docente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP) desde el año 1983, desarrollando tareas en los cursos de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Mejoramiento Genético Forestal. Ha publicado 5 libros, 29 artículos científicos y 55 publicaciones en congresos y simposios de la especialidad.

