

Trabajo final de carrera para acceder al grado de Ingeniero Agrónomo

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO FÍSICO-HÍDRICO DEL SUELO EN SISTEMAS GANADEROS DEL PARTIDO DE PATAGONES



Alumno: Hernández Héctor Javier.

Contacto: hector94hernandez@gmail.com

Director: Lic. Luna Martín Alejandro.

Contacto: mluna@unrn.edu.ar

Sede Atlántica - Universidad Nacional de Río Negro

AÑO 2025

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, María Collueque y Héctor Ángel Hernández, y a mi hermano Darío Hernández, por ser mi sostén incondicional. Gracias por cada gesto, cada palabra, cada silencio oportuno. Por acompañarme, alentarme y confiar en mí. Este logro también es de ustedes.

A mi director de TFC, Martín Luna y su familia, por abrirme las puertas, por su tiempo, su paciencia, y por compartir conmigo no solo sus conocimientos, sino también su calidez humana. Gracias por enseñarme que ser profesional es también tener compromiso, empatía y dedicación.

A quienes compartieron jornadas de campo, mates, charlas y trabajo colectivo: Martín, Perla, Nico y Guillermo. Gracias por ser parte de un equipo

A mis amigos, quienes compartieron techo, comidas y anécdotas en la convivencia: Gabriel, Sebastián y Damián. A los tíos del corazón: Marcela, Claudio y Cata, por el cariño, el apoyo y la contención que siempre estuvieron. A los amigos que me dio la universidad, Matías R., Chepo, Repu, Chino, Leo, Geri, Diego V. Oscarsito, Romi R., entre otros. A mis amigos del pueblo, que siempre estuvieron brindando su aliento y motivación (La chele), tíos/as y primas/as que siempre mandaron sus mensajitos para saber cómo andaba.

Al grupo de productores ganaderos “Monte Profundo” de Patagones, por confiar en mí. Por abrirme las tranqueras, por el respeto, por dejarme aprender en el camino. Este trabajo también les pertenece. Agradezco de corazón a: Miguel Silva, Pedro Pérez y Norita, Graciela Echenique, Antonio Magagna, Hipólito Carmody y flia, Carlos Guerrero, Ignacio Valdez, Maria Ale Imperiale, Miguel Higuera, Ricardo Giménez, Edgardo y Julián Goldaracena, Roberto Solano y flia, Maxi Silva, Mauro Paramidani, Germán Balbarrey, Andrés Grand, y Guillermo González.

Gracias por ser parte de esta etapa que va mucho más allá de un título: una etapa de crecimiento, de vínculos y aprendizajes que me acompañarán siempre.

INDICE GENERAL

PORTADA.....	1
AGRADECIMIENTOS	2
INDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	4
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	7
HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	8
OBJETIVOS	9
<i>Objetivo general</i>	9
<i>Objetivos específicos</i>	9
MARCO TEÓRICO.....	9
MATERIALES Y METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	10
<i>Área de estudio</i>	10
<i>Selección de los sitios de estudio</i>	12
<i>Trabajo de campo</i>	13
<i>Análisis en suelos</i>	16
Muestras compuestas	16
Muestras sin disturbar	16
<i>Análisis de datos</i>	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
<i>Descripción de los sistemas productivos. Entrevistas y descripción de campo</i>	17
<i>Propiedades físicas y químicas de los suelos</i>	20
<i>Variación física-hídrica en profundidad</i>	21
<i>Impacto del uso y manejo ganadero sobre el suelo y el agua</i>	24
CONSIDERACIONES FINALES.....	28
BIBLIOGRAFÍA	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Usos y manejos en las EAPs de estudio.....	17
Tabla 2 . Propiedades del suelo: medias y desvío estándar (DE) por uso y manejo.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	11
Figura 2. Ambientes estudiados: a) Monte arbustivo-graminoso, b) Pastizal natural, c) Pastura perenne (<i>Thinopyrum ponticum</i>) y d) Verdeos invernales.	13
Figura 3. Recorrida y registro de la condición actual del campo.	13
Figura 4. Muestras de suelo: a) Muestra compuesta y b) Muestra sin disturbar.	14
Figura 5. Registro de: a) Penetrometría y b) Infiltración del agua.	15
Figura 6. Determinación de la composición granulométrica en suelo.	16
Figura 7. Resistencia mecánica a la penetración del suelo RP (MPa).	22
Figura 8. Densidad aparente Dap (Mg m ⁻³)	23
Figura 9. Tasa de infiltración instantánea (mm h ⁻¹): Monte arbustivo-graminoso, Pastizal natural, Pastura perenne (<i>Thinopyrum ponticum</i>) y Verdeos invernales.....	24

RESUMEN

Los cambios en el uso del suelo en regiones áridas y semiáridas provocan modificaciones importantes en la estructura y funcionamiento de los agroecosistemas, con impactos directos sobre las propiedades edáficas. La expansión de la frontera agropecuaria y la conversión de la vegetación nativa en sistemas ganaderos mixtos, más intensivos, sin criterios de manejo conservacionista, han provocado procesos de degradación física como la erosión, la densificación, pérdida de macroporosidad, reducción de la infiltración y disminución del contenido de materia orgánica (MO), afectando la eficiencia en el uso del agua y la productividad forrajera. En el presente estudio se comparan indicadores físicos-hídricos del suelo considerando factores edáficos y de manejo en sistemas ganaderos del Partido de Patagones. Se trabajó bajo la hipótesis de que los sistemas ganaderos que mantienen cobertura vegetal permanente evitan la degradación física de los suelos y permiten un mejor aprovechamiento del agua, mientras que prácticas con remoción total de la cobertura vegetal exponen los suelos a condiciones climáticas degradantes de la región. El área de estudio se ubica en la ecorregión del Monte, de clima subtemplado seco, precipitaciones anuales de 350 mm concentradas en otoño y primavera, y suelos Arenosos Francos y Franco Arenosos, con escasa diferenciación de horizontes, bajo contenido de MO y alta susceptibilidad a la erosión. El estudio incluyó cuatro tipos de manejos ganaderos: Monte arbustivo-graminoso (MAG), Pastizal natural (PN), Pastura perenne implantada (PP) y Verdeos invernales (VI). En cada sitio se determinó: Composición granulométrica (arena "A", limo "L" y arcilla "a"), Resistencia mecánica a la penetración (RP), Densidad aparente (Dap), Humedad gravimétrica (HG) y volumétrica (HV), Infiltración básica (IB) y contenido de MO, además se obtuvo el índice de condición estructural (IMO) que relaciona el contenido de MO con L+a. Los resultados evidenciaron que los sistemas con cobertura vegetal permanente (MAG, PN y PP) favorecen la conservación de la MO y la estabilidad estructural del suelo, aunque presentan limitaciones físicas en profundidad. El PN registró el mayor contenido de MO (2,2 %), pero también la mayor RP a 20 cm (> 7 MPa), lo que sugiere una adaptación de las especies nativas a suelos densificados. El MAG presentó condiciones físicas restrictivas desde los 5 cm de profundidad, con valores de RP y Dap cercanos a umbrales críticos. Las PP, implantadas sobre suelos degradados,

presentaron valores intermedios de MO (1,3 %) y un IMO de 5,6 cercano al umbral de degradación. Los VI, con laboreo anual, mostraron la menor RP (< 2,5 MPa) y la mayor infiltración (IB=79 mm h⁻¹), aunque durante el período sin cobertura vegetal lo expone a procesos erosivos. Del estudio se concluye que ningún manejo resulta adecuado en todos los indicadores físico-hídricos del suelo evaluados. La sustentabilidad de los agroecosistemas en estos ambientes frágiles dependerá de la capacidad de integrar prácticas de manejo que mejoren la estructura del suelo y optimicen la captación y uso del agua, recurso clave y limitado. En este sentido, se recomienda profundizar el estudio de los efectos de rotación, descansos adecuados, raleo del monte y manejo adaptativo de la carga animal en consideración con los resultados de los cuatro tipos de manejo estudiados, con el fin de sostener la funcionalidad físico-hídrica del suelo. Este trabajo aporta evidencia para orientar decisiones hacia sistemas de uso más eficientes, resilientes y sostenibles, que permitan preservar la productividad y la salud del suelo en el mediano y largo plazo.

INTRODUCCIÓN

Los cambios en el uso de la tierra producen importantes modificaciones en la estructura y funcionamiento de los agroecosistemas, provocando la degradación de los suelos en los ambientes áridos, semiáridos y subhúmedos (Gaitán *et al.*, 2009; Ravelo *et al.*, 2011). La degradación física de los suelos por los manejos productivos intensivos, conlleva a que se pierda la capacidad reguladora de varios procesos que alteran el funcionamiento de los agroecosistemas, como la capacidad del suelo para retener, captar, almacenar y eficientizar el uso del agua (Quiroga *et al.*, 2005). Además de incidir sobre la dinámica hídrica, también afecta el desarrollo de las raíces y reduce los contenidos de MO que estarían causando cambios a nivel de macroporosidad (Quiroga *et al.*, 2005; Quiroga *et al.*, 2016).

En la Región Patagónica el avance de la frontera agrícola se verifica en el Partido de Patagones (SO de la provincia de Buenos Aires), donde el desmonte superó las 432000 ha entre 1975 y 2009, manteniéndose con cobertura del monte xerofítico el 31 % de la superficie (Pezzola *et al.*, 2012). Con la llegada del ferrocarril en 1909 se generaron núcleos poblacionales en toda su línea, las tierras fiscales eran entregadas por el entonces Instituto Colonizador Provincial para el desmonte y destinarla a la agricultura, con el propósito de lograr el avance de la frontera agrícola. También, trajo aparejado el aumento de la ganadería; ésta no pastoreaba libremente, sino que sus movimientos estaban limitados por el alambrado y los molinos de viento (Pezzola *et al.*, 2012). En el Partido de Patagones las principales actividades productivas están referenciadas con el sector primario, más del 70 % a la ganadería, un 24 % a la agricultura y el resto incluye: tierra apta no utilizada, inapta y espacios sin especificar. Dentro del sector agrícola de secano el trigo (*Triticum aestivium*) fue siempre el cultivo predominante, seguido por otros cereales de invierno como avena (*Avena sativa*) y centeno (*Secale cereale*), en su mayoría con destino a ganadería (Gabella, 2014). Éste avance sobre la vegetación nativa con cultivos anuales, que se utilizan para cosecha de granos, como el trigo (*Triticum aestivium*) y posterior pastoreo del rastrojo, o el pastoreo directo de verdes invernales, mantiene los suelos durante un lapso de tiempo sin cobertura vegetal, con el consiguiente riesgo de degradación (Pezzola *et al.*, 2012). La situación productiva actual del Partido de Patagones determina que hubo una mala utilización del suelo debido a múltiples factores, entre estos: excesivo uso

de maquinaria agrícola, falta de rotación de cultivos, desconocimiento de la vulnerabilidad del ambiente a procesos degradativos, escasa cobertura y mínimo aporte de residuos de cosecha (González *et al.*, 2019).

En los agroecosistemas de los ambientes áridos-semiáridos, donde la escasez de precipitaciones condiciona la productividad y sustentabilidad de los sistemas productivos, la eficiencia en la captación, distribución y almacenaje del agua es fundamental (Ravelo *et al.*, 2011). López *et al.* (2018) mencionan que la aplicación de tecnologías degradantes, prácticas agrícolas incorrectas, intensificación de cultivos anuales, elevada mecanización, sobrepastoreo, deforestación descontrolada, planificación del desarrollo en el corto plazo, pérdida de biodiversidad y de fertilidad, sin recaudos de conservación, desencadenan procesos de desertificación, cambios en los perfiles edáficos, degradación y pérdida de estructura, entre otras consecuencias, lo que repercute en el funcionamiento y calidad de los suelos.

El registro de indicadores físico-hídricos del suelo, tales como, RP, Dap, IB y el contenido de MO determinan la capacidad del suelo para captar, almacenar y distribuir el agua. Su análisis permite identificar limitaciones vinculadas a procesos de densificación, pérdida de macroporosidad o disminución de la infiltración, que afectan directamente la productividad forrajera y la sustentabilidad del sistema (Fernández *et al.*, 2016; Quiroga *et al.*, 2016 y Krüger *et al.*, 2018). Por ello, la evaluación integral de estos indicadores constituye una herramienta clave para orientar estrategias de manejo que optimicen el uso del recurso hídrico y contribuyan a la sostenibilidad de los agroecosistemas en contextos de alta fragilidad ambiental.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Los sistemas ganaderos del Partido de Patagones que manejan cobertura vegetal permanente evitan la degradación física de los suelos y permiten un mejor aprovechamiento del agua, por el contrario, prácticas de laboreos con remoción total de la cobertura vegetal exponen los suelos a las condiciones climáticas degradantes que caracterizan a la región.

OBJETIVOS

Objetivo general

Comparar indicadores físicos-hídricos del suelo considerando factores edáficos y de manejo en sistemas ganaderos del Partido de Patagones.

Objetivos específicos

- Caracterizar el uso y manejo de los sistemas ganaderos.
- Determinar indicadores físicos y químicos en muestras de suelos tomadas de 0 a 20 cm de profundidad.
- Realizar mediciones a campo de indicadores físico-hídricos del suelo.
- Establecer relaciones entre los indicadores para determinar aquellos de mayor influencia y sensibilidad sobre la condición físico-hídrica de los suelos.

MARCO TEÓRICO

Los desmontes realizados con el fin de expandir el territorio que será utilizado para la actividad agropecuaria conllevan al reemplazo de las especies nativas del ecosistema por otras que son de carácter exótico (implantadas con fines alimentarios y productivos) (Feller *et al.*, 2015). En el Partido de Patagones (SO de la Provincia de Buenos Aires) entre los años 1975 y 2009 el desmonte superó las 432000 ha (Pezzola *et al.*, 2012). Durante el siglo XX en esta región las lógicas de producción fueron netamente agrícolas representando un claro ejemplo de un área marginal extrapampeana con indicios de degradación ambiental (Gabella, 2014). La situación productiva actual determina que hubo una mala utilización del suelo debido a prácticas de uso y manejo agropecuario inadecuadas. Entre estos se puede mencionar: excesivo uso de maquinaria agrícola, falta de rotación de cultivos, bajo aporte de residuos, ineficiente planificación del aprovechamiento del forraje, entre otras (González *et al.*, 2019), poniendo en riesgo la sustentabilidad del agroecosistema.

Los suelos con poca cobertura vegetal son propensos a la pérdida de estructura, desprendimiento de partículas, sellado de la superficie, formación de costras y compactación (López *et al.*, 2018). Por tal motivo, en los últimos años se han venido implementando prácticas de manejo con la introducción de pasturas perennes, con el objeto de evitar la degradación de los suelos y mejorar la oferta forrajera. En este

sentido, a través de un proyecto de Adaptación al Cambio Climático, financiado por el Banco Mundial (2015), se incentivó la implantación de pasturas perennes como Agropiro (*Thinopyrum ponticum*) y Vicia (*Vicia villosa*) con el fin de generar cobertura vegetal, detener la voladura de suelos y favorecer la recuperación de especies nativas para mejorar el manejo sostenible de la producción ganadera en el Partido de Patagones (Comunicación personal, Ing. Agr. Germán Balbarrey - Área de sistema en la UNRN y Área de desarrollo de la EEA Valle Inferior).

El sistema poroso del suelo impacta directamente sobre el balance de agua (entradas y salidas del sistema), en el funcionamiento hídrico (relaciones agua-planta), en la entrada y difusión de gases y de calor, y en el desarrollo y crecimiento de las raíces (Quiroga y Bono, 2012), condicionando la productividad de los ambientes áridos y semiáridos. Para mejorar la condición física del suelo, y de esta manera hacer más eficiente el uso del agua, existen prácticas como: rotación de cultivos, utilización de especies perennes, incremento en la incorporación de residuos y medios mecánicos de corrección a la compactación como la utilización del cincel o paratril (López *et al.*, 2018; González *et al.*, 2019).

En sistemas donde el balance hídrico se ve condicionado por la degradación física de los suelos, es necesario restablecer, al menos parcialmente, el funcionamiento físico-hídrico, para mejorar la captación, almacenaje, distribución y posterior aprovechamiento del agua. Esto se podría lograr a partir de la implementación de prácticas de manejo acorde al sistema productivo realizado; como por ejemplo el manejo racional del pastoreo, la utilización de fajas de protección, la ejecución de sistemas silvopastoriles y/o la rotación de agricultura con ganadería (Fernández *et al.*, 2016; Quiroga *et al.*, 2016).

MATERIALES Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

Área de estudio

El área de estudio se inserta en la provincia fitogeográfica del Monte (Cabrera, 1976) en el SO de la Provincia de Buenos Aires, Partido de Patagones (40° 47' S - 62° 58' O, Figura 1).

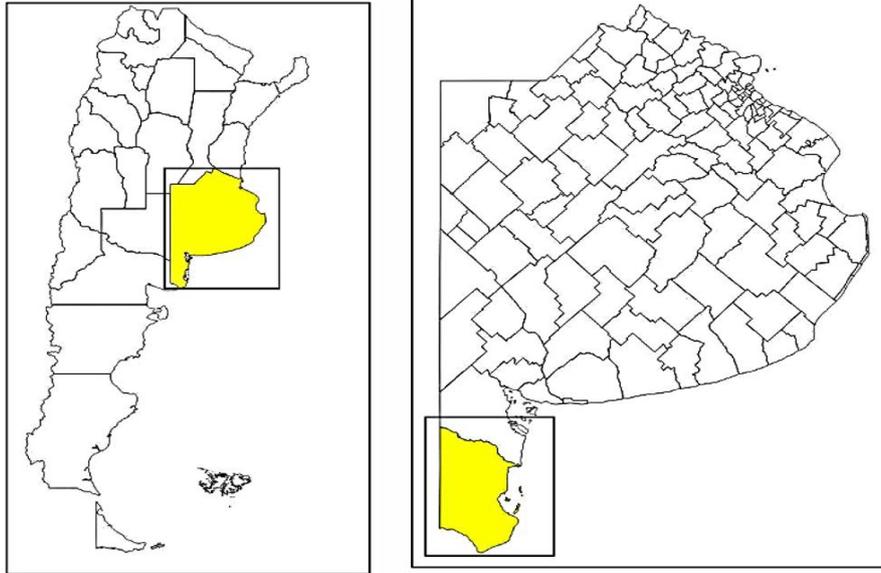


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

El clima es subtemplado seco de transición, ventoso, especialmente en primavera y verano; con veranos cálidos e inviernos moderados, sin ningún exceso estacional de agua. La temperatura media es de 15 °C y las precipitaciones alcanzan 350 mm, presentando una alta variabilidad interanual, con mayor concentración en otoño (40,0 %) y primavera (20,0 %).

Fisonómicamente los ambientes se caracterizan por la presencia de un matorral más o menos denso con arbustos entre los cuales se desarrolla una estepa herbácea escasa. La comunidad clímax está constituida por la asociación de *Larrea divaricata* "jarilla", *Geoffroea decorticans* "chañar", *Condalia microphylla* "piquillín", *Neltuma alpataco* "alpataco", *Chuquiraga erinacea* "chilladora", entre otras. Y el componente herbáceo, *Bromus brevis* "cebadilla pampeana", *Nassella tenuissima* "flechilla fina", *Stipa ambigua* "paja vizcachera", *Medicago minima* "trébol carretilla", *Erodium cicutarium*, "alfilerillo" y *Braccharis ulicina* "yerba de la oveja" (Pezzola y Winschel, 2004).

El desarrollo de los suelos y la diferenciación de horizontes son escasos. En general, son de textura Arenosa a Arenoso Franco, poco profundos, muy sueltos, susceptibles a la erosión eólica y a la compactación, con un pH de 7 a 8 y niveles de MO próximos al 1,0 %, los cuales rara vez superan un 2,0 % (Pezzola y Winschel, 2004; Gabella, 2014). Existe gran cantidad de calcáreo acumulado en todo el perfil producto de las mínimas precipitaciones (González *et al.*, 2022).

La ganadería, y en menor medida la agricultura en secano, son las actividades económicas más importantes generadoras de renta en la región (Pezzola y Winschel, 2004), donde el manejo de prácticas conservacionistas es poco frecuente, generando impactos negativos en los sistemas productivos.

Selección de los sitios de estudio

Por asesoramiento de técnicos de la Agencia de Extensión Rural INTA Carmen de Patagones se identificaron establecimientos agropecuarios (EAPs) con pastoreo ganadero en los últimos 10 años, incluyendo sistemas en:

1- Monte arbustivo-graminoso (MAG): compuesto por *Condalia microphylla* (Piquillín), *Geoffroea decorticans* (Chañar), *Neltuma alpataco* (Alpataco), *Larrea divaricata* (Jarilla), *Chuquiraga erinacea* (chilladora), *Monttea aphylla* (Matasebo o mata de sebo), *Lycium chilense* (Yaoyín o yauyín), y algunas especies herbáceas en común con el Pastizal natural (Figura 2 a).

2- Pastizal natural (PN): conformado por especies herbáceas tales como: *Nassella longiglumis* (Flechilla grande), *Nassella tenuissima* (flechilla fina), *Stipa papposa* (Flechilla mansa), *Stipa ambigua* (Paja vizcachera), *Stipa speciosa* (Coirón duro), *Poa ligularis* (Coirón poa), *Pappophorum vaginatus* (Pappophorum), *Lolium multiflorum* (Raigrás anual), y *Medicago minima* (trébol de carretilla) (Figura 2 b).

3- Pastura perenne (PP): conformado exclusivamente por la especie *Thinopyrum ponticum* (Agropiro alargado) (Figura 2 c).

4- Verdeos invernales (VI): tales como *Avena sativa* (Avena), *Hordeum vulgare* (Cebada), *Secale cereale* (Centeno) y/o *Triticale* (Triticale) (Figura 2 d).



Figura 2. Ambientes estudiados: a) Monte arbustivo-graminoso, b) Pastizal natural, c) Pastura perenne (*Thinopyrum ponticum*) y d) Verdeos invernales.

Trabajo de campo

Definidos los establecimientos, se realizó una visita a cada campo para tener una entrevista con el/la productor/a, y obtener información sobre el uso y manejo productivo actual y pasado. Además, se recorrió el lugar para observar la condición actual de los lotes (uso y manejo, cobertura de suelo, tipo de vegetación, entre otros), (Figura 3).



Figura 3. Recorrida y registro de la condición actual del campo.

A continuación, en cada uso y manejo, se asignaron tres puntos de caracterización y muestreo de suelos, mediante una distribución sistemática a lo largo de una transecta con intervalos fijos de 100 m lineales entre ellos (Matteucci y Colma, 1982).

En cada punto se tomaron dos tipos de muestras: una muestra compuesta por cinco submuestras tomadas con pala de 0 a 20 cm de profundidad (Figura 4 a), y una muestra sin disturbar con cilindros de acero inoxidable de volumen conocido (98,2 cm³) a cuatro profundidades: 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 y 15 a 20 cm (Figura 4 b). Las muestras fueron llevadas al laboratorio y acondicionadas para su posterior análisis.



Figura 4. Muestras de suelo: a) Muestra compuesta y b) Muestra sin disturbar.

Para determinar la resistencia mecánica del suelo a la penetración (RP) en cada punto se registró, en cinco espacios diferentes, el número de golpes ejecutados a intervalos regulares de 5 cm hasta alcanzar los 20 cm de profundidad, con un penetrómetro de impacto de punta cónica (Figura 5 a). Los valores de RP fueron calculados a partir de la expresión propuesta por Krüger *et al.* (2018):

$$RP \text{ (MPa)} = (K * h * 0,099) / (Z * S)$$

$$K = p12 / (p1 + p2)$$

Siendo:

K = constante instrumental (kg)

p1 = peso del pilón (kg) y p2 = peso del instrumento completo (kg)

h = altura de caída (cm)

0,099 = coeficiente de conversión de kg cm⁻² a megapascales (MPa)

Z = distancia que el penetrómetro avanza en cada golpe (cm)

S = área basal del cono (cm^2)

e = espesor (cm)

Para obtener la infiltración básica (IB) del agua al suelo se utilizó el infiltrómetro - permeámetro de disco (Figura 5 b) (Gil, 2002), con registros de tiempo y lámina infiltrada en tres puntos diferentes para el mismo uso y manejo. Las lecturas se realizaron hasta que no se registraron variaciones de la lámina de agua que ingresó al suelo en intervalos de tiempo iguales.

La velocidad de infiltración o infiltración instantánea (li) en un momento determinado es la relación entre la ln y tn , es decir:

$$li = \{(Ln - Ln^{-1}) * Sr / Sd\} / (tn - tn^{-1})$$

Donde:

Ln y Ln^{-1} = lectura y su inmediata anterior en los tiempos tn y tn^{-1} respectivamente.

Sr = superficie interna del reservorio de agua ($Sr = 22,90 \text{ cm}^2$)

Sd = superficie del disco ($Sd = 123 \text{ cm}^2$)

La etapa final de la tasa de infiltración instantánea, donde no se registran cambios en la lámina en función del tiempo, es la IB.

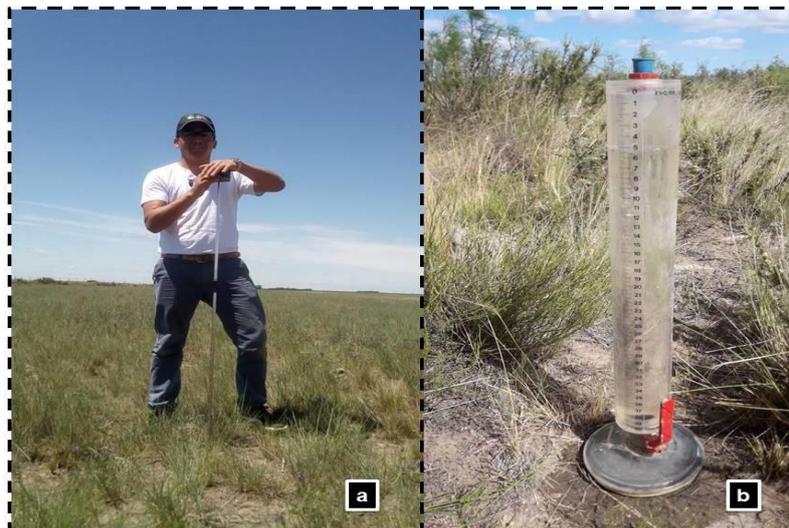


Figura 5. Registro de: a) Penetrometría y b) Infiltración del agua.

Análisis en suelos

Muestras compuestas

Estas muestras se secaron al aire y luego fueron tamizadas por malla de 2 y 0,5 mm. Posteriormente, se determinó: composición granulométrica por el método del hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962) (Figura 6) para cuantificar la proporción de arena (A), limo (L) y arcilla (a); y carbono orgánico oxidable (CO) por mezcla oxidante fuerte, a microescala (IRAM-SAGyP 29571-2), para estimar el contenido de MO (Walkley & Black, 1934).

Con los datos de MO (%) y de L+a (%), se calculó el índice de materia orgánica (IMO) propuesto por Quiroga *et al.* (2006), a partir de la siguiente expresión:

$$\text{IMO} = \text{MO} / (\text{L}+\text{a}) * 100 \%$$



Figura 6. Determinación de la composición granulométrica en suelo.

Muestras sin disturbar

El suelo contenido dentro de los cilindros fue secado en estufa a 105 °C hasta alcanzar un peso constante y determinar: humedad gravimétrica (HG), volumétrica (HV) y densidad aparente (Dap) siguiendo la metodología propuesta por Blake & Hartge (1986) para las cuatro profundidades muestreadas.

$$\text{Dap} = \text{pss} / \text{vol}$$

Dónde:

Dap = Densidad aparente

pss = peso suelo seco de la muestra (g)

vol = volumen del cilindro (cm³)

Análisis de datos

En una tabla se presentan características de uso, manejo y superficie de cada EAP incluida en el estudio. Los valores de los indicadores físico-hídricos del suelo se compararon mediante análisis de la varianza y test LSD de Fisher (5 %) siendo el uso y manejo la variable de clasificación. Por último, se presentan las curvas de velocidad de infiltración del agua al suelo para cada uso y manejo en una figura comparativa. Los datos fueron procesados con el uso del software estadístico Infostat versión 2019 (Di Rienzo *et al.*, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de los sistemas productivos. Entrevistas y descripción de campo

El estudio estuvo constituido por 14 EAPs con uso ganadero, incluyendo a un grupo de productores pertenecientes al programa Cambio Rural, llamado “Monte Profundo” y otros productores del Partido de Patagones, donde el pastoreo ganadero rotativo fue un factor común de manejo (Tabla 1).

Tabla 1. Usos y manejos en las EAPs de estudio.

EAP	USOS Y MANEJOS		
	Uso	Manejo	Superficie (ha)
San Pedro	Bovinos	MAG, PP y VI	2492
Hipólito B	Ovinos	MAG, PP y VI	2200
Rancho Alegre	Bovinos	MAG, PP y VI	2502
El Tata	Bovinos y ovinos	MAG, PP y VI	2500
Chacra experimental de Patagones MDA	Bovinos y ovinos	MAG, PP y VI	1200
Don Pablo	Bovinos	MAG, PN, PP y VI	980
El Chalo	Bovinos y ovinos	PN	350
La Mascota	Bovinos	PP y VI	2500

Los Tres Hermanos	Bovinos	VI	550
Monte Redondo	Bovinos	MAG, PP y VI	2500
Santa Rosa	Bovinos	PN PP y VI	980
Lomas Blancas	Bovinos y ovinos	MAG, PP y PN	12500
Don Scheffeld	Bovinos	PN	2500
La Cancha	Bovinos	MAG, PN, PP y VI	670

MAG: Monte arbustivo-graminoso, PN: Pastizal natural, PP: Pastura perenne y VI: Verdeos invernales.

De las entrevistas realizadas, y de la información de campo colectada, se reportó que la superficie de los EAP va de 350 a 12500 ha, siendo en su mayoría de 2500 ha, la cantidad de aguadas entre 3 y 5, y el nivel de apotreramiento de 5 a 12 cuadros por campo.

Los sistemas ganaderos de la región se sustentan principalmente a base del forraje producido en el MAG y en los PN. En estos ambientes, predominan especies nativas de crecimiento otoño-invierno-primaveral que cubren la mayor parte del suelo en forma permanente reduciendo efectos erosivos sobre el recurso. La productividad forrajera depende en gran medida de la cantidad y distribución de las precipitaciones durante el año, lo que implica el monitoreo frecuente de la cantidad de pasto para ajustar las cargas ganaderas. Además, el monitoreo permite identificar pérdidas de productividad forrajera por avance de la arbustización y aparición o colonización de especies nativas y/o exóticas de poca importancia.

Las PP y los VI en algunas EAPs son utilizadas como complementos en la cadena forrajera (pastoreo directo o reserva), y éstos representan entre 1 y 3,5 % para las PP y 4 a 8 % los VI sobre la superficie total. Las PP fueron introducidas con el propósito de generar y mantener cobertura vegetal permanente y detener la erosión de los suelos degradados por el historial de agricultura convencional que lo mantenían desnudo durante largos períodos de tiempo desencadenando degradación eólica e hídrica. Las especies utilizadas fueron el Agropiro (*Thinopyrum ponticum*) y el Pasto llorón (*Eragrostis curvula*); donde Miñón *et al.* (2015) y Vasicek (2018) reportan que el Agropiro (*Thinopyrum ponticum*) fue la especie que más pudo prosperar y adaptarse a las condiciones edafoclimáticas de la región. Otros de los beneficios que se les contribuyen a las PP es ampliar la superficie con disponibilidad de forraje, incrementar la eficiencia en el uso del agua de lluvia, mejorar la calidad y funcionalidad de los

suelos, e inclusive permitir la recolonización de los ambientes con especies forrajeras nativas en las regiones áridas-semiáridas (Silva *et al.* 2015 y González *et al.* 2022). Por otro lado, los VI tales como: Avena (*Avena sativa*), Cebada (*Hordeum vulgare*), Centeno (*Secale cereale*) y/o Triticale (*Triticale*), son introducidos estratégicamente para aportar a la cadena forrajera con el objetivo de utilizarlo en momentos de mayores requerimientos para el ganado. Esto, además permitiría el descanso de los PN y del MAG al facilitar que las forrajeras nativas prosperen, florezcan y aporten semillas al suelo. Miñón *et al.* (2015) y González *et al.* (2019) reportaron que la introducción de un VI implica la eliminación total de la cobertura vegetal previo a la siembra, ya que es necesario el volteo y la roturación completa del suelo (arado y rastra) para lograr una correcta implantación; en consecuencia, estas prácticas exponen los suelos a procesos degradativos por el viento y las lluvias durante un determinado periodo de tiempo. Otros autores como Galantini *et al.* (2006) y Quiroga *et al.* (2016) reportaron que las labranzas modificaron propiedades físicas y químicas del suelo, afectando la estructura, densidad aparente, resistencia a la penetración, distribución de poros y raíces, dinámica del agua, de nutrientes y la aireación del suelo.

Por último, la receptividad ganadera de las EAPs dependió del tipo de uso y las prácticas de manejo aplicadas al sistema productivo. En los sistemas visitados la carga animal promedio fue de 7 Ha/Ev/Año, aunque varió entre 5 y 12 Ha/Ev/Año de acuerdo al manejo que realiza el productor y el nivel de cobertura arbustiva presente. Para niveles de coberturas arbustivas menores al 30 % la carga animal fue de 5 Ha/Ev/Año, entre 30 - 65 % 7 Ha/Ev/Año y con más del 65 % de 9 a 12 Ha/Ev/Año. Zeberio *et al.* (2018) reportaron receptividades similares, de 8 a 12 Ha/Ev/Año, en sistemas ganaderos de monte dominado por especies leñosas al Este de la provincia de Río Negro, Argentina. Anriquez *et al.* (2005) y de Villalobos (2013) atribuyeron que la arbustización es un fenómeno que podría deberse al manejo inadecuado del monte (pastoreo continuo, altas cargas por periodos prolongados, falta de apotreramiento, poca distribución de aguadas, falta de planificación, entre otras).

En este sentido, Anriquez *et al.* (2005) encontraron que altos niveles de cobertura arbustiva redujo la oferta y accesibilidad al forraje herbáceo, e inclusive la transitabilidad de la hacienda y del personal, la visibilidad y el encierro de los animales en el chaco semiárido, Argentina. Por otra parte, estudios realizados por de Villalobos *et al.* (2005a y 2005b), en los pastizales del Sudoeste de la región pampeana,

reportaron que el pastoreo intenso del ganado vacuno favoreció el establecimiento y el crecimiento temprano de las plántulas de *Prosopis caldenia* (Caldén) al debilitar la capacidad competitiva de los pastos perennes.

Propiedades físicas y químicas de los suelos

Los suelos evaluados corresponden al tipo Arenoso Franco. La fracción de L+a estuvo comprendida entre 16,6 y 23,1 %; siendo mayor en los suelos con PP y VI, y menor en el PN ($p < 0,01$) (Tabla 2). En suelos loésicos de la región semiárida pampeana Fernández *et al.* (2016) reportaron que la fracción L+a osciló entre 27,0 – 64,0 % en sistemas agrícolas y 29,0 – 57,0 % en suelos con vegetación natural. Gabella (2014) afirmó que los suelos del Partido de Patagones se formaron a partir de arenas finas y limos transportados por el viento y depositados sobre toscas y rodados líticos o materiales arenosos más antiguos, débilmente consolidado, susceptibles a la erosión eólica.

Tabla 2. Propiedades del suelo: medias y desvío estándar (DE) por uso y manejo.

Variables de suelo	Usos y manejos			
	MAG	PN	PP	VI
Arcilla (%)	7,3 (4,3) a	6,8 (8,0) a	7,7 (3,6) a	6,2 (3,5) a
Limo (%)	12,1 (5,1) b	7,9 (4,6) a	15,4 (4,2) c	15,1 (6,8) bc
Arena (%)	80,6 (4,0) b	85,3 (6,1) c	77,0 (3,6) a	78,7 (8,1) ab
L+a (%)	19,3 (4,0) b	14,6 (6,1) a	23,1 (3,6) c	21,8 (8,1) bc
RP (Mpa)	4,1 (1,2) b	4,6 (0,8) b	3,7 (2,6) b	1,9 (1,5) a
Dap (Mg m ⁻³)	1,32 (0,1) a	1,38 (0,1) ab	1,40 (0,1) b	1,36 (0,1) ab
HG (%)	8,4 (5,9) a	6,8 (3,8) a	11,1 (4,7) b	14,1 (4,5) c
HV (%)	10,5 (5,1) a	8,9 (4,1) a	14,3 (6,4) b	19,0 (6,5) c
MO (%)	1,5 (0,5) a	2,2 (1,2) b	1,3 (0,9) a	1,6 (0,8) a
IMO	7,6 (2,3) ab	16,5 (9,1) c	5,6 (2,3) a	8,4 (4,8) b

L+a: Limo más arcilla, RP: Resistencia mecánica a la penetración, Dap; Densidad aparente, HG: Humedad gravimétrica, HV: Humedad volumétrica, MO: Materia Orgánica, IMO: Índice de condición estructural. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre usos y manejos.

La RP fue menor en los suelos con VI, sin detectar diferencias entre los otros usos y manejos productivos; estuvo por debajo del valor crítico de 2,5 Mpa en suelos con VI y por encima de 3,7 Mpa en los demás manejos. En cambio, la Dap sólo diferenció al MAG de la PP (1,32 Vs. 1,40 Mg m⁻³). En este sentido, Fernández *et al.* (2016) hallaron en suelos de la región semiárida pampeana valores de Dap considerablemente más altos en sistemas agrícolas (1,50 Mg m⁻³) que en aquellos de vegetación nativa (1,10 Mg m⁻³). El contenido de agua fue mayor en los suelos con VI y PP comparados con el MAG y PN ($p < 0,01$) encontrando 5,0 % y 6,9 % más HG y HV respectivamente (Tabla 2).

La MO fue un 33 % mayor en suelos con PN, con un contenido del 2,2 % frente al 1,5 % promedio encontrado en los demás usos y manejos ($p < 0,01$). Estos resultados coincidieron con los reportados por Duval *et al.* (2013) y Fernández *et al.* (2016) quienes hallaron en la región pampeana reducciones del 25,5 y 33 % en el contenido de MO respectivamente al comparar sistemas de PN con agrícola-ganaderos intensificados.

De acuerdo con Quiroga *et al.* (2006) un IMO > 5 es indicativo de una adecuada condición física del suelo, mientras que valores inferiores pueden restringir la productividad forrajera y reducir la eficiencia en el uso del agua. En este sentido, en los suelos con PP el IMO estuvo próximo al valor crítico, siendo 5,6; lo que indica posibles riesgos de degradación física, por el contrario, en los otros sistemas fue superior (PN > VI > MAG) (Tabla 2). En el SE bonaerense, Vanzolini *et al.* (2015) hallaron valores de IMO superiores al umbral crítico en suelos de pastizal y monte, y menores en sistemas ganadero-agrícolas, evidenciando degradación física por uso intensivo. De forma similar, Aschkar (2022) reportó en el NE rionegrino IMO menores a 5,5 en sistemas ganadero-agrícolas y mayores a 12 en monte nativo en buen estado de conservación.

Variación física-hídrica en profundidad

La RP varió en función del manejo del suelo (Figura 7), según el valor crítico de 2,5 MPa propuesto por Quiroga *et al.* (2016) y Krüger *et al.* (2018), en el MAG se presentó restricción física desde los 5 cm de profundidad, mientras que en la PP y el PN estas limitaciones comenzaron a partir de los 10 cm. A partir de los 15 cm, todos los manejos

presentaron condiciones restrictivas para el desarrollo radicular. En particular, a los 20 cm de profundidad, el PN alcanzó un valor máximo de 7,2 MPa, mientras que el resto de los manejos registraron valores promedio de 4,0 MPa. En coincidencia, Ayan *et al.* (2024) reportaron valores de RP superiores a 2,5 MPa en los primeros 0-30 cm en pasturas perennes de *Cenchrus ciliaris* sin laboreo, en la región del Chaco árido, en comparación con suelos intervenidos con rastra y rolo. Por su parte, Krüger *et al.* (2008) señalaron que el pisoteo animal incrementó la RP en la capa 0-20 cm en el SE bonaerense, alcanzando valores máximos de entre 2,5 y 4,0 MPa en los primeros 7,5 cm. Por otra parte, en el PN se observó que a partir de los 7,5 cm la RP podría superar los 2,5 MPa, valor crítico establecido por los autores, esto indicaría que las especies nativas toman la mayoría de los recursos en las capas superficiales del suelo o bien poseen adaptaciones que les permiten desarrollarse con umbrales más elevados de RP.

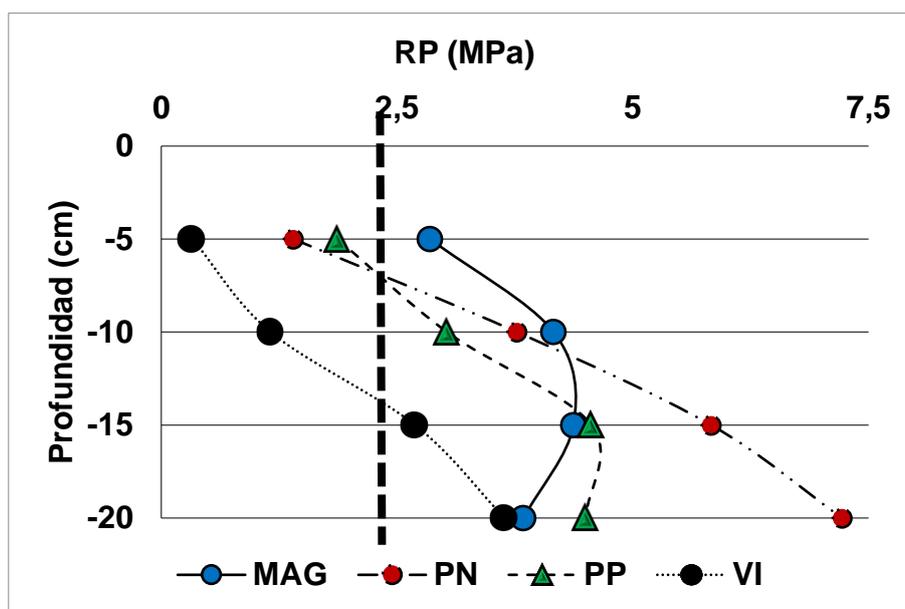


Figura 7. Resistencia mecánica a la penetración del suelo RP (MPa).

La Dap varió entre manejos y profundidades (Figura 8). Los valores máximos se registraron en el MAG, con $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ a los 10 cm de profundidad, en la PP y el VI a los 15 cm, con $1,34$ y $1,36 \text{ Mg m}^{-3}$ respectivamente, y en el PN $1,42 \text{ Mg m}^{-3}$ a los 20 cm. Estos resultados sugieren la presencia de procesos de densificación diferencial en profundidad según el tipo de manejo ganadero, lo que implicaría una pérdida de porosidad que podría restringir la exploración radicular y limitar la disponibilidad y el

movimiento de agua y nutrientes en las capas más profundas. Estudios realizados por Daddow & Warrington (1983) y Fernández *et al.* (2016) en suelos de textura gruesa y media establecieron que densidades superiores a $1,74 \text{ Mg m}^{-3}$ y $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ respectivamente, pueden generar restricciones físicas importantes para el crecimiento de las raíces y la dinámica del agua en el suelo. Si bien en este estudio los valores no superaron dichos umbrales críticos, aproximarse a estos niveles indica procesos de densificación que, de persistir, podrían afectar negativamente la estructura y funcionalidad del suelo.

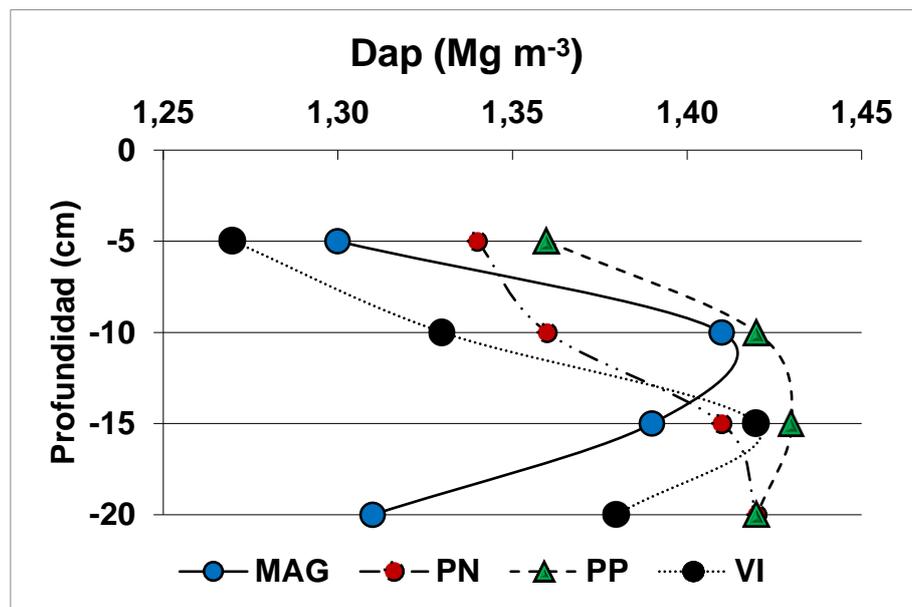


Figura 8. Densidad aparente Dap (Mg m^{-3})

En la Figura 9 se muestran las curvas de velocidad de infiltración para los distintos manejos. En todos los casos, la tasa de infiltración disminuyó rápidamente durante los primeros 10 min. de medición, estabilizando su valor luego de los 15 min. Los suelos con VI tuvieron mayor tasa de infiltración durante todo el período evaluado, alcanzando una IB de 79 mm h^{-1} , lo que evidenció una mayor capacidad del suelo para absorber y conducir agua. Los restantes manejos no mostraron diferencias marcadas entre sí, siendo la IB promedio de 36 mm h^{-1} , siguiendo la tendencia: $\text{PP} > \text{PN} > \text{MAG}$. Estos resultados podrían reflejar diferencias en las condiciones físicas del suelo, particularmente en su porosidad estructural y continuidad de macroporos, asociadas al tipo de manejo. Estudios realizados en suelos Franco Arenosos del Chaco Árido por Ayan *et al.* (2024) encontraron tasas de infiltración de $53,5 \text{ mm h}^{-1}$ en

pasturas de *Pennisetum ciliare* con intervención de rastra o rolo y 11 mm h^{-1} en la pastura sin intervención. Del mismo modo, Velásquez *et al.* (2014) en suelos de textura similar en el México árido, encontraron una IB de $38,8 \text{ mm h}^{-1}$ en pastizales nativos y $50,4 \text{ mm h}^{-1}$ en pasturas de *Pennisetum ciliare*. Estos estudios respaldan la tendencia observada, reafirmando que las prácticas de manejo, uso ganadero, y la intervención sobre el suelo incidieron en su capacidad de infiltración y, por ende, en su funcionamiento hídrico.

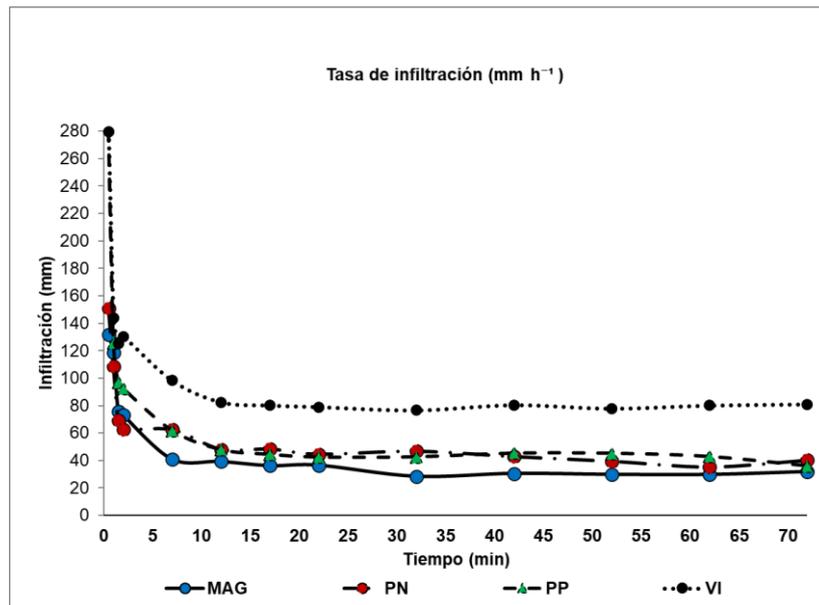


Figura 9. Tasa de infiltración instantánea (mm h^{-1}): Monte arbustivo-graminoso, Pastizal natural, Pastura perenne (*Thinopyrum ponticum*) y Verdeos invernales.

Impacto del uso y manejo ganadero sobre el suelo y el agua

Los resultados del estudio reflejaron la interacción entre el uso de la tierra con ganadería y la variación físico-hídrica del suelo en el Partido de Patagones, donde la principal actividad económica es la cría bovina y ovina, que dependen principalmente de la producción forrajera del MAG y el PN. Sin embargo, la historia de la región está marcada por impactos negativos como el sobrepastoreo y el desmonte para la expansión agrícola, sin criterios de conservación, lo que ha derivado en la degradación del suelo.

Las decisiones de manejo inadecuadas en ecosistemas con ganadería extensiva en la región, relacionadas con la falta de ajuste en la capacidad de carga animal, rotación

y de períodos de descanso apropiados, generan modificaciones en la composición florística-estructural de la vegetación nativa. Entre estos cambios, se destaca el aumento en la cobertura de especies leñosas no deseadas, fenómeno conocido como arbustización (Paruelo *et al.*, 1992; de Villalobos, 2013), que implica una degradación progresiva del recurso forrajero y una pérdida de biodiversidad estructural y funcional. En esta región, la arbustización estaría dominada por el avance de especies como *Condalia microphylla* (Piquillín), *Geoffroea decorticans* (Chañar), *Neltuma alpataco* (Alpataco), *Larrea divaricata* (Jarilla), *Chuquiraga erinacea* (chilladora), *Monttea aphylla* (Matasebo) y *Lycium chilense* (Yaoyín), que vuelven los ambientes menos accesibles para el crecimiento y desarrollo de un estrato herbáceo de mejor calidad forrajera. En este contexto, analizar cómo los distintos manejos (PN, MAG, PP y VI) afectan las propiedades físico-hídricas del suelo es fundamental para desarrollar estrategias más sostenibles.

La RP resultó ser un indicador sensible para detectar la densificación del suelo, este parámetro, evidencia directamente las restricciones que enfrentan las raíces para crecer, y del agua y del aire para moverse en el perfil; los suelos bajo VI presentaron una RP por debajo del umbral crítico de 2,5 MPa y los demás manejos valores superiores a 3,7 MPa indicando condiciones restrictivas. En el MAG las restricciones comenzaron desde los 5 cm, en la PP y el PN a los 10 cm y a partir de los 15 cm las condiciones fueron restrictivas en todos los manejos (Figura 7). El aumento de la RP y la Dap, que mostró procesos de densificación a distintas profundidades en todos los manejos, resultó ser, por lo tanto, un indicador evidente del deterioro de la calidad física del suelo. Tal como señalan Daddow & Warrington (1983), Krüger *et al.* (2008), Fernández *et al.* (2016) y Quiroga *et al.* (2016) la compactación/densificación redujo la macroporosidad, la infiltración y la disponibilidad de agua y nutrientes, lo que incremento la erosión y, en última instancia, condujo a una pérdida de productividad forrajera. El manejo con VI, al requerir la remoción anual del suelo, rompe las capas densificadas, explicando su menor RP. Por el contrario, el tránsito animal en el MAG y en la PP son las causas más probables de esta degradación física.

El contenido de MO es reconocido por varios autores (Galantini y Suñer, 2008; Duval *et al.*, 2013; Fernández *et al.*, 2016 y Quiroga *et al.*, 2016) como el principal indicador de la calidad integral y productividad del suelo ya que mejora la estructura, la aireación, la retención de agua y es fuente de nutrientes. Los resultados de este

estudio mostraron que el PN, presentó un contenido de MO un 33 % mayor (2,2 %) en comparación con el promedio de los demás manejos (1,5 %). Un mayor contenido de MO disminuye la probabilidad de alcanzar niveles críticos de RP y Dap que condicionan el crecimiento de las plantas y la dinámica de los recursos (agua y nutrientes).

El IMO, que relaciona el contenido de MO con la fracción de L+a, es un índice de la condición física estructural del suelo; en este sentido Pieri (1995) y Quiroga *et al.* (2006) afirmaron que si esta relación es inferior a 5 puede restringir la productividad forrajera y la eficiencia en el uso del agua. En este estudio, es llamativo que en los suelos con PP el IMO se ubicara en 5,6 (cercano al umbral crítico), esto podría deberse a que los lotes con PP provienen de años con uso agrícola previo a su implantación, con pérdidas de MO por los laboreos anuales. Esto también plantea la necesidad de reevaluar si el umbral de IMO propuesto es aplicable a suelos Arenosos Franco, con más del 77 % de arena, donde la baja proporción de limo y arcilla puede distorsionar la relación MO/(L+a). Las PP surgieron como alternativa para detener y prevenir la erosión del suelo e incrementar la producción forrajera en estos ambientes (Vasicek, 2018), e inclusive se posiciona como una opción viable de transición hacia el PN y optimizar el funcionamiento del suelo (Arancio *et al.*, 2024; Hernández *et al.*, 2024).

La capacidad del suelo para captar y almacenar el agua de lluvia, en los ecosistemas áridos y semiáridos, es crucial ya que determina la producción de forraje y la incorporación de MO al suelo (Quiroga *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2016; Krüger *et al.*, 2018). Los resultados mostraron que el manejo con VI tuvo mayor tasa de infiltración, alcanzando una IB de 79 mm h⁻¹, que puede atribuirse a la mayor proporción de macroporos generada por los laboreos y el alto contenido de arena en los suelos, como sugirieron Quiroga y Bono (2012). Los demás manejos presentaron una IB promedio de 36 mm h⁻¹ (PP > PN > MAG), producto de la densificación ocasionada por el tránsito de los animales y posible pérdida de macroporosidad. Aunque la PP, PN y el MAG tuvieron menor infiltración; una cobertura vegetal permanente protege al suelo del impacto erosivo y mejora su funcionamiento interno, sin embargo, este beneficio de la cobertura se podría ver comprometida por la densificación subyacente del suelo, por lo tanto, es fundamental el manejo de la carga animal, la rotación y los periodos de descansos. El manejo del PN, que debería

proteger eficientemente al suelo por su diversidad y resiliencia, muestra en este estudio la mayor densificación, lo que limitaría su capacidad de captar y almacenar agua en el perfil, y en consecuencia condicionar la producción de forraje.

Los resultados analizados demostraron que ningún sistema de manejo es el más adecuado en todas las variables. El MAG en términos de densificación e infiltración resultó el más degradado. El VI soluciona el problema de la infiltración a través del laboreo, pero a costa de momentos de ausencia de cobertura vegetal con exposición de los suelos a la degradación por el viento o las lluvias, y una menor acumulación de MO. El PN conserva la MO, pero presenta una mayor densificación que podría limitar la entrada de agua al perfil. Finalmente, la PP propuesta como una alternativa sostenible, mostró una realidad mixta, ya que, si bien mejoró el contenido de agua del suelo (HG y HV) gracias a su cobertura, presentó una densificación que la sitúa al límite de la degradación física (IMO= 5) debido al bajo contenido de MO.

El manejo de estos agroecosistemas debe, por tanto, ser integral. Es necesario adoptar prácticas que disminuyan la densificación de los suelos, mediante alternativas de ajustes en la carga animal, rotación y periodos de descanso adecuados. Conservar los sistemas con PN es prioritario por su rol como fuente de forraje, reserva de biodiversidad, reservorio y conservación del agua de lluvia en el suelo, captura y estabilización de MO, entre otras. En los manejos del MAG es necesario el control de las especies leñosas para aumentar la oferta forrajera, en este sentido, se podrían implementar prácticas de intervención de raleo del monte, tales como el uso de rolo, cadena, quema prescrita o raleo en franjas. Es importante remarcar que, a pesar de ser un inconveniente para la ganadería, es recomendable que en los planteos de mitigación se deje al menos un porcentaje mínimo de la superficie sin intervenir como corredores biológicos, además, las especies leñosas aportan beneficios al sistema como la provisión de sombra y reparo para los animales, leña y de residuos orgánicos al suelo. Estas acciones deben enmarcarse en un Plan de Manejo Sostenible, conforme a lo estipulado en la Ley N° 14.888 de la Provincia de Buenos Aires. Esta ley establece normas complementarias para la conservación y el manejo sostenible de los bosques nativos, aprobando el Ordenamiento Territorial de los mismos bajo los términos de la Ley Nacional N° 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos.

En síntesis, la sustentabilidad de la ganadería en la región dependerá de la capacidad de integrar prácticas que mejoren la estructura del suelo para maximizar la captación, almacenaje, distribución y conservación del agua de lluvia, el recurso más escaso y valioso para estos ambientes.

CONSIDERACIONES FINALES

El estudio realizado permite la confirmación parcial de la hipótesis, de que: *“los sistemas ganaderos del Partido de Patagones que manejan cobertura vegetal permanente evitan la degradación física de los suelos y permiten un mejor aprovechamiento del agua de lluvia, y por el contrario prácticas de laboreos con remoción total de la cobertura vegetal exponen los suelos a las condiciones climáticas degradantes que caracterizan a la región”*. Los resultados evidencian que los sistemas ganaderos con cobertura vegetal permanente (MAG, PN y PP) presentan ciertas restricciones físico-hídricas -como mayor RP, Dap elevada y baja infiltración-, aunque mantienen mejor estructura y mayor contenido de MO. En contraste, los manejos con VI mostraron mejores condiciones físico-hídricas, pero al requerir laboreo anual, eliminan la cobertura vegetal en su totalidad y dejan al suelo vulnerable a procesos de degradación característicos del ambiente árido y semiárido del Partido de Patagones.

El estudio de los indicadores físico-hídricos del suelo entre los distintos manejos evidencia la necesidad de evaluar en forma integral la interacción clima-suelo-prácticas ganaderas, para optimizar la producción forrajera. Los resultados resaltan la importancia de conservar la cobertura vegetal y aplicar estrategias sostenibles -como el pastoreo rotativo, apotreramiento y periodos de descansos adecuados- para mantener la funcionalidad físico-hídrica del suelo. Por ello, es necesario plantear un enfoque holístico que considere no sólo la productividad, sino también la estabilidad y sostenibilidad del suelo en el mediano y largo plazo.

El MAG presentó las condiciones más restrictivas desde el punto de vista físico. La RP superó el umbral crítico ($RP > 2,5$ MPa) a partir de los 5 cm de profundidad, lo que indicaría un deterioro estructural superficial del suelo. Este fenómeno, atribuido a una inadecuada planificación del pastoreo y al tránsito animal, afecta negativamente la porosidad, la infiltración, el almacenamiento y uso del agua, comprometiendo la productividad forrajera. Asimismo, los valores máximos de Dap, cercano al umbral

mínimo crítico ($1,55 - 1,74 \text{ Mg m}^{-3}$), refuerza la presencia de procesos de densificación que podrían limitar el desarrollo radicular.

En el PN los mayores contenidos de MO reflejan un mejor estado de conservación del suelo. Sin embargo, la RP fue elevada a mayor profundidad, con registros superiores a $3,7 \text{ MPa}$ a partir de los 10 cm, lo cual podría limitar el desarrollo radicular profundo. No obstante, es posible que algunas especies nativas presenten adaptaciones particulares que les permite colonizar los suelos con umbrales de RP altos. Al igual que en el MAG, se encontró cierta densificación en profundidad, con Dap cercanos al límite crítico, lo que sugiere la necesidad de monitorear la evolución física del suelo.

Las PP presentaron condiciones intermedias en los indicadores evaluados. Se registró una Dap de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ y un IMO cercano al umbral crítico de 5, lo cual sugiere una condición física aceptable, pero con potencial riesgo de degradación si no se ajustan las prácticas de manejo. Este resultado plantea además la necesidad de revisar el umbral crítico establecido para el IMO, considerando las características texturales particulares de los suelos del Partido de Patagones. No obstante, las PP se posicionan como una estrategia productiva sostenible, con potencial para mejorar la calidad del suelo, ampliar la oferta forrajera y favorecer una transición hacia el PN. Su implementación podría contribuir a la restauración de suelos degradados y a un uso más eficiente del agua en estos ambientes árido-semiáridos.

Por último, en los VI se presentaron mayores tasas de IB atribuida a una mayor proporción de macroporos, debida al alto contenido de arenas en combinación con el laboreo anual. Además, estos sistemas registraron hasta los 10 cm valores de RP menores al umbral crítico. Si bien estas condiciones pueden resultar beneficiosa en el corto plazo; el volteo y roturación completa del suelo necesarios para su implantación eliminan la cobertura vegetal y exponen al suelo a procesos erosivos, comprometiendo su funcionalidad a mediano y largo plazo. Por ello, su uso debe establecerse dentro de un enfoque conservacionista, priorizando la planificación y alternancia con otras prácticas que preserven la integridad del suelo.

En función de lo expuesto, se concluye que el análisis integral de los indicadores físicos del suelo, en relación con las prácticas de uso y manejo, resulta fundamental para orientar estrategias de intervención que permitan compatibilizar los objetivos productivos con la sostenibilidad del suelo. Se considera que este trabajo

brinda información de base relevante para profundizar los estudios regionales sobre el índice de calidad física. Para ello, es necesario incorporar un mayor número de sitios de estudio y considerar la interacción entre variables texturales y el contenido de MO, a fin de ajustar su aplicabilidad como herramienta de diagnóstico y planificación de los agroecosistemas. La identificación temprana de limitantes físicas y la implementación de prácticas agronómicas apropiadas son fundamentales para avanzar hacia sistemas productivos más eficientes, resilientes y sostenibles en ambientes de marcada fragilidad como los del Partido de Patagones.

BIBLIOGRAFÍA

- Anriquez, A., Albanesi, A., Kunst, C., Ledesma, R., López, C., Rodríguez Torresi, A. y Godoy, J. (2005). Rolado de fachinales y calidad de suelos en el Chaco occidental, Argentina. *Ciencia del Suelo* 23:145-157. ISSN: 1850-2067.
- Argentina. (2007). Ley N ° 26.331. *Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos*. Boletín Oficial de la República Argentina, 28 de diciembre de 2007. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26331-265749>
- Aschkar, G.M. (2022). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por desmonte en el noreste rionegrino: Contribución a la conservación de suelos de regiones semiáridas. [Tesis de Magister Universidad Nacional del Sur]. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/6250>.
- Arancio Sidoti, D., Zeberio, J.M., Peter, G. (2024). Rehabilitation of semi-arid grasslands through the perennialization of lots by implementing perennial forage exotic grass. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 93(8), 2115–2125. <https://doi.org/10.32604/phyton.2024.053483>
- Ayan, H., Castro Ibarra, J., Alvarado, I. y Collante Bustos, J. (2024). Modificaciones de las propiedades físicas en entisoles del Chaco seco para recuperación de pastizales degradados. *Semiárida*, 34(2), 79-90.
- Blake, G.R. and Hartge, K.H. (1986). Bulk density. In: A Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Minerological Methods* (363–382). Soil Science Society of America, Madison. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2136/sssabookser5.1.2ed>.

- Bouyoucos, G. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.
- Cabrera, A.L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. En W.F. Kugler (Ed.). *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería* (pp. 1–85). ACME SACI.
- de Villalobos, A.E., Peláez, D.V. y Elia, O.R. (2005 a). Factors related to establishment of *Prosopis caldenia* Burk. Seedlings in central semi-arid rangelands of Argentina. *Acta Oecologica* 27: 99- 106.
- de Villalobos, A.E., Peláez, D.V. y Elia, O.R. (2005 b). Growth of *Prosopis caldenia* Burk: seedlings in central semi-arid rangelands of Argentina. *Journal of Arid Environments* 61: 345-356.
- de Villalobos, A.E. (2013). El sobrepastoreo del ganado doméstico como disparador de la arbustización; *Tellus; BioScriba*; 6; 9-2013; 51-57.
- Daddow, R. and Warrington, G. (1983). Growth-limiting soil bulk densities as influenced by soil texture. USDA, Forest Serv., Fort Collins, Colorado, 1±17 pp.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2019). *InfoStat versión 2019*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Duval, M.E., Galantini, J.A., Iglesias, J.O., Canelo, S., Martínez, J.M. and Wall L. (2013). Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* 131: 11-19.
- Feller, C., Compagnone, C., Goulet, F. and Sigwalt, A. (2015). In. *Soil carbon: science, management and policy for multiple benefits*. ISBN: 9781780645322.
- Fernández, R., Quiroga, A.R., Álvarez, C., Lobartini, C y Noellemeyer, E. (2016). Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. *Revista Ciencia del Suelo* 34, 279-292.
- Gabella, J.I. (2014). *Gestión territorial y degradación ambiental en áreas rurales de la diagonal árida templada Argentina*. Partido de Patagones, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/534>.
- Gaitán, J.J., López, C.R. y Bran D.E. (2009). Efectos del pastoreo sobre el suelo y la vegetación en la Estepa Patagónica. *Revista Ciencia del Suelo* 25, 53-63.
- Galantini, J.A., Iglesias, J.O., Maneiro, C., Santiago, L. y Kleine, C. (2006). Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense. Efectos de largo plazo sobre las fracciones

- orgánicas y el espacio poroso del suelo RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, vol. 35, núm. 1, pp. 15-30. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Galantini, J.A. y Suñer, L. (2008). Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. Agriscientia 25(1), 41-55.
- Gil, R.C. (2002). Manual de utilización del Infiltrómetro y permeámetro de disco. Instituto de Suelos. INTA Castelar.
- González, G.M., Luna, M.A. y Hernández, H.J. (2022). Agropiro en Patagones. Evaluación cuantitativa y cualitativa en cuatro sitios. EEA INTA Hilario Ascasubi, Informe técnico N° 77. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/9095>.
- González, G.M., Luna, M.A., Hernández, H.J., Pesatti, P.I., Schiavi, M.I., Grand, A.C. y Martínez, R.M. (2019). Cambios en la resistencia mecánica de suelos con el uso del paratil en lotes de productores del partido de Patagones. EEA INTA Hilario Ascasubi, Boletín técnico N° 25. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/12037>.
- Hernández, H., Montero López, M., Luna, M., Zubillaga, M. y González, G. (2024). Suelos en transición del Agropiro (*Thinopyrum ponticum*) al pastizal. XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Libro de actas: ISBN: 978-631-90070-3-9. AACCS. Catamarca, Argentina.
- Krüger, H., Venanzi, S. y De Sá Pereira, E. (2008). Efecto del pastoreo sobre la resistencia mecánica del suelo en sistemas de producción bajo siembra directa continua. Ciencia del suelo, versión On-line ISSN: 1850-2067.
- Krüger, H.; Frolla, F. y Zilio, J. (2018). Un indicador de compactación relacionado con el agua del suelo. En: Análisis y evaluación de propiedades físico hídricas de los suelos. Cap. 5. Ed. INTA.
- López, F.M., Duval, M.E., Martínez, J.M. y Galantini, J.A. (2018). Propiedades físicas en suelos bajo siembra directa del sudoeste bonaerense. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 2018, 532-547. ISBN: 978-987-46870-1-2.
- Mateucci, S.D. y Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Monografía N° 22, Serie Biología. Secretaría General de la OEA. Washington D.C. 168 pp.
- Miñón, D.P., Silva, M.A., Colabelli, M.R., González, G.M., Enrique, M.L. y Viretto, P.E. (2015). Tecnología aplicada para el establecimiento y manejo de pasturas de Agropiro (*thinopyrum ponticum*) en ambientes de secano del noreste patagónico.

- EEA Valle Inferior del Río Negro-Convenio Provincia de Río Negro-INTA. (Información técnica N°38, Año 9 N° 20, ISSN 1666-6054).
- Paruelo, J.M., Aguiar, M.R., Golluscio, R.A. y León, R.J. (1992). La Patagonia extrandina: análisis de la estructura y el funcionamiento de la vegetación a distintas escalas. *Ecología Austral*, 2(2), 123–136.
- Pezzola, A., Winschel, C. y Sánchez, R. (2004). Estudio multitemporal de la degradación del monte nativo en el partido de Patagones- Buenos Aires. EEA INTA Hilario Ascasubi, Boletín Técnico N° 12, 1-11.
- Pezzola, A., Winschel, C., Agamennoni, R., Enrique, M. y Giorgetti, H. (2012). Cuantificación de la erosión bioclimática en ambientes semiáridos: caso Partido de Patagones en el Sur de la provincia de Buenos Aires utilizando percepción remota. IX Jornadas nacionales de geografía física. 124 – 129 pp., ISBN: 978-987-1648-32-0. Buenos Aires, Argentina.
- Pieri, C. (1995). Long-term soil management experiments in semi-arid Francophone Africa. En: Lal, R. y B. Steward (Eds.). *Soil Management: experimental basis for sustainability and environmental quality*. Lewis Publishers-CRC. FL, USA. 266 pp.
- Provincia de Buenos Aires. (2016). *Ley N° 14.888. Ordenamiento territorial de bosques nativos*. Boletín Oficial de la Provincia de Buenos Aires. https://legislativa.senado-ba.gov.ar/Carpeta_Sel_Normativas/11424-textosistemizado.pdf
- Quiroga, A.R., Oderiz, A., Uhaldegaray, M., Álvarez, C., Scherger, E., Fernández, R. y Frasier, I. (2016). Influencia del uso de suelos sobre indicadores físicos de compactación. *Semiárida: Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 26 (1), 19-26. [http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2016\(02\).19-26](http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2016(02).19-26).
- Quiroga, A. y Bono, A. (2012). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. Ediciones INTA, Publicación Técnica / EEA Anguil; N° 89, ISSN: 0325-2132. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/14650>.
- Quiroga, A., Fernández, R., Azcarate, P., Bono, A. y Gaggioli, C. (2012). Agua del suelo. Bases funcionales para su manejo. En: Quiroga, A. y Bono, A. (2012). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. Ediciones INTA, Publicación Técnica/EEA Anguil; N° 89, ISSN: 0325-2132. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/14650>.

- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E., y Peinemann, N. (2006). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research* 90 (2006) 63–68.
- Quiroga, A., Funaro, D., Fernández, R. y Noellemeyer, E. (2005). Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. *Revista Ciencia del suelo*, Vol. 23, N° 1, pp. 79-86. ISSN: 1850-2067.
- Quiroga, A., Buschiazzo, D. y Peinemann, N. (1999). La compactación del suelo está relacionada con las prácticas de manejo en la pampa semiárida argentina. [Investigación de suelos y labranza Volumen 52, números 1 y 2](#), pág. 21-28.
- Ravelo, C., Planchuelo, A., Abraham, E. y Navone, E. (2011). Evaluación de la Desertificación en Argentina. Resultados del Proyecto LADA/FAO. Editorial: FAO/SAyDS, 471 pp. Buenos Aires, Argentina.
- Silva, M., Enrique, M. y Miñón, D. (2015). Agropiro, el complemento perfecto de otros recursos forrajeros en la región. *Diario Río Negro*.
https://www.rionegro.com.ar/agropiro-el-complemento-perfecto-de-otros-recursos-forrajeros-en-la-region-IARN_8013008/.
- Vanzolini, J., Zubiaga, L., Storniolo, R., Dunel, L., Ombrosi, D., Cuello, S., Álvarez, C. y Quiroga, A. (2015). Evaluación expeditiva del estado de la calidad de suelos con manejo agrícola en el área de secano del Partido de Villarino. En “II Jornadas Nacionales de Suelos en Ambientes Semiáridos”. AACCS, ISSN 2422-7447. Santa Rosa, La Pampa.
- Vasicek, J.P. (2018). Manual de recomendaciones para la implantación y manejo de pasturas perennes cultivadas en el extremo austral bonaerense. INTA EEA H. Ascasubi, Buenos Aires, Argentina.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_manejo_pasturas_perennes.pdf.
- Velásquez Valle, M., Sánchez Cohen, I., Gutiérrez Luna, R., Muñoz Villalobos, J. y Macías Rodríguez, H. (2014). Impacto hidrológico del cambio de uso del suelo de un pastizal nativo a praderas de zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 13(2), 47-58.
- Walkley, A. and Black, I.A. (1934). An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.

Zeberio, J.M., Torres Robles S.S, y Calabrese G.M. (2018). Uso del suelo y estado de conservación de la vegetación leñosa del monte en el noreste patagónico. *Ecología Austral* 28:543-552. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.3.0.471>.