

COMPORTAMIENTO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN Y SU RELACIÓN CON PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS DE LOS SUELOS COMO INDICADORES EN LA MEJORA DE LA CONSERVACIÓN DEL AGUA, EN LOS LUGARES INTERVENIDOS CON EL PROYECTO + AGUA + IDENTIDAD

BEHAVIOR OF THE INFILTRATION RATE AND ITS RELATION TO PHYSICAL - CHEMICAL PARAMETERS OF SOILS AS INDICATORS IN THE IMPROVEMENT OF WATER CONSERVATION, IN THE PLACES INTERVENED WITH THE PROJECT + WATER + IDENTITY

COMPORTAMENTO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO E SUA RELAÇÃO COM OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS SOLOS COMO INDICADORES NA MELHORIA DA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA, NOS LUGARES INTERVENIADOS COM O PROJETO + ÁGUA + IDENTIDADE

RESUMEN




El Valle del Lunarejo que integra el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de la República Oriental del Uruguay, en las últimas décadas ha estado sufriendo una fuerte presión ambiental sobre sus fuentes de agua, bosque nativo y su suelo. Como parte de las actividades evaluación del proyecto + Agua + Identidad y tras cuatro años de su ejecución en pro de la conservación del bosque nativo, se ejecutó un estudio para la evaluación, en unidades de suelos homogéneas, de los parámetros hidrológicos y características físico-químicas de los suelos y su relación con la tasa de infiltración, para la estimación de un indicador de la calidad ambiental en el ciclo hidrológico de las subcuencas evaluadas. Se realizaron dos series de muestreos por productor, denominadas «Serie A» correspondiente a las áreas intervenidas en pro de la recuperación del monte nativo y «Serie B» correspondiente a las zonas sin intervención. Los resultados obtenidos, evidenciaron que las diferencias obtenidas para los parámetros estudiados, se deben a factores formadores de suelo. Las zonas de estudio denominadas como «Serie A», presentan tasas de infiltración superiores a las estimadas en las muestras de la denominada «Serie B». Dichas tasas de infiltración más rápidas en las zonas protegidas, se asocian a las mejoras en las propiedades físicas encontradas, favoreciendo los procesos de infiltración del agua respecto a la escorrentía superficial.

Palabras-chave: conservación. Aguas. Suelos. Monte nativo. Parámetros hidrológicos. Propiedades físicas de suelos

ABSTRACT

The Lunarejo Valley, which is part of the National System of Protected Areas of the Eastern Republic of Uruguay, has been suffering in recent decades from strong environmental pressure on its water sources, native forest, and soil. As part of the evaluation activities of the + Water + Identity project and after four years of its execution in favor of the conservation of the native forest, a study was carried out for the evaluation, in homogeneous soil units, of the hydrological parameters and physical characteristics- chemistry of the soils and their relationship with the infiltration rate, for the estimation of an indicator of environmental quality in the hydrological cycle of the evaluated sub-basins. Two series of samplings per producer were carried out, called «Series A» corresponding to the areas intervened in favor of the recovery of the native forest and «Series B» corresponding to the areas without intervention. The obtained results evidenced that the differences obtained for the studied parameters are due to soil forming factors. The study areas called "Series A" have infiltration rates higher than those estimated in the so-called "Series B" samples. Said faster infiltration rates in protected areas are associated with improvements in the physical properties found, favoring water infiltration processes compared to surface runoff.

Keywords: conservation. Waters. Floors. Native mount. Hydrological parameters. Physical properties of soils

 Marco Estrada ^a
 Marcel Achkar ^b
 Aler Donadío ^a

^a Fundación Instituto del Rio Negro (INDRA), Rivera, Uruguay

^b Universidad de la República Uruguay (UDELAR), Montevideo, Uruguay

DOI: 10.12957/geouerj.2021.51481

Correspondência:
marcojulioestrada@gmail.com

Recebido em: 19 mar. 2021

Aceito em: 1 jul. 2021





RESUMO

O Vale do Lunarejo, que faz parte do Sistema Nacional de Áreas Protegidas da República Oriental do Uruguai, nas últimas décadas vem sofrendo forte pressão ambiental sobre seus mananciais, mata nativa e seu solo. Como parte das atividades de avaliação do projeto + Água + Identidad e após quatro anos de sua execução a favor da conservação da floresta nativa, foi realizado um estudo para a avaliação, em unidades homogêneas de solo, dos parâmetros hidrológicos e físicos características– Química do solo e sua relação com a taxa de infiltração, para a estimativa de um indicador de qualidade ambiental no ciclo hidrológico das sub-bacias avaliadas. Foram realizadas duas séries de amostragens por produtor, denominadas “Série A” correspondendo às áreas intervencionadas para a recuperação da mata nativa e “Série B” correspondendo às áreas sem intervenção. Os resultados obtidos mostraram que as diferenças obtidas para os parâmetros estudados são devidas a fatores de formação do solo. As áreas de estudo denominadas “Série A” apresentam taxas de infiltração superiores às estimadas nas amostras da chamada “Série B”. As referidas taxas de infiltração mais rápidas em áreas protegidas estão associadas a melhorias nas propriedades físicas encontradas, favorecendo processos de infiltração de água no que diz respeito ao escoamento superficial.

Palavras-clave: gobernabilidad. Estado de excepción. Sociedad controladora. Seguridad Pública



INTRODUCCION

El Área Protegida Valle del Lunarejo, que integra el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de la República Oriental del Uruguay, constituye una zona representativa de un sistema geográfico y ambiental integrante del denominado Bioma Pampa, con características geomorfológicas y biológicas singulares en el país (Figura 1). Este paisaje incluye cerros, pastizales y quebradas de fuerte pendiente donde coexisten cuevas, paredones verticales y saltos de agua con exuberante vegetación subtropical. Estos valores coinciden en el territorio con un sistema tradicional de uso de la tierra de ganadería extensiva con predominio de sistemas de producción familiar (MINISTERIO DE VIVIENDA ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y MEDIO AMBIENTE, 2016).

Desde el punto de vista geomorfológico las Quebradas del Norte forman parte de la denominada Cuesta Basáltica. En Uruguay, el frente de la Cuesta Basáltica se expresa a lo largo de 250 km. Aproximadamente, con orientación N a S y con variada altimetría, con máximos altimétricos entre las localidades de Tacuarembó y Rivera. El frente de la Cuesta se extiende al interior de Brasil, especialmente en el Estado de Río Grande del Sur, donde la escarpa bordea la Depresión Central Gaucha (RODRÍGUEZ, GÓMEZ, *et al.*, 2007).

Las nacientes y cursos de agua son el eje de la biodiversidad del Valle del Lunarejo, afectando directamente el bosque nativo, esencial tanto desde el punto de vista biológico, como biofísico, dado su papel clave en la dinámica del agua. Asimismo, el área representan una parte importante del bioma pampa, catalogado como uno de los ecosistemas con mayor fragilidad de conservación en el mundo (categoría V de conservación para la UICN) al ser una importante zona de recarga del acuífero transfronterizo Guaraní (RODRÍGUEZ, GÓMEZ, *et al.*, 2007).

En la última década, las fuentes de agua, el bosque nativo y su suelo, han estado sufriendo una fuerte presión ambiental dentro de esta área protegida, causada por factores comunes y específicos para cada uno de los ecosistemas, expresados entre otros por, cultivo en suelos frágiles, uso de especies de gramíneas no nativas, uso no sostenible de pasturas, sobrepastoreo y tala del bosque nativo para venta de leña de abasteciendo a los pueblos cercanos, así como actividades extractivas de áridos, en canteras para obras de carreteras y sitios de construcción.

Según lo expresado en el Plan de manejo - Paisaje Protegido Valle del Lunarejo (MINISTERIO DE VIVIENDA ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y MEDIO AMBIENTE, 2016, p. 35), «el funcionamiento hidrológico del Valle del Lunarejo se encuentra fundamentalmente determinado por dos procesos estrechamente relacionados: la infiltración y la escorrentía». Siendo la infiltración el proceso de entrada de agua en el suelo, durante un evento de precipitación, mientras que la escorrentía



superficial constituye el agua que luego de un evento de precipitación no penetra en el perfil del suelo y fluye, en forma de corriente superficial, encontrándose ambos procesos inversamente relacionados, es decir, cuanto mayor sea el proceso de infiltración en un sistema, menor será el proceso de escorrentía en el mismo. El proceso de escorrentía se encuentra muy vinculado a la erosión de suelos mientras que el de infiltración a la capacidad de retención de agua (GOMÉZ, CERRÓN, *et al.*, 2014).

Según lo señalado por Bautista, Etchevers, *et al.* (2004), la infiltración de los suelos, junto a sus propiedades físicas y químicas, relacionadas, tales como densidad aparente, estructura, textura, profundidad del perfil, porcentaje de humedad y contenido de materia orgánica, pH, respectivamente, puede ser un buen indicador de la calidad y la salud del suelo, ya que al transportar agua dentro del suelo contribuye con la conservación de la actividad física, química y biológica de este, al mismo tiempo que recarga los acuíferos.

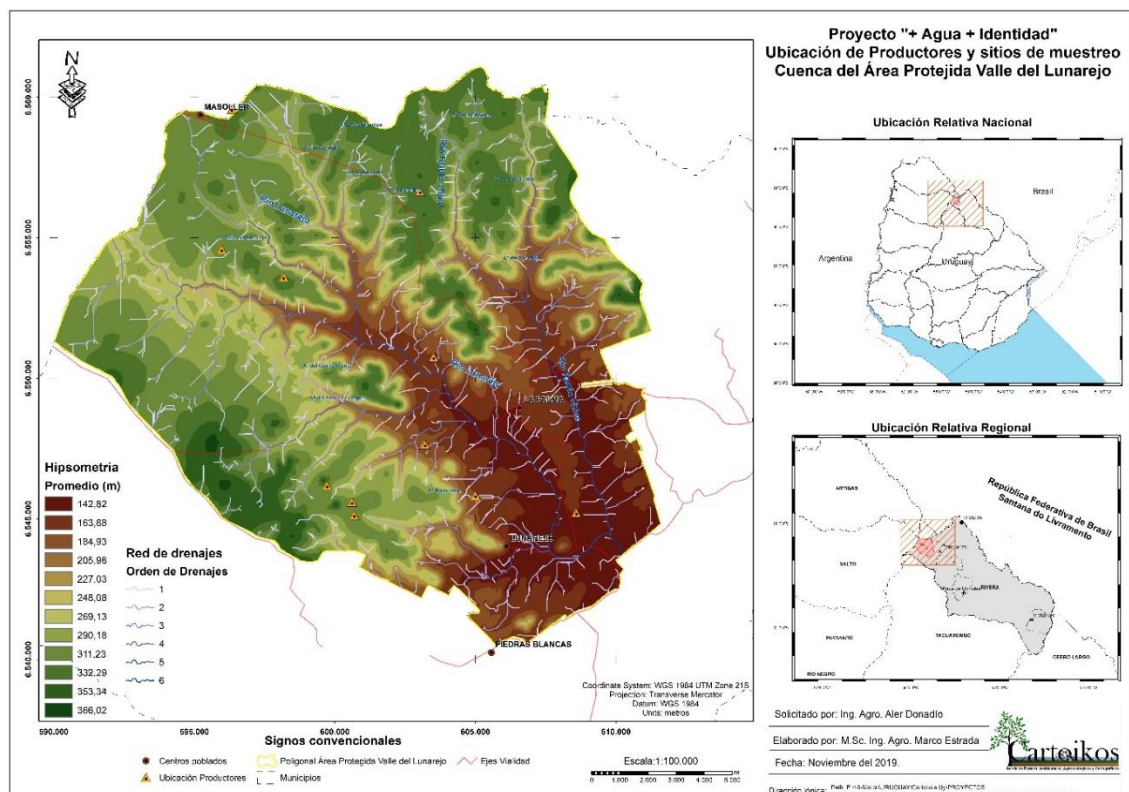
En este sentido, la conservación del bosque nativo y las condiciones del suelo, el involucramiento de los productores del lugar, son los pilares que fundamentan las actividades que se desarrollan hace 4 años en el Área protegida del Valle del Lunarejo, destinadas a proteger al menos un 10 % del bosque nativo (unas 3 mil hectáreas). Generando sistemas sustentables para los productores locales, en los cuales los sistemas de manejo actuales, han generado impactos negativos sobre este tipo de paisajes al propiciar la disminución y fraccionamiento de bosques nativo, erosionar el suelo y afectando el agua de las nacientes.

Asimismo, como parte de las actividades de evaluación del proyecto y tras cuatro años de aplicación de las prácticas de conservación y manejo de los rebaños, se ejecutó un estudio del «comportamiento de la tasa de infiltración y su relación con parámetros físico – químicos de los suelos como indicadores en la mejora de la conservación del agua, en los lugares intervenidos con el proyecto + agua + identidad» para evidenciar los efectos sobre el recurso suelo y vegetación, con base en la premisa de que la conspicua recuperación del bosque, incide directamente en la mejora de la calidad de los parámetros físico químico de los suelos y su efecto directo sobre las propiedades hidrológicas de su red hídrica.

Por lo tanto, el desarrollo y ejecución del plan de muestreo y evaluación de las áreas seleccionadas, contempló la evaluación de los parámetros hidrológicos y características físico – químicas de los suelos, a saber, textura, densidad aparente, humedad gravimétrica, tipo de cobertura vegetal, y su relación con la tasa de infiltración, lo cual será establecido como indicador de la calidad ambiental, relacionado con el ciclo hidrológico de las subcuencas evaluadas y por consiguiente el estadístico de evaluación del proyecto *per se*.



Figura 1. Ubicación relativa a escala nacional y regional de la cuenca del Área protegida Valle del Lunarejo. Vista hipsométrica. Nota: elaboración propia. Software ArcGis 10.0



Fuente: elaboración propia (2019).

METODOLOGÍAS.

El plan de muestreo contempla la evaluación, en unidades de suelos homogéneas, de los parámetros hidrológicos y características físicas y químicas de los suelos relacionados con la tasa de infiltración. Se realizaron dos series de muestreos por productor, denominadas «Serie A» correspondiente a las áreas intervenidas en pro de la recuperación del monte nativo y «Serie B» correspondiente a las zonas sin intervención.

Las actividades de campo se realizaron los días 28, 29 de enero y 19, 20 y 21 de febrero de 2020, que corresponden con la estación del verano austral y época de estiaje de los cuerpos de agua imperante en el área. Asimismo, según la información reflejada por el Instituto de Meteorología del Uruguay, no hubo presencias de lluvias en la zona por lo menos 10 días antes de los muestreos (INUMET, 2020).

Se realizaron un total de 3 repeticiones para el ensayo de la Velocidad de Infiltración (I), una descripción de calicata con su respectiva toma de muestras, seis (06) repeticiones a una



profundidad de 30 cm, para la determinación de Carbono orgánico, pH y textura, para un total de 18 muestras, enviadas al laboratorio de suelos y aguas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Asimismo, se hicieron cuatro repeticiones por serie, a una profundidad de 30 cm, para un total de 24 muestras, para la determinación de la densidad aparente (ρ_a) y humedad del suelo, todo lo cual, según los protocolos de muestreo y análisis descritos en cada uno de sus apartados correspondiente

La velocidad de Infiltración se determinó a través del método del Infiltrómetro de doble anillo o de Muntz. La tasa de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Normalmente se expresa en mm/h y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado (IBAÑEZ, MORENO e BLANQUER, 2010). El concepto de capacidad de infiltración es aplicado al estudio de la infiltración para diferenciar el potencial que el suelo tiene de absorber agua a través de su superficie, en términos de lámina de tiempo y de la tasa real de infiltración que se produce cuando hay disponibilidad de agua para penetrar en el suelo. Se realizaron un total de 3 repeticiones

La Densidad aparente se determinó usando el Método del cilindro de volumen conocido. La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g. cm^{-3} o t. m^{-3}). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (KELLER; HÅKANSSON, citados por ROJAS, J.; PEÑA, S., [2013]). La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expansibles (TABOADA, ÁLVAREZ, citados por ROJAS; PEÑA, [2013])

La humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente, con base en la masa, o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad gravimétrica (w) es la forma más básica de expresar la humedad del suelo. Tiene las unidades de kg kg^{-1} . La humedad volumétrica, generalmente, se calcula como un porcentaje del volumen total del suelo (DELGADILLO e ALCALÁ, 2010).

La determinación del Carbono Órgano, para la estimación del % de Materia Orgánica del suelo, pH y Textura, estuvo a cargo del Laboratorio de Suelos y Aguas del INIA La Estanzuela, según la metodologías: «Carbono orgánico en suelo (ME-LE-su-01): se realiza por combustión seca de la muestra y posterior detección de CO_2 por infrarrojo», «pH en agua y KCl (potenciométrico)» y «Bouyoucos», respectivamente (INIA, 2020).



Las descripciones de los perfiles de suelos, se realizaron según lo estipulado en el Manual de descripción, muestreo de suelos y análisis de laboratorio, elaborado por la Dirección General de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca del Uruguay (MGAP-RENARE, 2014), la Guía para la descripción de suelos, de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2009), la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (SOIL QUALITY INSTITUTE, 1999) y las Claves para la taxonomía del suelo (SOIL SURVEY STAFF, 2014). Las descripciones edáficas hechas, no intentan establecer parámetros para la clasificación taxonómica de suelos, si no, insumos para aumentar el nivel de certidumbre de las características físicas de los suelos evaluados a nivel de los horizontes superficiales y establecer su relación con los parámetros físico – químicos analizados, al ser los horizontes superficiales, los que reciben más directamente las cargas negativas de las actividades antrópicas y por ende son los primeros respondedores a las prácticas de conservación y recuperación de suelos degradados. Por consiguiente, una buena descripción de suelos y el conocimiento derivado de su correlación con su entorno y propiedades físicas y químicas, son claves en el diagnóstico del estado actual de su calidad ambiental y por consiguiente su influencia con el ciclo hidrológico del área de estudio.

RESULTADOS.

La

Tabla 1, muestra los resultados de los análisis realizados en cada uno de los sitios de muestreo por serie muestral, donde se aprecia los menores valores de densidad aparente para el promedio de las muestras, al igual que los mayores contenidos de humedad gravimétrica y carbono orgánico, para la Serie “A” respecto de las Serie “B”, a excepción de las muestras captadas en el productor 2 (P2), con una diferencia menos al 2,5%.

Por su parte, respecto a los parámetros físicos de densidad aparente y humedad gravimétrica, a pesar de observarse diferencias en los promedios de los datos analizados, en la Tabla 2, se observa que las mismas no son estadísticamente significativas (comparación de sus medias muestrales), para los valores promedios por serie analizada, para los productores P1 y P2, pero si existe diferencia estadística para la densidad aparente del productor P3. En la misma tabla, se observa la significancia alta para la densidad aparente del productor P3 y baja para el resto, de la diferencia neta observada entre los grupos de estudio, a través de la evaluación de tamaño del efecto por d de Cohen.

En la Tabla 3, se observan los mayores valores de infiltración promedio (I_p) e infiltración base (I_b), para los promedios de los ensayos de infiltración de las «Serie A» respecto a la «Serie B», para cada uno de los



grupos de muestreo. Y por su parte en la Figura 2, Figura 3 y **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, se presentan las diferencias de la graficas de infiltración en mm h^{-1} ajustadas por el modelo, para cada una de las series muestrales, observando mayores tasas de infiltración de las «Serie A» respecto de las «Serie B» en todos los casos.

Tabla 1. Parámetros estimados por productor y serie*.

ID	Infiltración promedio [Ip] mm/h	Densidad aparente [pa] (gr/cm ³)	Humedad Gravimétrica [W] (%)	pH* (H ₂ O)	C.Org %	Textura (Familia Textural)*			Clasificación
						% Arena	% Limo	% Arcilla	
P1 - A	274,02	1,14	30,75	5,57	2,58	17	31	52	arcilloso
P1 - B	38,84	1,23	26,21	6,67	1,49	41	14	45	arcilloso
P2 - A	100,67	1,07	43,12	5,40	3,91	17	34	49	limo arcilloso
P2 - B	52,10	1,14	32,46	5,26	4,00	23	27	50	limo arcilloso
P3 - A	45,15	0,72	76,42	6,16	9,90	12	32	56	arcilloso
P3 - B	19,85	1,52	30,37	4,83	1,45	68	6	26	arenoso arcilloso

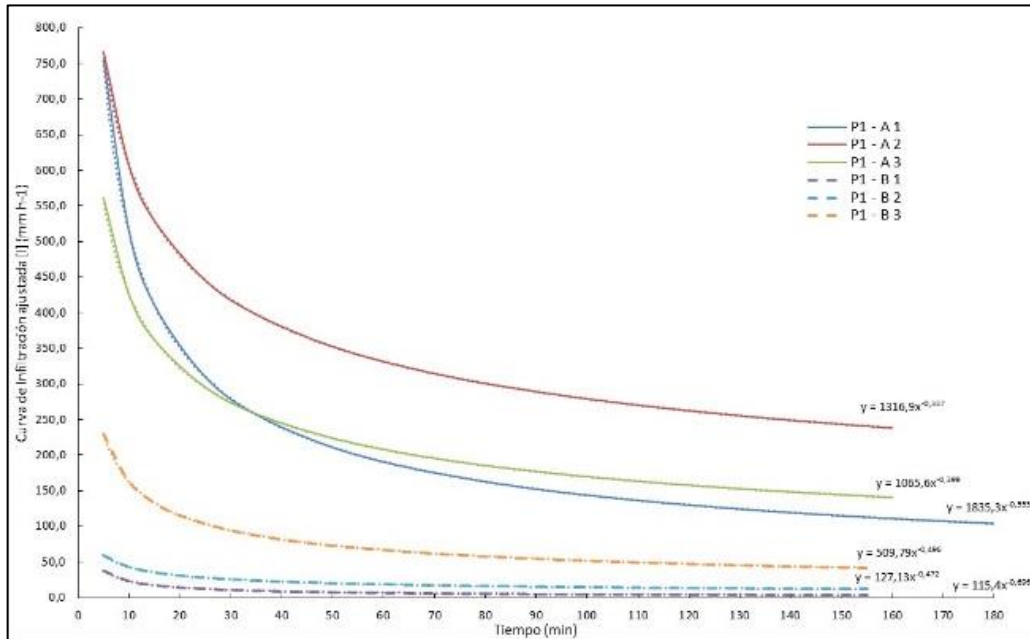
*. Serie "A": zonas con intervención para conservación, Serie "B" zonas sin intervención.

Tabla 2. Comparación de medias muestrales, para la densidad aparente (pa) y humedad gravimétrica (W).

	pa - P1	W - P1	pa - P2	W - P2	pa - P3	W - P3
Prueba t^a. Nivel de significancia $\alpha=0.05$						
Coficiente de correlación de Pearson	0,8530	0,7518	0,9248	0,8914	-0,7766	-0,9739
Observaciones	4	4	4	4	4	4
Grados de libertad	3	3	3	3	3	3
Estadístico t	-1,2088	1,0532	-0,9346	1,7018	-6,0120	2,8339
P value (T<=t) dos colas	0,3133	0,3696	0,4189	0,1873	0,0092	0,0660
Valor crítico de t (dos colas)	3,1824	3,1824	3,1824	3,1824	3,1824	3,1824
Cohen's d^b						
d estimate	-0,3313 (small)	0,3712 (small)	-0,1948 (negligible)	0,3968 (small)	-5,6651 (large)	2,8157 (large)

Fuente: cálculos propios. / a. Prueba de la t de Student, para datos pareados. b. evaluación de tamaño del efecto por d de Cohen.

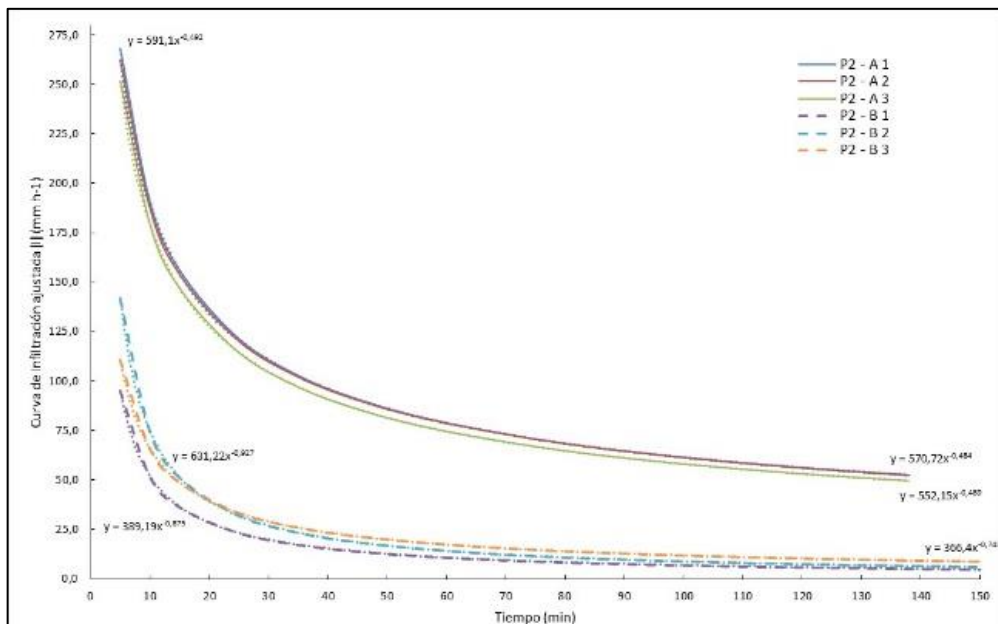
Figura 2. Curvas de Infiltración ajustadas para cada una de las zonas de muestreo. Productor 1.



Fuente: elaboración propia (2020).

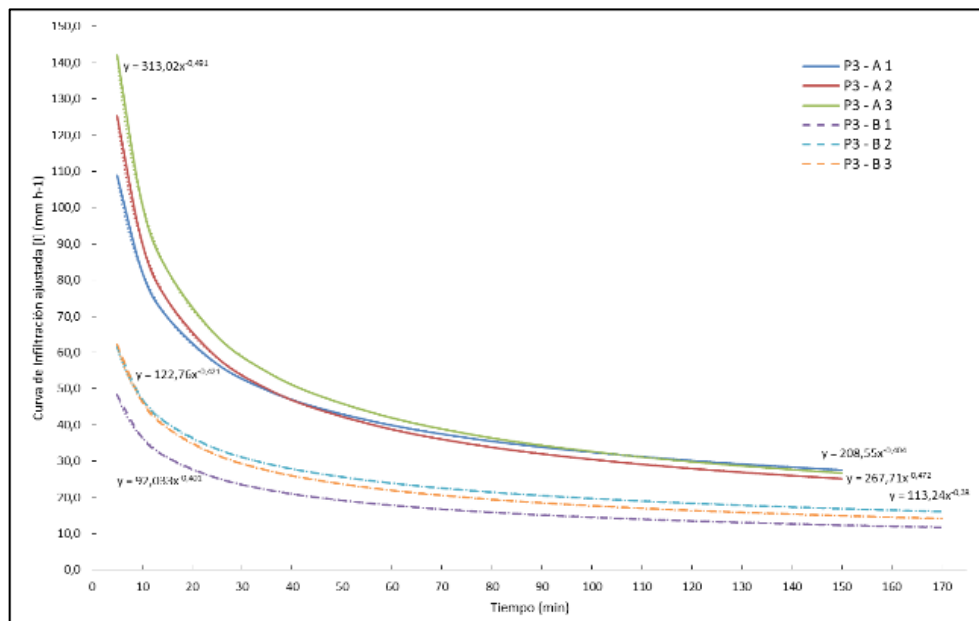
La Tabla 4, muestra que existen diferencias estadísticas, para la Infiltración promedio (I_p), para la comparación de medias muestrales, de los productores 1 y 3, más no así para la infiltración base (I_b). Sin embargo, para el productor 2, se evidencian diferencias significativas para la infiltración base (I_b). Asimismo, se observa la significancia alta, de la diferencia neta observada entre los grupos de estudio, a través de la evaluación de tamaño del efecto por d de Cohen.

Figura 3. Curvas de Infiltración ajustadas para cada una de las zonas de muestreo. Productor 2.



Fuente: elaboración propia (2019).

Figura 4. Curvas de Infiltración ajustadas para cada una de las zonas de muestreo. Productor 3.



Fuente: elaboración propia (2019).

Tabla 3. Infiltración Promedio (Ip) e Infiltración básica (Ib), para cada una de las muestras ensayadas.

Productor	Serie A		Serie B	
	Infiltración promedio [Ip] mm/h	Infiltración básica [Ib] mm/h	Infiltración promedio [Ip] mm/h	Infiltración básica [Ib] mm/h
Productor 1	228,90	74,07	11,35	1,73
	359,13	220,04	22,27	8,85
	234,03	119,76	82,90	30,23
Media aritmética (\bar{x})	274,02	137,96	38,84	13,60
Desviación típica (s)	73,75	74,67	38,55	14,83
Productor 2	103,03	36,01	38,83	1,62
	101,88	36,67	83,10	1,80
	97,10	34,31	34,37	3,89
Media aritmética (\bar{x})	100,67	35,66	52,10	2,44
Desviación típica (s)	3,14	1,22	26,94	1,26
Productor 3	42,44	22,69	16,68	10,21
	44,17	18,63	21,97	14,39
	48,84	19,19	20,89	11,96
Media aritmética (\bar{x})	45,15	20,17	19,85	12,19
Desviación típica (s)	3,31	2,20	2,79	2,10

Fuente: cálculos propios.

Tabla 4. Comparación de medias muestrales, para la Infiltración promedio (Ip) e Infiltración base (Ib).

Prueba t	Ip - P1	Ib - P1	Ip - P2	Ib - P2	Ip - P3	Ib - P3
Observaciones	3	3	3	3	3	3
Grados de libertad	2	2	2	2	2	2
Estadístico t	4,3285	1,9804	3,2587	23,6185	15,0988	3,3188
P value (T<=t) dos colas	0,0494	0,1862	0,0827	0,0018	0,0044	0,0800
Valor crítico de t (dos colas)	4,3027	4,3027	4,3027	4,3027	4,3027	4,3027
Cohen's d (tamaño del Efecto)^b						
d estimate	1,9750 (large)	1,4275 (large)	2,0440 (large)	26,8017 (large)	8,1858 (large)	3,7136 (large)



Fuente: cálculos propios. a. prueba paramétrica de la t de Student, para datos pareados. b. evaluación de tamaño del efecto por d de Cohen.

DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos, se corresponden con las premisas del diseño experimental de muestrear en ambas series suelos con las mismas características, desde el punto de vista de su génesis y por consiguiente unidades taxonómicas homogéneas con lo cual, se evidencian que las diferencias obtenidas para los parámetros físico – químicos estudiados, se deben a factores formadores de suelo, destacando principalmente el uso del suelo y su cobertura vegetal.

Las zonas de estudio denominadas como «Serie A», y definidas como los sitios con intervención para su protección, presentan tasas de infiltración superiores a las estimadas en las muestras de la denominada «Serie B» (zonas sin intervención). Dichas tasas de infiltración más rápidas en las zonas protegidas, se asocian a las mejoras en las propiedades físicas encontradas, que propician una mejor estructura del suelo, lo cual junto a una cobertura arbórea en los productores 1 y 3, bajas pendientes y acumulación de hojarasca, favorecen un retardo en el escurrimiento de la superficie y propician más tiempo para que el agua se infiltre en el suelo.

Por su parte, las muestras del productor 3, representadas en ambas series por tierras con cobertura herbácea (pastos naturales), suelos con un horizonte superficial profundo, pendientes muy bajas, y bordeadas por afloramientos basálticos, presentan diferencias en sus tasas de infiltración, a favor de la zona con intervención de protección (tasas de infiltración más rápidas). Diferencias atribuibles a las mejoras en las propiedades físicas, de las zonas protegidas, donde no se desarrolla pastoreo lo cual reduce la tasa de infiltración, ya que se debilita la estructura y se obstruyen los poros por la carga animal. En concordancia con lo señalado por Broersma *et al*, citado por Gómez, Cerrón, *et al*. (2014), el pastoreo tiene un efecto pronunciado sobre la densidad aparente del suelo, la porosidad, la infiltración, almacenamiento de agua, las características de transporte de agua y la escorrentía; y Hillel afirma que la compactación reduce los poros del suelo que resulta en una disminución de la tasa de infiltración.

Asimismo, la baja significancia estadística de las media de los resultados físico químico de las muestras analizadas, se debe al bajo número de repeticiones por serie, definiendo un bajo nivel de confiabilidad estadística para la prueba estadística utilizada, con tan solo 3 grados de libertad.

En términos generales, El tipo de uso de tierras, así como el cambio de uso, modifica completamente las características del suelo, variando la estructura interna y obstruyendo o incrementando la presencia de poros y macroporos, ya que la infiltración es rápida a través de grandes poros continuos en la superficie del suelo y frena cuando los poros se hacen más pequeños. El contenido de humedad del suelo regula el tiempo



para alcanzar la tasa de infiltración básica, es decir, a mayor contenido de humedad, se necesita mayor tiempo para alcanzar la infiltración básica.

CONCLUSIONES.

En consecuencia, las evidencias encontradas en las mejoras de los componentes físicos y químicos de los suelos, que inciden en el ciclo hidrológico, favorecen los procesos de infiltración del agua respecto a la escorrentía superficial y por consiguiente los efectos positivos directos en la conservación del recurso hídrico y suelos en el área de estudio y su interacción con la biodiversidad, en concordancia con lo señalado por el (MINISTERIO DE VIVIENDA ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y MEDIO AMBIENTE, 2016) que establece “el funcionamiento hidrológico constituye uno de los factores determinantes de las posibilidades de abastecimiento de agua en el Paisaje Protegido Valle del Lunarejo y determina además las posibilidades productivas del sistema y su potencial para sostener la biodiversidad. Por tal motivo, los procesos determinantes del mismo son considerados como procesos claves en este sistema. Dado que el funcionamiento hidrológico del Valle del Lunarejo se encuentra fundamentalmente determinado por dos procesos estrechamente relacionados: la infiltración y la escorrentía”

Se recomienda, continuar con la evaluación cada año, para establecer la referencia temporal de las diferencias observadas. Con base en la hipótesis del aumento sigmoideo de los contenidos de carbono orgánico en el suelo y el aumento lineal en la mejora de las propiedades físicas, con respecto al tiempo.

Aumentar el número de muestras por serie muestral, para aumentar el nivel de significancia estadística de la evaluación.

Incorporar nuevas áreas de evaluación, para correlacionar los resultados a los diferentes paisajes de la cuenca del Paisaje Protegido Valle del Lunarejo.



REFERENCIAS

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D 4220: Práctica estándar para preservar y transportar muestras de suelo.** Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. West Conshohocken, PA, p. 11. 2014. (ICS 93.020).

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D 4643: Método de prueba estándar para la determinación del contenido de agua (humedad) del suelo por el método del horno microondas.** Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. West Conshohocken, PA, p. 7. 2017. (ICS 13.080.40).

BAUTISTA, A. et al. La calidad del suelo y sus indicadores. **Ecosistemas**, v. 13, n. 2, p. 90 - 97, 2004. ISSN ISBN 1697-2473. Disponible em: <<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=149>>.

DELGADILLO, L.; ALCALÁ, J. **Manual de Procedimientos Analíticos Laboratorio de Física de Suelos.** [S.l.]: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Instituto de Geología. Departamento de Edafología, 2010.

FAO. **Guía para la descripción de perfiles de suelos.** Cuarta. ed. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2009. 111 p.

GOMÉZ, G. et al. Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. **Apuntes de Ciencia & Sociedad**, v. 4, n. 2, 2014.

HENRÍQUEZ, C.; MÉNDEZ, J. C.; MASIS, R. Interpolación de variables de fertilidad de suelos mediante el interpolador Kriging y su validación. **Revista Agronomía Costarricense**, v. 37, p. 71-82, 2013.

IBAÑEZ, S.; MORENO, R.; BLANQUER, J. **Características del Infiltrómetro de Doble Anillo (Anillos de Munz).** Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 2010.

INIA. Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias Uruguay, 10 Enero 2020. Disponible em: <<http://www.inia.uy/productos-y-servicios/laboratorios/Laboratorio-de-Suelos-Plantas-y-Agua/an%C3%A1lisis-realizados-y-m%C3%A9todos-anal%C3%ADticos>>.

INUMET. Instituto Uruguayo de Meteorología, 3 febrero 2020. Disponible em: <<https://www.inumet.gub.uy/index.php/clima/recursos-hidricos/boletin-pluviometrico>>.

IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories.** The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). [S.l.]. 2006.

LÓPEZ, N. **Variabilidad espacial de la infiltración en tres tipos de suelos, en plantaciones de cítricos con riego, en el litoral norte del país.** Tesis (Ingeniería Agronómica) - Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Montevideo. 2014.

MGAP-RENARE. **Manual de descripción, muestreo de suelos y análisis de laboratorio.** Montevideo: Dirección General de Recursos Naturales Renovables. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 2014. 102 p.

MINISTERIO DE VIVIENDA ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y MEDIO AMBIENTE. **Plan de manejo - Paisaje Protegido Valle del Lunarejo.** Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Uruguay [SNAP]. Montevideo, p. 105. 2016.

RODRÍGUEZ, L. et al. Desarrollo metodológico para la evaluación de la recarga y la vulnerabilidad del Sistema Acuífero Guaraní. In: FONDO DE UNIVERSIDADES **Acuífero Guaraní avances en el conocimiento para su gestión sustentable.** 1ª. ed. Montevideo: Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní, 2007.

ROJAS, J.; PEÑA, S.. **Densidad aparente: Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa.** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, p. 3. [2013].

SOIL QUALITY INSTITUTE. **Soil Health and Quality Assessment Guide.** Washington, DC: USDA-Natural Resources Conservation Service, 1999.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy.** 12th. ed. Washington, DC: USDA-Natural Resources Conservation Service, 2014.