

EFECTO DE LAS PASTURAS PERENNES EN LA ESTRUCTURA DE MOLISOLES, DE LA REGION SEMIARIDA PAMPEANA. PARTE II.

ROMINA FERNÁNDEZ ¹*, MILAGROS MARÍA ROSA LUCAS ², LORENA DE LOS ANGELES PAINEMILLA ², ALBERTO QUIROGA ^{2,1}

Recibido: 11/01/2021

Recibido con revisiones: 11/06/2021

Aceptado: 24/07/2021

RESUMEN

Actualmente los sistemas de producción están conformados principalmente por cultivos anuales con alta proporción de oleaginosas en la rotación. El menor aporte radicular, junto con la menor cantidad de residuos sobre la superficie del suelo ha traído aparejado pérdidas en los contenidos de carbono orgánico incidiendo negativamente en la estructura de los suelos. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la condición estructural de suelos influenciados por distintas prácticas de uso. El estudio se desarrolló en la Región Semiárida Pampeana sobre Paleustoles petrocálcicos, se seleccionaron suelos de textura franca, bajo 3 usos diferentes que corresponden a ensayos de larga duración: pastura permanente de pasto llorón (LL) (60 años) el cual fue considerado como línea base o de referencia; pasturas perennes: festuca+agropiro (F+A) y agropiro+alfalfa (A+A); y por último un suelo bajo uso agrícola. Se determinó la distribución de tamaño de agregados, el contenido de materia orgánica de los mismos, peso de mil agregados, porosidad de agregados, estabilidad estructural y fracción erosionable. Los indicadores de calidad estructurales evaluados muestran que ambas pasturas perennes (F+A y A+A) se encontraron más próximos a los valores del LL que al uso agrícola. Por ende, incluir pasturas perennes en la rotación (tanto gramíneas como leguminosas), contribuyó de manera significativa sobre las propiedades estructurales determinantes de la calidad del suelo, mejorando su fertilidad física y biológica.

Palabras clave: estabilidad estructural, pasturas perennes, ensayos de larga duración.

EFFECT OF PERENNIAL PASTURES ON THE STRUCTURE OF MOLISOLES, OF THE SEMIARID PAMPAS REGION. PART II.

ABSTRACT

Current agricultural production systems mainly use annual crops with a high proportion of oilseeds in the rotation. This implied less root contribution and lower residue biomass on the soil surface, which led to organic carbon losses and weakened soil structures. The objective of the study was to evaluate the structural condition of soils influenced by different land use. The study was carried out in the Semi-arid Pampean Region on petrocalcic Paleustolls, loamy texture soils, under 3 different uses were selected that

¹ INTA Anguil, Argentina

² Facultad de Agronomía, UNLPam. Argentina

* Autor de contacto: fernandez.romina@inta.gob.ar



correspond to long-term trials: permanent pastures of weeping lovegrass (LL) (60 years) which was considered as baseline or reference; perennial pastures of fescue+wheatgrass (F+A) and wheatgrass+alfalfa (A+A); and finally, a land under agricultural use. Aggregate size distribution, organic matter content, weight of a thousand aggregates, aggregate porosity, structural stability, and erodible fraction were determined. These structural quality indicators showed that both perennial pastures (F+A and A+A) were closer to LL values than to agriculture. Therefore, including perennial pastures in the rotation (both grasses and legumes), contributed significantly to the structural properties determining soil quality, improving its physical and biological fertility.

Keywords: structural stability, perennial pastures, long-term trials.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural que provee diversos bienes y servicios ambientales a la sociedad los cuales se encuentran estrechamente relacionados con el contenido de carbono orgánico y con la estructura del suelo (Banwart *et al.*, 2014). En respuesta al aumento en la demanda mundial de alimentos, fibra y energía, áreas que se encontraban bajo vegetación nativa y pasturas se han convertido en tierras agrícolas (Gardi *et al.*, 2014; Merten *et al.*, 2015). En este sentido los sistemas de producción se han ido distanciando del “método de la naturaleza”, caracterizado en la región por una vegetación prístina polifítica, especies adaptadas a distintas situaciones, con capacidad de explorar el perfil de suelo entre 3 y 5 m que presentan periodos críticos en diferentes momentos en el tiempo (Quiroga *et al.*, 2015). Actualmente los sistemas de producción están conformados principalmente por cultivos anuales con alta proporción de oleaginosas en la rotación que presentan un sistema radicular que exploran comparativamente la mitad del perfil (1,5 -

2 m). El menor aporte radicular, junto con la menor cantidad de residuos sobre la superficie del suelo generalmente ha traído aparejado pérdidas en los contenidos de carbono orgánico incidiendo negativamente en la estructura de los suelos. Esta pérdida en la calidad estructural edáfica puede ser irreversible o condicionar de manera importante los recursos, con consecuencias ambientales también importantes (Quiroga *et al.*, 2016).

Fernández *et al.*, (2017) comprobaron que el efecto positivo de incluir gramíneas en una secuencia de soja continua se evidenció sobre las propiedades físico-hídricas, permitiendo incidir sobre una mayor eficiencia en el uso del agua que ha dado lugar a un mayor rendimiento del cultivo estival. Las propiedades hidráulicas de los agregados del suelo están influenciadas por la estructura de los poros (Lipiec *et al.*, 2007; Horn & Smucker, 2005) afectando la estabilidad de los mismos (Lipiec *et al.*, 2009). En tal sentido, los agregados estables protegen al suelo de la deformación (Pagliai *et al.*, 1995) y forman poros continuos e interconectados (Wiermann & Horn, 2000) aumentando la



infiltración de agua de lluvia (Blanco-Canqui & Lal, 2007).

Diversos autores sugieren un conjunto mínimo de indicadores relacionados a la estabilidad estructural del suelo que pueden ser utilizados para evaluar degradación y monitorear la evolución de la condición física al ser influenciada por diferentes prácticas de manejo (Duval *et al.*, 2016; Brejda *et al.*, 2000; Doran & Parkin, 1994). Quiroga *et al.* (2018) señalaron que la relación causa-efecto entre el manejo del suelo y su calidad puede ser establecida a través de experimentos de larga duración. Por ello, experiencias que acumulen efectos en el tiempo, son esenciales para establecer tendencias en los procesos y en proveer datos empíricos necesarios para evaluar la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Como objetivo del presente trabajo se pretende evaluar indicadores que reflejen la estabilidad estructural en Paleustoles petrocálcicos bajo distintas prácticas de uso de largo plazo. Determinar, además, el grado de asociación entre los indicadores relacionados a la estabilidad de la estructura identificados bajo el planteo mixto de rotación (cultivos anuales-pasturas) y los niveles de los indicadores bajo el uso con pastura permanente de gramínea, considerado como línea de base para los parámetros estructurales de suelos francos de la Región Semiárida Pampeana.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló sobre un Paleustol petrocálcico, localizado en las coordenadas 36° 35'23.66'' Sur y 63° 57'42.45'' Oeste, en el sur de la planicie con tosca de la Región Semiárida Pampeana. Se seleccionaron suelos de textura franca, con similar contenido de arcilla (18,1 %), limo (36,4 %) y arena (45,4 %). El suelo presenta secuencia de horizontes A1/A2 de 18 cm de profundidad, entre los 18 a 50 cm el horizonte AC y entre los 50 a 100 cm el horizonte C. Sobre el mismo se establecieron 3 usos diferentes que corresponden a ensayos de larga duración dentro del campo de la EEA Anguil (Figura 1).

1) Uso ganadero de pastura permanente de pasto llorón (*Eragrostis curvula*) (60 años) (LL). Este suelo es considerado "línea de base" para los indicadores que se relacionan con la calidad física-hídrica y biológica (Fernández, 2018). Los valores "línea de base" expresan un valor de referencia de un determinado indicador (Micó *et al.*, 2007). Estos valores se obtienen, generalmente, en suelos que corresponden a un estado deseable de salud o de calidad. En muchos casos, estos serían suelos bajo vegetación prístina, pero también se están utilizando aquéllos que se encuentren lo menos disturbados posible cuando no existen situaciones de vegetación nativa y/o prístina (Thackway & Specht, 2015). En este contexto, los valores de línea de base resultarían útiles para interpretar los niveles actuales de las variables



indicadoras y evaluar el efecto de las prácticas de uso de los suelos.

2) Uso mixto agrícola-ganadero, con rotación de cultivos anuales y pastura perenne bajo siembra directa. Los muestreos fueron efectuados al quinto año de la fase de pasturas perennes. Esta secuencia comenzó en el año 2006, sobre pastura permanente de pasto llorón y los cultivos fueron: cultivo de cobertura de centeno (*Secale cereale*) + vicia (*Vicia villosa ssp. dasycarpa*), sorgo (*Sorghum bicolor*), maíz (*Zea mays*), girasol (*Helianthus annuus*), cultivo de cobertura centeno, sorgo, girasol, y centeno como cultivo de cobertura. El 2/5/2012 se implantaron dos pasturas bifíticas las cuales fueron utilizadas mediante corte mecánico: una de ellas a base de festuca (*Festuca arundinacea* var. Flecha) con agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* var. Hulk) (F+A), y la otra de alfalfa (*Medicago sativa*) con agropiro alargado (A+A). Las determinaciones fueron realizadas bajo la influencia de ambas pasturas.

3) Uso agrícola (Ag). A partir del año 2006 sobre pastura permanente de pasto llorón, se establecieron cultivos en siembra directa que alternaron con laboreo del suelo empleando rastra de discos dobles. El muestreo se realizó luego de 4 años de haber labrado el suelo. En la secuencia de cultivos anuales participaron cultivos de verano como girasol, soja (*Glicine max*) y cereales de invierno para cosecha como centeno y triticale (x *Triticosecale* Wittmack).

Ambas pasturas perennes (F+A y A+A) y el suelo bajo uso agrícola se encontraban en fajas apareadas con 3 repeticiones y el tamaño de cada faja corresponde a 100 m x 10 m. El suelo bajo uso en pastura permanente (LL) limita con A+A, F+A y Ag.

De cada tratamiento, durante el otoño (2018) a los 0-6, 6-12 y 12-18 cm de profundidad, se tomaron muestras (con pala) de aproximadamente 4 kg con mínimo disturbio, en 4 puntos equidistantes de una transecta de 40 m (4 réplicas por tratamiento para cada profundidad). Las mismas se secaron al aire, se desagregaron manualmente según sus planos de fragilidad (Arshad *et al.*, 1996). Posteriormente se determinaron:

- Distribución de agregados, mediante el tamizado en seco, para obtener las fracciones de < 2, 2-3, 3-4, 4-8 y > 8 mm de diámetro. La masa de suelo retenida en cada tamiz fue pesada a fin de determinar la proporción de cada tamaño de agregados.

- A las fracciones obtenidas mediante el tamizado en seco (<2, 2 a 3, 3 a 4, 4 a 8 y > 8 mm de diámetro) se les determinó el contenido de carbono total, por combustión seca (LECO Truspec™). El valor obtenido de carbono total fue considerado como carbono orgánico (CO) ya que los suelos no presentaron carbonato de calcio libre. El carbono se convirtió a materia orgánica (MO) utilizando el factor de conversión de 1,724 (Nelson & Sommers, 1996)



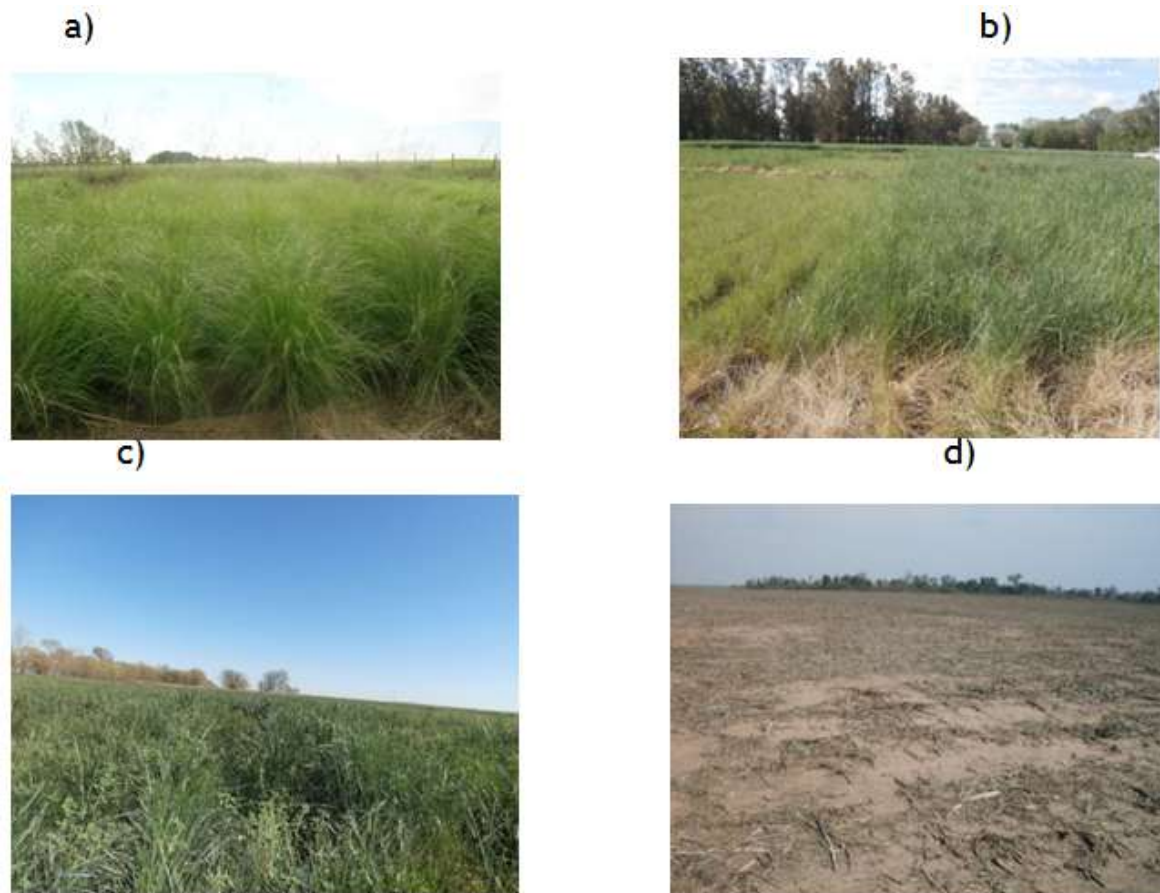


Figura 1. Fotografías de los diferentes usos en los ensayos de larga duración, a) Pasto Llorón desde 1960 a la fecha, b) Pasto Llorón desde 1960 a 2006, cultivos anuales desde 2006 a 2012, festuca+agropiro desde 2012 a 2017, c) Pasto Llorón desde 1960 a 2006, cultivos anuales desde 2006 a 2012, alfalfa+agropiro desde 2012 a 2017, d) Pasto Llorón desde 1960 a 2006, cultivos anuales desde 2006 a la fecha.

Figure 1. Photographs of the different land uses in the long-term trials, a) Weeping lovegrass from 2006 to date, b) Weeping lovegrass from 2006 to 2006, annual crops from 2006 to 2012, fescue+wheatgrass 2012 to 2017, c) Weeping lovegrass from 2006 to 2006, annual crops from 2006 to 2012 lucerne+wheatgrass (A+A) 2012 to 2017, d) Weeping lovegrass from 1960 to 2006, annual crops from 2006 to date.

- **Peso de mil agregados (PMA)**, a las fracciones de agregados de 2-3, 3-4, 4-8 y > 8 mm de diámetro, obtenidos a través del tamizado en seco, se les contabilizó el peso de 250 agregados, refiriendo los resultados a peso de mil agregados (Fernández et al., 2016)

- **Porosidad de agregados (\emptyset)** en las fracciones de 2-3, 3-4, 4-8 y > 8 mm de diámetro, mediante el método de Moret & López, (2015). En dicha técnica, el agregado se seca a temperatura ambiente

durante 2 a 4 semanas, se pesa y se sumerge en alcohol durante 20 minutos. Una vez saturado, el agregado se coloca sobre una toalla de papel saturada en alcohol y se pesa inmediatamente a temperatura ambiente (20 °C). Este proceso debe ser realizado en menos de 10 segundos. El volumen interno del agregado, (V_i), se calcula mediante la **Ecuación 1**, convirtiendo la diferencia de masas del agregado saturado de alcohol, (M_{ag-al}) y del

agregado seco (M_{ag}) en volumen usando la densidad del alcohol (ρ_{al}):

$$V_i = (M_{ag-al} - M_{ag}) / \rho_{al} \quad \text{Ecuación 1}$$

El agregado saturado en alcohol se seca a 40 °C durante 8 horas y se pesa nuevamente para comprobar si se han producido pérdidas de suelo durante el proceso. Conocido V_i , V_T se estima según Ecuación 2.

$$V_T = V_i + V_r \quad \text{Ecuación 2}$$

en donde V_r es el volumen de las partículas sólidas

$$V_r = M / \rho_r \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo M la masa del agregado seco y ρ_r la densidad.

El valor de ρ_r se determina por el método del picnómetro (Flint & Flint, 2002) a partir de submuestras de 10 gr de agregados mortereados y tamizados por 2 mm. Una vez estimada V_T , \emptyset se calcula según la Ecuación 4.

$$\emptyset = V_i / V_T \quad \text{Ecuación 4}$$

- Estabilidad estructural mediante la metodología de De Boodt & De Leenheer, (1967). Este indicador se obtiene mediante la diferencia entre el diámetro peso medio (DPM) en seco, de los agregados de diámetro 2-3, 3-4 y 4-8 mm, obtenidos cuando se realizó la distribución de los

agregados, y el DPM de los mismos luego de ser humedecidos, incubados y tamizados bajo agua. De la diferencia entre el DPM en seco y el DPM en húmedo, se obtiene el cambio en el DPM, el cual será denominado índice de inestabilidad estructural (IIE). Menor valor del IIE representa mejor estabilidad estructural del suelo.

- Fracción erosionable a través de la obtención del índice de erodabilidad. Este índice que se mide en $Mg \ ha^{-1} \ año^{-1}$ representa la pérdida potencial máxima de suelo que se produce en un potrero, sin protección; con una superficie sin cobertura, sin rugosidad y sin encostramiento. Para su obtención se utilizó un tamiz rotativo (Chepil, 1962) a fin de determinar la cantidad de agregados $\geq 0,84$ mm de diámetro de la capa superficial del suelo, que constituye la fracción no erosionable debido a que son los agregados no susceptibles a ser transportados por el viento (Chepil, 1950).

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante ANOVA, para detectar las diferencias entre medias se utilizó el test de Tukey ($p < 0,10$). Además, se usó análisis multivariado de componentes principales para evaluar la asociación entre los diferentes indicadores al uso del suelo. Los análisis estadísticos fueron realizados en el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2013).



Resultados y discusión

La distribución en el tamaño de los agregados, se presenta en la **Tabla 1**. Las mayores diferencias entre los diferentes usos del suelo se presentaron en los tamaños de agregados <2 mm y >8 mm de diámetro, para las tres profundidades. En el suelo bajo uso Ag, alrededor del 40 % de los agregados presentaron tamaños mayores a 8mm en las tres profundidades, mientras que en las situaciones con pasturas (LL, F+A

y A+A) la proporción fue más baja (entre 21 y 30%). Para los agregados más pequeños ocurrió lo contrario, en el suelo Ag aproximadamente el 30% resultaron <2 mm, mientras que, en LL, F+A y A+A, la proporción se encontró entre 33 a 44%. Los agregados de tamaños intermedios (2-3, 3-4 y 4-8mm) también presentaron algunas diferencias, pero fueron menores a las encontradas en los tamaños de agregados <2 y >8 mm.

Tabla 1. Proporción de agregados de diferentes diámetros bajo uso: Pasto llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag). Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas, para cada profundidad ($p < 0,10$).

Table 1. Proportion of different diameters of aggregates in weeping lovegrass (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agricultural use (Ag). Different letters in the same column indicate significant differences among soil uses in each depth.

	Proporción de agregados (%)				
	<2 mm	2-3 mm	3-4 mm	4-8 mm	>8 mm
0-6 cm					
LL	40,6 A	10,6 A	12,4 A	11,9 A	24,6 B
F+A	41,6 A	10,7 A	12,9 A	13,5 A	21,5 B
A+A	39,1 A	9,7 A	11,9 A	12,0 A	27,6 B
Ag	30,7 B	9,0 A	10,4 A	12,6 A	37,4 A
6-12 cm					
LL	35,0 B	7,8 B	11,9 A	15,0 A	30,4 B
F+A	33,6 B	10,2 A	12,6 A	13,8 AB	29,9 B
A+A	40,5 A	8,4 B	11,3 A	11,4 B	28,5 B
Ag	26,9 C	7,7 B	11,1 A	14,3 A	40,1 A
12-18 cm					
LL	42,1 A	8,3 A	11,2 A	13,4 A	25,0 AB
F+A	44,2 A	9,3 A	12,1 A	13,9 A	20,5 C
A+A	39,6 A	8,2 A	9,7 A	12,5 A	30,0 B
Ag	31 B	6,7 A	9,6 A	12,9 A	39,9 A

La estructura del agregado puede caracterizarse a partir de su tamaño,

configuración externa o distribución de poros.



La porosidad de los agregados individuales se presenta en la **Tabla 2**. Para 0-6 cm de profundidad se encontró que todos los usos de suelo presentaron similar porosidad en los agregados de 2-3 mm (entre 47-50%), en cambio los agregados comprendidos entre 3-4, 4-8 y >8 mm mostraron diferencias en la porosidad dependiendo del uso del suelo. En general LL y A+A tuvieron mayor porosidad con respecto a Ag. En 6-12 cm, los agregados comprendidos entre 2-3, 4-8 y >8 mm no presentaron diferencias significativas en los distintos usos; en cambio en el tamaño entre 3-4 mm, A+A presentó la mayor porosidad intra-agregado con respecto a Ag. Con respecto a 12-18 cm, solamente en los tamaños de agregados 4-8 y >8 mm, el suelo bajo Ag fue el que presentó la menor porosidad.

Los resultados demostraron que la porosidad interna fue indicador sensible a la hora de caracterizar el suelo como medio para el crecimiento de las plantas (Danielson & Sutherland, 1986).

Con respecto al PMA, para 0-6 cm de profundidad, los agregados comprendidos entre 2-3 y 3-4 mm presentaron valores similares entre los distintos usos. En cambio, en los agregados comprendidos entre 4-8 y >8 mm el suelo bajo Ag presentó el mayor valor, con diferencias significativas con respecto a los demás usos (**Tabla 2**). En este sentido, se comprobó que el PMA de los comprendidos entre 4-8 mm en LL, F+A y A+A fue un 17, 18 y 28%

menor respectivamente, con respecto a Ag. Mientras que en los agregados >8 mm, LL, F+A y A+A pesaron un 58, 47 y 35% menos con respecto a Ag.

Para el estrato 6-12 cm de profundidad, el PMA en los agregados de 2-3 mm fue significativamente menor en A+A y F+A, en 3-4 mm también el uso A+A fue el que menor PMA presentó, mientras que el de los agregados de 4-8mm fue similar entre usos. Los agregados > 8 mm, fueron más livianos en el uso bajo pasturas con respecto al uso Ag. En relación con la profundidad de 12-18 cm, los agregados comprendidos entre 4-8mm pesaron un 31, 15 y 18% menos en los usos LL, F+A y A+A respectivamente, que el suelo bajo Ag, mientras que para los agregados >8 mm, estas diferencias fueron mayores (47, 53 y 24% menor peso para LL, F+A y A+A, respectivamente, con respecto al suelo Ag) (**Tabla 3**).

Recientemente, Zhao *et al.* (2020) reportaron que la textura y la MO influenciaron significativamente en la compleja porosidad interna de los agregados llamada porosidad “intra-agregados”. La misma no es una entidad fija sino por el contrario es dinámica, se asocia con microorganismos, lombrices, raíces y se encuentra íntimamente relacionada con el ciclado de carbono. La importancia de los poros radica en que son conductos para el flujo de agua y el transporte químico, así como hábitats para microorganismos, y por lo tanto juegan un papel clave en la determinación de las tasas



y magnitudes de la mayor parte de los procesos del suelo (Kravchenko & Guber 2017, Kravchenko *et al.*, 2020).

La representación proporcional de los agregados de diferentes tamaños para 0-6

cm de profundidad, para los 4 manejos, se observa en la **Figura 2**. Los mismos se encuentran en correspondencia con los valores presentados en la **Tabla 1**.

Tabla 2. Porosidad intra-agregado para diferentes tamaños de agregados según el uso (o tratamiento: Pasto llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag). Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas, para cada profundidad.

Table 2. Aggregate porosity in different sizes, for weeping lovegrass (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agricultural use (Ag). Different letters in the same column indicate significant differences among soil uses in each depth.

	Porosidad (%)			
	2-3 mm	3-4 mm	4-8 mm	>8 mm
0-6 cm				
LL	50 A	49 AB	48 A	47 AB
F+A	51 A	49 AB	46 AB	47 AB
A+A	49 A	51 A	48 A	48 A
Ag	47 A	45 B	44 A	43 B
6-12 cm				
LL	52 A	49 AB	48 A	45 A
F+A	50 A	49 AB	48 A	45 A
A+A	51 A	52 A	47 A	45 A
Ag	47 A	44 B	46 A	42 A
12-18 cm				
LL	48 A	49 A	48 A	46 AB
F+A	48 A	46 A	48 A	44 AB
A+A	48 A	46 A	49 A	47 A
Ag	46 A	46 A	44 B	43 B

Se visualiza que la proporción de los agregados >8 mm son superiores en Ag con respecto a los usos en pastura y se puede observar, además, la menor proporción de los agregados <2 mm. La Figura también

ilustra la influencia de 5 años de pasturas en la rotación ya que según se observa, las distribuciones de tamaños de agregados bajo F+A y A+A son más parecido a LL en contraposición a Ag.



Tabla 3. Peso de mil agregados (PMA) en agregados de diferentes diámetros, para llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag). Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas, para cada profundidad.

Table 3. Weight of a thousand aggregates (PMA) in aggregates of different diameters, for weeping lovegrass (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agricultural use (Ag). Different letters in the same column indicate significant differences among soil uses in each depth.

	PMA (g)			
	2-3 mm	3-4 mm	4-8 mm	>8 mm
	0-6 cm			
LL	8,0 A	27,4 A	109,1 B	684,0 B
F+A	8,5 A	27,7 A	107,3 B	853,9 B
A+A	8,6 A	25,9 A	94,3 B	1051,5 B
Ag	8,2 A	28,9 A	130,5 A	1627,6 A
	6-12 cm			
LL	9,5 AB	32,1 A	128,9 A	761,2 B
F+A	6,3 C	30,7 AB	111,1 A	1294,4 AB
A+A	6,3 C	27,2 B	106,4 A	1040,7 AB
Ag	10,9 A	30,4 AB	136,5 A	1544,2 A
	12-18 cm			
LL	8,7 A	27,8 A	103,7 B	946,4 C
F+A	8,3 AB	32,2 A	127,9 AB	837,6 C
A+A	7,2 B	28,8 A	123,8 AB	1358,8 B
Ag	8,7 A	32,9 A	151,4 A	1800,8 A

En la **Figura 3** se presentan los agregados >8 mm a fin de observar con mayor detalle la estructura de los mismos. Los agregados bajo el uso LL, A+A y F+A fueron generalmente más redondeados con superficies más heterogéneas (agregados más rugosos) con evidencias de una mayor actividad biológica, mientras que en Ag tienden a ser más angulares con superficies lisas y colores más claros (agregados menos rugosos), indicando una estructura de suelo más pobre. La presencia de mayores proporciones de agregados pequeños y menor proporción de agregados de mayor

tamaño en suelos con pasturas podría estar explicada por diferencias en el tipo de estructura hallada en el epipedón mólico. La estructura más común en suelos agrícolas de la región son bloques subangulares o angulares, en cambio, en suelos con pasturas o en buen estado de conservación, se ha observado que los bloques subangulares rompen a estructuras de tipo granular, con mayor porosidad interna, que reflejaría la mayor actividad biológica y contenidos de MO más elevados en estos suelos (Fernández, 2018). Distintos autores, trabajando en diferentes secuencias de



cultivos, han evaluado la respuesta física de los agregados ($<$ y $>$ 2 mm) a través de cambios en su morfología y rugosidad (Morrás et al., 2012; Alvarez., 2008; Kraemer et al., 2017). Álvarez et al. (2008), sobre un Argiudoll encontraron diferencias de redondez en suelos bajo diferente manejo agrícola, donde los agregados fueron más rugosos y menos redondeados en suelos no cultivados. Kraemer et al. (2017) concluyeron que las rotaciones con una mayor proporción de soja generaron agregados más redondeados con menor número de caras y menos porosidad visible

en comparación con las rotaciones con mayor proporción de gramíneas. Varios autores han reportado que la presencia de agregados esféricos de baja rugosidad indica un uso intensivo del suelo (Morrás et al., 1999; Olszewski et al., 2004). Por su parte las morfologías alargada y cuadrangular con máxima rugosidad, son predominantes en los suelos no laboreados siendo indicadoras de una mejor calidad de los suelos (Álvarez et al., 2008).

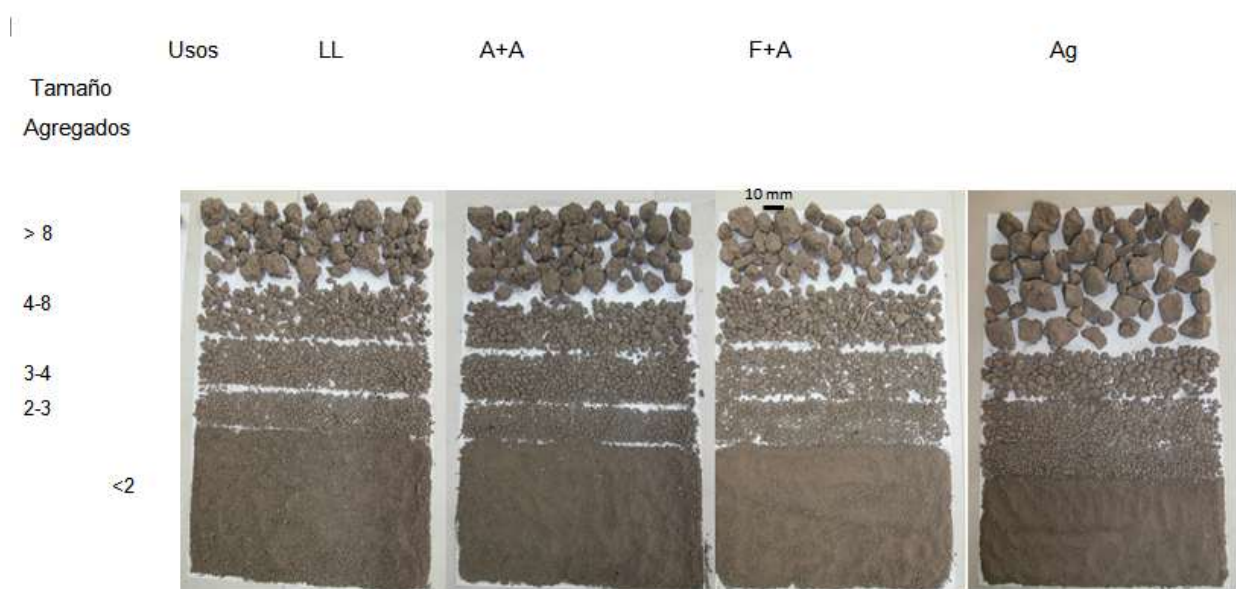


Figura 2. Agregados de suelos según tamaño (>8, 4-8, 3-4, 2-3 y <2 mm) para los diferentes usos evaluados: pasto llorón (LL), alfalfa+agropiro (A+A), festuca+agropiro (F+A) y agrícola (Ag).

Figure 2. Aggregate of soil according to sizes (>8, 4-8, 3-4, 2-3 y <2 mm) in weeping lovegrass (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agricultural use (Ag).

En la **Figura 4** se presenta el contenido de MO para los diferentes tamaños de En la **Figura 4** se presenta el contenido de MO para los diferentes tamaños de agregados a 0-6 cm de profundidad. Con respecto a los diferentes usos del suelo, LL fue el que mayor contenido de MO presentó en todos

los tamaños de agregados. No obstante, las mayores diferencias se encontraron en los más chicos, por su parte el uso bajo Ag presentó los menores valores de MO en todos los tamaños de agregados, y las pasturas se encontraron en situaciones intermedias. El mayor contenido de MO en

los agregados bajo LL y pasturas constituyó un factor determinante en la formación y estabilización de la estructura. Estos usos tuvieron los menores PMA, y mayor porosidad intra- agregados, lo cual le confiere al suelo la capacidad de mantener

la arquitectura de la fracción sólida y del espacio poroso entre agregados, permitiendo obtener agregados más resistentes frente a procesos de

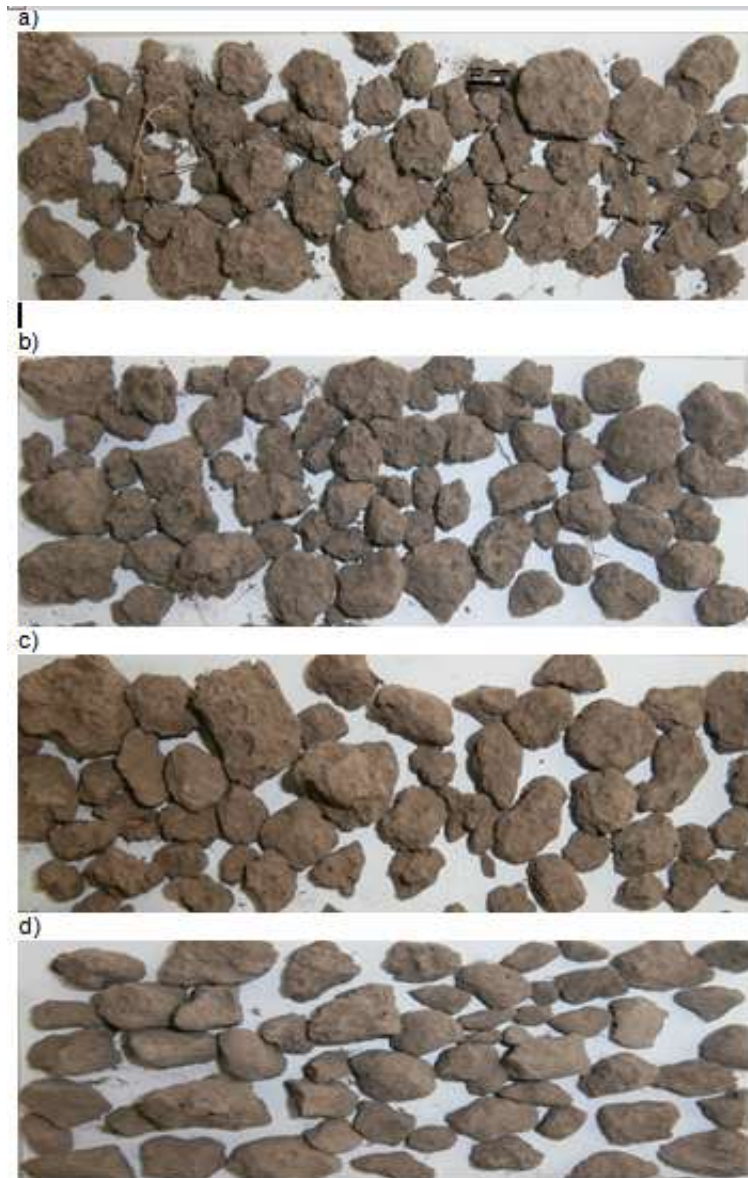


Figura 3. Agregados >8 mm para los diferentes usos evaluados: a) pasto Llorón, b) alfalfa+agropiro, c) festuca+agropiro y d) agrícola.

Figure 3. Morphological aspects of aggregates > 8 mm in a) weeping lovegrass (LL), b) fescue+wheatgrass (F+A), c) lucerne+wheatgrass (A+A) and d) agricultural use (Ag).



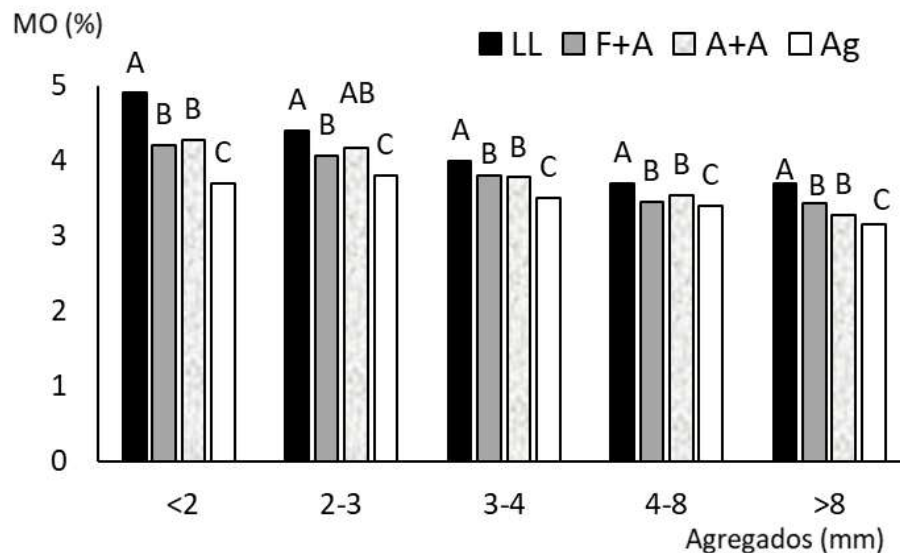


Figura 4. Materia orgánica (MO) de agregados de diferentes tamaños, en pasto llorón (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agricultural use (Ag). Letras distintas en cada tamaño de agregados indican diferencias estadísticas significativas entre diferentes usos de suelo.

Figure 4. Organic matter (MO) in different size aggregates, in weeping lovegrass (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agricultural use (Ag). Different letters in the aggregate size indicate significant differences among soil uses.

degradación. En el uso Ag todos los agregados tuvieron similar contenido de MO, evidenciando pérdida de carbono, principalmente en los agregados de menores tamaños. Este uso no solamente ha perdido gran proporción de agregados <2mm que son los de mayor calidad, sino que, además, estos agregados han perdido parte de la fracción orgánica del carbono.

La estabilidad de agregados es una medida de la resistencia que ofrecen los mismos al ser sometido a fuerzas externas, como precipitaciones, tránsito de maquinaria, pisoteo de animales. La misma puede ser expresada a través de indicadores como el índice de inestabilidad estructural (IIE), siendo el menor valor el suelo con mejor estabilidad. Los resultados de

nuestro estudio indicaron que tanto para 0-6 y 6-12 cm de profundidad los valores se encontraron próximos entre sí y no presentaron diferencias estadísticas significativas. En cambio, en 12-18 cm los valores tuvieron mayor variación donde el uso con F+A fue el de menor índice (Tabla 4). Estudios llevados a cabo por Fernández et al., (2016) y Quiroga et al., (2018) en la Región Semiárida Pampeana, evidencias menores valores del IIE en suelos con buen estado de conservación con respecto a suelos degradados en su estructura y con una historia agrícola mayor (más de 30 años) a la que fue sometido el sitio agrícola del presente trabajo.

Tabla 4. Índice de Inestabilidad estructural (IIE) bajo uso: pasto llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag). Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas entre usos de suelo, para cada profundidad ($p < 0,10$).

Table 4: Structural instability index (IIE) for weeping lovegrass (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agricultural use (Ag). Different letters in the same column indicate significant differences among soil uses in each depth.

	IIE		
	0-6 cm	6-12 cm	12-18 cm
LL	0,78 A	0,67 A	0,97 A
A+A	0,75 A	0,63 A	0,81 AB
F+A	0,63 A	0,57 A	0,61 B
Ag	0,72 A	0,74 A	1,00 A

El proceso de erosión eólica, es una de las causas de degradación de suelos más importantes en ecosistemas secos y semiáridos (Buschiazzo, 2006). Buschiazzo & Aimar (2003) y Panebianco & Buschiazzo (2007) comprobaron que la erosión de Ustipsammentes típicos y Haplustoles énticos de la RSP, superaban las tasas permisibles de pérdida de suelo ($8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). La proporción de agregados obtenidos mediante el tamiz rotativo para calcular la fracción erosionable (FE) se presenta en la **Tabla 5**. El 46% del suelo bajo Ag tuvo agregados $>19,2 \text{ mm}$, mientras que en los usos bajo pasturas esta proporción fue significativamente inferior (entre 12 y 19%). Con respecto a los agregados menores a $19,2 \text{ mm}$ ($<0,42$; $0,42-0,84$; $0,84-2$; $2-6,4$; $6,4-19,2 \text{ mm}$) el uso Ag fue el que presentó la menor proporción con respecto a F+A, A+A y LL.

Los valores de la FE para los diferentes usos evaluados se presentan en la **Tabla 6**.

El uso bajo Ag presentó el menor valor diferenciándose significativamente con las pasturas. Estudios en la Región Semiárida Pampeana demostraron que en general, los suelos con mayor contenido de MO presentaron menor FE (Méndez *et al.*, 2015; Colazo & Buschiazzo, 2010). Este comportamiento no se comprobó en el presente estudio, donde los suelos con menor MO presentaron mayor proporción de agregados $> 8 \text{ mm}$, probablemente estos resultados se deban a que los suelos Ag se encuentran comparativamente más densificados dando lugar a una menor FE.

La presencia de mayor proporción de agregados más grandes no se correspondió con una mejor condición física del suelo. Se encontró que la presencia de agregados $> 8 \text{ mm}$ (obtenidos mediante el tamizado en seco) como los $> 19 \text{ mm}$ (obtenidos por el tamiz rotativo) en el suelo Ag no fue un indicio de buena calidad estructural. En



Tabla 5. Proporción de diferentes diámetros de agregados obtenidos por tamiz rotativo. Pasto llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag). Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas.

Table 5: Proportion of different diameters of aggregates obtained by rotary sieve, for weeping lovegrass (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agricultural use (Ag). Different letters in the same column indicate significant differences among soil uses in each depth.

	Proporción de agregados (%)					
	<0,42 mm	0,42-0,84 mm	0,84-2 mm	2-6,4 mm	6,4-19,2mm	>19,2 mm
LL	14,6 A	4,5 AB	13,7 A	17,8 A	36,6 A	12,5 C
A+A	16,9 A	4,9 A	9,6 AB	17,7 A	31,7 A	18,9 B
F+A	16,6 A	4,4 AB	8,3 B	17,2 A	33,3 A	19,0 B
Ag	8,4 A	3,4 B	5,7 C	11,1 B	24,9 B	46,1 A

Tabla 6. Fracción erosionable (FE) bajo uso: pasto llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag). Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas.

Table 6: Erodible fraction (FE) for weeping lovegrass (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agricultural use (Ag). Different letters in the same column indicate significant differences among soil uses in each depth.

	FE (%)	
LL	18,4	A
F+A	19,9	A
A+A	18,3	A
Ag	13,0	B

este sentido, se hubiera esperado que el menor contenido de MO en Ag se correspondería con una mayor proporción de agregados de menor tamaño y en consecuencia una mayor FE. No obstante, nuestros resultados se encontraron en línea con los obtenidos por Colazo & Buschiazzo (2010) y Rojas *et al.*, (2013) quienes comprobaron, en suelos de similar textura, mayores agregados no erosionables en suelos con mayor historia agrícola, dando lugar a bajos valores en la FE.

La mayor proporción de agregados grandes en el suelo Ag se asociaría con procesos de densificación condicionados por

una secuencia continua de secuencia agrícola, con bajo aportes de residuos. La menor incorporación de raíces a través del tiempo en el suelo Ag (Fernández *et al.*, 2020) sería responsable del menor contenido de MO y la disminución de la porosidad interna de los agregados. El estudio de raíces ha tenido gran envergadura en los últimos años, en virtud de que la biomasa aportada por las mismas es estabilizada a MO en mayor proporción aún que la derivada de la biomasa aérea (Kätterer *et al.*, 2011).

La explicación por la cual el IIE tampoco fue un indicador apropiado para diferenciar



los efectos de los diferentes usos, podría estar explicado por la metodología empleada que involucra agregados de 2-8 mm, los cuales comparativamente se encontraron menos influenciados por el manejo que los <2 y >8 mm. Este efecto diferencial del manejo también fue observado por Fernández *et al.* (2010) quienes expresan que los menores cambios en la agregación del suelo por efecto de su uso se registraron en los agregados comprendidos entre 2-4 mm.

La **Figura 5** muestra la distribución de los usos del suelo evaluados en el plano de las dos primeras componentes principales, comprobándose que las variables consideradas se encontraron adecuadamente representadas. La componente principal 1 explicó el 66,8 % de la variabilidad y la componente principal 2 el 19,7 %. Los suelos bajo LL y F+A se ubicaron en el mismo cuadrante y se asociaron positivamente con MO >8, 2-3 PA, Pr A < 2; A+A se asoció positivamente con la porosidad de los agregados (3-4 PA, >8 PA, 4-8 PA), el uso Ag se encontró en un cuadrante opuesto, indicando relaciones negativas con las variables indicadas. Analizando propiedades físico-hídricas de estos mismos usos, se comprobó que LL y A+A presentaron similares características y se relacionaron positivamente con raíces, macroporos, porosidad total e infiltración

básica. El uso F+A se encontró en una posición intermedia y el uso Ag se encontró en un cuadrante opuesto y se asoció positivamente con los indicadores relacionados a la compactación (Fernández *et al.*, 2020).

Con la finalidad de evaluar si, los indicadores relacionados a la estructura bajo el planteo mixto de rotación, se aproximan a los niveles de los indicadores bajo el uso con pastura permanente de gramínea (LL), se confeccionó la **Tabla 7**. El suelo LL fue considerado condición de referencia, debido a que representa un suelo en óptimo estado de conservación (Fernández, 2018). Debido a ello, se propuso considerar a los valores promedios de los indicadores como una aproximación a los valores de línea de base para los suelos francos de la Región Semiárida Pampeana y se consideró el valor de cada indicador como valor relativo al uso LL (100%). Los valores relativos de los indicadores de las dos pasturas perennes (F+A y A+A), se encontraron más próximos a los valores de LL que al uso Ag. Estos resultados indicarían que sistemas mixtos de rotaciones con pasturas perennes, podrían alcanzar al final del ciclo de las pasturas condiciones muy favorables de fertilidad física y biológica del suelo.



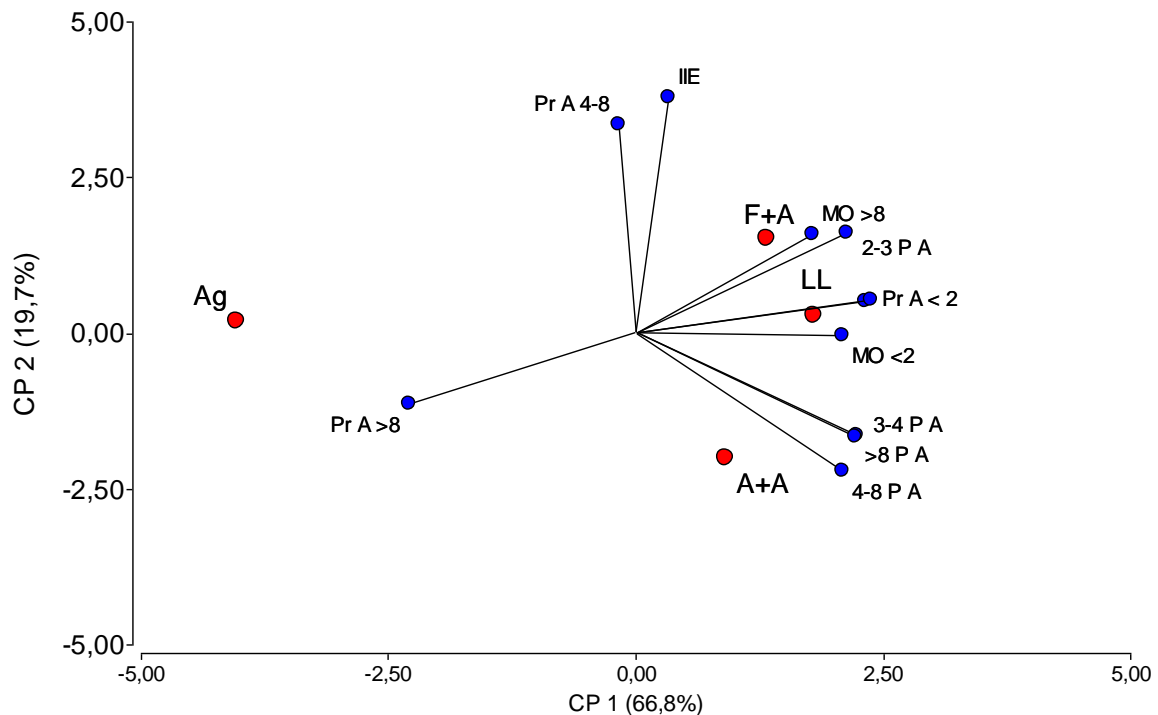


Figura 5. Análisis bi-plot de componentes principales (CP) en suelos bajo uso pasto llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), agropiro+alfalfa (A+A) y agrícola (Ag). Materia orgánica en agregados >8 y <2 mm (MO), proporción de agregados de <2, 2-3, 4-8 y >8 mm (PrA), porosidad de los agregados de 2-3, 3-4, 4-8 >8 mm (PA). **Figure 5.** Bi-plot of the main component (CP) in soils under weeping lovegrass (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agricultural use (Ag). Organic matter in different aggregate size >8 y <2 mm (MO), aggregate distribution of <2, 2-3, 4-8 y >8 mm (PrA), aggregate porosity 2-3, 3-4, 4-8 >8 mm (PA).

De la **Tabla 7** se desprende que los compuestos orgánicos de los agregados en el uso Ag se encontraron alejados de la situación de referencia (LL), lo cual ha incidido en que la proporción de agregados <2 mm sea menor y muy superior los >8 mm con respecto a LL. En relación con el PMA los agregados >8 mm tuvieron valores muy altos y en relación con la porosidad intra-agregado, Ag también se encontró alejado de LL. Fernández *et al.* (2020) evaluaron indicadores físico-hídricos en los mismos usos de suelo y comprobaron una importante disminución en la porosidad total de los suelos bajo uso Ag, la cual tendría lugar a expensas de pérdidas de

macroporosidad. Similar a lo ocurrido con algunos indicadores relacionados con la estructura de suelo, los valores relativos de los indicadores físico-hídricos de F+A y A+A, se encontraron más próximos a los valores de LL que al uso Ag (Fernández *et al.*, 2020).

Al respecto, distintos estudios resaltan la importancia de la rotación de cultivos a fin de mejorar la funcionalidad de los agroecosistemas (King & Blesh, 2018; Finney & Kaye, 2017).

Conclusiones

Los resultados del estudio muestran

Tabla 7. Valores relativos de los indicadores de calidad estructural y materia orgánica en agregados <2 y >8 mm, en pasto llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), agropiro+alfalfa (A+A) y agrícola (Ag).
Table 7: Relative values of the soil indicators structural quality and organic matter in aggregates <2 and >8 mm in weeping lovegrass (LL), fescue+wheatgrass (F+A), lucerne+wheatgrass (A+A) and agriculture (Ag).

	MO	MO	PrA	PrA	PrA	PrA	PMA	PMA	PMA	PA	PA	PA
	<2	>8	<2	2-4	4-8	>8	2-4	4-8	>8	2-4	4-8	>8
LL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F+A	86	92	102	102	113	87	103	98	124	105	96	100
A+A	88	90	96	94	100	112	101	86	153	101	100	102
Ag	75	83	75	84	106	152	104	119	237	92	92	90

Materia orgánica total (MO), proporción de agregados (PrA), peso de mil agregados (PMA), porosidad de los agregados (PA).

que la diversificación de la rotación y la alternancia de pasturas perennes y cultivos anuales puede contribuir a mejorar las propiedades estructurales del suelo.

Si bien la mayor proporción de agregados de mayor tamaño (>8 mm) se encontró en el suelo agrícola, esto no significaría una mejor estructura del mismo, ya que corresponden a bloques subangulares o angulares con superficies lisas, colores más claros y menor porosidad interna la cual está asociada a una menor actividad biológica y por lo tanto menores contenidos de materia orgánica.

Los indicadores que reflejaron la estabilidad estructural bajo las distintas prácticas de uso fueron MO de los agregados, PrA, PMA y PA. En cambio, el IIE y la FE no fueron apropiados para evaluar el

efecto del manejo sobre la estructura del suelo.

Al observar los índices estudiados en suelos bajo pasturas perennes (A+A y F+A) y luego compararlos con los obtenidos en el suelo de referencia o línea base (LL), estos valores se encuentran muy próximos entre sí, es decir, las pasturas fueron capaces de recuperar fertilidad física y biológica en un periodo de tiempo no tan prolongado.

Bibliografía

Alvarez M; M Osterrieth; V Bernava Laborde & L Montti. 2008. Estabilidad morfología y rugosidad de agregados de Argiudoles típicos sometidos a distintos usos: su rol como indicadores de calidad física en suelos de la Prov. de Buenos Aires, Argentina. *Cienc. Suelo* 26: 115-129.

- Arshad M; B Lowery & B Grossman. 1996. Physical test for monitoring soil quality. En: Doran; J & A Jones (Eds.). *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI. 123-141.
- Banwart S; H Black; Z Cai; P Gicheru; H Joosten; R Victoria; E Milne; E Noellemeyer & U Pascal. 2014. The global challenge for soil carbon. *Soil Carbon Science; Management and Policy for Multiple Benefits*; Ed. Banwart S; E Noellemeyer; E Milne. Scope Vol. 71: 1-11. CABI Publishers. Wallingford, U.K.
- Blanco-Canqui H & R Lal. 2007. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil Till. Res.* 95: 240-254.
- Brejda J; T Moorman; D Karlen & T Dao. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. *Soil Sci. Am. J.* 64: 2115-2124.
- Buschiazzo D E. 2006. Management systems in southern South America. In: Peterson, G.A., Unger; P W; Payne; W A. (Eds.), *Dryland Agriculture*, 2nd ed. Agron. Monogr. N°. 23. ASA, CSSA & SSSA, Madison, USA, pp. 395-425.
- Buschiazzo D E & S Aimar. 2003. Erosión eólica: procesos y predicción. En: *Viento, 556 Suelo y Planta*. Editores: A.D. Golberg y A.G Kin. INTA, Buenos Aires, Argentina. 557 Pp 21-34.
- Chepil W S. 1950. Properties of soil which influence wind erosion: II dry aggregate structure as an index of erodibility. *Soil Sci.* 69: 403-414.
- Chepil W S. 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Science Society of America Proceeding* 26: 4-6.
- Colazo JC & D E Buschiazzo. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159: 228-236.
- Danielson R E & P L Sutherland. 1986. Porosity. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd Edition*. Agronomy 9, pp. 443-461.
- De Boodt M & L De Leenheer. 1967. West European methods for soil structure determinations. *State Faculty Agric. Sci. Ghent* 7: 60-62.
- Di Rienzo J A; F Casanoves; M Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & C Robledo. 2013. Infostat - Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba; Argentina [WWW Document]. Universidad Nacional de Córdoba; Argentina.
- Doran J & T Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Sci. Soc Am. J. 3-21.
- Duval M E; J A Galantini; J M Martínez & J O Iglesias. 2016. Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Ciencia del Suelo* 34: 197-209.
- Fernández R. 2018. Valores de línea de base para evaluar la degradación en Molisoles de la Región Semiárida Pampeana. Tesis doctoral UNSur.
- Fernández R; D Fernández; I Frasier; M Uhaldegaray; A Oderiz; E Sherger & A Quiroga. 2017. Importancia de las gramíneas en secuencias agrícolas con alta incidencia de oleaginosas en la región semiárida pampeana. Simposio IPNI-Asociación Civil Fertilizar. Actas.



- Fernández R; N Furch; M Bissolino; I Frasier; E Sherger & A Quiroga. 2020. Contribución de las pasturas perennes en la fertilidad física y biológica en molisoles de la Región Semiárida Pampeana. *Cienc. Suelo* 38: 1-16.
- Fernández R; A Quiroga; C Álvarez; C Lobartini & E Noellemeyer. 2016. Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. *Cienc. Suelo* 34: 279-292.
- Fernández R; A Quiroga; C Zorati & E Noellemeyer. 2010. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. *Soil Till. Res.* 109: 103-109.
- Finney D M & J P Kaye. 2017. Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system. *J. Appl. Ecol.* 54, 509-5017.
- Flint L & A Flint. 2002. Porosity. In *Methods of Soil Analysis. Part 4. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison; WI.* pp. 241-255.
- Gardi C; M Angelini; S Barceló; J Comerma; C Cruz Gaistardo; A Encina Rojas; A Jones; P Krasilnikov; S Mendonça; L Montanarella; O Muñiz Urgate; P Schad; M Vara Rodríguez & R Vargas. 2014. *Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de La Unión Europea; L-2995 Luxembourg; pp. 176.*
- Horn R & A Smucker. 2005. Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. *Soil Till. Res.* 82: 5-14.
- Kätterer T; MA Bolinder; O Andrén; H Kirchmann & L Menichetti. 2011. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 141: 184-192. doi:10.1016/j.agee.2011.02.029.
- King A E & J Blesh. 2018. Crop rotations for increased soil carbon: perenniality as a guiding principle. *Ecol. Appl.* 28: 249-261.
- Kraemer F; M Soria; M Castiglioni; M Duval; J Galantini & H Morrás. 2017. Morphostructural evaluation of various soils subjected to different use intensity under no-tillage. *Soil Till Res.* 169: 124-137.
- Kravchenko A N & Guber; A.K. 2017. Soil pores and their contributions to soil carbon processes. *Geoderma* 287: 31-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.06.027>
- Kravchenko A N; A Guber; A Gunina; M Dippold & Y Kuzyakov. 2020. Pore-scale view of microbial turnover: combining 14C imaging; μ CT and zymography. *European Journal of Soil Science.*
- Lipiec J; A Wójciga & R Horn. 2009. Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction. *Soil Till. Res.* 103: 170-177.
- Lipiec J; R Walczak; B Witkowska-Walczak; A Nosalewic; A Slowinska-Jurkiewicz & C Slawinski. 2007. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt of different genesis. *Soil Till. Res.* 97: 239-246.
- Méndez M J; S B Aimar & D E Buschiazzo. 2015. PM10 emissions from aggregate fractions of an Entic Haplustoll under two contrasting tillage systems. *Aeolian Research* 19: 195-201.
- Merten G H; A G Araújo; R C M Biscaia; G M C Barbosa & O Conte. 2015. No-till surface



- runoff and soil losses in southern Brazil. *Soil Till. Res.* 152: 85-93.
- Micó C; M Peris; L Recatalá & J Sánchez. 2007. Baseline values for heavy metals in agricultural soils in an European Mediterranean region. *Sci. Total Environ.* 378: 13-17.
- Moret D & M López. 2015. Un método sencillo para la estimación de la porosidad de un agregado de suelo. *In: Martínez S, Sastre A (Eds.); Estudios en la Zona No Saturada: Vol. XII ZNS' 15: 3-6.*
- Morrás H; B Bonel; P Fernandez; F Kraemer & C Alvarez. 2012. Topsoil microstructural models in no-till Pampean Mollisols of Argentina. *Morphology and development. Proceedings of the 14th International Working Meeting on Soil Micromorphology, Lleida; España.*
- Morrás H; E Leyva & G Pícolo. 1999. Modificaciones de la morfología y porosidad de agregados en un Ultisol bajo diferentes tratamientos culturales (Misiones; Argentina). *XIV Congreso Latinoamericano De La Ciencia Del Suelo; Pucón; Chile (Ed. in CD).*
- Nelson D & L Sommers. 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. *En: Black C; D Evans; J White; L Ensminger; F Clark. Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Soil Sci. So. Am. and Am. Soc. Agron. Madison, USA, pp. 961-1010.*
- Olszewski N; L Costa; E Fernandes Filho; H Ruiz; R Alvarenga & J Cruz. 2004. Morfología de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 28: 901-909.
- Pagliai M; M Raglione; T Panini; M Maletta & M La Marca. 1995. The structure of two alluvial soils in Italy after 10 years of conventional and minimum tillage. *Soil Till. Res.* 34: 209-223.
- Panebianco J E & D Buschiazzo. 2007. Erosion prediction with the wind erosion equation using different climatic factors. *Land Degradation Dev.* 19: 36-44.
- Quiroga A; C Gaggioli; R Fernandez & E Noellemeyer. 2015. Contribución al manejo sustentable de suelos en zonas semiáridas. *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomo 1. Ed R. Casas; G. Albarracin. PROSA-FECIC. ISBN 978-950-9149-39-7, 167-181.*
- Quiroga A; R Fernández; I Frasier; E Noellemeyer & O Ormeño. 2018. Efecto de la labranza y la ganadería sobre propiedades edáficas y eficiencia en un Haplustol de la Región Semiárida Pampeana. *En: Ensayos de larga duración en Argentina: Un aporte al logro de sistemas agrícolas sustentables. Ed: Salvaggiotti F; H Krüger; G Studdert; pp 361. ISBN 978-987-521-886-4.*
- Quiroga A; A Oderiz; M Uhaldegaray; C Alvarez; E Scherger; R Fernández & I Frasier. 2016. Influencia del manejo sobre indicadores físico-hídricos de compactación de suelos. *Semiárida Revista Facultad de Agronomía UNLPam* 26: 21-28.
- Rojas J M; D E Buschiazzo & O Arce. 2013. Parámetros edáficos relacionados con la erosión eólica en inceptisoles del chaco. *Cienc. Suelo* 31: 133-142.
- Thackway; R & A Specht. 2015. Synthesising the effects of land use on natural and managed landscapes. *Sci. Total Environ.* 526: 136-152.



Wiermann C & R Horn. 2000. Effect of different tillage systems on the recovery of soil structure following a single compaction event. En: Horn R; van den Akker J; Arvidsson J (Eds.). Subsoil Compaction—Distribution, Processes and Consequences. Advances in Geocology, Catena 32: 339-350.

Zhao Y; X Hu & X Li. 2020. Analysis of the intra-aggregate pore structures in three soil types using X-ray computed tomography. Catena 193: 104622.

