TRABAJO FINAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

ESPECIALISTA EN SIEMBRA DIRECTA

Diagnóstico de la condición física en diferentes momentos de una rotación agrícola-ganadera bajo siembra directa

Ing. Agr. Santiago María Algorta Inchauspe

Tutores:

Dra. Patricia Lilia Fernández

Dr. Filipe Behrends Kraemer

Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano

Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

Buenos Aires, 27 de febrero de 2015

INDICE

INDICE 2
RESUMEN 3
INTRODUCCIÓN 5
MATERIALES Y MÉTODOS 9
Momento de muestreo y diseño experimental 13
Determinaciones edáficas 14
Estadística 17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18
Índice visual de calidad estructural del suelo 31
CONCLUSIONES 42
BIBLIOGRAFÍA 43
APÉNDICE 1. 51
APÉNDICE 2 52
APÉNDICE 3. 59
APÉNDICE 4. 60
APÉNDICE 5. 61
APÉNDICE 6. 62
APÉNDICE 7. 63
APÉNDICE 8. 64
APÉNDICE 9. 65
APÉNDICE 10. 66

RESUMEN

La integración de la producción de cultivos anuales con la producción animal puede ser una alternativa interesante para aumentar la capacidad reguladora del sistema de producción tanto en lo que se refiere a la variabilidad climática como económica. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la condición física de un suelo en diferentes momentos de la rotación agrícola-ganadera. Se muestreó una consociación de suelos (Hapludol Éntico y Thaptho-árgico) en la localidad de Pehuajó, provincia de Bs. As. Los tratamientos se basan en diferentes momentos de la rotación agrícola-ganadera: 1- “AG”: segundo año agrícola desde última pastura; 2- “FA”: final de la fase agrícola; 3- “PA”: segundo año de pastura, con 3 repeticiones para cada uno. Para caracterizar los suelos se determinó: textura, densidad de partícula y carbono orgánico total (COT) y sus fracciones. Se midió la densidad aparente (DA), la resistencia a la penetración (RP), y se calculó la porosidad total (PT) hasta la profundidad de 30 o 40 cm. Se determinó la estabilidad estructural del suelo (EE) y el índice visual a campo de la estructura (IVC) a partir de la recolección de monolitos no disturbados (20x20 cm). Los resultados arrojaron que los suelos bajo análisis tuvieron un alto contenido de COT, carbono orgánico resistente (COR) y carbono orgánico particulado (COP) para el tipo de suelo, observándose una gran variabilidad dentro de cada tratamiento. A partir de los datos de DA (1,13 Mg m^{-3} a 1,50 Mg m^{-3} para el estrato analizado) y de RP (673 kPa a 3104 kPa para el estrato analizado, 2 años de pastura no habrían sido suficientes para mejorar el efecto de la fase agrícola. Se observaron efectos incipientes del pisoteo animal en pasturas y pastoreo de residuos registrado a

través de la DA y RP, probablemente relacionado a alto contenido de CO. Se hallaron agregados con estructuras subangulares desde débiles a moderadas con raíces inter e intra-agregados en el tratamiento FA, mientras que el tratamiento AG se observaron estructuras masivas intercaladas con estructuras laminares apoyado en una estructura masiva, atribuible al efecto de SD en acción concomitante con el pisoteo animal. La EE medida en laboratorio reflejó lo hallado visualmente, presentando el siguiente orden decreciente: PA>FA>AG, correlacionándose significativamente con los IVC asignados a campo.

Palabras clave: resistencia a la penetración, densidad aparente, porosidad total, estabilidad estructural, índice visual a campo, sistemas mixtos.

INTRODUCCIÓN

La adopción de la siembra directa (SD) en Argentina ha crecido fuertemente en las últimas décadas. Inicialmente, a fines de los años 70, sólo se sembraban algunas miles de hectáreas, llegando en la campaña 2010/11 a implantarse cerca de 27 millones de hectáreas con dicho sistema, o sea un 78,5 % de la superficie agrícola del país (Figura 1). Este rápido crecimiento se debió al avance del cultivo de soja en toda la región agrícola del país, por cuestiones económicas y la simplicidad de producir este cultivo en SD. Sin embargo, no se realizó sobre la base de estudios detallados de los efectos de la SD sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, o su evolución en el tiempo (Kiessling et al., 2008).

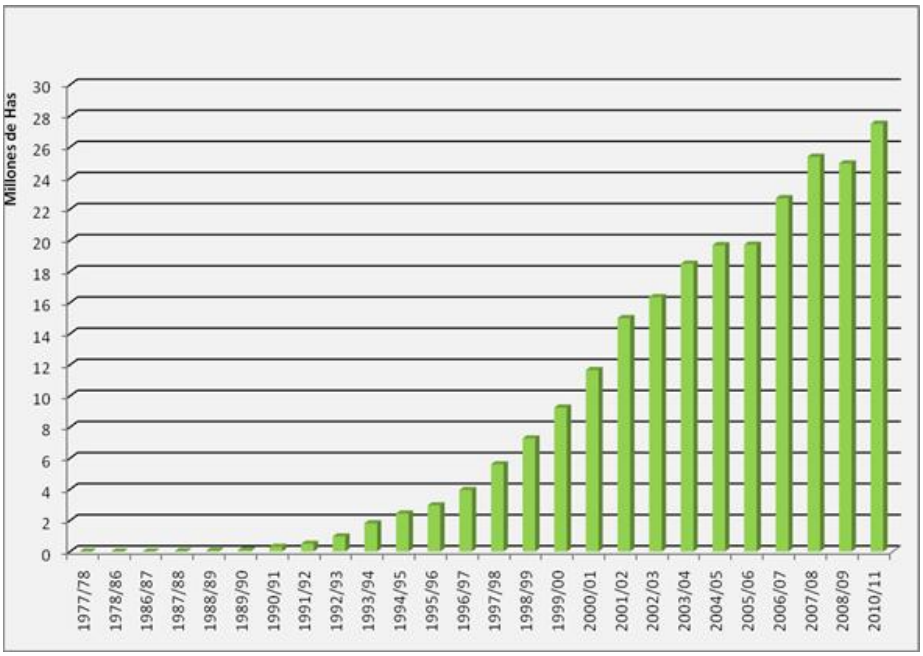


Figura 1. Evolución de la superficie bajo siembra directa en Argentina (campañas 1977/78 a 2010/11). Fuente: AAPRESID (2012)

La SD fue implementada en diversas regiones debido a que presenta numerosos beneficios. En lo que respecta al suelo, aquéllos que están expuestos a erosión, hídrica o eólica, la presencia de residuos en superficie contribuye con el control de procesos erosivos, disminuyendo la formación de costras superficiales mejorando el ingreso del agua en el perfil (Gil, 2008). Por otro lado, aumenta el albedo y modera la amplitud térmica del suelo provocando una menor evaporación de agua. Todo esto lleva a una mejor captación de las precipitaciones y un mayor almacenaje de agua en el perfil. Y en relación a sistemas que incluyen a la ganadería, permite una mejor condición del recurso suelo y una mayor capacidad portante del mismo (Fernández et al., 2011).

En particular, en el oeste de la Región Pampeana, donde los suelos son arenosos y su mayor limitante es la elevada variabilidad en las precipitaciones y la baja retención hídrica, el efecto de la cobertura genera una menor pérdida por evaporación y un aumento de la lámina de agua presentando mayor agua disponible para los cultivos (Viglizzo y Frank, 2006). También protege el suelo contra la erosión eólica, proceso que durante épocas de grandes sequías puede ser un fenómeno que remueve gran cantidad de suelo, ejemplo de ello fue el llamado "*dust-bowl* pampeano" entre los años ´30 y ´50 (Viglizzo y Frank, 2006).

Actualmente, la producción agrícola en Argentina está basada en la SD del cultivo de soja genéticamente modificada resistente al glifosato. La superficie en la que se produce soja se extiende a 61 % del área cultivable (http://old.siia.gov.ar). A pesar de que este sistema de producción es rentable económicamente, por lo menos en el corto plazo, produce poca variedad de productos. La integración de la producción de cultivos anuales con la producción animal puede ser una alternativa interesante para aumentar

la capacidad reguladora del sistema de producción tanto en lo que se refiere a la variabilidad climática como económica (Viglizzo, 1986).

Sin embargo, la presencia del ganado bovino en los sistemas conllevaría a posibles perjuicios. El tránsito de animales en los suelos puede ocasionar degradación debido al pisoteo. Esto es, aumento de la densidad aparente (DA), disminución de la infiltración, pérdidas de estructura, etc. Esos procesos dependen principalmente del tipo de animal, del tiempo de permanencia, de las condiciones de humedad del suelo, de la textura y el carbono orgánico, de las especies vegetales, etc. (Fernández et al., 2011).

El pisoteo animal directo, en el corto plazo, puede generar una pérdida de macroporos y aumentos de la DA en superficie, con implicancias, negativas por ejemplo, en la infiltración del agua de lluvia (McCalla et al., 1984; Greenwood y McKenzie, 2001). Sin embargo, los sistemas bajo SD pueden presentar una buena estabilidad en la distribución del espacio poroso frente a factores externos (Kiessling et al., 2006; 2008). La compactación del suelo se produce por el aumento de la DA concomitantemente con incrementos en la resistencia a la penetración. Bajo esta condición la estructura del suelo se debilita y puede perder estabilidad, conduciendo a una reducción de la porosidad total. Esta reducción implica una menor disponibilidad tanto de aire como de agua para las raíces de las plantas, disminuyendo la actividad bioquímica y microbiológica del suelo (Letey, 1985; da Silva et al., 2001). Al mismo tiempo, produce una mala implantación de los cultivos, las raíces tienen más dificultad en penetrar en el suelo y un acceso reducido al agua y a los nutrientes. Todo esto se traduce en un menor desarrollo del sistema radical de las plantas y, por lo tanto de su

parte aérea, lo que se manifiesta en una menor producción vegetal (Venanzi et al., 2001).

Los sistemas mixtos a través de la presencia de pasturas perennes en la rotación con cultivos anuales traerían numerosas ventajas, las cuales se relacionan con la capacidad de mejora de las propiedades del suelo afectadas durante el período agrícola, entre las que puede mencionarse aumentos de la estabilidad estructural, y del carbono orgánico (e.g. Studdert et al., 1997; Miglierina et al., 2000; Siri-Prieto y Ernst, 2010). En este punto es necesario resaltar el rol que cumple la materia orgánica del suelo, no sólo en la provisión de nutrientes para los cultivos sino en los mecanismos de formación y estabilización de la estructura del suelo (Six et al., 2002). Otra ventaja que presentan los sistemas integrados agrícola-ganaderos es que pueden hacer un uso estratégico de los residuos de cosecha, utilizando los mismos como parte de la oferta forrajera. En particular este tipo de utilización podría realizarse en residuos de cultivos de maíz debido a su mayor volumen y debido a que dicho recurso es una fuente de fibra y energía para el ganado en un momento del año donde disminuye la producción de las pasturas, evitando el sobrepastoreo de las mismas.

Los residuos en superficie y la no remoción conducen a minimizar las pérdidas del material orgánico y mineral del suelo, dado que se atenúan los factores de mineralización de la materia orgánica, y de los agentes que conducen a procesos de erosión (Gil, 2008). Sin embargo, cuando el rastrojo forma parte de la oferta forrajera, puede conducir a disminuciones en la entrada de carbono al suelo, lo cual sumado a ello el tránsito del ganado, podría llevar a procesos de degradación estructural. Todo esto genera una incógnita respecto de la sustentabilidad de los sistemas bajo estas

condiciones de producción. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la condición física y el contenido de carbono orgánico del suelo en diferentes momentos de una rotación agrícola-ganadera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y descripción de manejo

El trabajo se llevó a cabo en el establecimiento “La Margarita” (Apéndice 1), situado en la provincia de Buenos Aires, partido de Pehuajó, cercano a la estación Albariño. El clima es templado húmedo, con precipitaciones medias anuales para el periodo 1907-2010 de 856 mm. En la Figura 2 se presentan las precipitaciones promedio de los 5 y 10 últimos años y las precipitaciones del año de muestreo en el que se puede ver un comportamiento general de tipo isohigro con precipitaciones algo superiores en otoño y primavera. El área es una llanura que desde el punto de vista geomorfológico está ubicado en la pampa arenosa loessoide de Trenque Lauquen – Pinto.

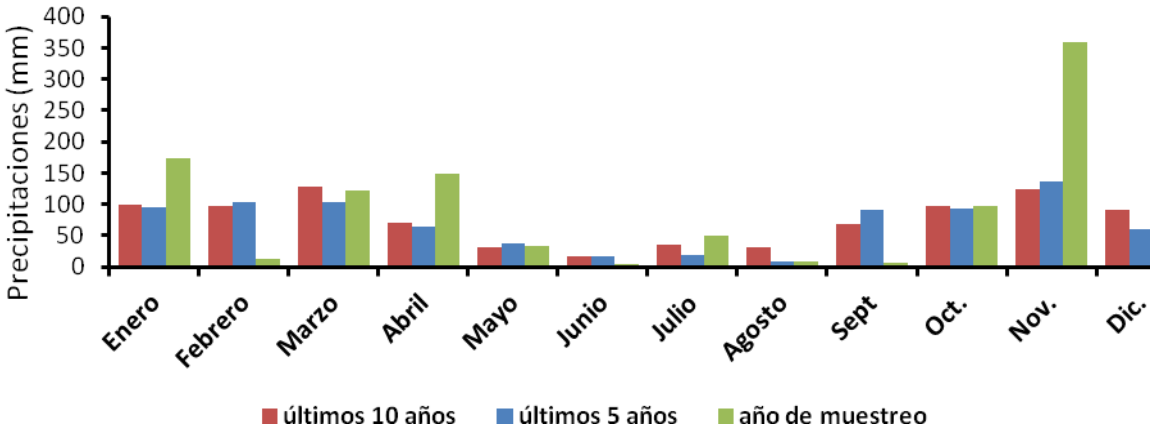


Figura 2. Precipitaciones medias mensuales (mm) para los últimos 10 años, los últimos 5 años y para el año de muestreo (2011).

Los lotes bajo estudio presentan una consociación de suelos de la serie Rivadavia 80% (Bonfils et al., 1959) y Germania 20% (Tecnoagro, 1973) cuyos perfiles modales son presentados en el Apéndice 2. Los suelos fueron clasificados como Hapludol Éntico y Thapto-argico para las series Rivadavia y Germania, respectivamente (Bonfils et al., 1959). En el mapa del establecimiento se pueden observar las consociaciones de los suelos en cada lote (Apéndice 1).

En la Tabla 1 se presenta la distribución de tamaños de partículas cuya textura es Franco arenosa. Los datos se obtuvieron mediante la metodología de Bouyoucus (1962), utilizándose hexametafosfato de sodio (0,5 %) como agente dispersante del suelo.

Tabla 1. Distribución de tamaños de partículas (arcilla, limo y arena) para los estratos 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm promedio para los tratamientos.

Profundidad	Arcilla (g kg^{-1})	Limo (g kg^{-1})	Arena (g kg^{-1})
0-10 cm	175.93	318.87	505.20
10-20 cm	173.37	319.87	506.73
20-30 cm	156.47	269.17	574.33

El establecimiento presenta un sistema de producción agrícola-ganadero. Todos los lotes se manejan bajo rotaciones de cultivos anuales con pasturas perennes. La producción agrícola se encuentra bajo SD desde el año 2002 o 2005 según el lote, por lo cual se consideran en un sistema estabilizado de SD con más de 5 años bajo este sistema (Sasal, 2012). Los cultivos anuales más frecuentes son: soja (*Glicine max*), maíz (*Zea maiz*), girasol (*Heliantus annus*), trigo (*Triticum durum*) y cebada (*Hordeum distichum*). Los años de agricultura continua son alrededor de seis, pero en lotes con suelos más frágiles este período es más corto. En un mismo lote no se repite un mismo cultivo anual en años consecutivos como estrategia de manejo integrado de adversidades fitosanitarias y mejor aprovechamiento del recurso suelo.

El período de pasturas se extiende por cuatro años. Las pasturas perennes están compuestas por alfalfa (*Medicago sativa*) y gramíneas: pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), festuca (*Festuca arundinacea)* y cebadilla (*Bromus unioloide*), que varían según el tipo de suelo predominante de la consociación en cada lote. La ganadería está compuesta por 2 rodeos de cría (con sus toros y vaquillonas de reposición) y 4-6 rodeos de novillos para engorde, todos de razas británicas (Angus y Hereford en su

mayoría). El manejo de la ganadería sobre las pasturas se realiza bajo sistema pastoril racional con pastoreos rotativos. Las parcelas son de alrededor de 10 ha cada una con una carga instantánea de entre 12000-14000 kg vivos ha^{-1} y una carga anual dinámica que varía de 2,5 a 3,75 animales ha^{-1} (alrededor de 1000 kg vivos ha^{-1}). La producción de las pasturas es muy variable entre años, debido a la variabilidad existente de las precipitaciones con promedios zonales de 14000 kg de materia seca ha^{-1} (en lotes de capacidad agrícola). Para mantener y regular estas cargas se utiliza suplementación con granos de maíz y rollos (generados por el excedente de las pasturas durante la primavera). Para no excederse con las cargas se utilizan corrales de encierre para terminación de novillos. Este manejo implica que en primavera y algunos veranos húmedos las producciones sean mayores que el consumo, perdiendo oportunidades de consumo (las pasturas “se pasan”) por lo que la eficiencia de utilización de la pastura por parte de los animales sea baja, se deje mayor remanente y aumente el forraje pisoteado. Sin embargo, esta situación conduce a mayores aportes de residuos al suelo, constituyendo un gran aporte de materia orgánica. Por último lo que respecta a manejo, únicamente los residuos de maíz son utilizados para la alimentación de los rodeos de cría, los cuales son consumidos durante el período invernal. El manejo del rodeo se conforma con cargas instantáneas que van desde 1800 kg ha^{-1} a 3000 kg ha^{-1} con un objetivo de consumo de 80 a 110 raciones ha^{-1} para mantener coberturas de suelo aceptables.

Momento de muestreo y diseño experimental

Las muestras de suelo se tomaron entre los meses de julio y septiembre del año 2011. Para ello, se seleccionaron 9 lotes con suelos similares y con una historia de rotación similar. Los lotes seleccionados tuvieron una rotación de cuatro años de pastura polifítica (alfalfa, pasto ovillo y cebadilla), seguido de seis años de agricultura en la cual la rotación fue soja/maíz y en el último año se realizó trigo o girasol para luego implantar la pastura.

Los tratamientos se basan en diferentes momentos de la rotación agrícola-ganadera, a partir de los cuales se busca reemplazar la variable temporal por la espacial. Para ello se seleccionaron distintos lotes en función del momento de rotación en la que se encontrase. Se definieron tres tratamientos y se seleccionaron tres lotes, obteniendo tres repeticiones para cada tratamiento. En total se contó con nueve unidades experimentales. Los tratamientos se definieron del siguiente modo: 1- “AG”: Segundo año agrícola desde última pastura (lotes 21, 29N y 32N); 2- “FA”: Final de la fase agrícola (lotes 45S, 13 y 34S); 3- “PA” Segundo año de pastura (lotes 11, 12 y 22).

Al momento del muestreo, el tratamiento AG se encontraba en barbecho hacia soja y presentaba un rastrojo de maíz que ya había sido pastoreado por el ganado. Se pudo observar que la cobertura del suelo por parte de los residuos no es total debido a la utilización de la misma como forraje, y la presencia de ganado contribuyó, a su vez, con el bosteo en superficie (Apéndices 3 y 4). Por otro lado, FA se encontraba con una

pastura que había sido implantada en el mes de marzo, con lo que se podían observar las especies implantadas por surcos alternados (Apéndices 5 y 6). Por último, el tratamiento PA se encontraba con una pastura que cubría casi el total del suelo, entre la presencia de plantas y la abundante broza (Apéndices 7, 8 y 9).

Determinaciones edáficas

Con el objetivo de caracterizar los suelos bajo estudio se tomaron de cada unidad experimental 5 submuestras de suelo a tres profundidades para cada unidad experimental (n=9) (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm). Se determinó para cada estrato el contenido de carbono orgánico total (COT) y de sus fracciones (particulado –COP, resistente –COR), la distribución del tamaño de partículas y la densidad de partícula (Dp). El COT fue obtenido mediante la técnica de combustión húmeda (Nelson y Sommers, 1996). Las fracciones de carbono orgánico (CO) fueron obtenidas mediante tamizado húmedo (Cambardella y Elliot, 1992). Para ello, diez gramos de suelo seco al aire fueron agitados con 30 ml de hexametafosfato de sodio (5 g l^{-1}). La agitación fue realizada con un agitador durante 15 hs. Una vez que la muestra fue dispersada, se procedió al tamizado en húmedo con un tamiz de 53 µm de malla, la fracción menor a 53 µm fue retenida y recolectada para ser secada en estufa a 60 °C; luego pesada y molida en mortero para la determinación de CO. El contenido de CO en la fracción más pequeña COR (<53 µm) fue determinada por combustión húmeda (Nelson y Sommers, 1996). El contenido de CO particulado (COP) fue calculado como la diferencia entre los contenidos de COT y COR. Para la distribución de tamaños de partícula se utilizó la

metodología de Bouyoucus (1962), utilizándose hexametafosfato de sodio (0,5 %) como agente dispersante del suelo. Finalmente, la densidad de partícula (Dp) se obtuvo mediante la relación de pesos con un picnómetro para cada una de las profundidades.

La resistencia a la penetración (RP) se tomó con el penetrómetro “Field Scout” (SC900, spectrum technologies inc.) con una punta de 60º, realizando 10 submuestras por lote. Con el objetivo de corregir el dato de RP, se acompañaron los datos con el contenido hídrico de los suelos (CH). Para el cual se tomaron muestras de CH, para los estratos 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm. Cosentino y Chenu (2008) mencionan la relevancia del humedecimiento rápido en suelos limosos. Es por ello que en este trabajo se realizó la EE a partir del pre-tratamiento de inmersión rápida. Al mismo tiempo se tomaron muestras de densidad aparente (DA) por el método del cilindro (Burke et al., 1986) en cinco profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm), con 5 submuestras en cada unidad experimental (n=9). La porosidad total (PT) se obtuvo para los mismos estratos que la DA. La PT se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$PT = (1 - (DA/Dp)) * 100 \qquad [1]$$

Por último se recolectaron 4 monolitos no disturbados de 0-20 cm de cada unidad experimental para determinar a campo el índice visual de calidad estructural del suelo (IVC) propuesto por Ball et al. (2007). Además, se tomaron fotografías en el campo de los monolitos y agregados para luego complementar dicho índice en

gabinete. Esta metodología consiste en evaluar la dificultad de extracción del monolito y luego identificar capas de acuerdo a características estructurales como forma, tamaño y dureza, porosidad visible, presencia de zonas con anaerobiosis y distribución de las raíces (intra e inter agregado). Mediante la ayuda de una cartilla fotográfica (Ball et al., 2007) se les asignó un puntaje del cual resulta el IVC, correspondiendo el valor 1 a calidades estructurales favorables hasta el valor 5 representando calidades estructurales pobres. Esta asignación de valores tuvo en cuenta el número y tipo de capas encontradas así como su espesor.

A su vez, esos mismos monolitos fueron utilizados para determinar estabilidad estructural (EE) por el método de Le Bissonnais (1996) utilizando el primer pretratamiento propuesto por el autor, denominado de humedecimiento rápido. Para evaluar la EE los monolitos fueron desagregados por sus planos de debilidad cuando estos se encontraban con una humedad cercana a capacidad de campo. Luego de secados al aire, se obtuvieron por tamizado en seco agregados de 3-5 mm. Las muestras se analizaron por triplicado entre 5 y 6 gramos por muestra el pre-tratamiento de humedecimiento rápido en agua destilada, el cual consta de colocar los agregados en un vaso de precipitado con agua destilada y dejarlos allí durante 10 minutos. Luego del tamizado de los agregados de cada tratamiento en un agitador de Feodorof los mismos fueron secados a 40 ºC por 48h y tamizados en una columna de tamices para obtener la distribución de agregados para los siguientes tamaños:>2000 µm, 2000-1000 µm, 1000-500 µm, 500-200 µm, 200-100 µm y 100-50 µm. La fracción <50 µm se calculó mediante la diferencia entre los tamaños mencionados y el peso inicial de agregados.

Estadística

Los resultados de la DA, la RP, la PT y la EE fueron comparados mediante un análisis de varianza (ANOVA) previa comprobación de los supuestos. Para los casos de la DA, la RP y la PT el análisis se realizó dentro de cada estrato. Cuando las diferencias no fueron significativas al $P<0,05$, se decidió ser menos exigente y se comprobó si hubieron diferencias al $P<0,1$. En cualquiera de los dos casos se utilizó el test de diferencias mínimas significativas-LSD (Snedecor y Cochran, 1980). Con el objetivo de corregir los datos de RP medidos a campo por el CH promedio hallado a campo se realizó mediante regresiones simples. Finalmente, se realizó una correlación de Pearson para evaluar la asociación entre la EE y el IVC. Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa Infostat 1.1 (2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La conservación del agua en suelos arenosos está directamente relacionada con su ingreso en el perfil, la reducción de la percolación, y de la tasa de evaporación directa desde el suelo, siendo importante la retención hídrica del suelo ya que de ella depende la producción vegetal. En este sentido se deben adoptar sistemas de producción que aseguren una condición física y estructural adecuada, y un balance equilibrado de materia orgánica a largo plazo (Berasategui, 1973).

Los contenidos de COT del suelo encontrados en este trabajo (Tabla 2) fueron relativamente altos para el tipo de suelo y respecto de la media de la zona (Rubio et al., 2012; Zanettini et al., 2013). Se esperaba que el tratamiento PA fuese el de mayor contenido de COT, debido al efecto de la pastura, seguido del tratamiento AG, el cual está a solo dos años del comienzo de la fase agrícola y el FA fuese el de menor contenido de COT como resultado de los seis años de agricultura. Esto es de acuerdo a lo hallado por otros autores en los que se observó una caída del COT como resultado de la agricultura, tanto en la pampa arenosa (Díaz-Zorita et al., 2002); como en la pampa austral (Studdert et al., 1997); y en Uruguay (García-Prechác et al., 2004).

Tabla 2. Carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP), carbono orgánico resistente (COR) para los estratos 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm y los tratamientos mitad del período agrícola (AG), al final de período agrícola (FA) y en la mitad del período pastura (PA). Entre paréntesis se presenta el error estándar. Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos dentro del mismo estrato (P<0,1).

Profundidad	Tratamiento	COT (%)	COR (%)	COP (%)
0-10 cm	AG	2,66 (0,23) a	1,95 (0,05) a	0,71 (0,27) a
	FA	2,29 (0,09) a	1,89 (0,11) a	0,41 (0,20) a
	PA	2,71 (0,08) a	2,11 (0,13) a	0,06 (0,21) a
10-20 cm	AG	2,04 (0,06) a	1,73 (0,05) a	0,31 (0,05) a
	FA	2,33 (0,16) a	1,88 (0,10) a	0,45 (0,19) a
	PA	1,93 (0,10) a	1,83 (0,11) a	0,08 (0,04) a
20-30 cm	AG	1,42 (0,03) a	1,26 (0,02) a	0,16 (0,04) a
	FA	1,47 (0,02) a	1,36 (0,04) a	0,12 (0,05) a
	PA	1,48 (0,06) a	1,33 (0,06) a	0,15 (0,05) a

Sin embargo, en este trabajo se encontró que el COT y sus fracciones no presentaron diferencias significativas entre los diferentes momentos de la rotación dentro de cada profundidad. La ausencia de diferencias significativas pudo estar relacionado con los años de la pastura, ya que se han reportado que la mayor generación de biomasa de las pasturas se expresan luego de tres o cuatro años de implantadas (Singleton et al., 2000; Fernández et al., 2011). Otra explicación es que las fracciones de carbono no fueron lo suficientemente sensibles debido al alto nivel de carbono orgánico que tienen los suelos asociados al manejo de subpastoreo de las pasturas.

El período agrícola, y en particular al finalizar el mismo (FA), se esperaba que se diferenciara del tratamiento PA, pero no fue así. Esto difiere de lo hallado por Studdert et al. (1997), Díaz-Zorita et al., (2002), García-Prechác et al. (2004) quienes encontraron caídas en el contenido de materia orgánica (MO) durante los períodos de agricultura en sistemas mixtos.

Sin embargo, el COP es señalada por numerosos autores como la fracción más sensible ante cambios de manejo, no resultó así en este caso (Alvarez et al., 2009). El análisis de la fracción COP no presentó una mejor diferenciación de los tratamientos con respecto a la utilización de COT.

La presencia de ganado en los lotes puede conducir a procesos de compactación, los cuales pueden ser evidenciados a través de incrementos en la DA, en el aumento de la RP y en la caídas de PT (Singleton y Addison, 1999; Greenwood y McKenzie, 2001; Fernández et al., 2011).

La DA evaluada en este trabajo presentó diferencia entre tratamientos ($P<0,1$) hasta los 10 cm de profundidad (Figura 3). Tanto en el estrato 0-5 cm como en el 5-10 cm el tratamiento PA fue el mayor y el tratamiento FA fue el menor, presentando una situación intermedia el tratamiento AG. Después de los 10 cm los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas. El tratamiento PA presentó los mayores valores hasta los 10 cm de profundidad pudiendo ser consecuencia del tránsito de ganado en pastoreo directo (Singleton y Addison, 1999). El tratamiento FA presentó los valores de

DA promedio más bajos tanto en 0-5 como en 5-10 cm. Probablemente esto estuvo relacionado a que en el mes de marzo se realizó la siembra de la pastura con una sembradora con cuchillas removedoras “turbo” hasta los 10 cm, distanciadas a 19 cm cada cuchilla, pudiendo esto haber afectado los valores de DA hasta esa profundidad (Apéndice 10). El tratamiento AG no se diferenció significativamente de ninguno de los tratamientos.

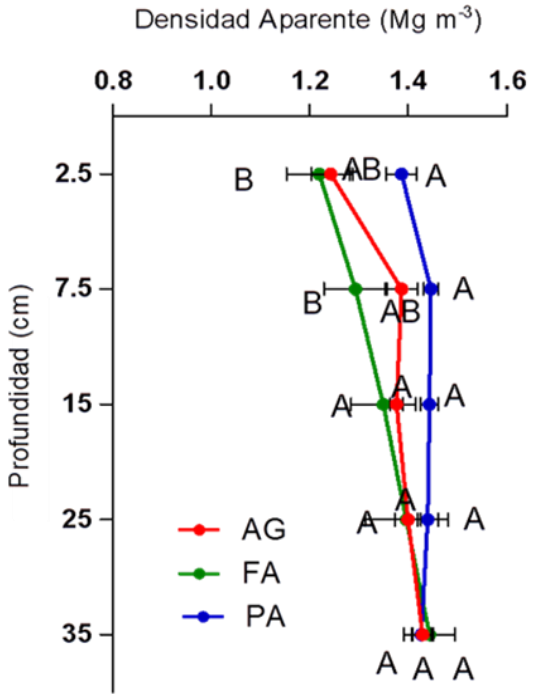


Figura 3. Densidad aparente para los tratamientos: segundo año de agricultura (AG), final fase agrícola (FA) y segundo año de pastura (PA) a diferentes profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm y 30-40 cm. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,1) dentro de cada profundidad. Las barras horizontales indican el error estándar.

Aunque no se analizaron estadísticamente la DA en profundidad, en la Figura 3 se observa un incremento de DA en el tratamiento AG en el estrato 5-10 cm respecto del 0-5 cm, probablemente asociado al tránsito de animales durante el pastoreo del residuo del maíz. El incremento de la DA a los 10 cm por el pastoreo coincide con lo

hallado por otros autores en los que la compactación por tránsito animal se encontró entre los 5 a los 20 cm de profundidad (Herrick y Lal, 1995; Greenwood et al., 1997, 1998; Drewry y Paton, 2000; Drewry et al., 2004).

No se encontraron mayores diferencias entre tratamientos, en este trabajo, probablemente relacionado al enriquecimiento de COT en el estrato superficial, el cual amortiguaría el efecto del tránsito animal. Lo mismo fue encontrado por Franzluebbers y Stuedemann (2008).

Varios autores han propuesto diferentes umbrales de DA para estos suelos por encima de los cuales se vería afectado el normal desarrollo de los cultivos. Pilatti y Orellana (2000) propusieron una ecuación para la obtención de densidad aparente crítica (DAc) para los suelos de la Región Pampeana: DAc (g cm^{-3})=1,52–0,0065*arcilla (%). Esta ecuación arrojó que la DAc de los suelos evaluados se encuentran en un rango de 1,38 Mg m^{-3} a 1,45 Mg m^{-3}. Por otro lado, Gil (2008) propone que el umbral para estos suelos sería 1,39 Mg m^{-3}. El tratamiento PA superó los valores críticos propuestos por los autores desde la superficie. Otros trabajos también han observado incrementos de DA originados como consecuencia del pastoreo directo de pasturas (Proffitt et al., 1995; Chanasyk y Naeth, 1995; Drewry et al., 2004; Martinez y Zinck 2004; Pietola et al., 2005), del pastoreo de cultivos de cobertura en sistemas de SD (Franzluebbers y Stuedemann, 2008), e inclusive en situaciones con pastoreo de rastrojo en diferentes sistemas de labranza (Quiroga et al., 2009).

Varios trabajos han señalado la utilidad y sensibilidad de la RP para evaluar el estado físico de los suelos (da Silva et al., 2003; Franzluebbers y Stuedemann, 2008). La dependencia de la RP con el contenido hídrico del suelo (CH) torna necesario la corrección de la RP por un CH promedio para poder que los tratamientos sean comparables.

En la Figura 4 se muestra la correlación que presentaron los valores de RP en función del CH. Esta relación es la que se utilizó para la corrección de la RP por el contenido hídrico promedio hallado a campo. La relación fue la esperada, es decir, que a medida que aumenta el CH disminuye la RP (da Silva et al., 2003; Franzluebbers y Stuedemann, 2008). Además se puede observar dos ajustes diferentes asociados a la profundidad, presentando el estrato más superficial una pendiente menor que el estrato 5-40 cm. Del mismo modo que lo observado por Fernández et al. (2011) y Alvarez et al. (2009) en los cuales el estrato 0-5 cm presentó menor pendiente que el estrato 5-20 cm cuya explicación puede ser dada por el efecto del COT.

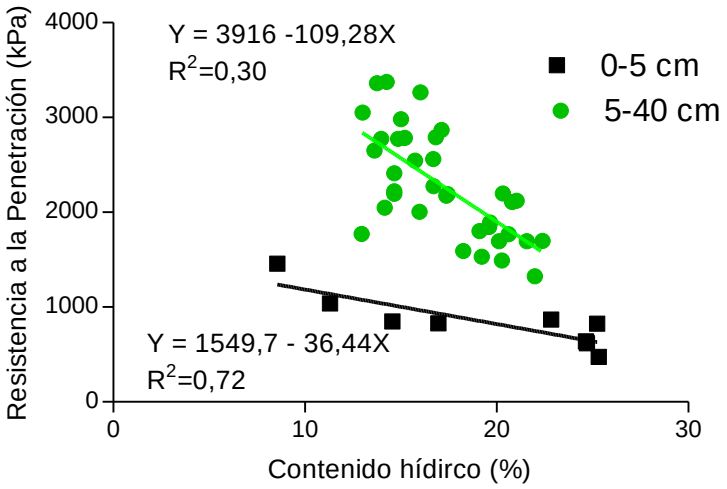


Figura 4. Relación entre la resistencia a la penetración en función del contenido hídrico del suelo para los estratos 0-5 cm (cuadrados negros) y 5-40 cm (círculos verdes).

La RP no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos en el estrato 0-5 cm (Figura 5). En el estrato 5-10 cm el tratamiento AG presentó el menor valor promedio diferenciándose estadísticamente de los tratamientos PA y FA (Figura 5). En este estrato, ambos tratamientos presentaron valores que superaron los 2000 kPa propuesto como valor crítico para el crecimiento radical de los cultivos (Gupta y Allmaras, 1987; Glinski y Lipiec, 1990). En el estrato 10-20 cm el FA se diferenció estadísticamente de AG y PA (Figura 5). Después de los 20 cm ninguno de los tratamientos se diferenció estadísticamente ($P<0,1$) (Figura 5). En la profundidad 10-20 cm todos los tratamientos superaron el umbral de 2000 kPa. Muchos trabajos de investigación realizados han prestado considerable atención a los valores críticos de RP por encima de los cuales no se produce crecimiento de raíces. Algunos investigadores observaron que la máxima presión que las raíces pueden ejercer es entre 7 y 13 kg cm^{-2} en la dirección axial, y entre 4 y 6 kg cm^{-2} en la dirección radial. Considerando una amplia gama de tipos de suelo, especies vegetales y técnicas

experimentales, los valores críticos de RP han variado entre 10 y 56 kg cm^{-2} (980 a 5491 kPa). Esta amplia variación sugiere que la RP medida con un penetrómetro no contempla todos los factores físicos del suelo que afectan el desarrollo de las raíces.

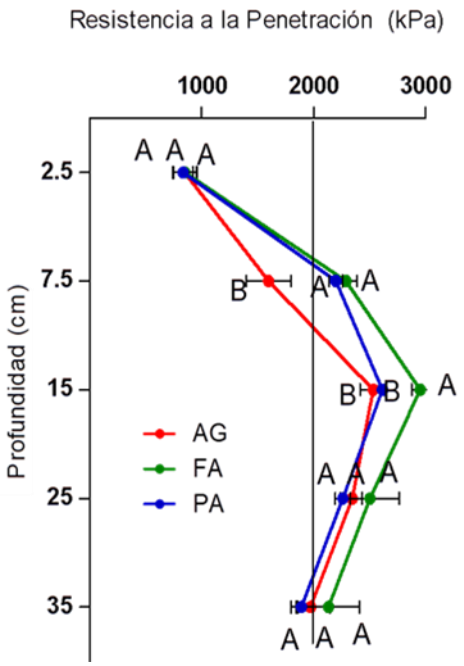


Figura 5. Resistencia a la penetración corregido por el contenido hídrico promedio del suelo hallado a campo para los tratamientos: segundo año de agricultura (AG), final fase agrícola (FA) y segundo año de pastura (PA) a diferentes profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm y 30-40 cm. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,1) dentro de cada profundidad. Las barras horizontales indican el error estándar. La línea a 2000 kPa indica el valor umbral para el crecimiento de las raíces.

En relación a los resultados hallados en RP se puede observar que los valores muestran un mismo patrón en función a la profundidad que fue similar para todos los tratamientos (Figura 5). Aunque los resultados no fueron analizados entre estratos, se puede observar que el estrato más superficial presentó los valores más bajos, presentando un incremento considerable en el estrato 5-10 cm y hallándose los

máximos valores en el estrato de 10-20 cm. Luego de los 20 cm los valores comienzan a disminuir.

Los aumentos registrados en RP y en DA en el estrato 5-10 cm concuerdan con lo observado por De Battista et al. (2005), que muestra la aparición de estructuras masivas dentro de este estrato a través de la metodología de perfil cultural. La principal diferencia la presentó el tratamiento AG de 5-10 cm presentando una menor RP; y para la profundidad de 10-20 cm el tratamiento FA muestra la mayor RP respecto de los otros tratamientos. A partir de los 20 cm de profundidad para RP y desde 10 cm para DA no existen diferencias significativas entre tratamientos. Aunque el tratamiento FA tiende a presentar mayores valores de RP, presenta los menores valores de DA. Por otro lado, cabe señalar que el tratamiento AG recién supera el umbral propuesto de 2000 kPa después de los 10 cm, lo cual puede ser atribuido al efecto de las raíces del cultivo de maíz recién cosechado. Las raíces han sido señaladas como principales responsables de la descompactación de pisos de arado en la Región Pampeana (Taboada et al., 1998; Micucci y Taboada, 2006), contribuyendo así con la regeneración de la estructura del suelo.

Para la variable PT no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para ninguno de los estratos (Figura 6). En este trabajo sólo se puede señalar que el tratamiento AG presentó una tendencia en aumento de la PT en el estrato de 5-10 cm (P=0,31), siendo esto atribuible al efecto del pisoteo animal durante la utilización del residuo del maíz como forraje. Numerosos autores han observado una reducción

significativa de la porosidad del suelo en situaciones de pastoreo (Drewry et al 2004; Greenwood et al., 1997; Drewry et al., 1999). Sin embargo, Quiroga et al. (2009) no encontraron efectos negativos sobre esta propiedad física en suelo bajo pastoreo directo en sistemas de siembra directa en comparación a sistemas de agricultura continua.

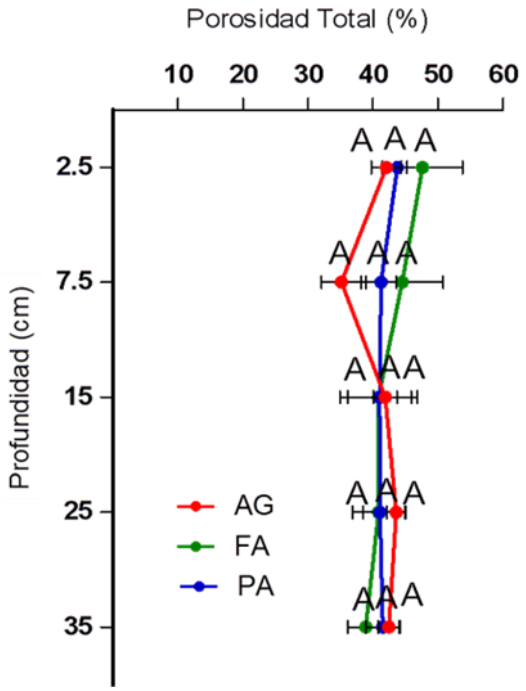


Figura 6. Porosidad total (%) para los tratamientos: segundo año de agricultura (AG), final fase agrícola (FA) y segundo año de pastura (PA) a diferentes profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm y 30-40 cm. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,1) dentro de cada profundidad. Las barras horizontales indican el error estándar.

Habiendo ya analizado las variables físicas del sistema, es de interés analizar el comportamiento del suelo en relación a su estabilidad estructural (EE), presentándose ésta como una variable muy interesante, no sólo para evaluar manejos, sino también para predecir el comportamiento hidrofísico de los suelos.

La presencia de ganado puede afectar la EE del suelo, debido a la desagregación consecuencia del tránsito animal (Fernández et al., 2011). Existen distintos mecanismos de desagregación del suelo, como es el estallido por compresión del aire ocluido, desagregación mecánica debido al impacto de las gotas de lluvia, o la microfisuración por hinchamiento diferencial y dispersión por procesos físico-químicos. Le Bissonnais (1996) intentó aislar y reproducir estos mecanismos. Varela et al. (2010) mediante esta metodología pudo diferenciar sistemas de manejo de cultivos de cobertura en suelos pampeanos franco arenosos. En ese trabajo los mejores resultados fueron encontrados con el pre-tratamiento de inmersión rápida de esta metodología

La Figura 7a muestra que la EE fue mayor para el tratamiento PA, siendo el tratamiento AG el que presentó menor estabilidad y el tratamiento FA no se diferenció de ninguna de los tratamientos ($P<0,05$). El tratamiento PA presentó la mayor EE debido al efecto de las raíces de pasturas las causantes de esta mejor estructuración (Apéndice 8), como se puede apreciar en las Figuras 14, 15, 16 correspondientes a este tratamiento. Por otro lado, el factor que está influyendo en los tratamientos FA y AG no está del todo claro, ya que era de esperar que el tratamiento AG presentara mayor EE que FA. A veces el efecto del pastoreo y de la maquinaria puede resultar opuesto a lo esperado sobre la EE (e.g. mayor cohesión) pudiendo confundir los resultados (Schäffer et al., 2008).

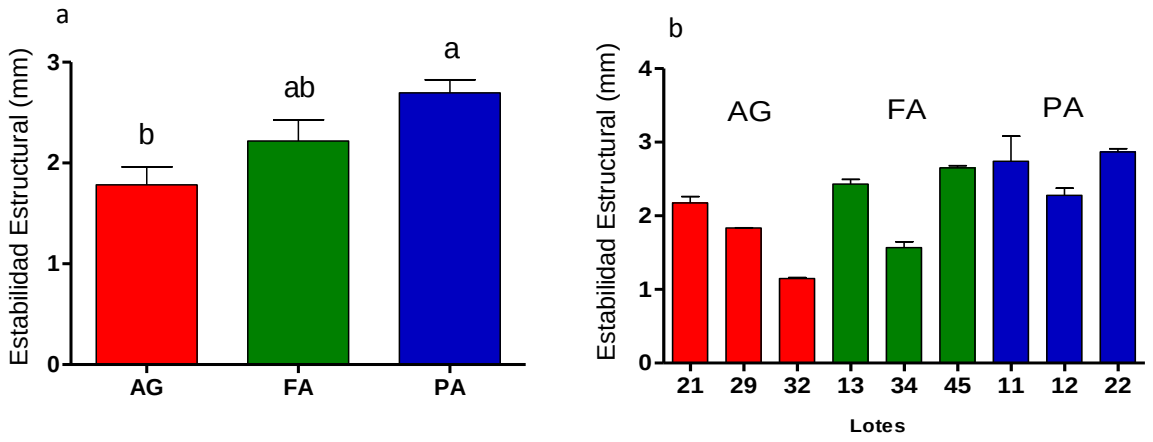


Figura 7. (a) Estabilidad estructural (mm) del suelo para el estrato de 0-20 cm para los tratamientos: segundo año de agricultura (AG), final fase agrícola (FA) y segundo año de pastura (PA). (b) Estabilidad estructural (mm) del suelo para el estrato 0-20 cm particionando a cada tratamiento en los lotes. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,05) (A). Las barras verticales indican el error estándar.

Le Bissonnais (1996) definió intervalos de valores de EE a partir de los cuales establece una escala de estabilidad con cinco clases, y con base en ello, formula las condiciones bajo las cuales puede existir riesgo de encostrado y erosión (Taboada-Castro et al., 2011, Tabla 3). Los valores hallados en este trabajo indican que los tratamientos PA y FA presentaron un tipo de clase “muy estable” (> a 2.0 mm), hallando para el tratamiento AG una clase promedio de tipo “estable” (1.3-2.0 mm), el cual indica que el riesgo de encostramiento sería ocasional con un riesgo muy limitado de erosión.

Tabla 3. Intervalos de valores de estabilidad estructural (EE) a partir de los cuales se establecen clases de estabilidad y se predice el riesgo de encostrado y erosión (Le Bissonnais, 1996). Fuente: Taboada-Castro et al., (2011).

EE (mm)	Clases de estabilidad	Riesgo de encostrado	Riesgo de escorrentía y erosión difusa
<0,4	Muy inestable	Sistemático	Riesgo alto y permanente en todas las condiciones topográficas
0,4-0,8	Inestable	Muy frecuente	Riesgo frecuente en toda situación
0,8-1,3	Medianamente inestable	Frecuente	Riesgo según la climatología y topografía
1,3-2,0	Estable	Ocasional	Riesgo limitado
>2,0	Muy estable	Muy raro	Riesgo débil

En los últimos años, algunos trabajos han reportado a partir de la observación a campo la presencia de estructura laminar (con agregados alargados orientados paralelamente a la superficie del suelo) dentro de los primeros diez centímetros del horizonte superficial de suelos limosos bajo SD (Alvarez et al., 2009; Morrás et al., 2012). Estos suelos presentan un considerable porcentaje de limo (Tabla 1) que sumado a la cantidad de arenas muy finas, hacen que el suelo posea una alta proporción de partículas inertes y de alta susceptibilidad a su rotura. Gil (2008) señala a las arenas muy finas (<100 µm) como partículas de similar comportamiento físico que los limos. En general los suelos con altos porcentajes de limo (e.i. de aproximadamente 60 a 70 %) bajo el sistema de SD puede conducir a estructuras laminares de suelo (Alvarez et al., 2009; Sasal, 2012). Sumado a ello, la presencia del ganado en pastoreo directo podría acentuar el desarrollo de las mismas y conllevar a una condición física peor del suelo.

Se ha identificado que la importancia de la presencia de estructura laminar radica en que restringe el ingreso de agua al suelo (Alvarez et al., 2009). Si bien muy

pocos trabajos abordan el estudio en particular de la estructura laminar, las evidencias de campo y los resultados encontrados indican que no aparece sistemáticamente en todas las situaciones bajo SD analizadas (Sasal, 2012). Es por ello que el análisis visual de la estructura puede resultar en una medición interesante que acompañe otras variables medidas y que ayude a comprender el comportamiento de los suelos.

Índice visual de calidad estructural del suelo

Por medio de la metodología de Ball et al. (2007) los monolitos tomados de cada lote fueron descriptos y se les asignó un puntaje para luego poder integrar los análisis físicos y químicos realizados y su correlato morfológico hallado a campo.

Tratamiento AG (Lotes 21, 29n, 32n):

El AG presentó diferentes niveles de degradación en los diferentes lotes. El patrón general observado fue que desde la superficie del suelo se detectó la presencia de estructuras laminares y baja porosidad visible.

El lote 21 del tratamiento AG presentó estructuras densas casi desde superficie, los monolitos de este lote presentaron una alta homogeneidad estructural a lo largo de los mismos (Figura 8). Además, sólo ocasionalmente se encontraron estructuras laminares. Estos monolitos rompían a bloques subangulares de clase gruesa y de grado moderado con una porosidad visible de media a baja. De la misma forma no se

observó en toda la extensión de los monolitos una gran cantidad de raíces. Se le asignó un IVC único para todo el perfil del monolito correspondiente a 2,8.

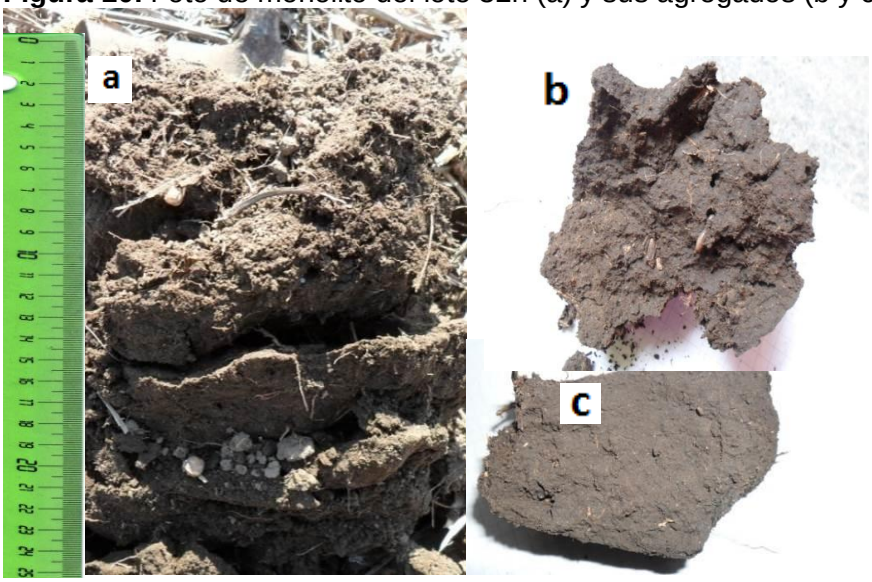
Figura 8. Foto de monolito del lote 21 (a y b).

Por otra parte, los monolitos del lote 29n se diferenciaron notablemente del lote previo. En este lote los monolitos presentaron una estructura superficial (0-5 cm) que rompía a bloques subangulares finos y de desarrollo moderado para luego densificarse en profundidad presentado estructuras laminares débiles y no continuas (IVC=3); que se continuaba en una estructura muy densa, con una porosidad visible baja y poca abundancia de raíces (IVC=4). A partir de los 15 cm esta capa compactada se intercala con agregados gruesos y de desarrollo moderado (IVC=3) (Figura 9).

Figura 9. Foto de monolito del lote 29n.

En el lote 32n, del mismo modo que el lote 29n, se diferenció del lote 21. En este lote se observaron dos tipos de estructuras predominantes a lo largo de los monolitos. De 0-5 se observa una estructura de bloques subangulares finos a medios, con una importante porosidad visible, rugosidad y raíces inter e intraagregados (IVC=1) (Figura 10 a, b). A partir de esta profundidad la estructura se modifica abruptamente (Figura 10) para dar lugar a estructuras laminares débiles y no continuas intercaladas con una estructura densa y masiva (IVC=4). Los agregados que se pudieron obtener a partir de esta profundidad poseían una porosidad visible casi nula, escasa cantidad de raíces, las cuales eran de baja expresión y en gran porcentaje en sentido horizontal (Figura 10 c).

Figura 10. Foto de monolito del lote 32n (a) y sus agregados (b y c).



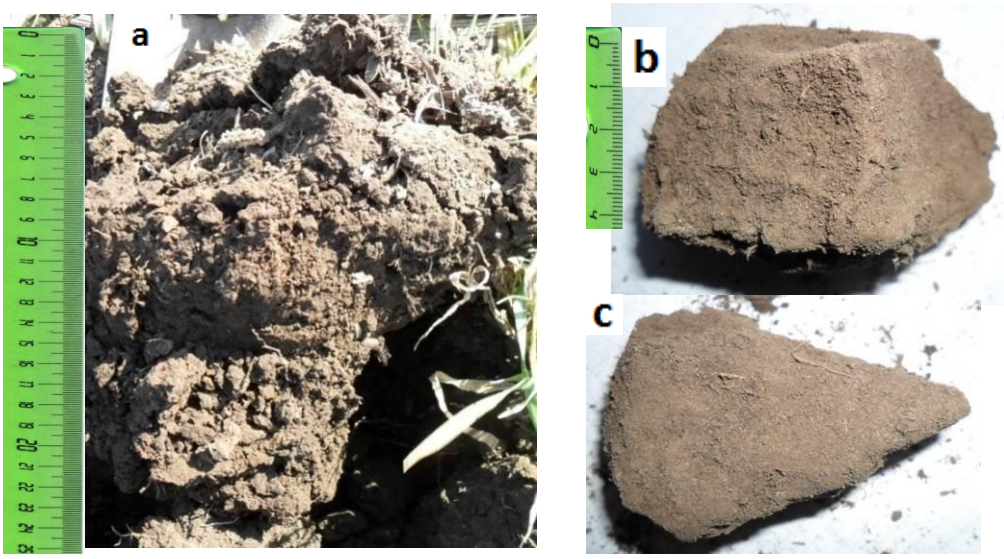
Tratamiento FA (Lotes 13, 45, 34):

La descripción visual del tratamiento FA nos muestra el efecto de la incipiente pastura en los primeros 4 cm presentando un cambio alrededor de los 4-7cm con estructuras que no llegan a ser laminares, pero que presentan una debilidad estructural marcada a esa profundidad, siendo esto atribuible a la fase agrícola.

Los monolitos del lote 13 presentaron un perfil homogéneo hasta los 15 cm con bloques subangulares medios de desarrollo moderado. Al retirarlos con la pala dichos monolitos se mantuvieron enteros sólo desagregándose los primeros centímetros (IVC=2). Los agregados obtenidos en este estrato presentaron una porosidad visible intermedia mientras que a partir de los 15 cm se encontraron bloques subangulares de mayor clase y con baja porosidad visible (IVC=3) (Figura 11 b, c). En relación a las

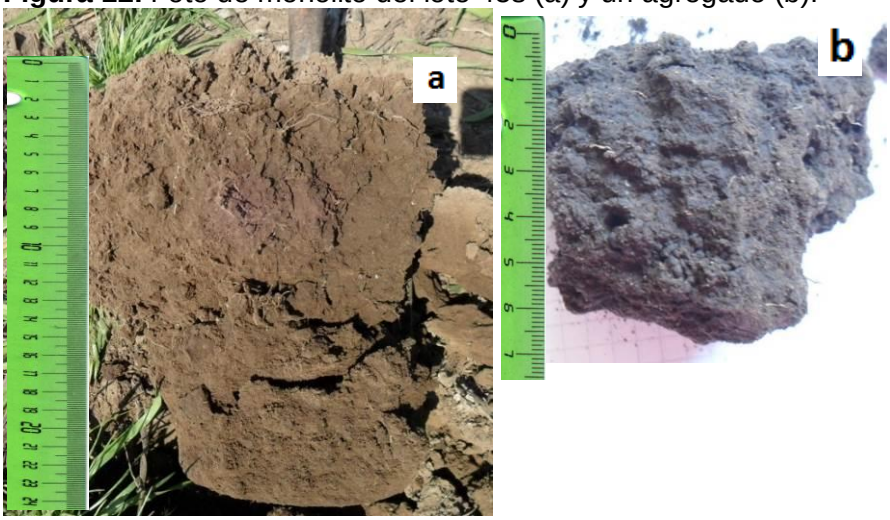
raíces, se encontró una abundante presencia de las mismas en los primeros 4 cm para luego disminuir de forma abrupta a lo largo de los monolitos analizados.

Figura 11. Foto de monolito del lote 13(a) y sus agregados (b y c)



Por su parte, los monolitos del lote 45s presentaron en general dos tipos de estructuras bien diferenciadas (Figura 12 a). De 0-7 cm se observó una estructura mixta de estructuras granulares y de bloques subangulares finos y débiles con una elevada porosidad visible, elevada rugosidad y raíces inter e intraagregados (IVC=2) (Figura 12 b). A partir de los 7 centímetros se observa una estructura más densa que rompe a bloque subangulares medios de mayor desarrollo, en donde disminuye la porosidad visible y la cantidad de raíces (IVC=4). También a partir de esta profundidad algunos monolitos poseían fallas estructurales en el sentido horizontal, aunque no eran continuas ni de gran desarrollo.

Figura 12. Foto de monolito del lote 45s (a) y un agregado (b).



Por último, los monolitos del lote 34s (Figura 13) presentaron la peor calidad estructural de este tratamiento. Los mismos presentaron una homogeneidad estructural prácticamente en toda su extensión, mostrando una estructura muy compacta desde superficie con estructuras fuertemente desarrolladas que rompían a bloques subangulares moderados y bien desarrollados. Las raíces fueron escasas en toda la extensión de los monolitos y de la misma forma la porosidad visible fue muy baja (IVC=2 a 4).

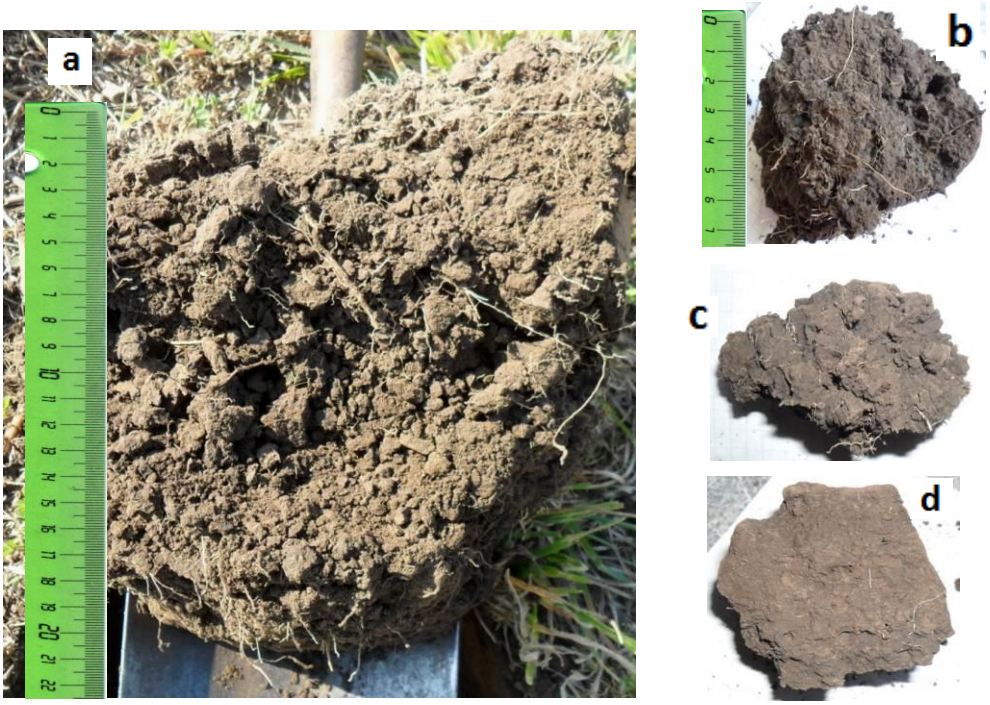
Figura 13. Foto de monolito del lote 34s.

Tratamiento PA (Lotes 22, 12, 11):

Para el tratamiento PA si bien existe un efecto de las raíces de la pastura, a mayor profundidad este efecto comienza a desaparecer. En algunas fotos se evidencia que la ausencia de raíces no llega a revertir las estructuras laminares presentes, generando anisotropía vertical.

El lote 22 pertenece al tratamiento PA se encontrándose en el segundo año de pastura. En primer lugar los monolitos de este lote permanecieron casi intactos al proceder a la extracción del mismo con la pala, esto se debió principalmente a las raíces que actúan como un entramado de contención de los agregados. Este monolito se desagregó muy fácilmente identificándose estructuras muy contrastantes según la profundidad estudiada. Por ello, los monolitos del lote 22 presentaron una importante anisotropía vertical, encontrándose estructura granular y grano suelto en los primeros 2 cm (IVC=1) para luego dar paso a bloques subangulares de finos a medios muy porosos hasta los 10 cm (IVC= 2) (Figura 14 a, b y c). Luego esta porosidad disminuyó en profundidad hasta encontrar bloques subangulares moderados, menos rugosos y con una porosidad visible muy baja (IVC=3) (Foto 14 d). De esta misma forma cae la abundancia de raíces y mientras que en superficie su localización es inter e intraagregado en profundidad es solamente interagregado.

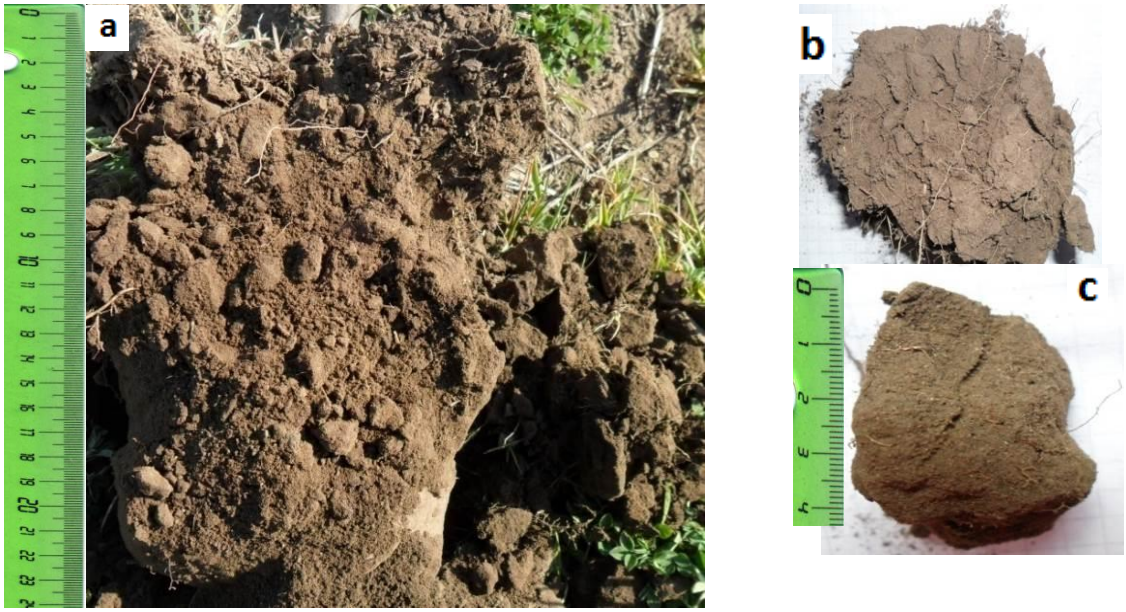
Figura 14. Foto de monolito del lote 22 (a) y sus agregados (b, c, d).



Los monolitos del lote 12 presentaron estructuras más homogéneas que en el lote anterior (Figura 15). Los monolitos se desagregaron al retirarse con la pala obteniéndose estructuras de grano simple y agregados subangulares finos y muy débiles (Figura 15). En este lote se aprecia de forma marcada el efecto del contenido de arena sobre la estructura (Tabla 1). Si bien en superficie (0-5 cm) pueden ser encontrados agregados mejor estructurados (IVC=2), estos son poco frecuentes dentro del monolito y se observa una baja porosidad visible. Por otro lado, aunque más abundante que en profundidad, las raíces son escasas y están localizadas principalmente en posiciones interagregados (Figura 15 b). A partir de los 5 cm, baja

aún más la porosidad visible de estos agregados, encontrándose también numerosos agregados densos y redondeados (IVC=3) (Figura 15 c).

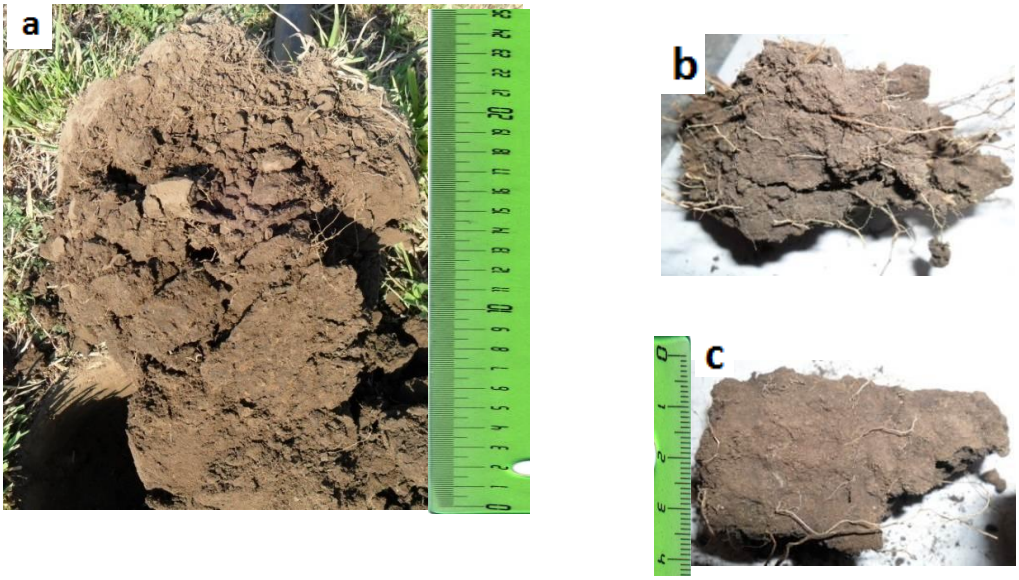
Figura 15. Foto de monolito del lote 12 (a) y sus agregados (b y c).



Al igual que el lote 22 los monolitos del lote 11 presentaron una importante anisotropía estructural, sin embargo, comparado en este lote, se encontraron estructuras un poco más compactas y menos porosas (Foto 16 a). Al retirar el monolito con la pala, el mismo tiende a romper en forma de bloques subangulares de clase media a gruesa y un grado de desarrollo moderado. Casi a partir de superficie los bloques comienzan a perder porosidad visible y la abundancia de raíces cae sensiblemente hasta ser muy escasas a los 10 cm (IVC=2). En esta profundidad aparecen algunos agregados gruesos y densos y con muy baja porosidad visible (IVC=3). Si bien en los estratos superficiales las raíces pueden estar localizadas de

forma intra-agregado, la mayor frecuencia de raíces fueron localizadas entre agregados (Figura 16 b y c).

Figura 16. Foto de monolito lote 11 (a) y sus agregados (b y c)



En función de las descripciones realizadas a campo y como promedio de los valores asignados a cada uno de los estratos identificados en los monolitos en función de sus características estructurales es que se obtuvo un índice promedio para cada tratamiento (Figura 17a). Estos valores promedios fueron desglosados, y en la Figura 17b se presenta el IVC de cada lote. En estos resultados se puede observar que hay una gran variabilidad entre los lotes dentro de cada tratamiento, probablemente ello no permitió observar diferencias significativas entre los tratamientos.

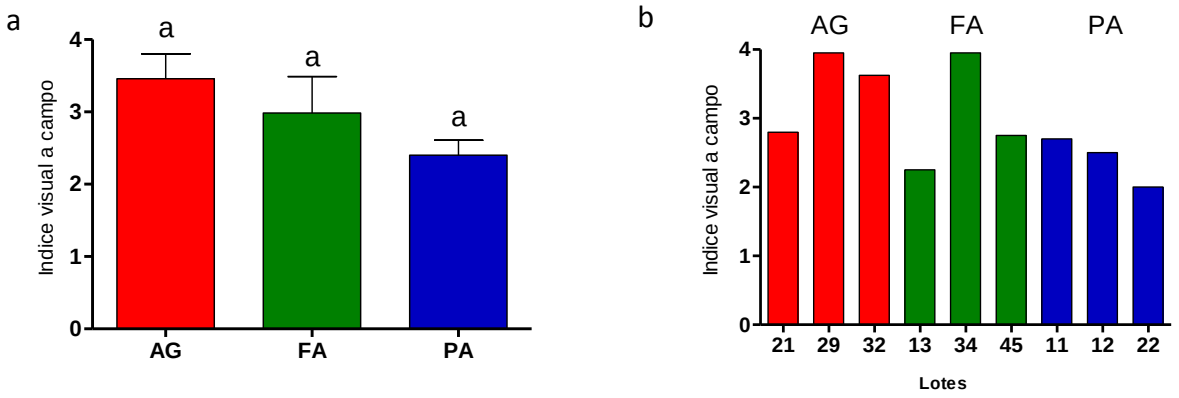


Figura 17. Índice visual a campo promedio para los tratamientos: segundo año de agricultura (AG), final fase agrícola (FA) y segundo año de pastura (PA). Las barras verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,1) (a). Índice visual a campo para cada lote de cada tratamiento: segundo año de agricultura (AG), final fase agrícola (FA) y segundo año de pastura (PA) (b).

A pesar que los resultados hallados a partir de la visualización de campo de las estructuras presentes y desarrolladas en cada uno de los tratamientos no se encontraron diferencias estadísticas, estos resultados se complementan y condicen muy bien con las determinaciones de EE medidos por el primer pre-tratamiento de Le Bissonnais (1996). Cuando se analizó la relación entre el IVC y la EE, la misma arrojó una correlación negativa y significativa con un R=-0,78 (P<0,05).

CONCLUSIONES

- Los resultados encontrados en este trabajo permiten concluir que en los diferentes momentos de rotación no se presentaron diferencias en las propiedades físicas evaluadas (DA, RP, PT) en cada estrato evaluado. Evidencias de mayor DA y mayor RP fueron asociados al pastoreo de residuos y pasturas.

- La ausencia de diferencias en las propiedades físicas evaluadas fue asociada a los altos contenidos de COT observados, en todos los tratamientos, sin presentar diferencias entre los mismos ni en su contenido total ni en sus fracciones.

- La EE fue la variable más sensible, pudiendo diferenciar entre tratamientos. Evidentemente el efecto “binding” de las raíces cumplieron un rol fundamental en la estabilidad de la estructura.

- Lo más interesante a niveles prácticos de este trabajo es que mediante un método rápido y simple como lo es el índice visual a campo (IVC) se puede obtener una gran cantidad de información y de conocimiento sobre la condición física del suelo. La misma resulta de gran utilidad a la hora de tomar decisiones para la producción.

- Finalmente, hubiese sido mejor poder contar con tratamientos con pasturas de 4 años, pero esto no se encontraba disponible ya que debido a las condiciones de extrema sequía sufridas en la campaña 2008-2009 se perdieron esas pasturas.

BIBLIOGRAFÍA

Aapresid. 2012. http://www.aapresid.org.ar/contenido.asp.

Agricultura certificada. 2008. Manual de Buenas Prácticas Agrícolas. http://www.aapresid.org.ar/ac/wp-content/uploads/sites/4/2013/02/manual.pdf

Alvarez, R & HS Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage Systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil Till Res. 104: 1-15.

Alvarez, CR; MA Taboada; F Gutierrez Boem; A Bono; PL Fernández & P Prystupa. 2009. Topsoil properties as affected by tillage systems in the Rolling Pampa Region of Argentina. Soil Sci. Soc. Am. J. 73: 1242-1250.

Ball BC; T Batey & LJ Munkholm. 2007. Field assessment of soil structural quality-a development of the Peerlkamp test. Soil Use Manag. 23: 329-337.

Berasategui, LA; LA Barberis; N Colacelli; E Chamorro; A Ruíz & I Mizuno. 1973. Relevamiento de suelos de los establecimientos “La Margarita” y “La Reserva”.

Bonfils, CG; JE Calcagno ; PH. Etchevehere; J Ipucha Aguerre; JIO Maszynzki & LA Tallarico. 1959. Suelos y erosión en la región pampeana semiárida. Rev. Inv. Agri. XIII (4): 321-398. Publ. N° 65. Inst. Suelos y Agr. INTA. Bs As.

Bouyoucos, GJ. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agron J. 54: 464-465.

Burke, W; D Gabriels & J Bruma. 1986. Soil structure assessment. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 92.

Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 1017-1076.

Chanasyk, D & A Naeth. 1995. Grazing impacts on bulk density and soil strength in the foothills fescue grasslands of Alberta, Canada. Can J Soil Sci. 75: 551–557.

Cosentino, DJ & C Chenu. 2008. Los microorganismos como controladores de la arquitectura del suelo. Condición física de los suelos y su relación con la fertilidad. Buenos Aires. pp. 258 – 291.

Da Silva, AP; CATormenta & S Imhoff. 2001. Intervalo hídrico ótimo, em qualidade física do solo: métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo. Editora Funep, Piracicaba. p. 1-20.

da Silva, AP; S Imhoff & M Corsi. 2003. Evaluation of soil compactions in an irrigated short-duration grazing system. Soil Till Res. 70: 83-90.

De Batista, J; C Pecorar & R Albrecht. 2005. Evaluacion del estado estructural de suelos bajo agricultura continua en siembra directa. En: Indicadores de calidad física de suelos. Boletín N 4 INTA EEA General Villegas. 31-39.

Díaz-Zorita M. Duarte GA. 2002. En la pampa arenosa: labranza cero en girasol y soja. IDIA XXI II: 107- 110

Drewry, JJ; JAH Lowe & RJ Paton. 1999. Effect of sheep stocking intensity on soil physical properties and dry matter production on a Pallic soil in Southland. N.Z. J. Agric. Res. 42:493–499.

Drewry, JJ & RJ Paton. 2000. Effects of cattle treading and natural amelioration on soil physical properties and pasture under diary farming in Southland, New Zealand. New Zealand J Agricultural Res. 43: 377–386.

Drewry, JJ; RJ Paton & RM Monaghan. 2004. Soil compaction and recovery cycle on a Southland dairy farm: implications for soil monitoring. Aust J Soil Res. 42: 851–856.

Fernández, PL; CR Alvarez & MA Taboada. 2011. Assessment of soil physical properties in integrated crop-livestock systems in mollisols of Argentina. Soil Res. 49: 143-151.

Franzluebbers, AJ & JA Stuedemann. 2008. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. Soil Till. Res. 100: 141–153.

García-Préchac F., O. Ernst, G. Siri-Prieto y J. A. Terra. 2004. Integrating no-till into crop–pasture rotations in Uruguay. Soil and Tillage Research 77:1-13.

Gil, R. 2008. La siembra directa y la conservación del suelo. Instituto de Suelos, Centro de Investigaciones de Recursos Naturales, INTA. Argentina.

Glinski, J & J Lipiec. 1990. Soil Physical Conditions and Plant Roots. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 250 pp.

Greenwood, KL; DA MacLeod; JM Scott & KJ Hutchinson. 1997. Long-term stocking rate effects on soil physical properties. Aust. J Exp. Agric. 37: 413–419. doi:10.1071/EA96131

Greenwood, KL; DA MacLeod; JM Scott & KJ Hutchinson. 1998. Changes to soil physical properties grazing exclusion. Soil Use Manag. 14: 19–24.

Greenwood, KL & BM McKenzie. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. Aust. J. Exp. Agr. 41: 1231-1250.

Gupta, SC & RR Allmaras. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. Adv. Soil Sci. 6:65-100.

Herrick JE & R Lal. 1995. Soil physical property changes during dung decomposition in a tropical pasture. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 908–912.

Infostat / P v1.1. 2002. InfoStat, v. 1.1. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

Kiessling, RJ; JA Galantini; JO Iglesias; H Krüger & S Venanzi. 2008. Efecto del pisoteo animal sobre la porosidad del suelo en lotes bajo siembra directa continua. Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo 13 al 16 de mayo de 2008. Potrero de los Funes (SL), Argentina.

Kiessling, RJ; JA Galantini; JG Iglesias; H Krüger & S Venanzi. 2006. Efecto del pastoreo sobre la distribución del espacio poroso bajo dos sistemas de labranza. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy (En CD).

Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. Eur. J. Soil Sci. 47: 425-37.

Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. Adv. SoilSci., 1: 277-294.

Martínez, LJ & JA Zinck. 2004. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. Soil Till. Res. 75: 3–17. doi:10.1016/j.still.2002.12.001

McCalla, GR; WH Blackburn & LB Merrill. 1984. Effects of livestock grazing on infiltration rates, J. Range Manage. 37: 265:269.

Micucci, FG & MA Taboada. 2006. Soil physical properties and soybean (Glycine max, Merrill) root abundance in conventionally and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. Soil Till. Res. 86: 152-162.

Miglierina, AM; JO Iglesias; MR Landriscini, JA Galantini & RA Rosell. 2000. The effects of crop rotations and fertilization on wheat productivity in the pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. Soil Till. Res. 53: 129-135.

Morrás, HJM; BA Bonel; PL Fernandez; FB Kraemer & CR 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, (in CD rom).

Nelson, DW & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, DL; AL Page; PA Helmke; RH Loeppert; PN Soltampour; MA Tabatabai; CT Johnston; ME Sumner (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods, Nº 5 in the SSSA Book Series. SSSA– ASA, Madison, WI, pp. 961-1010.

Pietola L, R Horn & M Yli-Halla. 2005. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. Soil Till. Res. 82: 99–108.

Pilatti MA & JA de Orellana. 2000. The ideal soil: II critical values of an 'ideal soil' for Mollisols in the north of the Pampean Region (in Argentina). J. Sust. Agric. 17: 89–112.

Proffitt, APB; S Bendotti & D McGarry. 1995 A comparison between continuous and controlled grazing on a red duplex soil. I. Effects on soil physical characteristics. Soil Till. Res. 35: 199–210.

Quiroga, A; R Fernández & E Noellemeyer. 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. Soil Till. Res. 105: 164–170.

Rubio, G; C Mosca; MF Varela; C Scianca & MA Taboada. 2012. Estructura de suelos arenosos bajo cultivos de cobertura. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 16-22 de abril de 2012.

Sasal, MC. 2012. Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua. Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias. INTA – Área de Recursos Naturales-EEA Paraná.

Schäffer, B; R Schulin & P Boivin. 2008. Changes in shrinkage of restored soil caused by compaction beneath heavy agricultural machinery. Eur. J. Soil Sci. 59: 771-783.

Singleton, PL & B Addison. 1999. Effect of cattle treading on physical properties of three soils used for dairy farming in the Waikato, North Island. NZ Aust. J. Soil Res. 37: 891-902.

Singleton, PL; M Boyes & A Addison. 2000. Effect of treading by dairy cattle on topsoil physical conditions for six contrasting soil types in Waikato and Northland, New Zealand, with implications for monitoring. NZ J. Agric. Res. 43: 559-567.

Siri Prieto, G & O Ernst. 2010. Manejo del suelo y rotación con pasturas: efecto sobre la calidad del suelo, el rendimiento de los cultivos y el uso de insumos. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 45: 22-26.

Sistema Integrado de Información Agropecuaria. http://old.siia.gov.ar.

Six, J; RT Conant; EA Paul & K Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. Plant Soil. 241: 155–176.

Snedecor, GW & WG Cochran. 1980. Statistical Methods. Seventh Edition. Ames Iowa: The Iowa State University Press.

Studdert, GA; HE Echeverría & EM Casanovas. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity on a Typic Argiudoll. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 1466-1472.

Taboada, MA; FG Micucci; DJ Cosentino & RS Lavado. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. Soil Till. Res. 49: 57-63.

Taboada-Castro, MM; ML Rodríguez-Blanco; MT Taboada-Castro & J Oropeza-Mota. 2011. Vulnerabilidad estructural en suelos de textura gruesa bajo cultivo y huertaTerra Latinoamericana [en linea] 2011, 29 (Enero-Marzo)

Tecnoagro. 1973. Descripción de serie de suelo Germania.

Varela, MF; PL Fernandez; C Alvarez; C Scianca; G Rubio & MA Taboada. 2010. Propiedades físicas que varían por la incorporación de cultivos de cobertura en Hapludoles franco arenosos. En: Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (Rosario, 2010, Mayo 31-Junio 04). [CD-ROM].

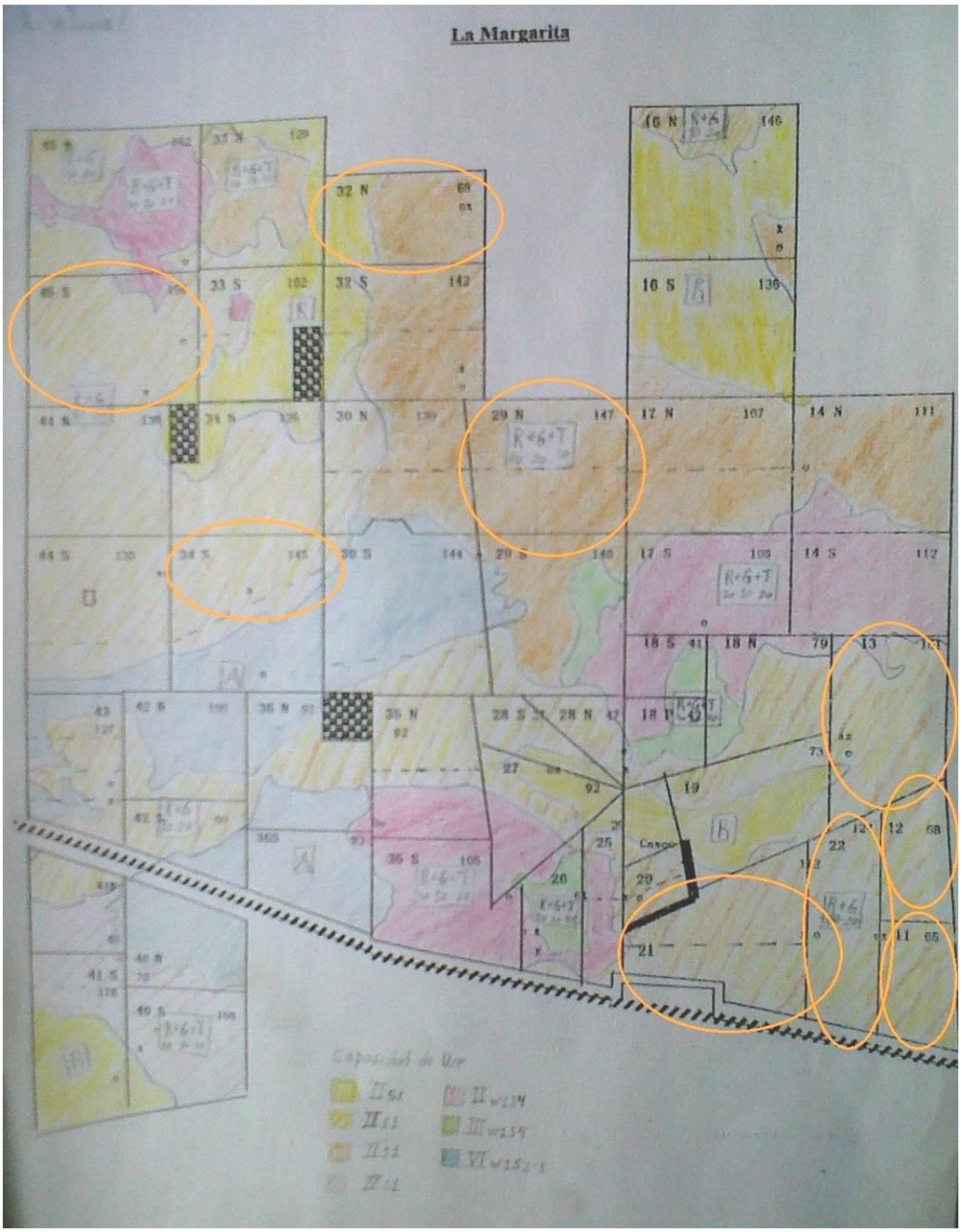
Venanzi S; A Vallati & H Krüger. 2001. Crecimiento temprano del trigo en función de la densidad aparente del suelo. V Congreso Nacional de Trigo. Villa Carlos Paz.

Viglizzo, E. 1986. Investigación y generación de tecnología ganadera en la Argentina. Rev. Argentina de Producción Animal. 2: 1-27.

Viglizzo, EF & FC Frank. 2006. Ecological interactions, feedbacks, thresholds and collapses in the Argentine pampas in response to climate and farming during the last century. Quaternary International. 158: 122-126.

Zanettini, J; M. Díaz-Zorita & M. Barraco. 2013. Estabilidad en húmedo y tamaños medios de fragmentos obtenidos por tamizado en seco. En: Jornadas Argentinas de la Conservación del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 14-16.

APÉNDICE 1. Plano del establecimiento con un croquis de las consociaciones de suelos. Los círculos señalan los lotes seleccionados.



APÉNDICE 2 . Descripción de las series de los suelos bajo estudio.

Serie Rivadavia (símbolo R): La serie Rivadavia fue fundada en el partido de Rivadavia en el año 1955 y descripta por Bonfils y otros 1955, como serie dentro de los suelos zonales de la región pampeana semiárida.

Se presenta en relieves llanos o suavemente ondulados, relativamente altos, alternando con suelos de depresiones con drenaje impedido.

De acuerdo a Bonfils y colabs. los suelos de la serie Rivadavia han evolucionado sobre material eólico de edad sub-boreal, constituyendo un integrado entre las series Villegas y Pellegrini, ya que el material original no es de loess ni de arena de médanos.

Se trata de suelos profundos, de drenaje interno libre, con secuencia típica de horizontes A-AC-C, con textura gruesa en todo el desarrollo del perfil.

El horizonte A, generalmente diferenciado de A_p y A, puede alcanzar 25cm, o más de profundidad, es franco arenoso, con estructura moderada en bloques subangulares y consistencia friable en húmedo.

Entre los horizontes A y C, se pueden encontrar uno o más horizontes AC_1 de transición, de textura arenosa franco y estructura en bloques subangulares débiles a masivo. Generalmente por debajo de los 60cm se extiende el horizonte AC_2 arenoso franco o arenoso, masivo, muy friable en húmedo, con algunas concreciones en calcáreo, por lo general debajo del metro de profundidad (horizonte C cálcico) Como variante de esta serie admitimos algunas situaciones con ligeros síntomas de hidromorfismo, manifestados por moteados en la base del horizonte AC y C. Incluso en algunos casos hemos admitido como variantes de la serie Rivadavia a perfiles que

presentaban por debajo de los 100cm de profundidad un horizonte C incipiente, plástico y ligeramente adhesivo, franco arenoso con presencia de algunas concreciones de hierro y manganeso, de características bastante parecidas a las encontradas por el equipo de Tecnoagro (1973) en el partido de 25 de Mayo (serie La Criolla).

Desde el punto de vista químico, y como se desprende de las muestras analizadas, la serie Rivadavia tiene un horizonte A ácido con un pH en rango de 5,6 a 5,8 con contenido de materia orgánica (en suelos muy chacareados) bastante elevados (3,5 a 4%) y un valor de nitrógeno total equivalente a 4500kg ha^{-1} en los primeros 20cm de espesor (capa arable). Si suponemos un 2% de mineralización anual llegaríamos a unos 90kg ha^{-1} de nitrógeno disponible, cifra que cubre las necesidades de la mayoría de los cultivos anuales de cosecha.

El nivel de calcio intercambiable en la capa arable llega a 3800kg ha^{-1} en promedio, mientras que el magnesio alcanza a los 600kg ha^{-1}, con relación Ca Mg^{-1} bastante equilibrada, cercana a 6. Si bien los valores absolutos de magnesio superan ampliamente los valores críticos de 5mg $100gr^{-1}$ de suelo no ocurre lo mismo si consideramos la intensidad relativa del magnesio a través del cociente Potasio $Magnesio^{-1}$. En el horizonte A este cociente es en promedio de 4 frente a valores normales de 0,8 a 1,8. Esta marcada diferencia inducida de magnesio se debe al muy elevado tenor de potasio disponible que llega a unos 2400kg ha^{-1} en la capa arable.

El fósforo disponible en las calicatas de la serie Rivadavia parece ser bastante homogéneo, estando bien provisto el A_p y desciende su nivel a medida que aumenta la profundidad.

En el horizonte AC la situación demuestra en general tendencias parecidas a la capa

arable con lógica disminución en el contenido de carbono y nitrógeno orgánico. El pH oscila entre 6,0 y 6,2, siendo su contenido en base de cambio parecido al horizonte A, aumentando proporcionalmente el magnesio frente a la disminución del potasio con relación potasio/magnesio bastante equilibrada (2,2). El tenor medio de fósforo disponible de este horizonte se puede calificar en promedio de regular (0,75mg $100gr^{-1}$ de suelo).

Por su condición de drenaje natural se incluyen a estos suelos en clase 4 (bien drenados) siendo su permeabilidad de grado 5 (moderadamente rápida). El escurrimiento superficial puede llegar a tener cierta importancia (grado 3 a 4) en los casos de pendientes superiores a 1% y de escasa longitud. Pero en posiciones de pendiente de grado 1 (0 a 1%) el escurrimiento es menor, ya que la penetración del agua es lo suficientemente alta como para absorber de inmediato la mayor parte del agua que cae en precipitaciones normales.

Por la posición topográfica que ocupan estos suelos no presentan ningún peligro de inundación y se encuentran libres de sales y álcalis en el perfil (clase 0-0) salvo su alcalinidad a nivel del AC_2.

En razón de sus condiciones texturales son suelos que si no son bien manejados pueden tener un leve peligro de erosión eólica (grado 1).

Serie Germania (Símbolo G): Los suelos de esta unidad taxonómica reciben el nombre de Germania, a nivel de serie tentativa en el año 1973, al realizar el equipo de Tecnoagro el relevamiento de suelos del establecimiento La Germania, en el partido de Gral. Pinto. Esta serie no había sido identificada en el trabajo de Bonfils y col antes mencionado, pese a tener varias particularidades que la hacen claramente

diferenciable.

Originalmente se presentaba en áreas llanas o suavemente onduladas, dentro de relieves subnormales, alternando con las series Gral. Pinto y Rufino, en una situación intermedia entre ambas o en asociación con ellas. En el caso de La Margarita y La Reserva, la serie Germania también se presenta en áreas llanas o suavemente onduladas, en una situación intermedia entre los suelos de Rivadavia y Carlos tejedor, siempre dentro de asociaciones con ellos y no como serie pura.

Si bien, la interpretación genética de estos suelos ofrece muchas incógnitas en lo relativo a su continuidad, podemos hacer su caracterización morfológica en base a los siguientes rasgos de diagnóstico.

Por debajo de los 50 cm aparece un horizonte BC_k plástico y ligeramente adhesivo, de textura franca, estructura moderadamente desarrollada de bloques angulares y subangulares, medianos y gruesos. En dicho horizonte se encuentran a veces concreciones de hierro y manganeso y en todos los casos se presentan moteados y barnices húmico arcillosos. En muchos casos este horizonte se comporta como un verdadero fragipan o incluso un duripan.

Con mayor frecuencia el BC_k se encuentra entre los 50 y los 80 cm de profundidad, pero su aparición hasta los 100cm de profundidad se aceptan como límite de variabilidad de la serie.

Como horizontes suprayacentes al horizonte 2 encontramos un horizonte A (subdividido en A_1-A_2- y E/B o sino A_1-A_2) que llega hasta los 25-35 cm de profundidad, textura franco arenosa y estructura en bloques subangulares medios y finos.

Por debajo del horizonte A y hasta el BC_k, se extiende un horizonte que en la

interpretación de continuidad genética sería un E/B, de unos 20-30cm de espesor. Al tacto aparece de textura más gruesa que el A y con estructura de bloques subangulares débiles que rompen a masivos, en algunos casos con moteados finos y medios.

En la gran mayoría de los casos los suelos de la serie Germania observados en La Margarita y La Reserva pertenecen a la variedad cálcica, ya que por debajo del B_x se encuentra un horizonte BC_k cálcico que por su condición textural puede ser un B_k o un BC_k. Cabe recordar aquí que la variante cálcica tiene texturas más finas en el horizonte B_k que en la no cálcica y por consiguiente están acentuadas sus condiciones de hidromorfismo.

El horizonte B_k cálcico presenta concreciones de calcáreo y condiciones de pH moderadamente alcalino pero sin llegar a límites de conductividad que permita clasificarlo de salino. Gradualmente pasa al horizonte BC_k por debajo de los 120cm de profundidad.

Hay que destacar que en los suelos de la serie Germania no solamente el horizonte BC_k puede tener características de fragipan sino que hemos visto numerosos casos en que el A_1 y A_2 y aún el E/B tienen dicha característica dificultando muy marcadamente el desarrollo de raíces en épocas secas. Los A_1 y A_2 computados se presentan quebradizos y de tonos más oscuros que en el perfil modal de la serie.

Por sus condiciones químicas el horizonte A_1 es de reacción ácida, con rango de 5,2 a 6,0 con contenidos de materia orgánica entre 3,5 y 4,3% y un nivel de nitrógeno de 4500 a 5000kg ha^{-1}.

El contenido de calcio llega en promedio en el espesor superior a 3800kg ha^{-1}, el

magnesio a 800kg ha^{-1} y el potasio a 2600kg ha^{-1}. O sea que el panorama de bases intercambiables es muy parecido al comentado para la capa arable de la serie Rivadavia, destacándose que la relación potasio $magnesio^{-1}$ de 3,2 es algo menos equilibrada que la encontrada en esa serie.

Por su parte el contenido de fósforo disponible ofrece en esta situación una posición intermedia con un valor promedio para las 5 muestras analizadas de 1,8mg $100gr^{-1}$.

El horizonte E/B, sigue siendo ácido (pH 5,8 a 6) con niveles de calcio, magnesio y potasio parecida a la capa arable. Salvo una mejor provisión relativa de magnesio con respecto al potasio revelado por un cociente K Mg^{-1} de 2,3. El contenido de P de este horizonte resultó deficiente en todos los perfiles de la serie analizada con un valor promedio de 0,5mg $100gr^{-1}$ de suelo.

En los horizontes B_x y B_k se advierte una acumulación sódica y salina, que se revela por los datos de pH y conductividad eléctrica. Así el horizonte BC_k, si bien por lo general es de reacción levemente ácida a neutra presenta valores de conductividad de hasta 2 milimohos que si bien no llega a ser salino denota cierta acumulación de sales, especialmente en el caso de sodio y magnesio.

El BC_k cálcico ya es francamente alcalino (pH 7,8 a 8,4) y con valores de sodio en varios casos superiores al 15% de saturación, por lo cual puede calificarse como probablemente sódico. En general el contenido de P disponible de los horizontes B_k es superior al del E/B, pero sin escapar a al rango de valores medios o pobremente provistos.

En su función de drenaje natural de estos suelos se ubican en grado 2 a 3 (imperfectamente drenados a moderadamente bien drenados) y su permeabilidad es de

grado 3 a 4 (moderadamente lenta a moderada). El escurrimiento es de grado 3, mientras que el peligro de erosión eólica es de nulo a leve, este último calificativo reservada a situaciones de manejo muy deficientes.

Fuente: L. A. Berasategui, L. A. Barberis, N. Colacelli, E. Chamorro, A. Ruíz, I. Mizuno. Relevamiento de suelos de los establecimientos “La Margarita” y “La Reserva”. 1973

Bonfils y otros. 1960. Suelos y Erosión en la Región Pampeana Semiárida. Revista de Investigaciones Agrícolas, T. XIII, No. 4, y tb. Publicación No. 65 del INTA.

APÉNDICE 3. Foto de la cobertura del suelo luego del uso de los residuos del maíz como forraje por parte de las vacas.

APÉNDICE 4. Foto del residuo de maíz luego de ser aprovechado como forraje por las vacas.

APÉNDICE 5. Foto de una pastura implantada al momento del muestreo.

APÉNDICE 6. Foto de la superficie del suelo de la pastura implantada, al momento del muestreo.

APÉNDICE 7. Foto de una pastura de 2 años.

APÉNDICE 8. Foto de las raíces de alfalfa y gramíneas de una pastura de 2 años, al momento del muestreo.

APÉNDICE 9. Foto de la cobertura de una pastura de 2 años.

APÉNDICE 10. Foto del detalle de la cuchilla “turbo” utilizada para la implantación de las pasturas.