

EFECTOS DEL PISOTEO Y PASTOREO ANIMAL SOBRE SUELOS EN SIEMBRA DIRECTA

Miguel A. Taboada*. 2007. 4º Simposio de Ganadería en Siembra Directa, Apresid, Potrero de los Funes, San Luis, 71-83.

*Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Fac. de Agronomía UBA.

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Suelos y ganadería](#)

Palabras Claves: Pastoreo, pisoteo, compactación, Siembra Directa, Cría Bovina Intensiva

INTRODUCCIÓN

La ganadería argentina está basada fundamentalmente en el pastoreo directo por la hacienda de pastizales, pasturas, verdes y rastrojos de cultivos. Esto la diferencia de la ganadería existente en otros países, donde los animales tienen una alimentación más bien basada en granos y otros suplementos. Una de las principales novedades acontecidas en la última década fue la irrupción de los sistemas ganaderos manejados en siembra directa (SD), no ya sólo por el aprovechamiento de rastrojos, sino también de pasturas implantadas con este sistema.

De las 95 millones de hectáreas que se manejan con SD en el mundo (Lal et al. 2007), unas 18 millones corresponden a nuestro país (www.aapresid.org.ar). La Argentina, junto con Brasil (Bolliger et al. 2006), reúne así a una parte principal de la producción en SD que se realiza en el mundo, mostrando de este modo un claro rol de liderazgo en la producción agrícola. Puede considerarse que este liderazgo es mucho más marcado cuando se trata de producción ganadera en SD, dado que en la región sólo Uruguay posee sistemas combinados con agricultura y ganadería extensiva en SD (García Prechac et al. 2004).

En los sistemas sujetos a pastoreo directo existen diversos tipos de interacciones entre los animales, las plantas y el suelo, tal como aparece graficado en la Figura 1.

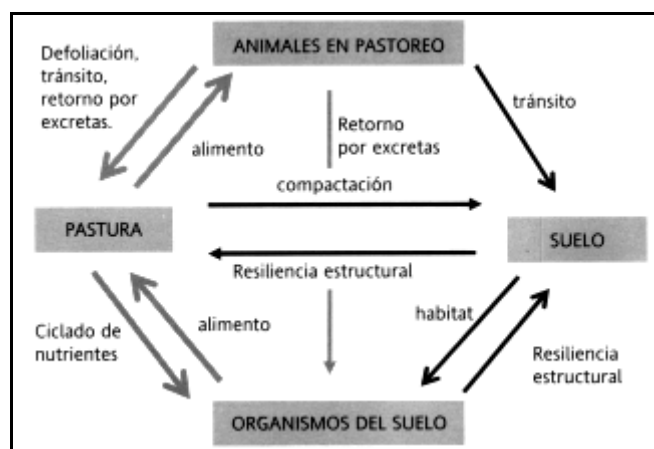


Figura 1: Interacciones entre el suelo, la planta y el animal dentro del sistema de pastoreo. La importancia relativa de cada factor es representada por el ancho de la línea (adaptado de Greenwood y Mc Kenzie 2001).

Los efectos son producidos sobre la pastura (defoliación, tránsito y pisoteo, retorno por excretas) y sobre el suelo (tránsito y pisoteo). Ambos interactúan con los microorganismos del suelo, los cuales intervienen en el reciclado de nutrientes aportados por los residuos vegetales y animales del sistema pastoreado. Un elemento central a cómo se manifiestan estas interacciones es el estado de compactación del suelo como resultado del pisoteo animal, pues este termina afectando el hábitat de los microorganismos y la productividad de la pastura.

Los efectos del pastoreo por ganado doméstico difieren en su magnitud, entendiéndose por tal a la intensidad y a la duración del efecto causado. Ambos son afectados o regulados por factores relacionados con el suelo, la vegetación y los animales. Los factores de vegetación son el volumen de biomasa sobre el suelo, su estructura o arquitectura (césped, matas, etc.), y la calidad del forraje ofrecido (palatabilidad y digestibilidad). Finalmente, los factores relacionados con los animales son varios. Puede citarse, entre ellos al tipo de animal (vacuno, ovino, etc.), su edad (por ejemplo, terneros, novillos, etc.), y finalmente la carga animal (cantidad de cabezas por hectárea) y la duración de los periodos de pastoreo y descanso (continuo, rotativo) (Figura 2).

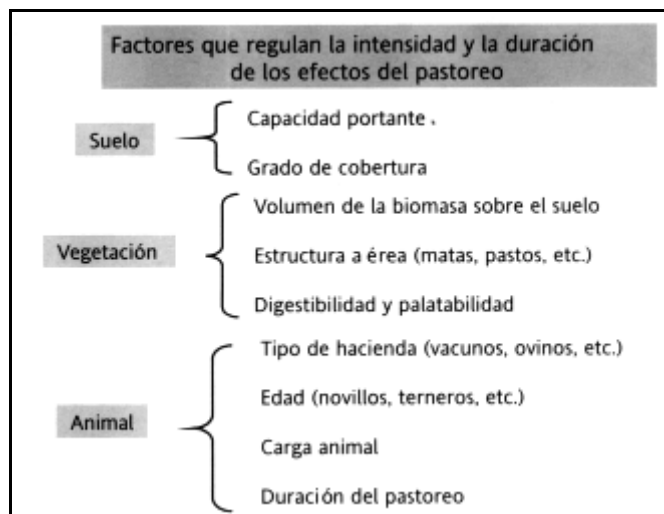


Figura 2. Factores la magnitud (intensidad y duración) del efecto del pastoreo

Dado esta diversidad de factores, no es fácil resumir la influencia de cada uno en pocas líneas. Más, cuando a menudo existen interacciones entre muchos de estos factores. Por ejemplo, así como no todos los suelos tienen la misma respuesta a los sistemas de manejo agrícola, lo mismo sucede en ellos con el manejo del pastoreo. Del mismo modo, se sabe que no todos los suelos responden del mismo modo al tipo de pastoreo, y a menudo, las respuestas en la pastura no están necesariamente vinculadas con las respuestas en el suelo.

El pastoreo directo por ganado doméstico ejerce dos tipos de efectos sobre los suelos: a) la defoliación causada por la ingesta de forraje por los animales; y b) el pisoteo causado por el tránsito de ganado por los campos. Ambos efectos pueden generar importantes cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos.

CAMBIOS EN EL SUELO ASOCIADOS A LA DEFOLIACIÓN CAUSADA POR EL PASTOREO

La acción de defoliación causada por el pastoreo genera cambios importantes en la composición florística y la estructura del canopeo de los pastizales y pasturas. Al reducir la altura del canopeo y el grado de cobertura superficial, el pastoreo permite que reciban luz las especies de más bajo porte. El pastoreo ejerce mayor presión sobre las especies más palatables, las cuales pueden llegar a desaparecer en función del tipo de pastoreo y de la oportunidad de los períodos de descanso otorgados. Se generan así cambios a nivel de la dinámica del agua, el carbono y los nutrientes del suelo.

I) Dinámica de la temperatura y el agua edáficas:

Como es sabido, el agua del suelo puede ser perdida a través de los procesos de evaporación y de transpiración. El primero tiene lugar desde superficies de suelo desnudo, y siguiendo gradientes hidráulicos negativos desde un subsuelo más húmedo a una superficie más seca. La transpiración también sigue gradientes hidráulicos negativos, pero se produce desde las aperturas estomáticas de las hojas.

Al producir la decobertura superficial del suelo, el pastoreo continuo favorece temperaturas más elevadas y mayores pérdidas de agua por evaporación desde superficies de suelo desnudo. Esto puede ser observado en la Tabla 1, que muestra mediciones realizadas en situaciones no pastoreadas y pastoreadas de un pastizal tomadas durante el verano (Lavado y Taboada 1987).

	Temperatura del suelo (° C)		Tasa de evaporación (mm día ⁻¹)	
	No pastoreado	Pastoreado	No pastoreado	Pastoreado
enero	22,8 - 25,5	26,4 - 32,7	0,19	2,13
febrero	17,7 - 23,9	21,5 - 30,4	0,39	1,79

Tabla 1: Rango de temperaturas del suelo y tasa de evaporación en verano

La Figura 3 muestra un diagrama donde se idealiza lo que sucede con los movimientos ascendentes de agua durante el verano, en suelos bajo pastoreo continuo (izquierda) y bajo pastoreo racional (derecha). La principal diferencia entre ambos suelos es la presencia en el último de mayor biomasa viva (verde) y muerta (broza) cubriendo el suelo. Esta capa o "mulch" que cubre totalmente el suelo controla casi totalmente las pérdidas de agua por evaporación, tal como lo muestran los resultados en la Tabla 1. El sistema funciona así en forma similar a cómo la hace un suelo manejado con siembra directa continua.

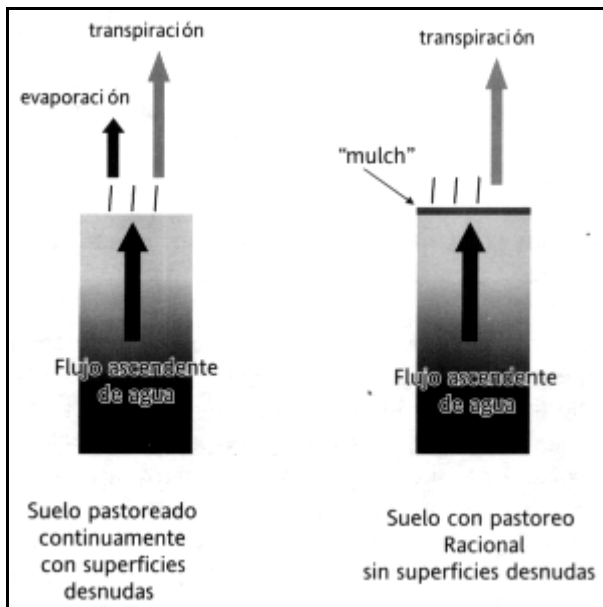


Figura 3. Diagrama mostrando los flujos de agua por evaporación y por transpiración que tienen lugar en suelos pastoreados continuamente y racionalmente.

II) Dinámica de las sales:

Existen otras ventajas adicionales en el hecho de permitir que el suelo permanezca cubierto. Ello sucede en muchos sistemas ganaderos desarrollados sobre suelos con problemas de salinidad y alcalinidad sódica, los cuales son altamente frecuentes en muchas áreas de campos bajos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe.

Al dejar superficies con el suelo desnudo se permite la ocurrencia de ascensos capilares de sales desde el agua subterránea, generando ello indeseables aumentos de sales en los horizontes superficiales. Ello se muestra en la Figura 4, también tomada de un trabajo de Lavado y Taboada (1987).

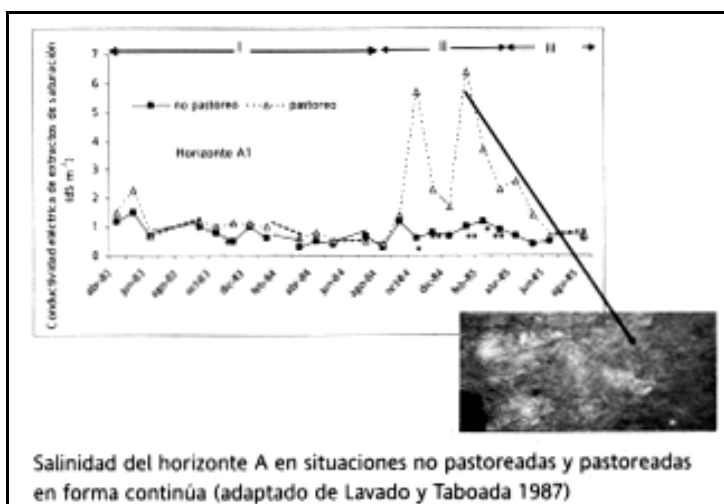


Figura 4. Evolución de la salinidad del horizonte superficial en situaciones no pastoreadas y pastoreadas.

CAMBIOS EN EL SUELO ASOCIADOS CON LOS EFECTOS DEL TRÁNSITO Y EL PISOTEO POR HACIENDA

Los efectos causados por el tránsito y el pisoteo de hacienda afectan primordialmente a la estructura del suelo pastoreado; o sea lo que se entiende por el ordenamiento espacial de los sólidos y poros del suelo. La estructura del suelo es el resultado neto de la acción competitiva entre fuerzas degradantes y fuerzas regenerativas. Estas acciones están reguladas por la estabilidad estructural del suelo. Es fundamental comprender cómo funcionan en cada suelo estas acciones competitivas, pues de ello depende la susceptibilidad de un suelo determinada a sufrir, por ejemplo, daños por compactación. Pero también, de ello depende la posibilidad a menudo poco conocida de que un suelo se recupere de sus daños, a través de la acción de los ciclos de humedecimiento-secado, el crecimiento y muerte de raíces y la fauna edáfica. Es lo que conoce como resiendia.

Al minimizar la intervención mecánica en el suelo, la estructura de los suelos manejados con SD depende casi exclusivamente de la acción de factores naturales, como los señalados en el párrafo anterior. En este sentido, los

suelos de nuestro país, y de la región pampeana en particular, difieren mucho en sus propiedades intrínsecas. De allí que su reacción a los factores naturales también difiera, y de este modo su respuesta a las acciones del tránsito, del pisoteo y de la SD.

I) Presiones de compactación ejercidas por la hacienda:

El efecto del tránsito de hacienda está relacionado con las presiones ejercidas sobre el suelo, lo cual es función de la masa del animal, el tamaño de su pezuña y la energía cinética. Los datos de la Tabla 2 indican que las presiones ejercidas por ovinos, cuando están parados, promedian 66 kPa y los vacunos 138 kPa. Estas presiones son equiparables a las ejercidas por rodados de tractores no cargados (74 - 81 kPa), y las presiones de tracción (58 kPa) de vehículos arrastrados.

	masa kg	Área total superficial cm ²	Presión estática kPa
ovinos	40 - 54	55 - 84	48 - 83
vacunos	306 - 612	264 - 460	98 - 192
equinos	400 - 700	736	54 - 95
hombre	61 - 75	146 - 173	41 - 45
mujer	46 - 73	45 - 79	57 - 108

Tabla 2. Peso comparativo, área de apoyo y presión estática de animales en pastoreo, hombres y mujeres (Greenwood y Mc Kenzie 2001).

Debe considerarse que estas presiones aumentan durante el pastoreo, pues al caminar los animales sólo apoyan dos o tres de sus pezuñas. Por otra parte, la cantidad de tránsito dependerá mucho de la disponibilidad de forraje, y la distancia a los bebederos. Sin embargo, debe considerarse que un vacuno o un ovino pueden estar transitando hasta unas 12 - 13 horas por día.

II) Respuesta del suelo al tránsito animal:

La respuesta del suelo al tránsito por animales depende del contenido hídrico que posee cuando es pastoreado. Esta influencia del pisoteo es principalmente de tipo físico-mecánico, pues afecta el estado de compactación de los primeros centímetros del suelo. Cuando el suelo está más seco, el tránsito y pisoteo causan compactación del suelo, asociada con una pérdida de macroporosidad. La compactación deja escasa evidencia visual de su daño. En cambio, el pastoreo en altas condiciones de humedad edáfica, da lugar a la ocurrencia de daño por "poaching". Este daño es causado por el flujo de suelo alrededor de la pezuña del animal, dejando una huella bien definida, o en condiciones de extrema humedad, un suelo totalmente amasado.

Ante la aplicación de un determinado estrés compactante, la densidad del suelo se incrementa a medida que la humedad edáfica aumenta. Este aumento de densidad alcanza un máximo a una humedad intermedia, llamada "humedad crítica", a la cual el suelo alcanza la "densidad máxima". La humedad crítica es, precisamente, aquella en la cual un suelo alcanza su máximo nivel de compactación. Este nivel de compactación será mayor, obviamente, si el estrés compactante es mayor. Es así que no será lo mismo que un campo sea transitado por equipos de 8 toneladas, que por otros de 25 toneladas. No será lo mismo que el rodado sea estándar, o que sea en cambio, de baja presión, o tipo oruga. Lo mismo puede decirse del pastoreo: no será lo mismo el pastoreo por vacunos que por ovinos (Tabla 2). Y obviamente, no será lo mismo el pastoreo con baja humedad, que en la humedad crítica del suelo.

Es interesante conocer, entonces, que factores edáficos regulan esta humedad crítica tan importante. En primer lugar, la textura. Los suelos de textura más gruesa tienen una humedad crítica más baja, y alcanzan densidades máximas más elevadas. Ello justifica por qué a menudo encontramos niveles de compactación más altos en suelos franco arenosos que en suelos de textura más fina. Del mismo modo, el nivel materia orgánica contribuye a reducir drásticamente la compactabilidad de un suelo. ¿Qué otra cosa, sino, hacen los ingenieros de caminos, sino extraer el suelo superficial ("tierra negra") para lograr precisamente mayor capacidad portante, y así mayor compactación.

III) Procesos de compactación:

La Figura 6 presenta, en forma idealizada, la secuencia de procesos que tienen lugar cuando un suelo es pastoreado con bajo o con alto contenido de humedad.

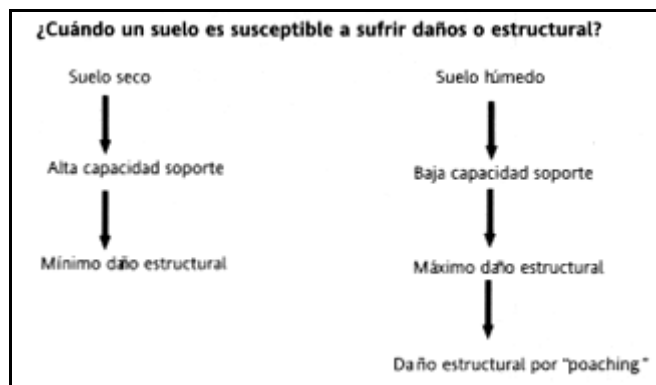


Figura 6. Esquema teórico que predice la influencia de la humedad edáfica sobre el desarrollo de daños estructurales por pisoteo.

Cuando el suelo está próximo a la sequedad, su capacidad portante es máxima, y de este modo, la probabilidad de que sufra daño estructural es mínima. En cambio, cuando el suelo está húmedo, su capacidad portante es menor, y se vuelve propenso a sufrir compactación superficial. Esto no es otra cosa que la deformación superficial del suelo superficial para soportar el peso del animal. Esta deformación se hace a expensas del espacio de macroporos.

Debido a ello, todo daño por compactación implica necesariamente la ocurrencia simultánea de:

- ◆ Aumentos de densidad aparente
- ◆ Descensos de macroporosidad
- ◆ Aumentos de resistencia superficial
- ◆ Descensos de infiltración y conductividad hidráulica saturada.

La acción mecánica de la pezuña animal causa la pulverización de los agregados del suelo, causando a menudo también pérdidas de estabilidad estructural. Estos daños suelen ser superficiales, tal como lo demuestra resultados de Taboada y Lavado (1988). Al comparar suelos no pastoreados con suelos pastoreados en forma continua, puede observarse que se producen aumentos significativos de densidad aparente y de resistencia a la penetración (Tabla 3).

Densidad aparente (Mg m^{-3})		
Fechas capa	No pastoreado	Pastoreado
Nov	0 - 4 cm 0,96*	1,00
	4 - 8 cm 1,20*	1,29
	8 - 12 cm 1,28	1,3
Junio	0 - 4 cm 0,97	0,99
	4 - 8 cm 1,23	1,24
	8-12 cm 1,29	1,28
Resistencia a la penetración (kPa)		
set	No pastoreado	Pastoreado
	450**	940
nov	470**	690
dic	3710**	6440

Tabla 3. Densidad aparente y resistencia a la penetración de suelos no pastoreados y pastoreados, en diferentes fechas (Taboada y Lavado 1988).

Se observa que los aumentos de densidad aparente ocurrieron sólo en una fecha (noviembre), y que afectaron sólo los primeros ocho centímetros del suelo. Estos aumentos fueron acompañados por aumentos altamente significativos de resistencia superficial entre situaciones no pastoreadas y pastoreadas. Sin embargo, es fácil observar que la principal fuente de variación de la resistencia fue entre fechas, asociado con los cambios de humedad edáfica.

Estos cambios de densidad y resistencia estuvieron asociados con cambios en la macroporosidad (Taboada y Lavado 1993). Precisamente, los poros del suelo responsables de la aireación y la entrada de agua al suelo.

En la Figura 7 puede apreciarse que el pisoteo afecta principalmente los macroporos de mayor diámetro (> 60 μm), precisamente aquellos responsables de la vida de la fauna y los hongos del suelo, y los lugares preferenciales de las raíces de los pastos. La aparición de poros llenos de aire en la superficie del suelo lo vuelve a éste susceptible al daño estructural por pisoteo. Ello sucede debido a la destrucción de agregados superficiales por el impacto de la pezuña animal sobre suelo seco ("crushing"). Este daño no genera una compactación excesiva, pues el suelo posee alta capacidad portante, pero da lugar a la generación de agregados de menor tamaño, y por ende se traduce en descensos de estabilidad estructural (Figura 8). El daño causado por el pisoteo en verano, es rápidamente regenerado unos meses más tarde.

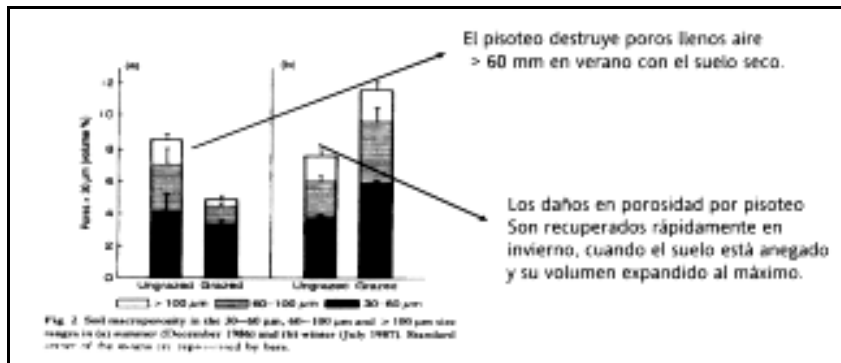


Figura 7. Macroporosidad del suelo en los tamaños 30-60, 60-100 y > 100 μm en situaciones no pastoreadas y pastoreadas, en dos fechas (verano e invierno).

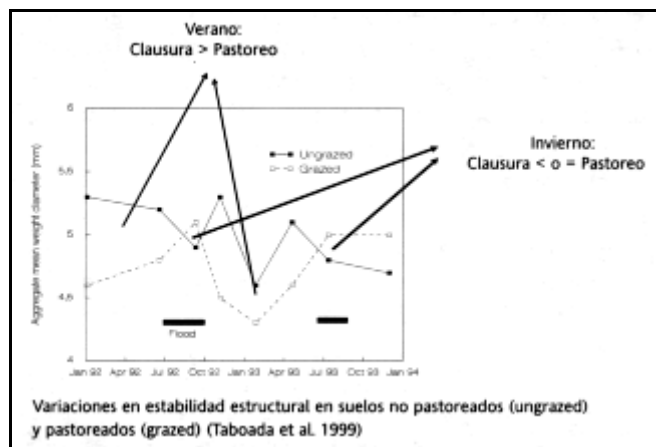


Figura 8. Variación estacional de la estabilidad estructural en suelos no pastoreados (clausura) y pastoreados (Taboada et al. 1999).

En la Figura 8 puede observarse que durante las inundaciones invernales se produce una rápida recuperación del daño por pisoteo y aumentos en la estabilidad estructural. Este régimen de variación de la estabilidad estructural, aparece así asociado a los cambios de volumen del suelo durante los ciclos inundación-secado. Los suelos pastoreados aparecen teniendo menor estabilidad en verano, con el suelo contraído y con alta capacidad portante, y recuperando su estabilidad durante la inundación cuando están expandidos y con baja capacidad portante. Este régimen aparece contrapuesto al que se observa en suelos agrícolas normales, en los cuales las fuerzas de cohesión determinan alta estabilidad cuando están secos y baja estabilidad cuando están húmedos.

IV) Daños por "poaching":

No es de esperar que existan aumentos de densidad cuando un suelo es transitado con humedades por encima de la humedad crítica. Existe ahí una leve recuperación de la capacidad portante del suelo, debida a que los poros llenos de agua resisten mejor las cargas compactantes. Esta teoría explica perfectamente las razones por las cuales nuestros resultados no muestran daños de la estructura en invierno, con el suelo muy húmedo o encharcado, sino en verano con el suelo más seco (Tabla 3; Figuras 7 y 8).

Las razones de la falta de daño por "poaching" en nuestro caso hay que buscarla en las condiciones en que se realizaron las mediciones. Ellas correspondieron a las comunes en un campo de cría; es decir, pastoreo continuo de vacas y terneros con bajas cargas (1 UG ha⁻¹ año⁻¹). Cabe preguntarse que es lo que sucede cuando el pastoreo en suelos húmedos se realiza con altas cargas instantáneas y por cortos lapsos. En estas condiciones, comunes de hallar cuando se pastorean verdes de invierno (ej. avena), el daño más frecuente de hallar es la fluencia plástica del suelo o "poaching".

Un ejemplo claro de este daño es un corral de encierre, o el suelo alrededor de un esquinero de alambrado. A diferencia de la compactación, en que el suelo se deforma para soportar el peso el animal, con "poaching" el suelo no tiene la capacidad de porte suficiente para soportar el peso del animal, y entonces falla produciendo una huella profunda. Es decir que, a diferencia de la compactación, existe daño visible en el caso del "poaching". Otra diferencia importante es que el "poaching" suele afectar un espesor de suelo mayor que la compactación.

El daño más severo es el que subsigue; el amasado superficial del suelo. Ello sucede cuando el suelo es transitado y pisoteado repetidamente con alta humedad. Ello da lugar a una imbibición e hinchamiento del suelo superficial, el cual se hincha y pierde no sólo su estabilidad sino también su resistencia. Este daño se considera el peor que puede ocurrir en pastizales de clima húmedo. La Figura 9 presenta una fotografía donde se visualiza cuál es el daño ocasionado por "poaching" y posterior amasado.

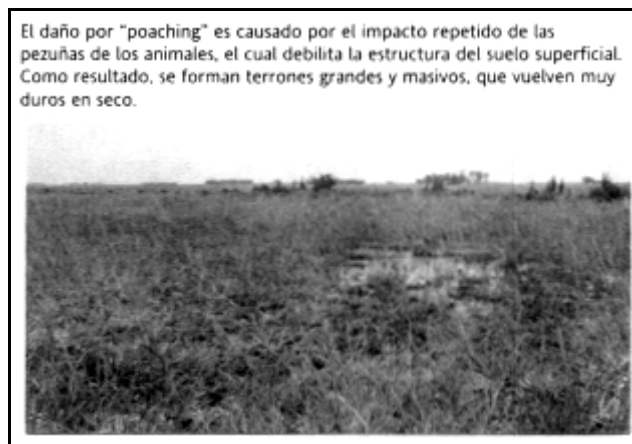


Figura 9. Evidencia visual de daño por "poaching" en un pastizal.

Estos resultados de campo reflejan lo que sucede en suelos de campos bajos, o inundables, tales como los que prevalecen en una enorme extensión de hectáreas de la región pampeana (Pampa Deprimida, Oeste Bonaerense, Bajos Submeridionales). Estos suelos poseen fuertes restricciones por halohidromorfismo (Natracuoles, Natracualfes, etc.) para el uso agrícola, y son destinados a la ganadería.

PROPIEDADES FÍSICAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN MIXTA Y DE AGRICULTURA CONTINUA EN SD

La Figura 10 (a y b) muestra la evolución de las superficies destinadas a siembra de verdeos anuales y pasturas en la región pampeana, según datos obtenidos de los Censos Nacionales Agropecuarios 1988 y 2002 (www.indec.mecon.gov.ar), e información elaborada a partir de las Encuestas Nacionales Agropecuarias de la SAGPyA.

La Figura muestra, particularmente en el último censo, un claro descenso en la cantidad de hectáreas sembradas con pasturas y verdeos anuales, y un correlativo aumento de la superficie destinada al cultivo de soja. Sin embargo, este desplazamiento de la siembra de forrajeras no se correspondió con un descenso correlativo en la cantidad de hacienda en los campos, cuya cantidad se sigue manteniendo algo por encima de las 50 millones de cabezas. Estos hechos indican dos cosas: a) La ganadería se desplazó a áreas marginales sobre recursos forrajeros naturales; y b) Hubo cambios en la integración de las cadenas forrajeras de los establecimientos, dados por un mayor uso de suplementos en encierre a corral (e.g. granos, pellets, etc.) y por pastoreo de rastros.

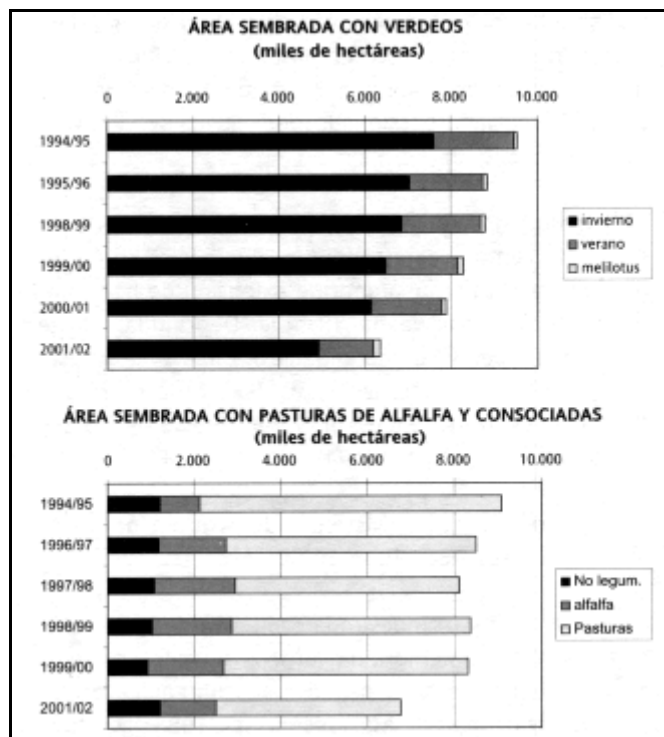


Figura 10. Evolución del área sembrada con verdes y pasturas Información elaborada a partir de los CNA 1988 y 2002 (www.indec.mecon.gov.ar), y las ENA de la SAGPyA.

Si se considera que más de mitad de la superficie agrícola pampeana se realiza usando SD (www.aapresid.org.ar; www.indec.mecon.gov.ar), surge claramente que una parte muy importante de la ganadería argentina se está llevando a cabo en SD. Probablemente, la mayor parte de estos productores aprovechan los rastrojos de los cultivos y verdes mediante pastoreo directo, mientras que en otros casos la totalidad del sistema se realiza en SD, incluyendo la siembra de pasturas en sistemas mixtos.

Un claro ejemplo de ello son los sistemas de Cría Bovina intensiva (CBI), que comenzaron a implementarse en campos con suelos de elevada potencial productivo del sur de Santa Fe, en torno a una idea impulsada por el Med. Vet. Martín Correa Luna de la AER INTA Venado Tuerto. Los sistemas CBI se encuentran actualmente en expansión, lo cual demuestra el éxito de la propuesta.

Estos sistemas de producción mixta son totalmente manejados en SD, y la oferta forrajera se integra por pasturas consociadas con base alfalfa, y el pastoreo directo de rastrojos invernales de maíz y soja y las malezas presentes (e.g. bowlesia y capiquí) (Correa Luna 2005). Además de lo interesante que resulta el hecho de promover la presencia de hacienda en una zona agrícola, con las implicancias sociales positivas que implica la mayor demanda de mano de obra en el campo, existe un claro beneficio ambiental dado por el menor uso de herbicidas, como glifosato.

La contracara de estos sistemas es el escaso conocimiento de los efectos causados por el pastoreo y pisoteo animales, entre los que se destacan la compactación y el mayor desecamiento de la superficie de los suelos (Greenwood et al. 1997; Chanasyk y Naeth 1995). Desde 2005 con mi grupo de investigación, donde participan las Ings. Agr. Carina R. Álvarez y Patricia L. Fernández (tesista de doctorado), estamos evaluando los efectos del pastoreo directo de rastrojos invernales sobre las propiedades de los suelos y el crecimiento y rendimiento de los cultivos. La siguiente información brindará los avances de esta línea de investigación.

Los establecimientos evaluados se presentan en Figura 11. Los ensayos más específicos se realizaron en el establecimiento El Palomar, en Amenábar (Hapludol típico, franco; 15 % arcilla y 34,7 % limo), y en El Casco, en Chañar Ladeado (Argiudol típico, franco limoso; 25 % arcilla y 61,4 % limo). En ambos sitios se compararon situaciones próximas del mismo suelo en SD, manejadas con: agricultura continua (AC) bajo la rotación maíz/soja, con uso de barbecho químico invernal (glifosato) versus sistema mixto (SM). Este último consiste en una rotación pastura de alfalfa (4 años) y soja de primera-maíz (6 años), con pastoreo invernal de rastrojos y malezas.



Figura 11. Sitios de estudios para evaluar sistemas CBI

Los valores de inestabilidad estructural (CDMP) fueron significativamente más bajos en el Argiudol (Figura 12), hecho que puede asociarse a su mayor contenido medio de MO y de arcillas respecto del Hapludol Típico. Sólo el Hapludol mostró diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos (AC > SM). La mayor estabilidad de la situación pastoreada puede reflejar un mejor estado, reflejo de su historia de rotación con pasturas.

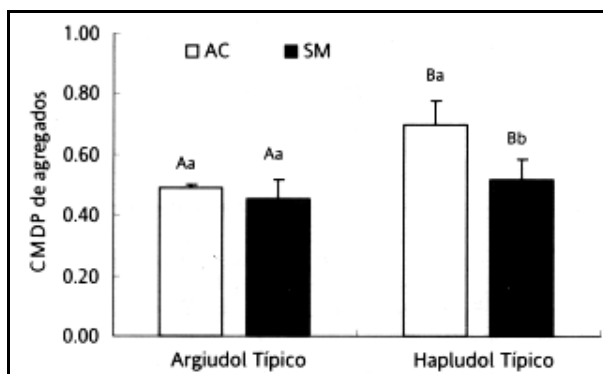


Figura 12: Inestabilidad estructural evaluada como cambio en el diámetro promedio de agregados (CDMP).

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre sitios, y letras minúsculas distintas indican diferencias entre tratamientos. AC (agricultura continua) y SM (sistemas mixtos).

Dado que no hubo diferencias importantes en contenido hídrico entre tratamientos, los valores de resistencia a la penetración no estuvieron influenciados por la humedad. En el Argiudol la resistencia fue significativamente ($P < 0,05$) más alta bajo pastoreo a partir de 2,5 cm de profundidad (Figura 13 a).

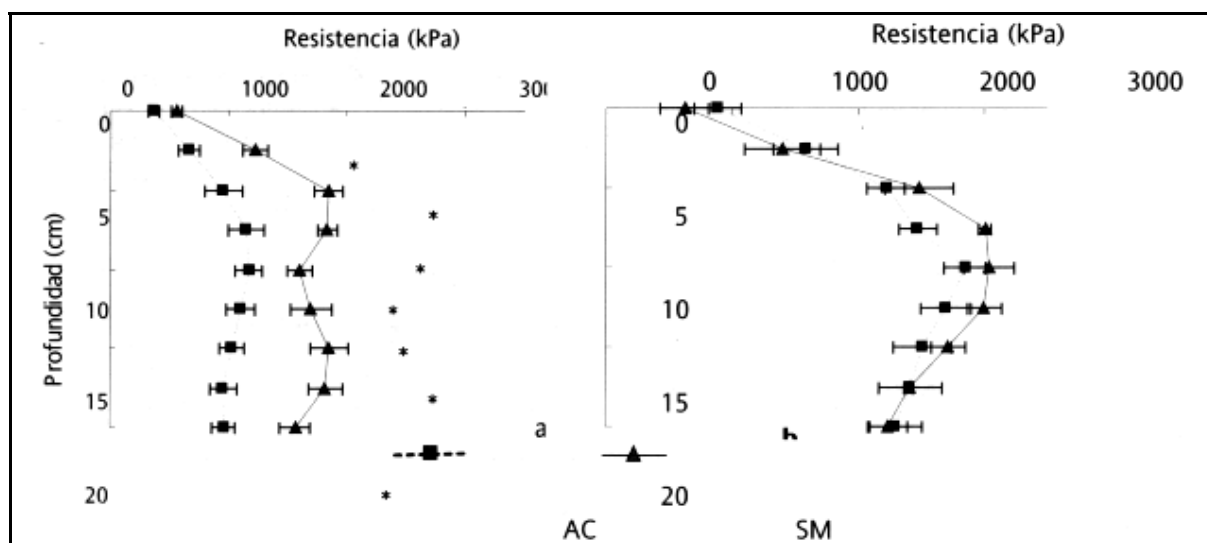


Figura 13: Resistencia a la penetración del suelo hasta los 20 cm de profundidad. a) Argiudol Típico y b) Hapludol Típico. Los * indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada profundidad.

Otros autores también observaron aumentos en la resistencia debido al tránsito de animales, dependiendo su magnitud de la duración del pastoreo y la carga animal (Greenwood et al., 1997; García-Préchac et al., 2004). En cambio, no se hallaron diferencias atribuibles al pisoteo en el Hapludol (Figura 13 b). En este suelo la resistencia a la penetración alcanzó valores críticos (> 2000 kPa) para el desarrollo radical (Glinski y Lipiec, 1989). El mayor impacto del pisoteo animal hallado en el Argiudol debe atribuirse a su mayor compresibilidad, derivada de su textura más fina (Smith et al., 1997).

No se observaron diferencias en densidad aparente causadas por el pastoreo (Tabla 4), hecho coincidente con lo hallado por otros autores (García Prechac et al., 2004; Díaz Zorita et al., 2002).

Densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$)					
	Argiudol Típico			Hapludol Típico	
	AC	SM		AC	SM
0-5 cm	1,06 (0,021) Aa	1,07 (0,021) Aa		1,33 (0,023) Ba	1,35 (0,020) Ba
5-10 cm	1,12 (0,053) Aa	1,18 (0,017) Aa		1,40 (0,020) Ba	1,40 (0,039) Ba

Tabla 4: Densidad aparente de 0-5 cm y de 5-10 cm para los tratamientos y suelos evaluados.

Las diferencias estadísticas entre sitios están indicados con letras mayúsculas ($P < 0,05$) y entre tratamientos con letras minúsculas ($P < 0,05$).

La densidad fue siempre significativamente ($P < 0,05$) más alta en el Hapludol que en el Argiudol, lo cual resulta de las diferentes porosidades de suelos con diferente textura. Los valores fueron similares a otros hallados en otros sitios con los mismos suelos (Micucci y Taboada, 2006; Taboada et al. 1998). Los cambios en densidad aparente por pisoteo animal se manifiestan hasta los 10 cm de profundidad (Chanasyk y Naeth 1995). Sin embargo, las densidades halladas son inferiores a las máximas que pueden alcanzar estos suelos (1,46 - 1,48 $Mg\ m^{-3}$).

La tasa de infiltración fue significativamente ($P < 0,05$) da por el pastoreo, resultando 31 % más baja en SM que en AC en el Argiudol y 62,8 % en el Hapludol. La infiltración es probablemente el parámetro más sensible a la compactación por pisoteo (Greenwood et al., 1997), ya que es afectada la macroporosidad superficial, principal vía de circulación de agua de infiltración.

PROPIEDADES FÍSICAS Y RENDIMIENTOS DE MAÍZ EN SISTEMAS CBI

En los establecimientos El Palomar y El Casco se delimitó con alambre eléctrico una clausura, en la cual crecen las malezas sin ser pastoreadas. La clausura se realizó ese mismo año, otoño-invierno 2005. Esta situación fue comparada con la situación colindante bajo pastoreo durante el invierno. Se evaluaron propiedades físicas de suelo, y el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz. La siembra del maíz se realizó en la primera quincena de septiembre, con un distanciamiento del entresurco de 52 cm en el Argiudol y 70 cm en Hapludol. Previo a la siembra del cultivo de maíz se aplicó un herbicida de amplio espectro. El diseño del ensayo fue de bloques, siendo tres por tratamiento.

Los valores de densidad aparente fueron significativamente diferentes ($P < 0,05$) entre sitios, tanto a siembra como cosecha, debido a las diferencias texturales (Tabla 5).

	Prof (cm)	Argiudol		Hapludol	
		Pastoreo	Clausura	Pastoreo	Clausura
d_a (siembra) $t\ m^{-3}$	0-5	1.17 Aa	1.25 Ab	1.33 Ba	1.37 Bb
	5-10	1.19 Aa	1.25 Aa	1.38 Ba	1.41 Ba
d_a (cosecha) $t\ m^{-3}$	0-5	1.05 Aa	0.98 Aa	1.42 Ba	1.43 Ba
	5-10	1.21 Aa	1.23 Aa	1.39 Ba	1.38 Ba
Humedad del suelo $g\ 100g^{-1}$ (siembra)	0-5	26.7 Aa	27.2 Aa	13.5 Ba	12.2 Ba
	5-20	21.8 A	21.2 A	16.5 B	11.7 C
	20-40	20.5 A	19.7 A	15.0 B	12.3 C
	40-60	20.2 Aa	19.2 Aa	15.9 Ba	10.6 Ba

Tabla 5: Densidad aparente (d_a), a siembra y cosecha, para las profundidades 0-5 y 5-10 cm. Humedad del suelo a la siembra hasta los 60 cm de profundidad. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre sitios ($P < 0,05$), y letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). Letras mayúsculas solas diferentes implican diferencias significativas ($P < 0,05$) cuando hubo interacción sitio*tratamiento.

Sin embargo, no se manifestaron diferencias significativas entre los tratamientos de pastoreo y clausura. El contenido hídrico del suelo al inicio del cultivo fue significativamente inferior en el Hapludol respecto del

Argiudol (Tabla 5). Sin embargo, esto no afectó la generación de biomasa del cultivo en el Hapludol, siendo compensado por las precipitaciones posteriores a la siembra (187 mm mediados de septiembre-octubre) (Figura 14).

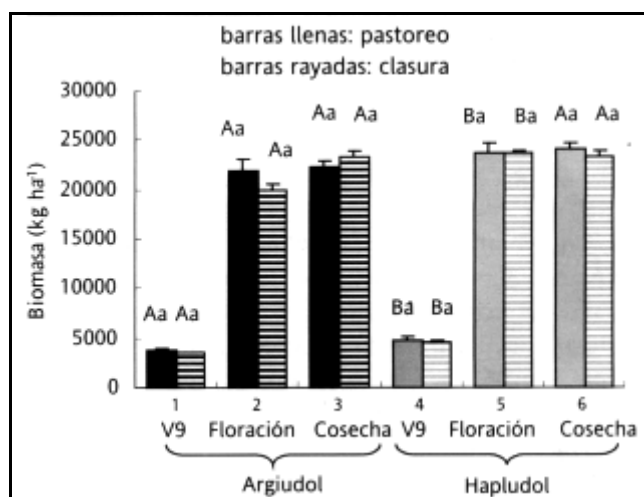


Figura 14: Biomasa (kg ha⁻¹) del cultivo de maíz en las etapas V9, floración y cosecha.

A su vez, el rendimiento también presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) entre sitios, no manifestándose diferencias entre tratamientos (Tabla 6). Sin embargo, el Hapludol mostró en los rendimientos, cierta tendencia superior en el pastoreado, pudo ser por el consumo diferencial de agua por parte de las malezas (Tabla 6).

	Argiudol		Hapludol	
	Pastoreo	Clausura	Pastoreo	Clausura
Rendimiento	t ha ⁻¹ 9.96 (0.452) A	10.5 (0.379) A	12.0 (1.400) B	10.7 (0.386) AB
Radiación inter.	% 90.9 Aa	92.7 Aa	76.5 Ba	73.2Ba

Tabla 6: Rendimiento del cultivo de maíz. Letras mayúsculas solas diferentes implican diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción sitio *tratamiento. Radiación interceptada al momento de floración del cultivo. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre sitios ($P < 0,05$), y letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$).

En la Tabla 6 se presenta la radiación interceptada, presentando diferencias entre sitios pero no entre tratamientos. Los distanciamientos entre surcos modifican la radiación interceptada, consecuencia del porcentaje de cobertura por parte de las hojas del cultivo. Las diferencias manifestadas entre sitios en el porcentaje de interceptación de radiación podrían ser consecuencia de que el Argiudol el distanciamiento entre surco era de 52 cm y en el Hapludol de 70 cm.

En el momento de siembra del cultivo, ambos sitios presentaron valores de resistencia (Figura 15) superiores a los umbrales (2000 kPa), para el crecimiento radicular (Glinski y Lipiec, 1989). El Hapludol en ese momento presentó valores de humedad significativamente más bajos que el Argiudol, y este último debido a su textura manifiesta mayor compresibilidad (Smith et al., 2000). Ambos sitios, a cosecha, no presentaron diferencias importantes en el contenido hídrico, siendo las resistencias promedios de 724 kPa en el Argiudol y 890 kPa en el Hapludol.

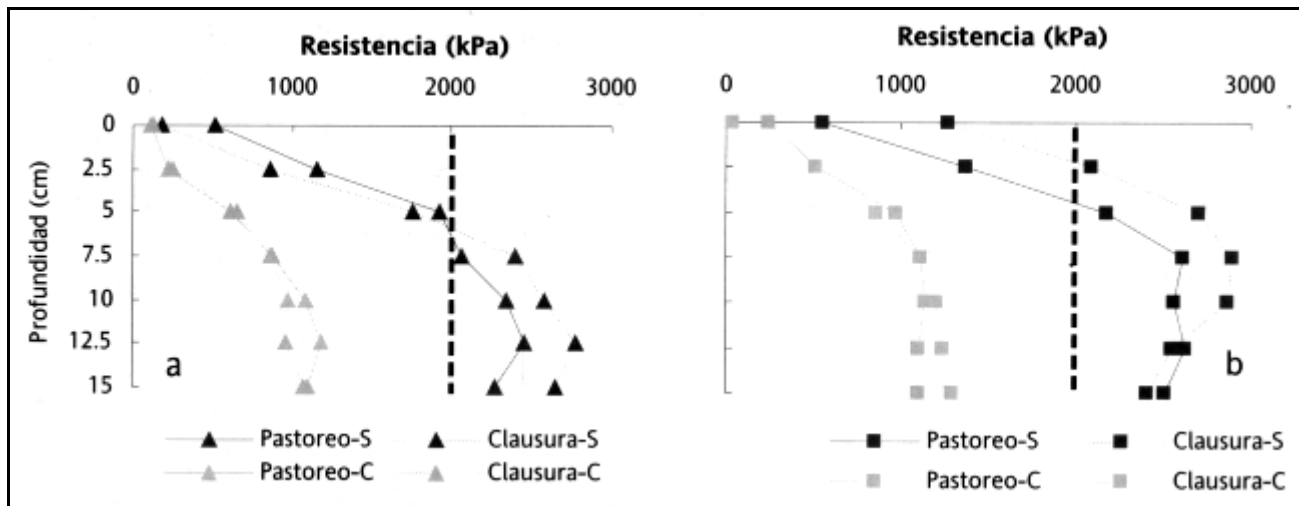


Figura 15: Resistencia a la penetración del suelo hasta los 35 cm de profundidad.
a) Argiudol Típico, S: medido a siembra, b) Hapludol Típico C: medido en cosecha.

SUMARIO DE CONCLUSIONES

En cuanto a la forma en que el pastoreo y el pisoteo afectan a los suelos:

El pastoreo por hacienda afecta a los suelos a través de dos efectos paralelos. Ellos son: a) la defoliación y eventual decobertura superficial, y b) el tránsito y pisoteo.

Los efectos físicos causados por la defoliación tienen que ver fundamentalmente con los cambios en los flujos ascendentes de agua. La aparición de mayores espacios con suelo desnudo, asociado con cambios en la estructura aérea de las pasturas, favorece mayores temperaturas en el suelo superficial y el aumento de las tasas de evaporación desde suelo desnudo.

En cuanto a los efectos en campos bajos:

En ambientes donde existen problemas de sales, el pastoreo causa aumentos muy importantes de la salinidad de los horizontes superiores del suelo.

Los efectos causados por el tránsito y el pisoteo al suelo son físico-mecánicos, y dependen principalmente de la humedad con que el suelo es pastoreado.

Los suelos secos poseen máxima capacidad portante, y así tienen menos probabilidad de sufrir daños por pisoteo. Los suelos húmedos son susceptibles a sufrir daños por compactación superficial, dando lugar a aumentos de densidad aparente y resistencia, y disminuciones de macroporosidad e infiltración. Estos daños afectan sólo a los primeros centímetros del suelo.

El pastoreo de suelos con elevada humedad produce profundas huellas y fluencia plástica de suelo. El tránsito repetido en estas condiciones da lugar al daño por "poaching" y amasado, el cual puede afectar negativamente la productividad de las pasturas.

La duración de los daños estructurales es variable y depende de lo que se conoce como resiliencia de los suelos. Estos daños suelen ser de corta duración en suelos donde los ciclos de humedecimiento-secado promueven la recuperación de la porosidad dañada por el pisoteo.

Los suelos inundables poseen un régimen atípico de variaciones estacionales de la estabilidad estructural, en donde participa la generación de una gran expansión volumétrica por desarrollo de presiones de aire atrapado.

En cuanto a los efectos del pastoreo invernal de rastrojos en sistemas CBI:

Los efectos del pastoreo sobre las propiedades físicas de los suelos manejados con SD tuvieron un comportamiento diferencial entre suelos, y no todos los parámetros físicos variaron en igual sentido, o fueron afectados por el pastoreo. En el futuro deben explorarse con mayor profundidad estas diferencias.

Los resultados obtenidos durante el primer año de exclusión del pastoreo en SD, no muestran cambios en los parámetros evaluados, ni rendimientos diferenciales en el cultivo de maíz, y por tanto, no permiten ser concluyentes en la cuantificación de efectos o inferir cambios en la dinámica del agua.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Bolliger, A., Magid J., Cameiro Amado T.J., Skóra Neto F, de F. Dos Santos Ribeiro M., Calegari A., Ralisch R., De Neergaard A. 2006. Taking stock of the Brazilian "zero-till revolution": a review of landmark research and farmers' practice. *Advances in Agronomy* 91, 47-109.
- Chanasyk, D, Naeth A.. 1995. Grazing impacts on bulk density and soil strength in the foothills fescue grasslands of Alberta, Canada. *Can. J. Soil Sci.* 75: 551-557.
- Correa Luna, M. 2005. Cría Bovina Intensiva. P. 101-106. AAPRE-SID. Sistemas Ganaderos en Siembra Directa., 11 y 12 de mayo de 2005, Rosario, Santa Fe.

- Garcia-Prechac F. O., Ernst, G. Siri-Prieto, J. A. Terra. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research* 77, 1-13.
- Gibbs R.J., Reid J. B., 1988. A conceptual model of changes in soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science* 8, 123-149.
- Glinski, J, Lipiec I. 1989. *Soil Physical Conditions and Plant Roots*. CRC Press, Inc., Boca Raton.
- Greenwood K L., Mc Kenzie 8. M. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41, 1231 - 1250.
- Lal R., Reicosky D C., Hanson J. D. 2007. Editorial: Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research* 93, 1-12.
- Lavado R.S., Taboada M. A. 1987. Soil salinization as an effect of grazing in a native grassland soil. *Soil Use and Management*, 3: 143- 148.
- Micucci, FG, Taboada MA. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research* 86, 152-162.
- Smith, CW, Johnston MA; Lorente 5. 1997. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. 11 Soil properties affecting compactability and compressibility. *Soil and Tillage Research* 43, 335-354.
- Taboada M.A., Lavado R. S. 1988. Grazing effects of the bulk density in a Natraquoll of the Flooding Pampa of Argentina. *Journal of Range Management* 41, 502 - 505.
- Taboada M.A., Lavado R. S., 1993. Influence of trampling on soil porosity under alternate dry and ponded conditions. *Soil Use and Management* 9, 139-143.
- Taboada M. A., Lavado, R.S., Camilión M.C., 1988. Cambios volumétricos en un Natraquol típico. *Ciencia del Suelo* 6, 151 157.
- Taboada, MA, Micucci FG, Cosentino DI, Lavado RS. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil and Tillage Research* 49, 57-6.
- Taboada M.A., Lavado R. S., Svartz H., Segat A.M.L. 1999. Structural stability changes in a grazed grassland Natraquoll of the Flooding Pampa of Argentina. *Wetlands* 19, 50-55.
- Taboada M. A., Barbosa O. A., Rodríguez M. B., Cosentino D. J.. 2004. Mechanisms of aggregation in a silty loam under different simulated management regimes. *Geoderma* 123, 233 - 244.
- Taboada, M. A., Lavado R. S., Rubio G., Cosentino D. J., 2001. Soil volumetric changes in natric soils caused by air entrapment following seasonal ponding and water table. *Geoderma* 101: 49 -64.

Volver a: [Suelos y ganadería](#)