

TESIS FINAL DE GRADUACIÓN:

**INDICADORES FÍSICOS DE CALIDAD DE SUELOS. INFLUENCIA DEL
MANEJO Y LA COMPOSICION GRANULOMETRICA EN MOLISOLES Y
ENTISOLES DE LA REGION SEMIARIADA PAMPEANA.**

Tesistas:

Jose Agustín Picardi

Ramiro Omar Reyna

Director:

Alberto Quiroga

Co Director:

Romina Fernández

**Cátedra de Edafología y Conservación de Suelos
Facultad de Agronomía 2011**

Indicadores físicos de calidad de suelos. Influencia del manejo y la composición granulométrica en Molisoles y Entisoles de la Región Semiárida Pampeana.

Introducción

La calidad de muchos suelos de diversas áreas de nuestro planeta ha declinado significativamente desde que sistemas pastoriles o forestales fueron paulatinamente reemplazados por la actividad agrícola. Debido a que el suelo es un componente fundamental de la biosfera se ha incrementado, en los últimos años el interés en evaluar la calidad y la salud del mismo. Esta calidad o aptitud productiva de los suelos depende de una serie de características o funciones (Seybold et al., 1999).

Los primeros esfuerzos científicos reconocieron la importancia de categorizar las clases de suelos y sus propiedades para diferentes usos, especialmente el agrícola. Se encontraron fuertes relaciones entre las clases de suelos identificadas y sus propiedades. Así, un suelo es el resultado de la interacción entre los factores de formación: clima, topografía, vegetación, material parental y el tiempo. Por lo tanto, cada suelo tiene una capacidad innata de funcionar. Algunos suelos serán inherentemente más productivos que otros (Seybold et al., 1998).

En numerosas publicaciones se ha definido el término calidad de suelos empleando para ello criterios, enfoques y objetivos diferentes. Lal (1993) se refirió a la calidad del suelo en términos de la capacidad del recurso para producir servicios, bienes económicos y regular el ambiente. En el contexto de la producción agrícola la calidad del suelo se define en términos de productividad, específicamente en relación a la capacidad de sostener el crecimiento de los vegetales. De este modo, la calidad del suelo se define como *la capacidad o aptitud del suelo de soportar el crecimiento de los vegetales sin que esto resulte en la degradación del suelo o en un daño ambiental* (Gregorich y Acton, 1995). Implícita en esta definición está la capacidad del suelo para mantener su aptitud en el futuro. En tal sentido, Carter et al. (1997), consideran que la definición de calidad de suelo involucra dos conceptos: la calidad inherente del suelo para el crecimiento de los cultivos y la calidad dinámica influenciada por el uso o manejo. Existe un interés

creciente por conocer los efectos de distintos manejos sobre las principales funciones que inciden sobre la calidad del mismo: 1) biodiversidad y productividad; 2) flujo de agua y solutos; 3) poder filtrante y tampón; 4) reciclaje de nutrientes y 5) soporte estructural. Cada una de estas funciones es determinada, a su vez, por diferentes indicadores edáficos. Es decir que la calidad del suelo no puede ser medida directamente, pero puede ser inferida desde cambios en sus atributos o atributos del ecosistema. Para la medición de la calidad dinámica del suelo se utilizan indicadores que son representados por aquellas variables sensibles al deterioro o a la recuperación. Estos indicadores permiten expresar la condición actual o “estado del recurso” y su tendencia. Wagenet y Hutson (1997) expresaron que la protección de esta capacidad del recurso suelo para operar en beneficio de todas las entidades biológicas es uno de los objetivos indiscutibles de la ciencia del suelo. El uso de los suelos y las prácticas de manejo marcan principalmente la dirección y el grado de cambios en su calidad en el tiempo y en el espacio. Lal y Stewart (1995b) señalaron que esta relación causa-efecto entre el manejo del suelo y su calidad puede ser solamente establecida a través de experimentos de larga duración. Por ello, experimentos que acumulen efectos en el tiempo, son esenciales para establecer tendencias en los procesos (Tabla 1) y en proveer datos empíricos necesarios para evaluar la sustentabilidad de los sistemas productivos. Sin embargo la validez de los modelos resultan dependientes de la evaluación (calidad) y colección (cantidad) de datos agronómicos (Reeves, 1997).

Tabla 1: Procesos asociados con el uso y prácticas de manejo que reducen la calidad del suelo. Adaptado de Carter *et al.*, (1997).

Proceso	Efecto en la calidad/atributos del suelo	Posibles efectos en el ambiente
Erosión	Remoción de los primeros centímetros de suelo, pérdida de nutrientes, reducción de capacidad de regular los flujos de agua y energía.	Deposición de materiales del suelo y pesticidas en ríos y arroyos.
Pérdida de materia orgánica	Reducción de la fertilidad y estructura; reducción de capacidad de regular el flujo de	Erosión y degradación del suelo incrementados; efecto invernadero

	energía en el suelo.	incrementado, debido a la liberación de CO ₂ .
Pérdida de estructura	Reducción de la porosidad y la estabilidad del suelo; reducción de la capacidad de almacenar y transmitir agua en el suelo.	Incremento del escurrimiento y de la erosión hídrica.
Salinización	Exceso de sales solubles y desbalance nutricional; medio adverso para el crecimiento de los cultivos.	Incremento de suelo desnudo y erosión del suelo por el viento.
Contaminación química	Presencia de toxinas; capacidad del suelo excedida para actuar como un ambiente buffer.	Movimiento de elementos químicos por escurrimiento y/o lixiviación.

Bolinder et al. (1999) señalaron que la respuesta que se obtiene a partir de distintos indicadores a prácticas de manejo resulta clave para identificar aquellos que resultan más sensibles. Estos autores utilizaron un índice de sensibilidad para cada variable dividiendo el valor obtenido bajo tratamiento conservacionista respecto del manejo convencional. Además de ser sensible al manejo un indicador debe reunir una serie de condiciones. Por ejemplo, Hoosbeek y Bouma (1998) propusieron una clasificación de los indicadores de calidad de suelos basada en tres características: 1) nivel de escala, 2) complejidad y 3) transferibilidad. Sobre este último aspecto, referido a la extrapolación de resultados, Parr y Papendick (1997) señalaron que los indicadores de calidad de suelo requieren ser cuantificados para las condiciones específicas de cada sitio. Puede inferirse que este aspecto resulta relevante en Molisoles y Entisoles de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana, dada la gran diversidad y/o variabilidad de sitios, aspecto que no solo imposibilita una categorización regional de los distintos indicadores (niveles críticos u óptimos variables de acuerdo al sitio), sino que limita la extrapolación de resultados (Ej. 2% de MO en suelo arenoso franco es muy alto, mientras que en suelo franco limoso es bajo). Además considerando una determinada textura y manejo el contenido de MO puede variar en la región desde este a oeste en función de las precipitaciones o de norte a sur en función de las temperaturas. Por influencia de ambos coloides (orgánico e inorgánico)

se infiere un amplio rango de variación en propiedades estrechamente relacionadas con la dinámica del agua en sus distintos procesos (captación, almacenaje y uso).

En gran parte de la Región Pampeana, la agricultura continua, el uso de sistemas de labranza y el mono-cultivo de soja o la secuencia trigo/soja provocaron el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y el incremento de la superficie afectada por procesos erosivos y de degradación (Buschiazzo et al., 1996; Micucci y Taboada, 2006).

Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles constituye una de las principales finalidades de la moderna ciencia del suelo. Hay necesidad de contar con indicadores para interpretar los diferentes datos de calidad de suelo como paso fundamental para definir sistemas de producción sustentables (Dalurzo et al. 2002; Michelena et al. 1989).

En base a lo expuesto resulta necesario establecer en que proporción las características intrínsecas de los suelos y el manejo resultan determinantes del nivel y rango de variación de propiedades físicas. Interpretar en que medida la calidad de un suelo es condicionada por aspectos genéticos como la textura o influenciada por el manejo es uno de los pasos fundamentales para definir sistemas de producción sustentables en Molisoles y Entisoles de la región semiárida pampeana. Es **objetivo** de trabajo evaluar el grado de influencia que la composición granulométrica y el manejo poseen sobre propiedades físicas con la finalidad de relacionar el nivel alcanzado por las mismas con niveles críticos condicionantes de la eficiencia de uso del agua y productividad.

Materiales y métodos

El área de estudio se localizó en el sector central de la región Semiárida Pampeana, en la unidad cartográfica de las Planicies Medanosas. En esta región que ocupa una superficie de 1,2 millones de has predominan Haplustóles Enticos (H) con importantes inclusiones de Ustipsamientos Típicos (U). Para realizar el estudio de las propiedades físicas se consideraron 4 situaciones: suelos H y U, ambos bajo dos condiciones de manejo contrastantes, pasturas perennes (P) y cultivos anuales continuos (C) establecidos con labranza convencional. Los tratamientos fueron seleccionados

en un mismo establecimiento con la finalidad de eliminar la influencia de variaciones en las precipitaciones y temperatura.

En ambos suelos (H y U) y en cada situación de manejo (P y C) se realizó un muestreo con 6 repeticiones a fin de evaluar las propiedades que se detallan a continuación:

- Contenidos de arcilla, limo (sedimentación) y arena.
- Densidad aparente en muestras de suelo sin disturbar con cilindros 250 cm³
- Distribución de agregados mediante separación manual por planos de fragilidad y posterior tamizado (<1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-8 y >8 mm) en 0-10 y 10-20 cm de profundidad.
- Estabilidad estructural en húmedo mediante el cambio en el diámetro medio de agregados (De Boodt y De Leenheer, 1967).
- El umbral hídrico de mayor sensibilidad a la compactación, densidad aparente máxima y susceptibilidad a la compactación se evaluó sobre muestras compuestas (30 a 50 kg) secadas al aire y tamizadas por 2 mm. El Test Proctor de compactación dinámica a energía constante se utilizó según el método AASHO Estándar T-99 (ASTM, 1982). En dicho Test se utilizó un cubo de 939 cm³ donde fue compactada la muestra previamente humedecida, en tres capas iguales a razón de 25 golpes por capa. La maza de compactación de 2,5 kg de peso se lanzó de una altura de 30,5 cm proporcionando una energía de compactación de 590 KJ m⁻³. Posteriormente, las muestras fueron secadas en estufa a 105 °C.
- Resistencia a la penetración a intervalos de 10 cm hasta los 40 cm de profundidad, mediante un penetrómetro de golpe. Se determinó el contenido de agua de las distintas capas por el método gravimétrico.
- Infiltración (método de los anillos, Muntz).Fernández et al (1971)

Se realizaron determinaciones de infiltración mediante el método de los cilindros infiltrometros dobles con carga constante. Posteriormente se efectuaron análisis de los resultados mediante la ecuación de "kostiakov" ($I=K \cdot t^m$), siendo "I" la infiltración acumulada en un determinado tiempo "t" y K y m constantes del suelo). Sobre esta ecuación se puede agregar que la constante "K" esta relacionada con las condiciones iniciales (almacenamiento) influido por la textura y humedad inicial y "m" esta relacionada con las condiciones durante

el ensayo es decir durante el ingreso del agua, influido por la estructura y la estabilidad estructural.

-Conductividad Hidráulica (permeámetro de carga constante). Gavande, (1972)

-Capacidad de retención de agua (ensayo a campo y olla de Richards).

Para determinar la capacidad de retención de agua, es decir, la capacidad de campo, se procedió a incorporar agua en una superficie de 1m², hasta saturación del suelo. Luego de esto se cubrió el área saturada con un nailon de color negro para que el agua introducida en el perfil no sufra pérdidas por evaporación. Permitiendo así el descenso del agua por acción de la gravedad, a esta agua se la denomina gravitatoria. El agua que queda en el perfil es retenida por los microporos y mesoporos (<10 μm) y el contenido de humedad se corresponde con la constante hídrica de capacidad de campo

- La capacidad de retención de agua (CRA), se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CRA (mm)} = \text{espesor suelo} * \text{densidad aparente} * \text{capacidad de campo}$$

-Punto de marchites permanente (PMP, membrana de Richards) a partir del cual se pudo calcular el agua disponible CRAutil.

$$\text{CRAutil (mm)} = \text{espesor suelo} * \text{densidad aparente} * (\text{capacidad de campo} - \text{PMP})$$

Resultado y discusión

1. Textura, capacidad de campo y densidad aparente

Tabla 1: Arcilla + Limo (A+L), capacidad de campo (CC), densidad aparente (DA) en Ustipsamientos Típico con cultivos anuales continuos (UC), Ustipsamientos Típico con pasturas permanentes (UP), Haplustól Entico con cultivos anuales continuos (HC) y Haplustól Entico con pasturas permanentes (HP).

	UC	UP	HC	HP
A+L (%)	24 a A	28 b A	49 c NS	50 c NS
CC (%)	12,8 b A	12.3 a B	22 c A	21.6 c A
DA (g/cm³)	1.37 b A	1.46 c B	1.21 a A	1.17 a B
CRA(mm/20cm)	35	36	53	51
Porosidad total	48.30	44.90	54.33	55.84
Macroporosida	35.5	32.60	32.33	34.24

d

Letra chica compara los 4 tratamientos entre si, y la mayúscula compara los manejos dentro de cada textura

La Tabla 1 muestra que los dos tipos de suelos se diferenciaron significativamente ($p < 0,0001$) en los contenidos de las fracciones granulométricas menores a 50 μm , mientras que entre manejos dentro del mismo tipo de suelo las diferencias en la composición granulométrica fueron no significativas.

De este modo los suelos H con mayor cantidad de A+L presentaron una mayor superficie específica, la cual confiere una mayor porosidad total con respecto a los suelos U.

La porosidad total (Pt) se encuentra conformada por diferentes clases de tamaños de poros, los cuales tienen funciones diferentes (Kay & Vanden Byygaart, 2002; Arranz et al. 2004). Los micro y mesoporos tienen la capacidad de retener el agua en el perfil del suelo ya que presentan una fuerza de atracción de la partícula de suelo a la de agua mayor que la fuerza ejercida por la gravedad por lo tanto la capacidad de campo va a estar determinada por la proporción de estos poros. Los resultados muestran que la CC vario en un amplio rango (12.3-22%) y que la mayor diferencia entre tratamientos se debió a la textura y en un menor grado al manejo, comprobándose solo diferencia significativas en el suelo U.

Esta variación, tanto en la porosidad total como en la proporción de los tamaños de los mismos, explica la diferente capacidad en la retención de agua. Considerando los primeros 20 cm del perfil las diferencias ($p < 0,0001$) en la **capacidad de retención de agua**, fueron altamente significativas.

Por último la **Densidad aparente también** vario en un amplio rango, desde 1.17 hasta 1.46 gr/cm^3 , siendo principalmente influenciada por el tipo de suelo ($p < 0,0001$), resultando menor en los suelos de granulometrías mas finas (mayor superficie específica). En la Tabla 2 se muestra la relación entre fracciones texturales y superficie específica, la cual determina que a mayor superficie específica resulta mayor la porosidad total pero a expensas de una mayor proporción de poros de menor tamaño.

Manejo

Los suelos U tienen diferencias significativas ($p = 0,0422$) con respecto a la DA siendo el manejo de pasturas perennes el que tiene mayor efecto con respecto a agricultura continua, esto se explica por el continuo efecto del pastoreo. Esto mismo no se observa en suelos H bajo pastura que tienen menor DA. Esta diferencia en el comportamiento entre suelos y manejos se debe a que a los suelos U con alta proporción de arena (limitado genéticamente para formar estructura) poseen una menor contribución de la estructura a la porosidad total respecto de los suelos H.

Sobre este tema, en un apartado mas adelante se muestra como la distribución de agregados también esta estrechamente relacionados con la textura.

Particularmente en los suelos U hay diferencia significativa entre los dos manejos, siendo mayor el contenido de partículas finas en manejo con pastura ($p = 0,0007$), pero no ocurre lo mismo en el suelo H, debido a que el manejo no marca diferencia en cuanto a estos contenidos. En el caso de los U esa diferencia estaría marcada debido a la baja proporción de fracciones granulométricas finas presente en el suelo, la cual ante sucesivos disturbios genera una marcada disminución de las fracciones mas finas provocada probablemente por la erosión.

Tabla 2: Distintas fracciones granulométricas y sus valores orientativos de la superficie específica.

Fracción	Díámetro aparente (mm)	Nº de partículas por gramo	Superficie específica (cm ² .g ⁻¹)
Arena gruesa	1.00-0.5	720	23
Arena media	0.5-0.25	5700	45
Arena fina	0.25-0.10	46000	91
Limo	0.05-0.002	5776000	454
Arcilla	<0.002	90260853000	Variable según la mineralogía de la arcilla

Fuente: adaptado de Quiroga y Bono (2007)

2. Infiltración

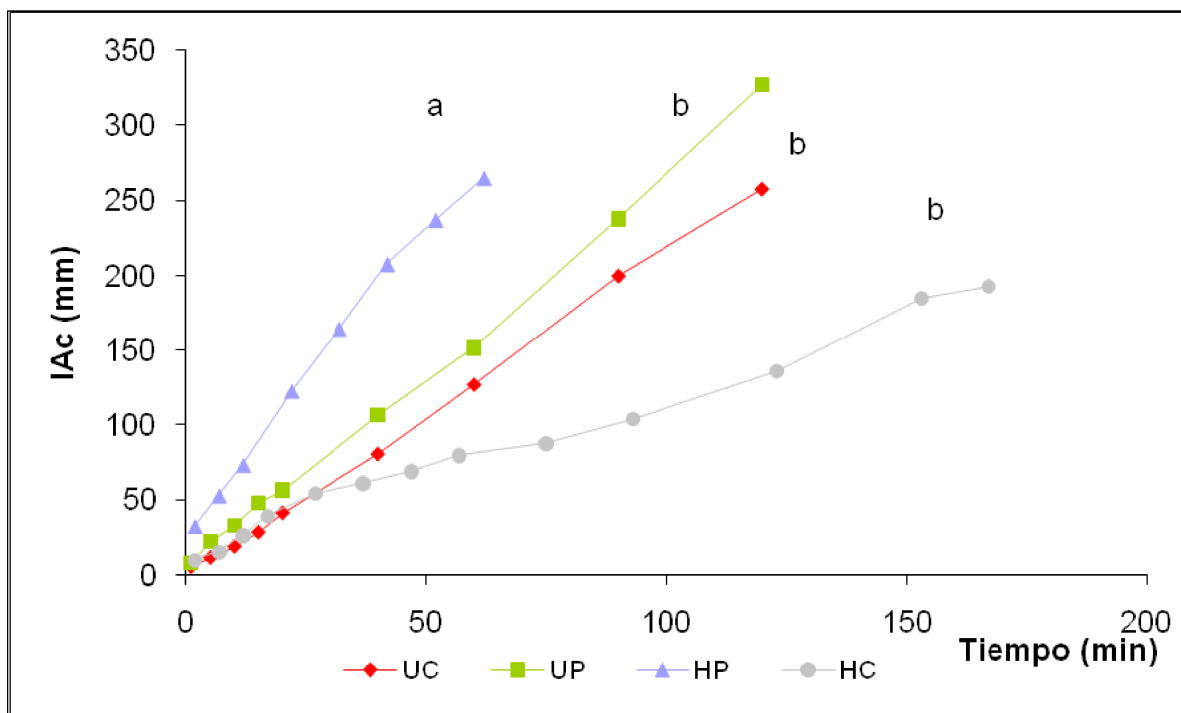


Figura 1: Infiltración acumulada en Ustipsamientos Típicos con cultivos anuales continuos (UC) y con pasturas permanentes (UP) y en Haplustól Entico con cultivos anuales continuos (HC) y con pasturas permanentes (HP).

En la Figura 1 se representó la infiltración acumulada, que es la capacidad innata del suelo de permitir que el agua ingrese al perfil en un determinado tiempo, la cual varío entre tratamientos en un amplio rango (60 a 250mm/h)

La infiltración del agua en el suelo es un buen reflejo de las características del sistema poroso (Elrick y Corey. 1992).

Durante la infiltración y el drenaje, el agua circula principalmente a través de los macroporos (MP), mientras que en los mesoporos (mP) el agua queda almacenada como se había mencionado anteriormente y en los microporos (uP) el agua se encuentra fuertemente retenida. Pero no es solamente la cantidad total de poros lo que define el comportamiento hídrico del suelo, sino también, las características específicas del sistema poroso, en términos de orientación forma, tamaño y distribución (Arranz et al., 2004).

Estas propiedades hidráulicas se ven alteradas por las prácticas de manejo, y su severidad varia con el tipo de suelo, siendo quizás la infiltración del agua la principal propiedad física afectada (Marano et al., 2006). En U el manejo no modifico significativamente la infiltración, mientras que en H las diferencias fueron altamente significativas.

En el suelo H, el manejo con pastura dio lugar a altos valores de infiltración. Esto se explica por el efecto acumulado durante varios años de pastura, donde se ve una marcada evolución de la estructura, la cual permite un ingreso del agua al perfil del suelo a una velocidad mas elevada que en el manejo con cultivos anuales.

En el tratamiento con cultivos continuos, se infiere que la interconexión entre los poros (originados por la labranza) es meno que bajo pastura donde el principal efecto es biológico.

En los U, no hay diferencia significativa, dado a que el suelo esta conformado por una mayor proporción de partículas gruesas y que el sistema poroso esta principalmente determinado por la textura, siendo mínimo el desarrollo de estructura por la utilización de pastura.

En cambio en el caso de los suelos con mayor porcentaje de partículas finas, se observan grandes diferencias al comparar ambos manejos ($p=0.01$), logrando una excelente respuesta en el tratamiento HP con respecto al HC, en donde se logra a través de los años mejorar el aspecto estructural, logrando una mejoría en las propiedades hidráulicas.

3. Conductividad hidráulica

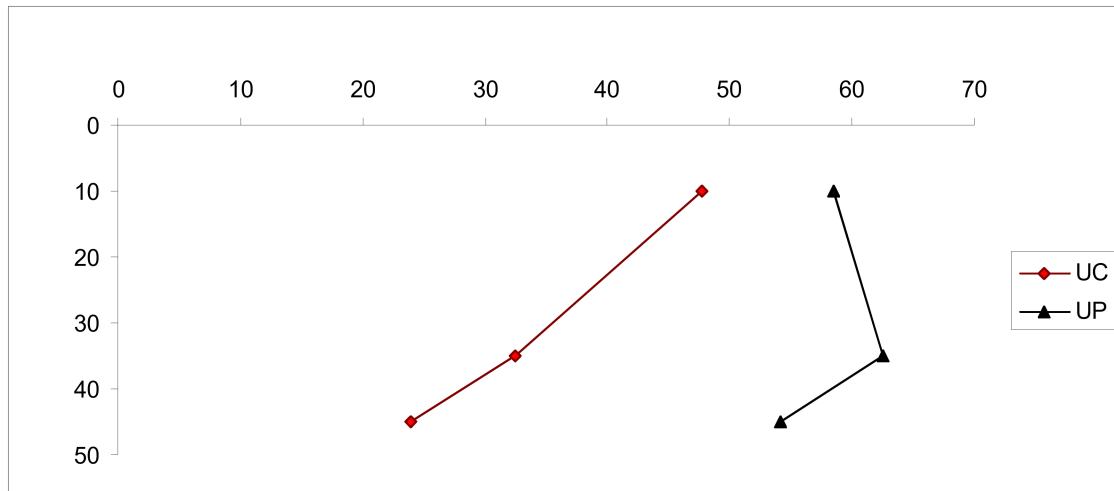


Figura 2: Conductividad hidráulica (cm/hr) en Ustipsamientos Típico con cultivos anuales continuos (UC) y pasturas perennes (UP).

En la Figura 2 se muestra la variación de la conductividad hidráulica en los primeros 50 cm de perfil, pudiéndose apreciar el cambio del comportamiento del suelo según el manejo utilizado.

En caso de cultivos continuos hay alta Conductividad Hidráulica superficial, pero disminuye a medida que descendemos en el perfil atribuido a la compactación por el continuo laboreo del suelo. Se diferencia significativamente con el manejo de pasturas perennes, que en superficie (10cm) tienen valores de conductividad menores que a las 35, debido principalmente al pastoreo, pero tienen una conductividad mayor explicado por el amplio desarrollo del sistema radicular de la pastura que reduce el efecto de la compactación subsuperficial.

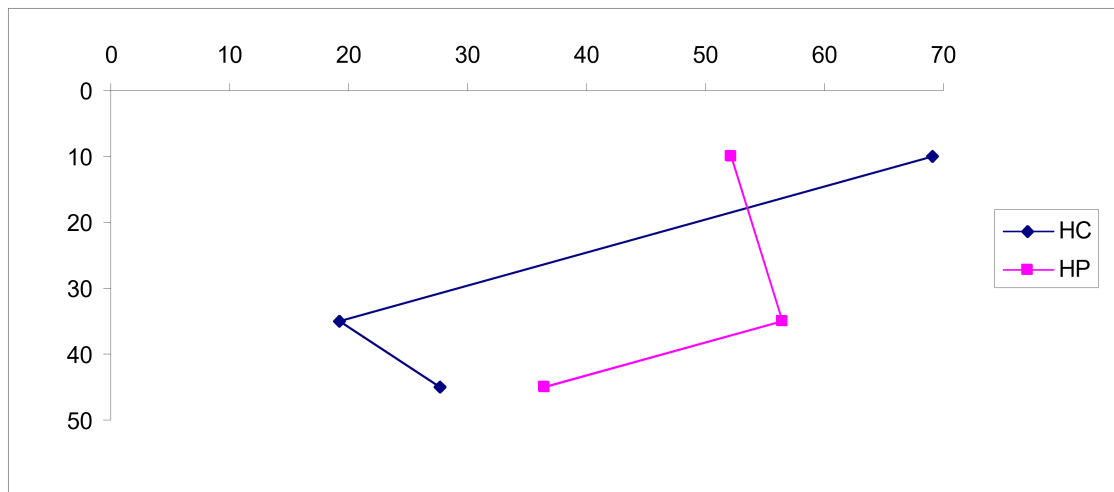


Figura 3: Conductividad Hidráulica en suelo Haplustól Entico con cultivos anuales continuos (HC) y con pasturas perennes (HP).

La Figura 3 muestra una variación muy importante de la conductividad hidráulica con respecto al manejo y a la profundidad. En el tratamiento con laboreo continuo se produce una alta conductividad en superficie (10 cm -CH 69 cm/hr) conferido por el movimiento de la tierra y siendo mucho mas bajo a los 35 cm de profundidad llegando a niveles críticos de 19 cm/hr. En el tratamiento con pasturas perennes sucede lo mismo que en la figura anterior, siendo los valores de conductividad relativamente altos.

Comparando los tipos de suelos se puede concluir que el suelo H, bajo manejos poco sustentables, la perdida de macroporosidad puede dar lugar a problemas de compactación pudiendo llegar a tener problemas de conductividad hidráulica en profundidad. Siendo diferente a los suelos U que por sus características granulométricas tienen mejor capacidad para soportar la compactación en continuos laboreos.

Ensayos de compactación mediante el Test Proctor.

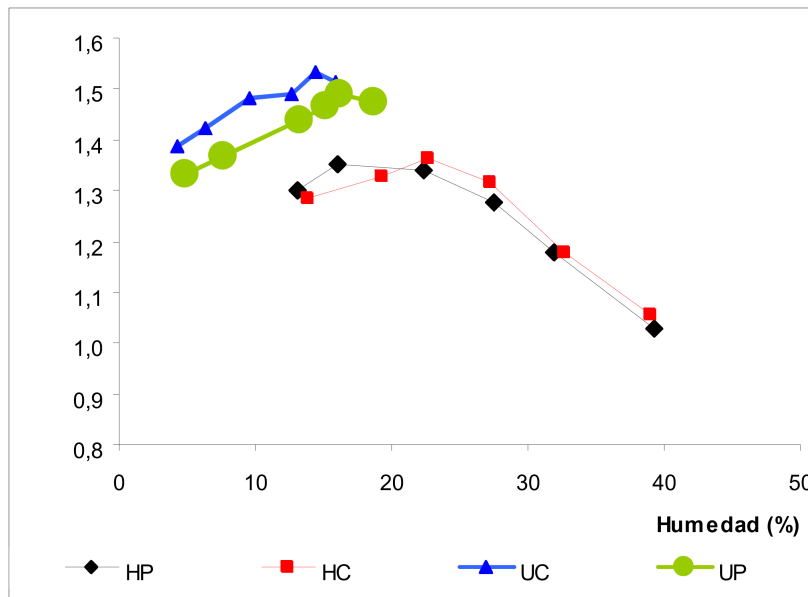


Figura 4: Densidad aparente máxima en suelos Ustipsamente Típico con tratamientos cultivos anuales continuos (UC) y pasturas perennes (UP). Y en suelo Haplustól Éntico con tratamientos cultivos anuales continuos (UC) y pasturas perennes (UP).

La Figura 4 muestra la variación de la densidad aparente máxima (Dap) con respecto al porcentaje de humedad del suelo, marcando diferencia acentuada entre las dos texturas. En H podemos notar que a medida que la humedad comienza a aumentar la Dap aumenta hasta que se supera el 22 % de humedad y la densidad comienza a descender. En U observamos que hasta un contenido de humedad del 15-17% la Dap asciende pero luego de ese porcentaje, a mayor humedad la Dap desciende.

A través de estas curvas Proctor, se confirma que los suelos H al contener mayor cantidad de materia orgánica, la Dap es menor y para alcanzarla se requieren de mayores contenidos de humedad en el suelo.

Podríamos concluir que a medida que aumentan los contenidos de MO y de fracciones granulométricas más finas, resultaría más estable el sistema poroso, lo cual nos generaría menor Dap y menor susceptibilidad a la compactación.

Lo anteriormente dicho lo podemos ver en la Figura 6, donde observamos que la Dap (g/cm^3) disminuye a medida que el % de partículas finas aumenta.

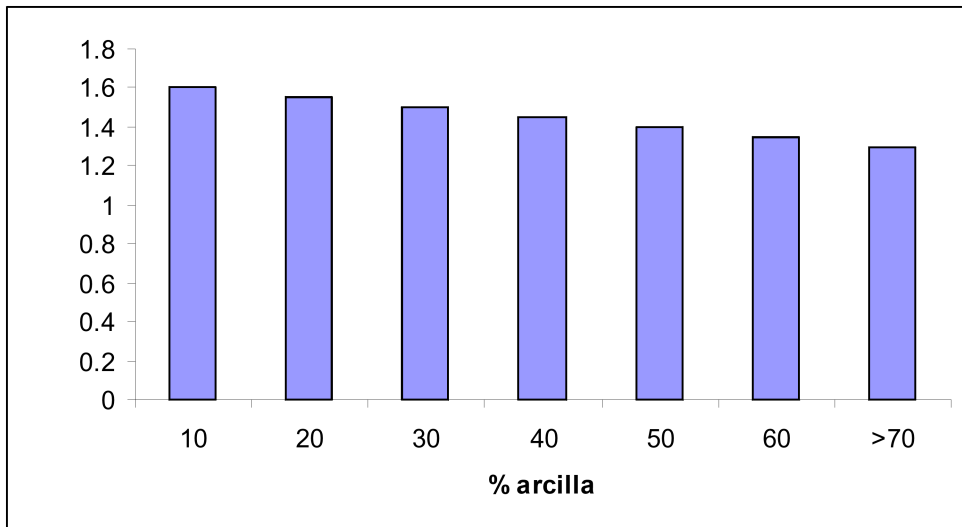


Figura 5: Valores críticos de densidad aparente, indicadores de compactación, según contenido de arcillas. Adaptado de Universidad de Santa María, (2005).

Estabilidad Estructural e Inestabilidad Estructural comparada con la Proporción de Agregados

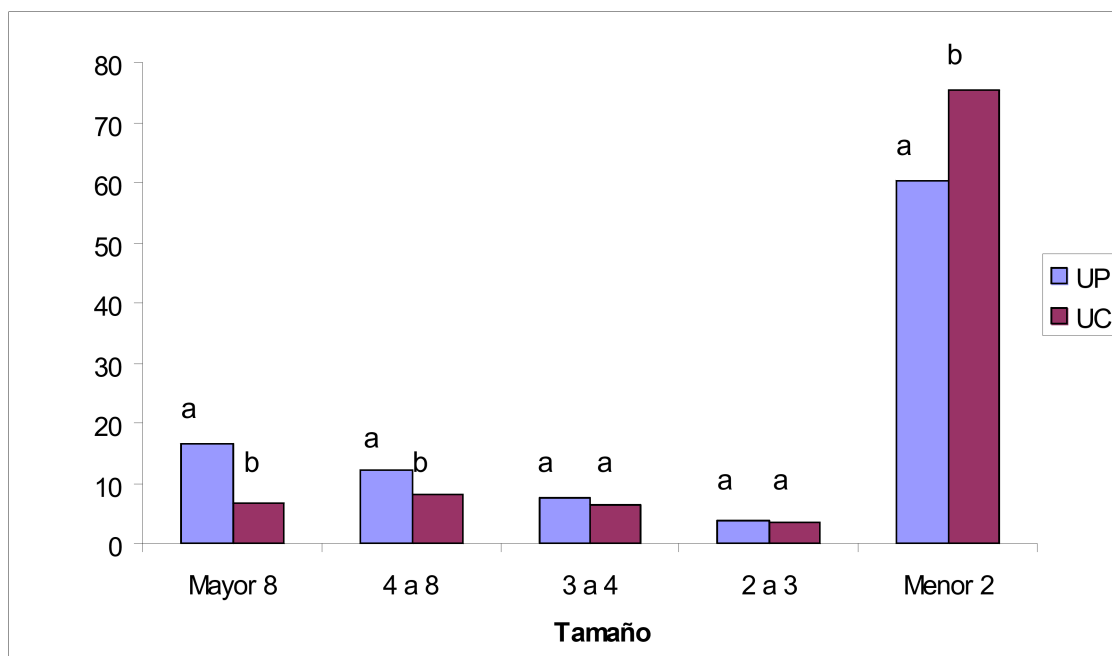


Figura 6: Estabilidad Estructural en Ustipsamientos Típico con cultivos anuales continuos (UC) y con pasturas permanentes (UP).

En la Figura 6 se observa como en U se modifica la proporción de agregados por influencia del manejo. Esta variación en la proporción de agregados se da entre diámetros menores a 2mm respecto a los mayores a 8mm.

Los agregados mayores a 8, de 4 a 8 y menores a 2, presentan diferencias significativas entre ambos manejos, siendo favorable el uso de pasturas para mejorar el tamaño de los mismos. El tratamiento de pasturas permanentes, mejora la estructura edáfica, logrando así una mayor estabilidad y mejorando su aptitud ante factores adversos (viento y agua). Como hablamos de proporciones, el aumento de los agregados de mayor tamaño explica la disminución de agregados menores a 2 mm en manejos con pasturas perennes.

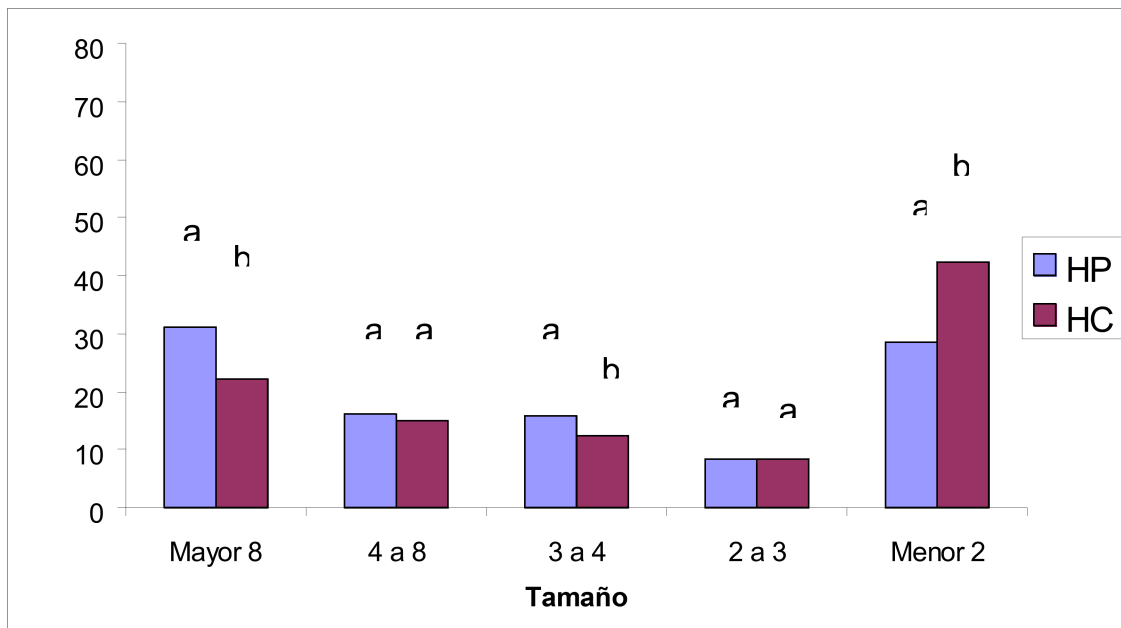


Figura 7: Estabilidad Estructural en Haplustól Entico con cultivos anuales continuos (HC) y con pasturas permanentes (HP)

En la Figura 7 de manera coincidente a la registrado en suelos U, se observa como en suelos H se modificó la proporción de agregados por influencia del manejo. El tratamiento con pasturas permanentes tiene una evolución significativa en la proporciones de agregados mayores a 8 y de 3-4 con respecto a los menores a 2, reafirmando la influencia positiva de pasturas como mejoradoras de la estructura.

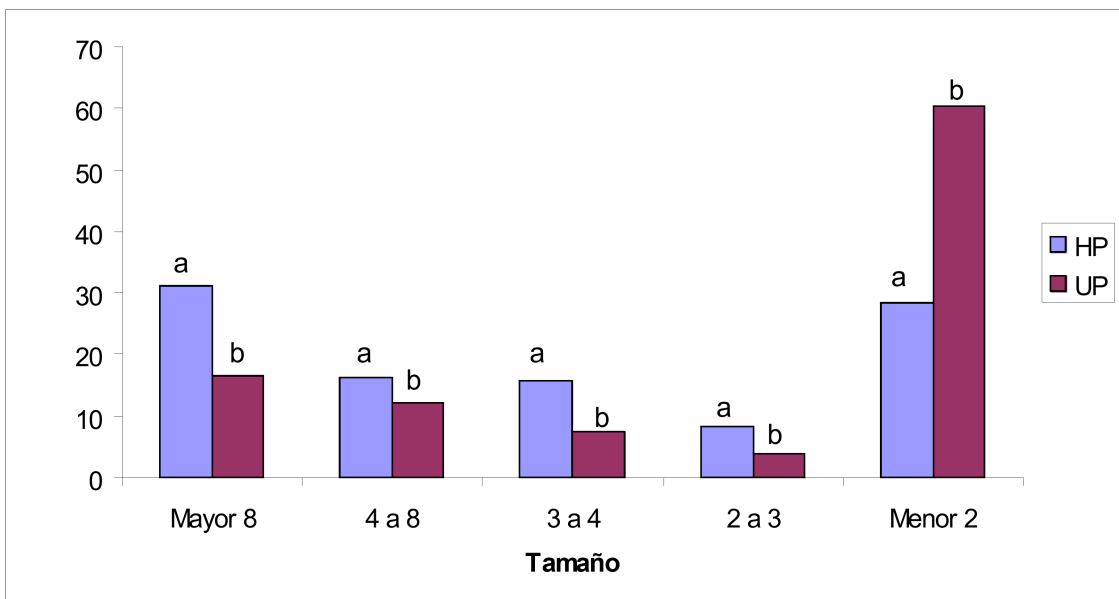
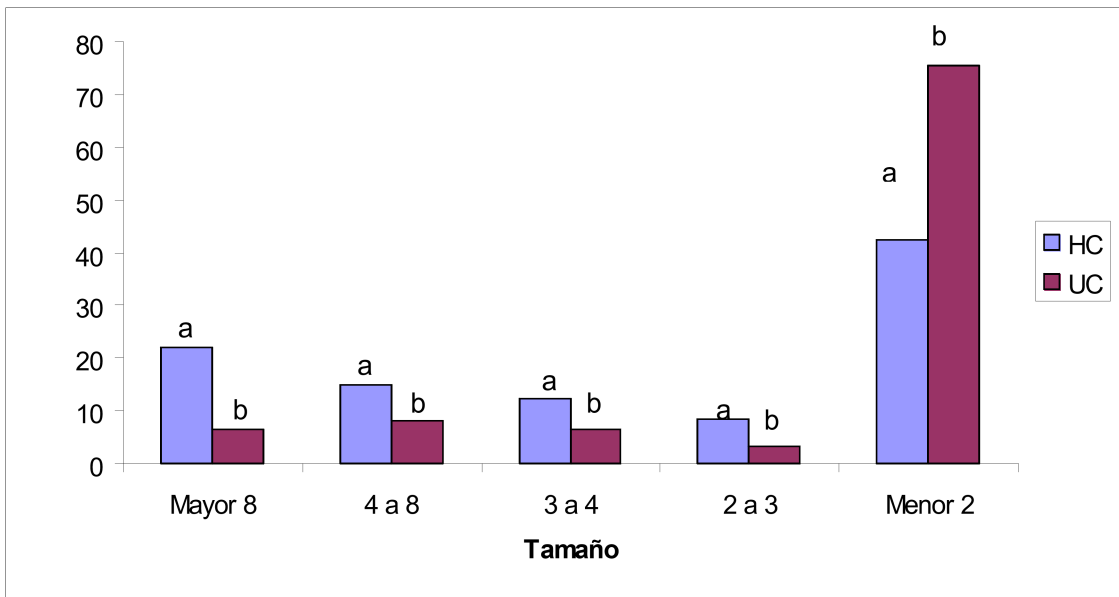


Figura 8 y 9. Estabilidad Estructural en Haplustól Éntico y Ustipsamientos Típico con cultivos anuales continuos (HC y UC) comparado con Estabilidad Estructural en Ustipsamientos Típico y Haplustól Éntico con pasturas permanentes (UP y HP).

En las Figuras 8 y 9 se observa que tanto para el suelo U como para el H la mayor cantidad de partículas menores a 2mm se encuentra en los tratamientos con laboreos continuos. Por otra parte, la proporción de agregados de 2 a 3, 3 a 4, 4 a 8 y mayores a 8 resultaron mayores en los tratamientos con pasturas perennes implantadas en ambos tipos de suelo. Es decir que tanto para suelos U como H, un manejo con rotaciones con pasturas perennes da como resultado un aumento en la Estabilidad Estructural del suelo obteniendo agregados de mayor tamaño y favoreciendo de este modo una mayor sustentabilidad.

Tabla 3 Proporción de agregados: comparación de los manejos (pastura permanente- cultivos anuales continuos) con respecto al tipo de suelo Haplustól Éntico y Ustipsamientos Típico.

	Mayor 8	4 a 8	3 a 4	2 a 3	Menor 2
HP-HC	9,1	1,4	3,3	0,0	-13,9
UP-UC	9,8	3,9	1,0	0,4	-15,1

La Tabla 3 muestra, dentro de cada textura, la incidencia del manejo en la proporción de los agregados. Se puede identificar dos cosas, por un lado se nota una variación muy similar para las dos texturas, pero con una tendencia en el suelo U a formar agregados de mayor tamaño.

Hay que resaltar que los valores de cada textura son muy diferentes, esto quiere decir que en U a pesar del aumento en agregados de mayor tamaño, están en menor cantidad comparados con H.

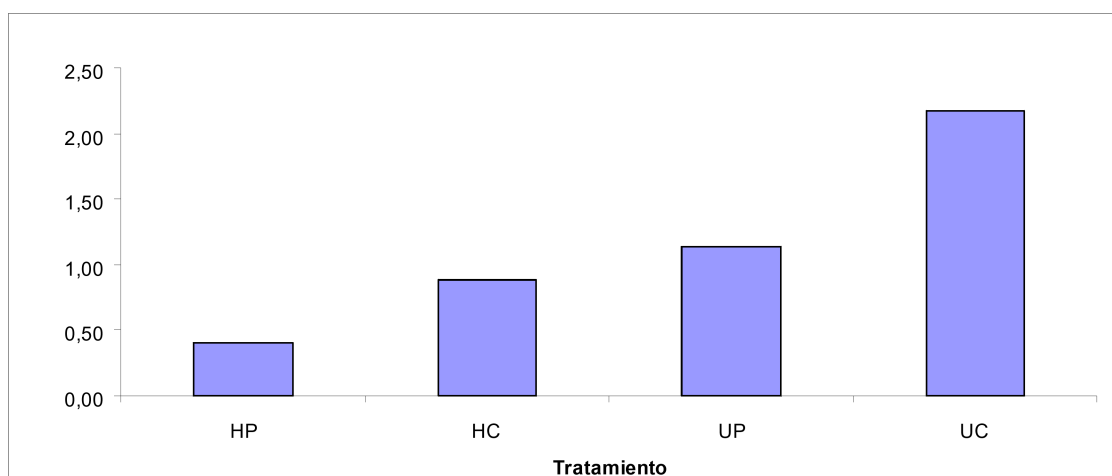


Figura 10: Índices de inestabilidad estructural en Haplustól Éntico con cultivos anuales continuos (HC) o con pasturas permanentes (HP) y en un

Ustipsamientos Típico con tratamientos de cultivos anuales continuos (UC) o con pasturas permanentes (UP).

La Figura 10 muestra los índices promedios de inestabilidad estructural para los cuatro tratamientos estudiados. Se puede concluir sobre la importante influencia de la textura y el manejo sobre la estabilidad estructural.

Suelos con mayor proporción de arena y bajo laboreo continuo (cultivos anuales) presentaron los mayores valores de inestabilidad estructural.

Conclusión

De los resultados obtenidos podemos observar cuan sensibles son los indicadores estudiados para determinar el estado de deterioro o de recuperación de los suelos. Si bien la calidad inherente del suelo no la podemos modificar, debido a que es una cualidad genética, podemos manejar la calidad dinámica que presenta a través del estudio de estos indicadores. Observamos que la DA, la porosidad, la infiltración, la conductividad hidráulica, entre otros indicadores estudiados, van mejorando sus cualidades a través de los años de manera significativa con manejos con pasturas perennes, mas bien conservacionistas, y no tan agresivos como los cultivos continuos. Estos efectos además varían en magnitud según el tipo de textura que el suelo presenta.

Bibliografía

- Arranz C., Galantini J., Iglesias J., Kruger H. & Venanzi S. 2004. Sistemas de labranzas: efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, 22 al 25 de Junio de 2004.
- Bolinder M., Angers D., Gregorich E., Carter M. 1999. The response of soil quality indicators to conservation management. *Canadian Journal of Soil Science* 79:37-45.
- Buschiazzo D. E., Panigatti J. L. 1996. labranza en la región semiárida argentina. *Labranzas en la región semiárida pampeana central*. 81-91.
- Carter M.R., Gregorich E.G., Anderson D.W., Doran J.W., Janzen H.H. and F.J. Pierce (1997). Concepts of soil quality and their significance. Chapter 1. En Gregorich E. G., Carter M. R. *Soil Quality For Crop Production and Ecosystem Health*. Elsevier. 1997. 1-19.
- Cerana J.A., Wilson M.G., De Battista J.J., Noir J. y C. Quintero (2006). Estabilidad estructural de los Vertisoles en un sistema arrocero regado con agua subterránea. *Revista de Investigaciones Agropecuarias RIA*. 35 (1): 87-106.
- Dalurzo H. C., Serial R. C., Vázquez S. y Ratto S. 2002. Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina).
- De Boodt M., De Leenheer L., 1967. West European methods for soil structure determinations. *State Faculty Agric. Sci. Ghent* 7, 60–62.
- Doran J.W. and T. Parkin (1994). Defining and assessing soil quality. *Soil Science Society of America* 677: 3-21.
- Doran, J.W. and M. Safley (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In *Biological indicators of soil health*. C. Pankhurst, B.M. Doube and V.V.S.R. Gupta (Eds.). CAB International. pp. 1-28.
- Elrick D. E., W. D. Reynolds. 1992. Infiltration from constant-Head Well Permeameters and infiltrometers. *Advances in Measurements Properties: Bringing Theory into Practice*. SSSA Special Publication no. 30 pp 1-24.
- Fernández p., J. Luque, J. Paoloni. (1971). Análisis de la infiltración y su aplicación para los diseños de riego en el valle inferior de Río Colorado. *RIA, Serie3*, 8:1-29.
- Gavande A. 1972. Física de suelos, principios y aplicaciones. Ed. LIMUSA, 351pp.

- Gregorich E.G., Carter D., Angers C. and B. Ellert (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74: 367-385.
- Hoosbeek M., J. Bouma. 1998. Obtaining soil and land quality indicators using research chains and geostatistical methods. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 50: 35 – 50.
- Kay, B&A VandenBygaart. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Till. Res.* 66: 107-118.
- Lal R. 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality and sustainability. *Soil Till. Res.* 27:1-8.
- Lal R., B. Stewart. 1995. Need for long-term experiments in sustainable use of soil resources. In Lal R., B. Stewart (Eds.), *Soil Management: Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality*, Lewis Pub., Boca Raton, 537 – 545pp.
- Larson, W. and F. Pierce (1994). The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *Soil Science Society of America* 677: 37-51.
- Marano R; S Imhoff & H Micheloud. 2006. Relación lluvia-infiltración en Argiudoles del centro este Santafesino. Actas XX Congreso de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy 19 al 22 septiembre de 2006.
- Michelena R., Irurtia C., Vavruska F., Mon R. y Pittaluga, A. 1989. Degradación de suelos del norte de la región Pampeana. Publicación Técnica 6. INTA.
- Parr, J., Papendick, R. 1997. Soil quality. Relationships and strategies for sustainable dryland farming Systems. *Annals of Aris Zone* 36:181-191.
- Quiroga A., 1994. influencia del manejo sobre propiedades físicas del suelo. Su relación con la granulometría y contenido de materia orgánica. Tesis MSc.UNS, Bahía blanca
- Quiroga A., A. Bono. (2007) Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Ed. INTA.
- Reeves, D. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43:131-167.
- Seybold C.A., Mausbach, M.J., Karlen D.L. and H.H. Rogers (1998). Quantification of soil quality. In *Soil processes and the carbon cycle*. R. Lal, J. Kimble, R. Follett and B. Stewart (Eds.). CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 387-404.
- Seybold C., J. Herrick, J. Brejda. 1999. Soil Resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Sci.* 164:224-234.

- Taboada, M., Micucci F. 2002. Fertilidad Física de los suelos. Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires.
- Waenet R., J. Hutson. 1997. Soil quality and its dependence on dynamic physical processes. *J. Env. Quality* 26: 41- 48.
- Wilson M., Cerana J., Valenti R., Rivarola S., Bancharo C., Díaz E. y R. Benavídez (2001). Evaluación de la calidad del agua de riego y su relación con la condición de suelos arroceros. *Revista Fundación Proarroz. Resultados experimentales*. X: 51-59.
- Wilson, M., Valenti, R. y J. Cerana (2007). Condición de suelos arroceros regados con agua de embalse. En *Evaluación agro-hidrológica de represas para riego. Su estudio en Entre Ríos*. Editorial UNER (E. Díaz, O. Duarte, E. Zamanillo y L. Lenzi, eds., 212 p). 101-111. ISBN 978-950-698-191-4.