



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y
VETERINARIA

“Trabajo Final presentado
para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

*“Evaluación de los cambios físicos y químicos de
los suelos en base a la dinámica de indicadores de
calidad.”*

María Eugenia Garis
28964349

Hampp Eugenio
Director

Río Cuarto – Córdoba
Octubre 2007

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

“Evaluación de los cambios físicos y químicos de los suelos en base a la dinámica de indicadores de calidad.”

Autor: *María Eugenia Garis*

DNI: *28.964.349*

Director: *Eugenio Hampp*

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de Jurado

Evaluador:

.....

.....

.....

Fecha de presentación:/...../... /

Aprobado por Secretaría Académica..../...../.... /

.....

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

Especialmente a: Mamá, Papá, y Seba, por confiar en mí y darme fuerzas.

A mis cuatro abuelos

A mis tíos

A Quique.

A mis compañeras y Amigas; que me dieron fuerzas en todo momento. A mis otras Amigas, las que no están acá, pero igual siempre están presentes.

A mi Director, Eugenio, quien me guió y dedico su tiempo para poder llevar a cabo este trabajo.

A Verónica

A la U.N.R.C. que me dio la posibilidad de lograr mi meta, y a todos aquellos que formaron parte de mi paso por la universidad.

A todos muchas gracias,

María Eugenia

*A mi familia y a todos
aquellos que creyeron en mí.*

ÍNDICE

Certificado de aprobación.....	II
Agradecimiento.....	III
Dedicatoria.....	IV
Índice General.....	V
Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas.....	VII
Resumen.....	VIII
Summary.....	IX
1. Introducción.....	1
1.1 Presentación del trabajo.....	1
1.2 Antecedentes.....	4
1.3 Hipótesis.....	12
a) Hipótesis general.....	12
b) Hipótesis específica.....	12
1.4 Objetivos.....	12
a) Objetivos generales.....	12
b) Objetivos específicos.....	12
2. Materiales y Métodos.....	13
2.1 Ubicación de la zona en estudio.....	13
2.2 Clima.....	14
2.3 Vegetación.....	15
2.4 Geomorfología del suelo.....	15
2.5 Descripción de la Serie Alejo Ledesma.....	15
2.6 Descripción del Perfil Típico.....	16
2.7 Actividades realizadas a campo y laboratorio.....	17
a) Contenido Hídrico a diferentes succiones.....	17
b) pH y conductividad eléctrica.....	17

c) Materia orgánica.....	17
d) Bases intercambiables y CIC.....	18
e) Nitrógeno total.....	18
f) Textura.....	19
g) Densidad aparente.....	19
3) Resultados y Discusión.....	20
3.1) Descripción del perfil.....	20
3.2) Materia orgánica y nitrógeno total.....	22
3.3) Textura.....	24
3.4) Humedad equivalente.....	25
3.5) Cationes de intercambio, pH y conductividad eléctrica.....	26
3.6) Suma de bases, CIC y Saturación de bases.....	28
3.7) Densidad aparente.....	29
3.8) Contenidos de humedad a diferentes succiones.....	29
4) Conclusión.....	31
5) Bibliografía.....	32

INDICE DE FIGURAS:

FIGURA N°1: Evolución de la materia orgánica en el tiempo.....	5
FIGURA N°2: Ubicación de la zona de estudio	13
FIGURA N°3: Ubicación de la zona de estudio.....	14
FIGURA N°4: Curvas de retención de humedad.....	28

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Datos analíticos de la Carta de suelos (1986).....	15
TABLA N° 2: Resultados de los análisis realizados (2006).....	20
TABLA N°3: Materia orgánica y nitrógeno total.....	21
TABLA N°4: Textura.....	22
TABLA N°5: Humedad equivalente y pH.....	24
TABLA N°6: Cationes de intercambio y conductividad eléctrica.....	25
TABLA N°7: suma de bases, CIC, saturación con bases.....	26
TABLA N°8: Densidad aparente.....	27
TABLA N°9: Contenido de humedad.....	27

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en las cercanías de Alejo Ledesma, en la Provincia de Córdoba, República Argentina, sobre un suelo Haplustol udorténtico con aproximadamente 80 años de uso. Se planteó la hipótesis de que las variables analizadas deberían modificarse con respecto a lo observado hace 20 años, como consecuencia del uso del suelo. El objetivo principal fue, analizar algunos parámetros físicos y principalmente químicos, para realizar una comparación entre los resultados obtenidos en el laboratorio y a campo, con los datos de la Carta de Suelos del INTA del año 1986, y de esta manera concluir sobre la evolución de dichos parámetros a lo largo de los últimos 20 años de uso. Las variables físicas analizadas fueron: la densidad aparente y las constantes hídricas del suelo. Las variables químicas estudiadas fueron: la materia orgánica, el nitrógeno total, la capacidad de intercambio catiónico, el pH y la saturación con bases. Se pudo observar al finalizar el presente trabajo que, de todos los indicadores de calidad analizados ninguno sufrió un cambio tan notable como se esperaba y planteaba en la hipótesis, lo que nos lleva a concluir que para realizar un análisis de este tipo, el intervalo de tiempo elegido para realizar el muestreo debe ser menor al tomado en el presente análisis para ser más exactos al concluir sobre la influencia del uso en los indicadores de calidad de suelos. .

Palabras claves: suelo, uso del suelo, parámetros físicos, parámetros químicos, Carta de suelos.

SUMMARY

The present paper was carried out nearby Alejo Ledesma, in the province of Cordoba, Argentine Republic, on ground Hapludol udortentico with approximately 80 years of use. This paper poses the hypothesis that the variables analyzed should be modified with respect to what was observed 20 years ago as a consequence of soil usage. The principal objective was to analyze some physical and mainly chemical parameters to draw comparison between results obtained in the laboratory and field, against data from “Carta de Suelos (1986)”, and in this way to conclude about the evolution of these parameters along the last 20 years of use. The physical variables analyzed were: bulk density and hydric soil constants. The chemical variables studied were: organic matter, nitrogen, CEC and pH. By the end of this research it was observed that no variable suffered a highly notable change as expected and posed in the hypothesis what leads us to conclude that to carry out an analysis of his kind, the time span chosen to do sampling must be shorter than the one taken in the present analysis, thus to be more exact in concluding on the influence of the use on soil quality indicators.

Key words: soil, use of soil, parameters physical, parameters chemical, “Carta de suelos”.

INTRODUCCION

1.1-Presentación del trabajo

El término agricultura sustentable implica que la agricultura seguirá siendo por largo tiempo el principal uso del suelo; ello requiere que sea económicamente competitiva y que el recurso básico para sostenerla - el suelo - no disminuya su extensión, su fertilidad y su calidad, (Hamblin, 1991).

La función que cumple el suelo es la de producir alimentos, fibras y también mantener el medio ambiente; el suelo actúa a través de su acción como filtro y medio buffer para el agua, los nutrientes y sustancias químicas. La calidad o salud del suelo determina la existencia de una agricultura sustentable, (Acton y Gregorich, 1995; citados por Doran y Parkin, 1996).

Para Doran *et al.* (1996), la calidad del suelo es la capacidad que posee una clase de suelo para cumplir una función dentro de los límites del ecosistema natural o antropizado, para sostener la producción de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del agua, del aire y soportar la salud humana.

En nuestro país la actividad agropecuaria se inicia en el año 1890. En esta época la principal actividad era la producción de trigo y la ganadería, pero con el paso de los años y las exigencias del mercado externo aumentó el uso agrícola, incrementándose también la utilización de maquinarias y de laboreos intensivos (De Prada, 1994, citado por Verri 2004). En las últimas tres décadas hasta la actualidad hubo una evidente expansión de la frontera agrícola; con el transcurso del tiempo este rápido proceso de agriculturización implicó el desmonte de los bosques nativos, (Chidiak y Murmis, 2003).

Según Casas (2001), citado por Chidiak y Murmis (2003), el uso de labranzas expondrían al suelo a:

- ✓ La acción de las lluvias que pueden tener un efecto altamente erosivo.
- ✓ La degradación física, en especial por compactación que provoca una disminución en la capacidad hídrica del suelo por menor porcentaje de porosidad total del mismo.
- ✓ La degradación química como la pérdida de nutrientes y la oxidación de la materia orgánica.
- ✓ La degradación biológica debido a una pérdida de materia orgánica no solo por erosión sino también por aumento en la oxidación de la misma por efecto de las labranzas continuadas y la disminución de microorganismos humificantes y nitrificantes debido a la reducción de la concentración de oxígeno en suelos compactados.

A principios de la década del 1990 comienzan a difundirse sistemas de labranzas conservacionistas, principalmente, la siembra directa, (Panigatti *et al.*, 2001). La adopción de este sistema fue muy rápida y se vio favorecida por el avance de la tecnología y las maquinarias (Fabrizzi *et al.*, 2003; citados por Abril *et al.*, 2005).

El manejo inadecuado de los agroecosistemas a los fines de producir alimentos y productos para la sociedad, ha originado en mayor o menor medida cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo produciendo una disminución en la productividad y la producción en general (Lal, 2002, citado por Medina Méndez *et al.*, 2006).

Las actividades económicas suelen originar crisis ambientales por sobreexplotación y agotamiento del potencial productivo de los ecosistemas (Villamil *et al.*, 1997), por eso es importante analizar indicadores de calidad edáficos y así poder entender cómo han evolucionado a lo largo del período de uso. El uso de los suelos y las prácticas de manejo marcan el grado y la dirección de los cambios en su calidad tanto en el tiempo como en el espacio (Quiroga y Funaro, 2004, citados por Silva Rossi, 2006).

A pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo (Arshad y Coen, 1992, citados por Bautista Cruz *et al.*, 2004). Para hacer operativo y útil este concepto de calidad, es preciso contar con variables que puedan servir para describir procesos e integrar propiedades y de esta manera evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esas condiciones, (Dumanski *et al.*, 1998, citados por Bautista Cruz *et al.*, 2004).

Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades químicas, físicas y biológicas, o procesos que ocurren en él (Soil Quality Indication, 1996, citado por Bautista Cruz *et al.*, 2004).

Los indicadores químicos son aquellos que se refieren a condiciones químicas que afectan a las relaciones suelo-planta, la calidad y disponibilidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas y organismos. Algunos indicadores a analizar pueden ser, la materia orgánica, carbono orgánico lábil, nitrógeno total y nitrógeno mineralizado, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, y disponibilidad de nutrientes. (Soil Quality Indication, 1996, citado por Bautista Cruz, *et al.*, 2004).

Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y aquellas que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada, son las características físicas del suelo que se pueden utilizar como indicadores de su calidad y son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no pueden ser mejoradas fácilmente (Singer y Ewing, 2000; citados por Bautista Cruz *et al.*, 2004).

Michelena *et al.* (1989), citados por Pires Da Silva *et al.*, 2001, hicieron un seguimiento de varias propiedades fisico-químicas, con el objetivo de identificar indicadores de calidad de suelos a escala regional, encontrando una correlación positiva entre intensidad de uso de las tierras y algunas propiedades, como carbono orgánico, nitrógeno total, pH y estabilidad de agregados, entre otras.

Maddonni *et al.* (1999), citados por los mismos autores, mencionaron que esos indicadores pueden variar localmente. Por lo tanto, aquellos estudios que consideren los sistemas de producción y los suelos más importantes a escala local, pueden ser de gran utilidad en la identificación de variables indicadoras del estado de degradación de los suelos.

En el presente trabajo se analizaron algunos parámetros físicos y principalmente parámetros químicos, los cuales fueron comparados con los datos publicados en la Carta de Suelos de la República Argentina, en el año 1986. El suelo estudiado ha sido clasificado como Hapludol udorténtico y se encuentra ubicado en el área ecológica de la Pradera Pampeana. El mismo, fue sometido a 80 años de uso aproximadamente, siendo la siembra directa el principal manejo realizado en los últimos años. Esta comparación tiene la finalidad de observar cómo han evolucionado los parámetros analizados durante los últimos 20 años de uso.

1.2-Antecedentes

La **materia orgánica** ocupa la fracción minoritaria de la masa total del suelo. Su contenido puede variar desde 0,5 % hasta 50%; siendo los porcentajes más frecuentes menores al 5%, (Hampp, 2002). La cantidad y calidad de materia orgánica que se forma en el suelo depende de la proporción del carbono respecto a la cantidad de nitrógeno (Relación C: N) presentes en los restos orgánicos. Durante el proceso de descomposición, el carbono es utilizado por los organismos del suelo y transformado a materia orgánica estable (con relación C: N \cong 10:1). Durante esta etapa, las formas orgánicas del azufre, el fósforo y el nitrógeno son mineralizados y liberados al suelo como iones solubles; de esta forma se encuentran disponibles para la absorción radicular. Cuando en los restos orgánicos la relación C: N es mayor a 30 hay inmovilización del nitrógeno durante el proceso de descomposición inicial. La mineralización e inmovilización del nitrógeno del suelo son afectadas por la acción microbiana; estos utilizan el nitrógeno para construir sus propios materiales y como fuente de energía, siendo la cantidad de nitrógeno que utilizan proporcional a la cantidad de carbono que necesitan; aquí reside la importancia de la relación C: N. Cuanto mayor es la relación hay mayor inmovilización y cuando es menor hay mineralización. Esto es importante porque las plantas absorben el nitrógeno mineralizado en el suelo y no el orgánico (Silva, 1995).

La materia orgánica es responsable de procesos de importante trascendencia en el suelo como son la formación y estabilidad de agregados; la adsorción e intercambio catiónico, la capacidad para suministrar energía y nutrientes de origen orgánico; posee además la capacidad de retención de humedad y protege al suelo contra la degradación y la erosión. Estas características son de suma importancia tanto para los organismos que viven en el suelo, como así también para el desarrollo y crecimiento de los cultivos (Porta Casanellas *et al.*, 1999).

Es ampliamente conocido el hecho de que en suelos vírgenes puestos bajo cultivo, la materia orgánica disminuye rápidamente durante los primeros años por remoción de la vegetación nativa. Estas pérdidas son generalmente exponenciales, siendo muy rápido el proceso durante los primeros 10 a 20 años, luego se hace más lento y finalmente alcanza un nuevo estado de equilibrio en 50 o 60 años, Jenny (1941), Campbell (1978), Bricchi *et al.* (2004) y Quiroga *et al.* (2005). Estos períodos de tiempo mencionados por los autores serán mayores o menores según el ambiente ecológico, los años de agricultura y las prácticas de manejo que se realicen en dichos suelos.

Fenton *et al.* (1999), citados por Bricchi *et al.* (2004) calcularon pérdidas de alrededor del 44% de carbono orgánico en la superficie del suelo durante los primeros 28 años de agricultura; seguidas a éstas, encontraron pérdidas del 33% hasta que el nivel de carbono orgánico alcanzó un nuevo equilibrio.

Inicialmente bajo el monte de caldén, en la región semiárida y subhúmeda pampeana, los suelos mantenían un equilibrio aparente, etapa que se conoce con el nombre de *neutralidad*. A partir del desmonte y por efecto de las labranzas, se transitó por un período de fuertes pérdidas de materia orgánica, llamado período de *emisión*, hasta que el suelo alcanza una nueva situación de equilibrio pero ahora con baja cantidad de materia orgánica. Este período es llamado nuevamente con el nombre de *neutralidad*, a partir de esta situación comienzan a realizarse prácticas de manejo que contribuyen a incrementar la materia orgánica del suelo (Quiroga, 2003), (Figura, 1).

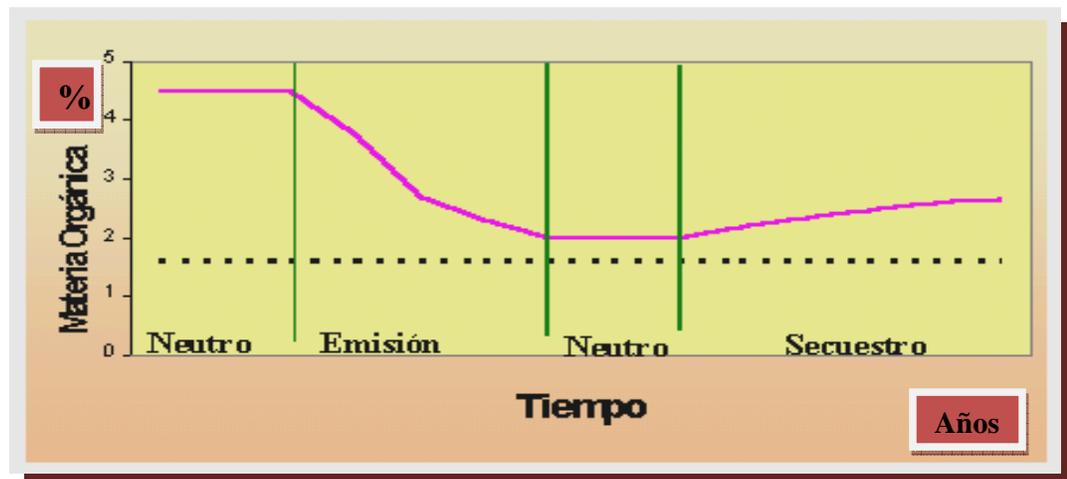


Fig. 1. Evolución del contenido de materia orgánica en el tiempo. Cambios producidos por efecto de las labranzas.

La línea de puntos representa la materia orgánica vieja (estable), mientras que la línea llena la materia orgánica joven (lábil); esta última es la que sufre la mayor modificación cuando se pasa de un suelo en estado virgen a cultivado.

Las labranzas han sido identificadas como factores que controlan el nivel de materia orgánica en los suelos (Parton *et al.*, 1988; citado por Cosentino *et al.*, 1996). Autores como Haulin *et al.* (1990), Carter *et al.* (1998), citados por Dalurzo *et al.* (2005), afirman que la mayor descomposición de la materia orgánica se produjo en los suelos bajo actividades agrícolas y esto ocurre por las alteraciones que causa el laboreo del suelo. El mismo influye en la tasa de mineralización de la materia orgánica, la cual aumenta al roturar el terreno y someterlo a laboreo intenso y continuado por lo cual las tareas de labranza mínimas deben considerarse beneficiosas ya que disminuyen éstas pérdidas y ayudan a mantener los niveles de materia orgánica en el suelo (Porta Casanellas *et al.*, 1999).

En general aquellas condiciones que favorecen la acumulación de materia orgánica en el suelo son inversas de las que favorecen su descomposición. La acumulación de materia orgánica representa la diferencia entre la adición de restos orgánicos a través del crecimiento de las plantas por un lado y las actividades de descomposición de los organismos por el otro. Bajo condiciones naturales en el suelo existe un equilibrio entre la formación de materia orgánica y su descomposición. El balance está determinado por las condiciones climáticas y las del suelo. La agricultura destruye este equilibrio natural debido a que se reintegra al suelo menor cantidad de materia orgánica y el proceso de descomposición se acelera por los procesos de labranza (Worthen, *et al.*, 1967).

En el Departamento Río IV en la ecoregión del Espinal, Bricchi (1996) mostró pérdidas de materia orgánica del orden del 66% en los primeros 12 cm de espesor en un Hapludol típico con 80 años de uso comparado con el mismo suelo en condición cuasi natural; mientras que Moreno (2000) señaló pérdidas del 61% en un Haplustol típico con semejantes condiciones de uso.

Krüger *et al.* (2004), encontraron que en el horizonte superficial de un Hapludol típico ubicado en el sudoeste bonaerense, bajo agricultura continua con labranza convencional, se produjo una pérdida de 15 Mg carbono orgánico total / hectárea. Además se observaron pérdidas hasta los 45 cm de profundidad. Se debe aclarar que los autores no especifican en su trabajo cual era la cantidad de carbono orgánico total inicial para poder analizar dicha pérdida.

Después de 8 años de cero labranzas hay un incremento en el contenido de carbono orgánico en toda la superficie del suelo, lo que se debe a la baja tasa de descomposición, como consecuencia del menor contacto de los residuos con el suelo, menor aireación y menor temperatura del suelo (Hussain, 1999; citado por Reyes *et al.*, 2002).

Según Beare *et al.* (2004), citado por Reyes *et al.* (2002), treinta años de cero labranza tuvieron como resultado un incremento del 18% en el contenido de carbono orgánico en la superficie arable del suelo. En un estudio realizado por Rhotan, (2000), citado por Reyes *et al.*, 2002, se indica que los suelos manejados con cero labranza contienen 2,1 veces más de materia orgánica en su superficie si son comparados con suelos donde se realizan labranzas tradicionales, este incremento ocurrió después de 8 años de mínimo laboreo, sin embargo, esta diferencia deja de ser significativa a mayor profundidad.

Según Casas *et al.* (2001), citado por Álvarez y Barraco (2005) encontraron que los contenidos de materia orgánica en siembra directa (SD) son superiores a los encontrados en agricultura convencional; estas diferencias se acentuaron con los años de SD, superando a la labranza convencional en 1% de materia orgánica a los 9 años de SD.

En un estudio realizado en la provincia de Córdoba, en suelos Hapludoles énticos y típicos se observó que a partir de los primeros cinco años de realizar siembra directa hubo aumentos tanto de la cantidad de materia orgánica del suelo como del nitrógeno total, comparado con un sistema de labranza convencional. Esta ganancia es mayor cuanto más años de siembra directa se realicen; los porcentajes de ganancia de carbono orgánico son del 20% y del 25% para nitrógeno total. Estos resultados son los obtenidos al analizar el mismo suelo a los diez años de siembra directa; el mismo análisis se realizó en la región de la pampa húmeda y las ganancias fueron menores, alrededor del 12%, tanto para carbono orgánico como para nitrógeno (Abril, *et al.*, 2005).

El **intercambio catiónico** se puede definir como un fenómeno reversible por medio del cual los coloides de los suelos, tanto orgánicos como inorgánicos, son capaces de adsorber cationes desde la solución del suelo, llegando siempre al equilibrio. Esta es una de las fuentes de nutrición mineral para las plantas (Bukman y Brady, 1993, citados por Reyes, *et al.*, 2002)

Las **bases intercambiables** son elementos que pueden ser adsorbidos por la arcilla y la materia orgánica debido al carácter coloidal que ambas poseen. Las bases se pueden encontrar como no intercambiables, como intercambiables o en la solución del suelo.

Si el drenaje en el suelo es importante las bases solubles se perderán o lixiviarán, lo que desencadena un nuevo equilibrio, a partir de que el sistema de intercambio tratará de restablecer la concentración primitiva de bases en la solución externa, esto puede llevar a una pérdida de cationes que son sustituidos por H con la consiguiente acidificación del suelo (Hampp y Formia, 2002).

Miller *et al.* (1981), afirman que en condiciones de terrenos vírgenes, los suelos están cubiertos por vegetación durante todo el año, y, durante los períodos de alto crecimiento de las plantas la absorción de agua por partes de éstas reduce apreciablemente la cantidad de agua que percola a través del suelo y que arrastra las bases solubles, además los nutrientes básicos tomados por la vegetación son tarde o temprano reintegrados al suelo. En los suelos agrícolas ocurre algo diferente ya que los nutrientes son exportados junto con los productos de la cosecha. Por lo tanto, es de esperarse que el desarrollo de la acidez, a través de la pérdida de bases sea un proceso relativamente lento en los terrenos vírgenes, mientras que en los suelos agrícolas el mismo proceso se acelera.

El exceso de laboreo y la consiguiente disminución de la materia orgánica pueden significar una pérdida del ión OH^- y con ello un aumento de acidez en el suelo. Suelos que han perdido materia orgánica también han comprometido su estructura, ya que esta actúa como ligante en la misma; esto deja a los suelos sujetos a procesos de lixiviación que originan pérdidas de bases intercambiables (calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio), lo que también puede significar un aumento de la acidez en el suelo. Los suelos con mayor contenido de materia orgánica tienen mayor poder tampón, es decir, podrán conservar mejor su pH original (Crovetto Lamarca, 1992).

El **pH** del suelo es una característica química de gran importancia para el desarrollo de los vegetales ya que es un regulador de la actividad química del suelo dentro de las cuales se encuentran la disponibilidad de nutrientes, procesos de intercambio de cationes y formación de humus en el suelo, además, se debe tener en cuenta que las reacciones químicas propias de la vida vegetal ocurren dentro de un cierto rango de pH (Honorato 1997, citado por Reyes, *et al.*, 2002).

En la provincia del Chaco se realizó un análisis del pH en dos sistemas de labranza diferentes, convencional y directa; los resultados no arrojaron variaciones significativas como se esperaba, sino que resultaron semejantes: 7,28 y 7.19 respectivamente (Prause *et al.*, 2005)

En un estudio realizado por Sanzano *et al.* (2005) en la provincia de Tucumán donde se compararon valores de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y pH de un suelo en siembra directa por 20 años con monocultivo de soja con otro suelo en estado natural. Los resultados observados fueron que la CIC disminuyó en un 18% aproximadamente en el suelo laboreado y se observó para la misma condición de uso una leve disminución de los valores de pH.

Moreno (2000), indico que la Capacidad de Intercambio Catiónico disminuye hasta un 12% cuando el suelo se altera por distintas condiciones de uso.

Según Sacchi y De Pauli (2002) la variación de la Capacidad de Intercambio Catiónico está relacionado a la cantidad de arcilla y de carbono orgánico y que cuando el contenido de carbono orgánico disminuye la arcilla es la responsable de mantener la CIC, mientras que cuando el contenido de carbono orgánico aumenta sin una variación en la proporción de arcilla, ambos componentes ejercen la misma influencia sobre la CIC.

Las propiedades físicas de un suelo son parte del conjunto de características que determinan el medio ambiente que permite el desarrollo de la vida vegetal. Estas están relacionadas con las partículas elementales, con su agrupamiento, su compactación o densidad, su porosidad, su temperatura y su color (Buckman y Brady, 1993, citados por Reyes *et al.*, 2002).

Las características físicas no son independientes sino que se afectan unas con otras estableciendo relaciones, suelo, aire, luz, agua y junto con las características químicas determinan la calidad de un suelo para el crecimiento del cultivo. (Honorato, 1997, citado por Reyes *et al.*, 2002).

La **textura** es la expresión de la cantidad y tamaño de las partículas del suelo; es un factor físico determinante en el crecimiento y desarrollo de las plantas ya que se relaciona con otras propiedades como la porosidad, la aireación, la retención y el movimiento de agua en el suelo, el drenaje, la fertilidad y el contenido de materia orgánica. Además, la textura determina el grado de compactación que puede ocurrir en un suelo dado y esto puede verse reflejado en la densidad aparente del suelo (Buckman y Brady 1993, citados por Reyes *et al.*, 2002). Sacchi y De Pauli (2002), compararon las fracciones granulométricas de un mismo suelo en dos situaciones: uno cultivado y otro en estado prístino y encontraron que no hay variaciones significativas entre las dos situaciones, pero si un leve incremento de las fracciones gruesas en los suelos cultivados.

La determinación de la **densidad aparente** es una manera de expresar el peso específico del suelo. Tiene como objetivo calcular el volumen total del suelo, o sea, el espacio ocupado por los sólidos y por los espacios porosos juntamente y así relacionar el peso del suelo con el volumen del mismo. Se define como la masa o peso de una unidad de volumen de suelo seco.

La densidad aparente es una propiedad que está estrechamente ligada con la compactación, la porosidad, la circulación de agua y de aire en el suelo; por lo tanto es de gran interés para el desarrollo de los cultivos. La textura es una de las propiedades que afectan directamente a la densidad aparente y está estrechamente relacionada con ella (Pritchett, 1990).

Este autor clasifica la densidad aparente según la textura del suelo:

Arenosos -----1.60 a 1.70 Mg. m³

Francos -----1.30 a 1.40 Mg. m³

Arcillosos-----1.0 a 1.2 Mg. m³

Suelos orgánicos-----0.70 a 1.0 Mg. m³

La baja cantidad de materia orgánica en suelos arenosos favorece a las altas densidades aparentes. El sistema de laboreo empleado sobre un suelo dado influye sobre la densidad aparente sobre todo en las capas superficiales. (Buckman y Brady, 1970).

Debido a que la densidad aparente varía principalmente en función de las características estructurales es posible inferir condiciones de mayor compactación en los suelos cultivados como producto del uso de la tierra. Sacchi y De Pauli (2002), en un estudio realizado en la región centro este de la provincia de Córdoba, encontraron que en suelos de textura limosa con un cierto período de uso, el 59% del total de los horizontes muestreados se encuentran: compactados a muy compactados, con una densidad aparente mayor a 1.30 Mg.m⁻³ mientras que en los suelos prístinos analizados por dichos autores solamente el 25% de los horizontes mantienen, por sus características intrínsecas, estos altos valores de densidad.

En suelos de textura arenosa, densidades aparentes de 1.35 Mg.m⁻³ demostraron porosidad para la aireación en valores inferiores al 25%, valor a partir del cual comienza a haber reducción del crecimiento radicular. (Sands y Bowen, 1978, citados por Bricchi, 1996).

La **capacidad de campo** (CC), es la humedad que queda en un suelo saturado luego de la acción de drenado que ejerce la fuerza de gravedad. La Capacidad de Campo equivale a la humedad que un suelo retiene a una succión de $\frac{1}{3}$ bares. El contenido de materia orgánica afecta directa y positivamente la Capacidad de Campo al igual que el contenido de arcilla. Por lo tanto a mayor cantidad de materia orgánica y arcilla se incrementa la Capacidad de Campo. (Lal y Greenland 1979; Ordaz-Chaparro 1999, citados por citados por Medina Méndez *et al* 2006)

El **punto de marchitez permanente** (PMP) es el contenido de humedad que corresponde a una cantidad menor de agua capilar (poros de pequeño diámetro) y que por lo tanto no puede ser absorbida por la raíz para satisfacer las necesidades de la planta. El Punto de Marchitez Permanente; equivale a la humedad residual de un suelo después de aplicar una fuerza de succión de 15 bares. El mayor contenido de materia orgánica reduce el valor de PMP, mientras que mayor cantidad de arcilla lo incrementa. (Lal y Greenland 1979; Ordaz-Chaparro 1999, citados por citados por Medina Méndez *et al* 2006)

Bauer y Black (1992), evaluaron el efecto de la materia orgánica en la capacidad de agua útil en las tres clases texturales de suelos y determinaron que, una unidad de incremento de carbono orgánico causa un aumento en la concentración de agua a capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente. En texturas arenosas el incremento de carbono orgánico implica un mayor incremento de agua a Capacidad de Campo que a Punto de Marchitez Permanente, en los otros dos suelos (limosos y arcillosos) el incremento fue semejante; sin embargo, la capacidad de agua útil permanece constante en suelos arenosos, y disminuye en los francos y arcillosos, lo que se relaciona con la densidad aparente, ya que ésta disminuye con cada aumento de carbono orgánico, y la capacidad de agua útil es función directa de la Densidad Aparente.

Según MacRae y Mehuys (1985) y Bauer y Black (1992), todos citados por Bricchi (1996), señalan que cuando la concentración de carbono orgánico aumenta se produce un incremento de la cantidad de agua tanto en la capacidad de campo como en punto de marchitez permanente

Es conocido que las **curvas características de humedad** o también llamadas **curvas de retención de humedad**, resultan de la relación entre el contenido hídrico del suelo y un potencial mátrico (energía libre del agua en el suelo) determinado. Dichas curvas se construyen colocando para cada contenido hídrico gravimétrico (eje x de la curva), el potencial mátrico correspondiente (eje y de la curva), y son expresadas normalmente en bares (Bar) o en megapascales (Mpa). Estas curvas son de gran importancia ya que reflejan la relación continua del contenido hídrico versus el potencial matriz en el suelo, y son una expresión de características morfológicas del suelo como la textura y la estructura, la porosidad total, tamaño y distribución de poros y también la naturaleza y el estado del material coloidal (Hampp, 2002).

Bricchi (1996), indicó que en una situación con alta intervención antrópica existe pérdidas de compuestos orgánicos lábiles debido a los continuos laboreos; frente a esta situación hubo una reorganización de la estructura, con disminución de macroporos y aumento de microporos. Estos cambios producen una disminución del contenido hídrico principalmente en las cantidades cercanas a capacidad de campo.

Esposito (2002) en un Hapludol típico con distintas labranzas y usos de rastrojos también encontró cambios en el contenido hídrico pero solo a bajas succiones siendo mayor el contenido de agua en labranzas conservacionistas comparado con labranzas convencionales, mientras que no encontró diferencias con respecto a la cantidad de rastrojos en superficie.

1.3 Hipótesis

General

Luego de 20 años de uso agrícola se espera una variación de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Específicas

1-Luego de 20 años de uso el contenido de materia orgánica y nitrógeno total, serán inferiores a los publicados en la Carta de Suelos de la República Argentina en el año 1986.

2-Se esperan disminuciones en los valores tanto, de pH, de la saturación de bases, como así también en la Capacidad de intercambio catiónico en la situación actual con respecto al año 1986.

3- Se esperan valores inferiores en el contenido hídrico a Capacidad de campo, en la situación actual con respecto al año 1986.

1.4 Objetivos

Generales

Evaluar variables físicas y químicas del suelo, las cuales serán utilizadas como indicadores de los cambios de dicho suelo en el tiempo.

Específicos

1-Evaluar indicadores químicos como: el porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total, la capacidad de intercambio catiónico, el pH y la saturación con bases.

2-Evaluar indicadores físicos como: constantes hídricas del suelo a diferentes succiones.

3-Comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con los datos extraídos de la Carta de Suelos de la República Argentina del año 1986; dicha comparación será utilizada para afirmar o no las hipótesis planteadas anteriormente

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1) Ubicación de la zona en estudio

El presente trabajo se realizó en las cercanías de la localidad de Alejo Ledesma, Departamento Marcos Juárez, provincia de Córdoba, República Argentina. La cartografía se presenta en Cartas de Suelos de la República Argentina (INTA 1986). En la figura 2 se puede observar la trayectoria recorrida hacia el lugar de muestreo.



Figura 2: Trayectoria recorrida para llegar al sitio de muestreo.

A través de consultas realizadas con integrantes de la Cátedra de Suelos de la UNRC, se pudo ubicar en el área de la localidad de Alejo Ledesma un polipredón con un cierto grado de intervención antrópica, el cual fue tomado como referencia para el presente trabajo. El sitio en estudio está ubicado en la Hoja 3363-28 (Canals) y pertenece a la Serie Alejo Ledesma. Dicho sitio, es un lote colindante a la Estancia las “Dos Hermanas”, se encuentra en la posición $33^{\circ} 39' S$ $-62^{\circ} 34' W$, (Figura 3), en el cual el uso actual del suelo es la agricultura continua desde hace aproximadamente diez años con rotación gramínea invernal-leguminosa estival.



Figura 3: Ubicación del sitio elegido para el muestreo.

2.2) Clima

En cuanto a las características climáticas es una zona subhúmeda-húmeda con oscilaciones interanuales. La temperatura media del mes más caluroso es de $24^{\circ}C$, mientras que la media del mes más frío es de $9.2^{\circ}C$. El total medio anual de precipitaciones es de 805mm, la distribución estacional indica una marcada concentración del régimen de lluvias en el semestre cálido del año (INTA 1986).

2.3) Vegetación

La región ecológica en la que se encuentra la zona de estudio es la llamada Pradera Pampeana; la formación vegetal originaria característica es el pastizal templado; en los que predominan géneros como *Stipa*, *Bromus*, *Aristida*, *Briza*, *Setaria*, *Melica*, *Poa*, *Paspalum* y *Eragrostis* (Burkart et al. 1999)

Ragonesse (1967) remarca que se trata de una región profundamente alterada por el hombre, particularmente desde que la colonización agrícola tomó impulso en la última década del siglo XIX. En la actualidad gran parte de las comunidades vegetales nativas han sido alteradas. En su lugar existen cultivos agrícolas como maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), sorgo (*Sorghum caffrorum*), girasol (*Helianthus annuus*) y pasturas basadas en alfalfa (*Medicago sativa*) acompañadas por gramíneas exóticas, entre ellas, festuca alta (*Festuca arundinacea*), pasto ovilla (*Dactylis glomerata*), agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*), trébol de olor amarillo (*Melilotus officinalis*) y blanco (*Melilotus albus*) y una gran diversidad de malezas. Se debe aclarar que en los últimos años ha cobrado gran importancia en la región el cultivo de soja (*Glycine max*).

2.4) Geomorfología y suelo

Desde el punto de vista geomorfológico la zona se encuentra ubicada en una llanura eólica de lomas aplanadas. Los materiales originarios de los suelos son loésicos, de texturas franco limoso al NE a franco arenoso hacia el oeste, a la altura de la localidades de Colonia Bremen, Alejo Ledesma y Benjamín Gould (INTA 1986).

2.5) Descripción de la Serie Alejo Ledesma

La Serie Alejo Ledesma es un suelo algo excesivamente drenado que se encuentra asociado a relieves ondulados a suavemente ondulados, modelados sobre materiales franco arenosos. Son suelos poco desarrollados de textura franca a franco arenosa, color pardo grisáceo oscuro y estructura en bloques moderados. Hacia abajo pasa gradualmente al material originario que se encuentra a una profundidad de 60 cm. Tiene un contenido moderado de materia orgánica que decrece en profundidad y una baja capacidad de intercambio catiónico, lo cual conspira en contra de su fertilidad natural. Por otro lado la baja capacidad de retención de humedad lo hace susceptible a sequías. Estas limitaciones se presentan en un grado leve y no presentan otros impedimentos físicos ni químicos que afecten el crecimiento de las plantas (INTA, 1986).

2.6) Descripción del perfil típico

Hapludol udortentico, franco grueso, mixto, térmico (INTA, 1986).

El perfil típico de la Serie Alejo Ledesma, que se describe a continuación, fue estudiado a 5 km al ESE de la localidad homónima en la Provincia de Córdoba.

A1 (0-23 cm.); pardo grisáceo muy oscuro (10 YR3/2) en húmedo, Textura: franco a franco arenoso; estructura en bloques subangulares medios moderados y granular; Consistencia: friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; límite inferior gradual, suave.

AC (23-63 cm.); pardo oscuro (10 YR3/3) en húmedo; Textura: franco arenoso a franco; estructura en bloques subangulares medios débiles; Consistencia: friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; límite inferior difuso.

C (63-90 cm. a +), pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; Textura: franco arenoso; de estructura masiva; Consistencia: muy friable en húmedo; no plástico; no adhesivo.

En la tabla 1, se presentan los datos analíticos de la Serie Alejo Ledesma, extraídos de la Carta de suelos, (INTA, 1986).

Horizontes	A1	AC	C
Prof. de la muestra(cm)	0-23	23-63	63-90
Materia Orgánica%	2.38	0.86	0.28
Carbono Orgánico%	1.38	0.50	0.16
Nitrógeno total %	0.14	0.07	0.04
Relación C/N	9.85	7.14	4.00
Arcilla 0-2 μ %	15.70	11.50	7.20
Limo 2-50 μ %	35.40	34.00	30.90
Arena mf 50-100 μ %	46.00	49.90	53.70
Arena f 100-250 μ %	2.30	3.10	7.80
Equiv. de humedad %	18.10	15.70	11.70
PH en agua 1:2.5	5.90	6.60	7.00
Cat. de intercambio me/100gr			
Ca	7.60	8.60	7.10
Mg	1.20	1.70	1.70
Na	0.30	0.30	0.30
K	1.50	1.00	1.00
H	2.90	1.10	0.60
Σ de bases, cmol kg ⁻¹	10.60	11.60	10.10
CIC, cmol kg ⁻¹ (T)	13.70	12.90	10.50
Sat. con bases% (S/T)	77	90	96

2.7) Actividades realizadas a campo y en laboratorio

Se realizaron las siguientes actividades

- Descripción morfológica del perfil del suelo, según normas de reconocimiento de Etchevehere (Etchevehere, 1976).
- De cada horizonte del perfil analizado se tomaron cuatro muestras compuestas, cada una de estas integradas por cinco submuestras. En cada una de las muestras se determinó: Materia orgánica, Nitrógeno total, Capacidad de intercambio catiónico, pH, Sumatoria de bases, Capacidad de campo y Punto de marchitez permanente, Textura, y Densidad aparente.
- Se asume que todas estas variables son útiles como indicadores de calidad de suelos según la clasificación realizada por CIAT (2002). Cabe aclarar, además, que de todas las variables analizadas el pH, Sumatoria de bases, la Capacidad de Campo, el Punto de Marchitez Permanente son variables dinámicas por lo tanto medirlas a una escala de 20 años puede arrastrar errores en los resultados, pero pueden ser útiles para futuros análisis.

a) **Contenido hídrico a diferentes succiones**, (Método de las ollas y membranas de presión): se realizó con el equipo para aplicar una presión controlada a muestras de suelo saturadas con agua, según Richards (1967). El agua sale de los poros por la presión ejercida hasta que solo queda el agua retenida en el tamaño de poros capaz de soportar la presión a la cual se somete la muestra. Establecido el equilibrio, se pesa el suelo húmedo, luego se lleva a estufa, se seca, y se pesa nuevamente. Con estos datos se calcula la humedad gravimétrica correspondiente a la presión aplicada, que corresponde al potencial mátrico. Con los datos obtenidos en este punto se construyó la curva de retención de humedad. Para realizar dicha curva se promediaron los porcentajes de humedad de los horizontes Ap1, Ap2 y A2, ya que los resultados de cada uno de ellos eran muy semejantes entre sí (ver Tabla 10).

b) **pH** por el método potenciométrico, relación suelo - agua 1:2,5, y conductividad eléctrica en el último horizonte por medio de conductímetro y celda de grafito.

c) **Materia Orgánica** por el método de Mebius modificado, (Page *et al.*, 1982)

El método consiste en evaluar el oxidante no consumido en la oxidación de la MO del suelo. El medio oxidante es una solución de dicromato de potasio y ácido sulfúrico. La valoración del dicromato no consumido se determina volumétricamente con una sal ferrosa, utilizando un indicador redox.

d) Determinación de las **bases intercambiables y de la capacidad de intercambio catiónico**. (Moreno *et al.*, 1999)

- Se trata al suelo con una solución acetato de amonio N, para que el catión de la misma sature todas las cargas del sistema coloidal, desplazando a las bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na), que se determinarán en el filtrado
- Luego se trata a la muestra una solución de acetato de sodio N, pH 8,3, y de esta forma todas las sedes de intercambio van a estar ocupadas por el sodio.
- Se lava con alcohol el exceso de la sal (acetato de sodio) empleada, con lo que queda solo el catión en las posiciones de intercambio.
- Se desplaza el catión saturante de los sitios de intercambio usando otro catión. Es conveniente que este último sea soluble, no se fije y no presente interferencia con el catión desplazado. La sal utilizada en este caso es acetato de amonio N que va a desplazar al sodio intercambiable.
- El sodio que fue desplazado se recibe en el percolado. Este equivale a la capacidad de intercambio catiónico del suelo analizado.
- La determinación de calcio, magnesio, sodio y potasio se realizó mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, para todos los casos.

e) Determinación de **Nitrógeno total** por medio del método de Kjeldahl, que consiste en un procedimiento de oxidación en húmedo (Moreno *et al.*, 1999). El procedimiento consta de tres etapas:

e.1) Destrucción de la materia orgánica y mineralización del nitrógeno, etapa denominada comúnmente *digestión*, esta se realiza calentando la muestra con ácido sulfúrico y agentes catalizadores que promueven la oxidación de la materia orgánica y transforman al N en NH_4 (amonio) el que queda retenido en el medio ácido del sistema. La destrucción de la materia orgánica y la mineralización del nitrógeno orgánico es un proceso de óxido-reducción en el cual el ácido sulfúrico en caliente se reduce a dióxido de azufre y el carbono se oxida a dióxido de carbono, desprendiéndose como gas.

e.2) Destilación del NH_4 sobre una solución ácida valorada. El amonio es desplazado de su combinación con el sulfato mediante el uso de un álcali fuerte y destilado dentro de ácido bórico.

e.3) Determinación del amonio liberado. El amonio destilado se determina por titulación con ácido sulfúrico valorado.

f) Determinación de la **granulometría** del suelo con el determinador de tamaño de partículas por rayos laser Analysette 22 versión Economy.

La determinación consta de dos etapas:

f. 1) La primera etapa tiene como objetivo la dispersión de la muestra de suelo. (Gee y Bauder 1986). Se realiza eliminando las sustancias aglutinantes y cementantes. Para ello se elimina la materia orgánica por oxidación en húmedo, y si está presente, el carbonato de calcio por acidificación. Luego se satura el complejo de intercambio con sodio, para desencadenar la dispersión de los componentes granulométricos.

f.2) Determinación de la distribución de las partículas por tamaño (granulometría) mediante difracción de rayos laser, de acuerdo a la ley de Mie.

g) Determinación de la **densidad aparente** mediante el método del cilindro (Moreno *et al.*, 2005).

Este método consiste en introducir un cilindro metálico de volumen conocido en el suelo, a la profundidad deseada y retirarlo sin alterar la estructura. La muestra se seca a 105°C, hasta peso constante y luego se pesa. Relacionando el peso del suelo seco con el volumen que ocupa el mismo (volumen del cilindro), se obtiene la densidad aparente de un suelo.

h) Los resultados de cada variable o indicador obtenido en cada una de las muestras compuestas fueron promediados.

i) Los promedios obtenidos en el punto (h) fueron comparados con los datos del mismo suelo provenientes de la Carta de suelo de referencia, con el propósito de establecer la influencia del uso sobre el cambio de los valores de cada variable. Se realizó una comparación sencilla no estadística de los valores promedio de cada una de las variables estudiadas en el año 2006 con los datos de referencia extraídos de la Carta de suelos, Serie Alejo Ledesma (INTA, 1986).

*** Se debe aclarar que en este trabajo la metodología utilizada para evaluar las variables analizadas no son las mismas a las utilizadas en la Carta de suelos, sin embargo se asume que no deberían generar datos muy diferentes.**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1) Descripción del perfil del suelo realizada a campo

A continuación, se encuentra la descripción del perfil del suelo estudiado. Si analizamos lo observado, vemos que el primer horizonte esta subdividido en tres Ap1, Ap2 y A, si bien, no es totalmente coincidente con el suelo de referencia (Serie Alejo Ledesma) tomada de la Carta de Suelos, esto probablemente se deba a una subdivisión producida por efecto de los 20 años de uso que transcurrieron.

Ap1 (0-9cm), pardo grisáceo oscuro (10YR 3/2) en húmedo, Textura: franco, estructura en bloques aplanados, medios, moderados; Consistencia: ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, límite abrupto, suaves.

Ap2 (9-18cm), pardo grisáceo oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, Textura: franco arenoso, estructura en bloques aplanados, gruesos, moderados a fuertes; Consistencia: ligeramente adhesivo, ligeramente plástico; límite abrupto, suave.

A (18-28cm), pardo grisáceo oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, Textura: franco arenoso, estructura en bloques angulares, muy gruesos, moderados a fuertes; Consistencia: ligeramente adhesivo, ligeramente plástico; límite abrupto, suave.

AC (28-63cm), pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo, Textura: franco arenoso, estructura en bloques aplanados, gruesos, moderados a débiles; Consistencia: ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; límite claro, suave.

C (63 cm+), pardo muy oscuro (10 4/3) en húmedo, Textura: franco arenoso, masivos; Consistencia: no adhesivo, no plástico

A continuación se puede observar en la tabla 2, los resultados del análisis de laboratorio de las muestras extraídas. En dicha tabla se presentan todas las variables que se eligieron para ser analizadas en el presente trabajo.

Tabla 2: Datos analíticos obtenidos en laboratorio de las muestras de suelo extraídas en el año 2006.

Horizontes	Ap1	Ap2	A	AC	C
Prof.(cm.)	0-9	9-18	18-28	28-63	63+
Mat. org. %	2.21	2.01	1.77	0.90	0.43
Carbono Org%	1.28	1.16	1.03	0.58	0.25
Nitrógeno total%	0.15	0.13	0.10	0.065	0.03
Relación C/N	8.53	8.92	10.00	8.92	8.33
Arcilla0-2 μ %	12.44	13.00	12.76	11.60	10.22
Limo 2-50 μ %	31.01	33.46	33.46	27.37	27.37
Arena 50-250 μ %	56.55	53.54	53.54	62.03	62.06
Cap. de Cam. %	13.08	12.85	12.41	11.61	9.68
Pto Mar.Per. %	7.93	8.11	8.06	7.57	6.77
pH en agua 1:2.5	5.79	5.86	6.00	6.30	6.55
Cat. Intercambio me/100gr					
Ca	6.40	7.33	7.33	7.65	6.63
Mg	1.98	1.78	2.33	2.27	2.6
Na	0.07	0.08	0.08	0.07	0.10
K	2.00	1.83	1.83	1.5	1.41
Cond.electr. μ s/cm					103.00
Σ de bases cmol kg ⁻¹	11.30	11.02	11.35	11.49	10.74
CIC cmol kg ⁻¹	10.45	13.65	13.03	13.17	10.57
Sat. bases	81	81	86	87	100

Para hacer más comprensible el análisis de los resultados y la comparación entre las dos situaciones, cada variable analizada es expresada en distintas tablas; en cada una de estas, se presentan los datos extraídos de la Carta de Suelos del año 1986 y los resultados obtenidos en el análisis de la situación actual en el año 2006. Según lo aclarado anteriormente, en la situación analizada para el presente trabajo se encontró que el horizonte A, se desglosaba en tres: Ap1, Ap2 y A, pero para hacer representativos y comparables los resultados, los valores que arrojaron estos horizontes fueron promediados.

Materia orgánica y nitrógeno total

Tabla 3: Materia orgánica, Nitrógeno total y relación carbono nitrógeno de cada horizonte de las situaciones correspondientes a 1986 y 2006.

HORIZONTES	A1 1986	A1 2006	AC 1986	AC 2006	C 1986	C 2006
Prof.de muestra	0-23	0-28	23-63	28-63	63-90	63+
Materia Org. %	2.38	2.00	0.86	0.90	0.28	0.43
Carbono Org%	1.38	1.16	0.50	0.58	0.16	0.25
Nitrógeno total%	0.14	0.13	0.07	0.07	0.04	0.03
Relación C/N	9.85	9.15	7.14	8.92	4.00	8.33

En relación al porcentaje de materia orgánica, en la tabla 3 se puede observar que en las dos situaciones planteadas, el contenido de materia orgánica va disminuyendo a medida que se avanza en la profundidad del perfil. Ahora bien, si se comparan los contenidos de materia orgánica entre ambas situaciones, se puede observar que en el horizonte A hay una disminución del 16% en la situación actual, (considerando como 100% al valor de la Carta de Suelos).

Otra forma de expresar la disminución de la materia orgánica es en tn.ha^{-1} para lo cual es necesario considerar los valores de densidad aparente que se indican en la Tabla 9 (ver más adelante) y asumir en primer instancia que el suelo de la carta poseía igual valor. En este sentido en los 23 cm superiores (horizonte A), la densidad aparente que se considerará es de 1,07 (valor que surge del promedio de los 3 valores expresado en tabla 9) para ambas situaciones (1986 y 2006) y en base a esta densidad aparente se calculó el peso de suelo seco por hectárea y se obtuvo la masa de materia orgánica contenida en los primeros 23 centímetros. Realizando los cálculos, el contenido de materia orgánica 20 años atrás fue de aproximadamente $58,60 \text{ tn.ha}^{-1}$ y el actual de $49,20 \text{ tn.ha}^{-1}$, que hace una diferencia de $9,40 \text{ tn.ha}^{-1}$ y por ende, la tasa anual de pérdida estimada sería de $0,47 \text{ tn.ha}^{-1}$ ó 470 kg.ha^{-1} .

En el presente trabajo, se esperaban disminuciones más importantes en la materia orgánica del suelo, las cuales estarían dadas por los años de uso del suelo. Los resultados demuestran que no fue así. Esto puede ser explicado por los trabajos realizados por algunos autores quienes afirman que, las labranzas rompen un equilibrio aparente en los suelos en estado prístino, lo que genera un período de grandes pérdidas de materia orgánica, luego estas pérdidas van siendo cada vez más estables hasta que se alcanza un nuevo equilibrio, pero ahora con un contenido menor de materia orgánica, (Jenny, 1941; Campbell, 1978; Porta Casanellas, 1999; Bricchi *et al.*, 2004; Quiroga *et al.*, 2005). Este nuevo equilibrio que

alcanza el nivel de materia orgánica se ve favorecido por las nuevas prácticas de manejo conservacionistas que ayudan a mantener o incrementar el porcentaje de materia orgánica (Quiroga, 2003).

Según autores como Ridley y Hedlin (1968) y Unger (1994), citados por Bricchi *et al.* (2004) afirman que este nuevo equilibrio no solo se ve favorecido por el tipo de labranza sino también por la secuencia de cultivos, ya que cada uno dejará una cantidad y calidad de residuos orgánicos diferentes. Bauer y Black (1981), demostraron que en suelos donde se cultivaron maíz y trigo en monocultivo con eliminación total de residuos durante 35 años, se produjo una pérdida de entre 23 y 28% del carbono orgánico; estos autores afirman que, a veces, esto puede ser reversible, si se maneja adecuadamente el sistema: después de un seguimiento de 40 años en el mismo lugar, los residuos fueron retornando al suelo, incrementándose el nivel de carbono orgánico.

En el presente trabajo se produce un incremento de la materia orgánica, a partir de los 28 cm de profundidad, no coincidiendo con lo expresado por Rhotan (2000), citado por Reyes *et al.*, 2002, quien afirma que este incremento solo se puede observar en los primeros centímetros de suelo. Por lo tanto se puede decir que los incrementos producidos en los horizontes AC y C de la situación actual no son debidos al uso del suelo sino probablemente a diferencias de rangos dentro del mismo Subgrupo o a variaciones propias del muestreo.

En cuanto a los porcentajes de nitrógeno total, se puede observar que son muy similares en las dos situaciones comparadas, sin embargo en la actual (2006) la disminución relativa es del 7%. La relación carbono/ nitrógeno obtenida en el año 2006, es semejante en los tres horizontes, pero difirió con lo encontrado en el año 1986, en donde esta relación fue disminuyendo con la profundidad. Los valores observados en la situación actual pueden deberse al tipo de laboreo empleado, el cual deja mayores cantidades de residuos orgánicos en superficie y produce escasa remoción de suelo, ayudando a mantener estable la proporción de nitrógeno con respecto al carbono.

Granulometría y Textura

Tabla 4: Granulometría y textura de cada horizonte de las situaciones correspondientes a 1986 y 2006.

HORIZONTES	A1 1986	A1 2006	AC 1986	AC 2006	C 1986	C 2006
Prof.de muestra	0-23	0-28	23-63	28-63	63-90	63+
Arcilla0-2 μ %	15.70	12.73	11.50	11.60	7.20	10.22
Limo 2-50 μ %	35.40	32.64	34.00	27.37	30.90	27.37
Arena50-250 μ %	48.30	54.54	53.00	62.03	61.50	62.06
Textura	Franco a Franco A.	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso

Los resultados obtenidos en cuanto a la granulometría fueron relativamente variables y, dichas variaciones se deberían a diferencias metodológicas. La proporción de arcilla en el primer horizonte fue inferior en la situación en estudio (año 2006), que en la situación de referencia, mientras que en el último horizonte esta proporción fue mayor que la del año 1986, siendo semejante en el horizonte medio (Tabla 4). En cuanto al contenido de limo, éste fue inferior en todos los horizontes de la situación actual que en la del año 1986, mientras que el contenido de arena superó en todos los casos los horizontes de la situación actual (2006)

Textualmente, sólo el horizonte A de la Serie Alejo Ledesma fue franco a franco arenoso, siendo los demás franco arenosos. La diferencia más notable entre ambos perfiles, fue la mayor homogeneidad textural que se observa en el perfil de la situación actual respecto a la serie nombrada, podemos decir que estas diferencias encontradas se deben a diferencias propias del muestreo y a la metodología utilizada, ya que el uso no modifica la granulometría de un suelo.

Humedad equivalente

Los resultados obtenidos del contenido hídrico a capacidad de campo, se compararon con los valores de humedad equivalente provistos por la Carta de Suelos, a pesar de haber sido determinados con métodos distintos. Se debe tener en cuenta que el contenido hídrico llamado Humedad Equivalente se correlaciona con capacidad de campo en suelos de texturas francas, mientras que en texturas más extremas se aleja un poco de este valor. (Malagón Castro, 1974).

Los resultados de humedad a capacidad de campo no mostraron diferencias entre las dos situaciones analizadas, sino que por el contrario se mantuvieron estables (tabla 5). Si se observa el contenido de humedad a capacidad de campo de los horizontes A y AC en ambas situaciones, se desprende que existe similitud entre ellas, mientras que en el horizonte C se observa que hubo una leve diferencia en el contenido de humedad a capacidad de campo siendo superior en el año 2006 que en el 1986. Estos resultados obtenidos podrían estar asociados a los contenidos de arcilla en el suelo los cuales producirían que el suelo retenga un similar contenido de agua ante una presión de 1/3 bares en el caso de los primeros horizontes o un incremento para el caso del horizonte C.

Tabla 5: Contenido de humedad a capacidad de campo, punto de marchitez permanente y pH en agua de cada horizonte de las situaciones correspondientes a 1986 y 2006.

HORIZONTES	A1 1986	A1 2006	AC 1986	AC 2006	C 1986	C 2006
Prof.de muestra	0-23	0-28	23-63	28-63	63-90	63+
Cap.de campo%	18.10	17.90	15.70	16.00	11.70	14.20
P.march.perm. %	8.11	8.03	7.44	7.57	5.54	6.77

Autores como Bauer y Black (1992), Lal y Greenland, 1979; Ordaz-Chaparro, 1999, citados por Medina Méndez *et al.*, 2006, indican que al aumentar el contenido de materia orgánica, la capacidad de campo se incrementa, en este caso la variación porcentual en el contenido de materia orgánica no incidió significativamente en el resultado del presente análisis. El resultado de capacidad de campo dio valores semejantes en ambos años analizados.

Los datos de punto de marchitez permanente son analizados en este trabajo para ser utilizado en la curva de capacidad hídrica, que se mostrará más adelante. Los valores de Punto de Marchitez Permanente no figuran en las Cartas de suelos, pero a los fines prácticos fueron estimados en base a los datos de granulometría y, los resultados obtenidos fueron semejantes en ambas situaciones (Tabla 5).

Cationes de intercambio, pH y conductividad eléctrica

En la tabla 6 se presentan los valores de los cationes de intercambio, observándose que hubo variabilidad entre ambas situaciones. Para profundizar en la comparación en la tabla 7, se presentan los porcentajes de saturación de cada una de las bases calculadas, pudiéndose observar que el porcentaje de calcio fue algo inferior en todos los horizontes de la situación actual respecto a la del año 1986. En cuanto a los porcentajes de magnesio y potasio los valores fueron superiores en todos los horizontes de la situación actual que en la de referencia, mientras que los valores de sodio fueron inferiores en todos los horizontes de ésta misma situación, que en los horizontes del año 1986.

Tabla 6: Bases de intercambio de cada horizonte de las situaciones bajo estudio, pH y conductividad eléctrica del horizonte C.

HORIZONTES	A1 1986	A1 2006	AC 1986	AC 2006	C 1986	C 1986
Prof.de muestra	0-23	0-28	23-63	28-63	63-90	63+
Cat. Interc. me/100gr						
Ca	7.60	7.02	8.60	7.65	7.10	6.63
Mg	1.20	2.03	1.70	2.27	1.70	2.60
Na	0.30	0.07	0.30	0.07	0.30	0.10
K	1.50	1.88	1.00	1.50	1.00	1.41
pH en agua 1:2.5	5.90	5.88	6.60	6.30	7.00	6.55
Cond.elect µs/cm						103.00

Tabla 7: Nivel de saturación de las diferentes Bases intercambiables en cada horizonte de las situaciones correspondientes a 1986 y 2006. Se presentan los datos de las bases de intercambio como porcentaje de saturación individual de cada una de las bases.

HORIZONTES	A1 1986	A1 2006	AC 1986	AC 2006	C 1986	C 2006
Prof.de muestra	0-23	0-28	23-63	28-63	63-90	63+
% Sat. de c/ base						
Ca	55.00	53.00	66.00	59.00	67.00	62.70
Mg	8.76	15.40	13.10	16.57	16.19	24.59
Na	2.19	0.53	2.32	0.53	2.85	0.95
K	10.90	14.26	7.75	11.38	9.52	13.33

Miller *et al.*, (1981), indican que en suelos agrícolas hay pérdida de bases producidas por la extracción de los vegetales y que no son reincorporados al suelo. En este sentido en la situación actual estudiada esto solo coincidió con lo observado para el calcio que sufrió una leve disminución, en cambio, no se observó este comportamiento para el caso del potasio y el magnesio; es posible que las diferencias encontradas en este análisis no se deban exclusivamente al uso del suelo, sino también, a la remoción natural de bases para el caso del calcio, mientras que los incrementos encontrados en las cantidades de potasio y magnesio podrían estar relacionados a errores metodológicos

Miller *et al.*, (1981), también afirman que estas pérdidas de bases pueden producir la acidificación del suelo, aspecto observado en la situación actual del presente trabajo, en donde ocurrió una leve disminución del pH, con respecto a la situación de referencia (Tabla 6).

Los valores de pH fueron semejantes en ambas situaciones en el primer horizonte, mientras que en los últimos dos horizontes se pudo observar una leve disminución del mismo en la situación actual (año 2006) con respecto a la situación de referencia. Estos resultados son coincidentes con los de Sanzano (2005) quien afirma que el pH en un suelo bajo siembra directa sufre una leve disminución. Lo mismo afirma Prause *et al.*, 2005, quienes encontraron poca variación en el pH de dos sistemas de cultivo, convencional y conservacionista. En la carta de suelos no se encuentra el dato de conductividad eléctrica, pero en este trabajo se realizó la medición de la misma en el último horizonte, obteniendo un valor que no indica problemas de salinidad (Tabla 6).

Suma de bases, capacidad de intercambio catiónico y saturación con bases

La sumatoria de bases resultó algo superior en los datos que arrojó el análisis de la situación actual (año 2006) para los horizontes A y C con respecto a la situación de referencia, lo cual se debería a un incremento en la cantidad cuantificada de algunos cationes de intercambio, como el magnesio y el potasio (Tabla 8). Para el horizonte AC del suelo estudiado en 2006 se observó que la sumatoria de bases fue inferior que en la condición extraída de la Carta de Suelos.

Tabla 8: Sumatoria de bases, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases de cada horizonte de las situaciones correspondientes a 1986 y 2006

HORIZONTES	A1 1986	A1 2006	AC 1986	AC 2006	C 1986	C 2006
Prof.de muestra	0-23	0-28	23-63	28-63	63-90	63+
Σ de bases cmol/kg ⁻¹	10.60	11.00	11.60	11.49	10.10	10.74
CIC cmol/Kg ⁻¹	13.70	13.18	12.90	13.17	10.50	10.57
Sat. Bases %	77.00	83.00	89.00	87.00	96.00	100.00

Si se observan los valores de capacidad de intercambio catiónico (Tabla 8) surge que no existieron diferencias entre las dos situaciones, no coincidiendo con lo dicho por autores como Moreno (2000) y Sanzano (2005), quienes indican una disminución en la CIC en suelos alterados por el laboreo. La similitud de valores encontrados indicaría la semejanza en granulometría entre ambos momentos.

En cuanto a la saturación de bases los resultados encontrados muestran valores superiores en los horizontes A y AC del año 2006 con respecto al año 1986, mientras que el horizonte intermedio presentó un valor inferior, si se lo compara con el dato de la Carta de Suelos (Tabla 8).

Estos cambios observados, si bien algunos datos coinciden con lo afirmado por varios autores, no son suficientemente diferentes entre las dos situaciones como para afirmar que se deben al tipo de uso del suelo y no a la variabilidad propia del muestreo.

Densidad aparente del suelo

Tabla 9: Densidad aparente de los primeros horizontes del suelo correspondiente a la situación actual (2006).

	Ap1	Ap2	A2
Densidad aparente	1.09 Mg. m ⁻³	1.05 Mg. m ⁻³	1.07Mg.m ⁻³

Es importante aclarar que los resultados obtenidos del análisis de la densidad aparente no pueden ser comparados con la Carta de suelos porque es un dato que no está incluido en ella, pero es una variable importante de estudiar ya que da una idea de cómo está afectando el uso actual del suelo a las condiciones físicas del mismo.

Si bien el suelo de la situación actual tiene un largo período de uso, los datos de densidad aparente encontrados fueron menores a los observados por Sacchi y De Pauli (2002) en un suelo de textura limosa con semejante condición de uso, como así también a los encontrados por Sans y Bouen, (1978), citados por Bricchi, (1996) quienes afirman que en texturas arenosas densidades aparentes de 1.35 Mg.m³ afectan el crecimiento radicular.

Los resultados de densidad aparente obtenidos en el presente trabajo son inferiores a los que plantea Pritchett, (1990) como normales para cada textura.

Contenido de humedad a diferentes succiones

El análisis realizado sobre el contenido de humedad a diferentes succiones permitió poder analizar las curvas de retención de humedad para el suelo de la situación actual, arrojando los resultados que se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10: Contenidos de humedad a diferentes succiones en cada horizonte del suelo de las situaciones correspondientes a 1986 y 2006.

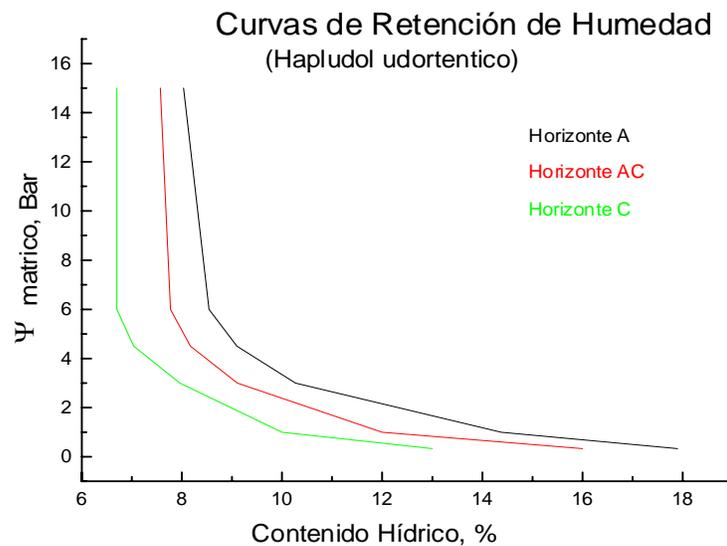
	Ap1	Ap2	A2	AC	C
0.33bar	18%	18%	17.8%	16%	14.73%
1bar	15.14%	14.00%	14%	12%	10%
3bar	10.26%	10.45%	10.10%	9.11%	7.96%
6bar	8.50%	8.46%	8.67%	7.77%	6.70%
15bar	7.93%	8.11%	8.06%	7.57%	6.70%

En la figura 4 se puede observar las curvas de retención de humedad de los horizontes del suelo estudiado en la actualidad. El contenido hídrico en las diferentes succiones fue mayor en el horizonte A que en los restantes, esto se debería al mayor contenido de coloide presente. Las curvas de los horizontes AC y C, se encuentran por debajo de la primera. También se debe considerar la Dap para analizar estas curvas, ya que está influenciando la porosidad total que es donde está contenida el agua en el suelo, esto significa que si la Dap se modificara por alguna condición de uso que la incremente y esto produjera una disminución de los macroporos y un aumento de los microporos la consecuencia sería una disminución en la capacidad hídrica en el suelo, según lo demostrado por Bricchi (1996), en un suelo de la región de Río Cuarto y de textura franca arenosa muy fina.

Analizando cualquier de las tres curvas se puede observar que no existen grandes diferencias entre el contenido de humedad del suelo a una succión de 6 bares y 15 bares, o sea que podemos suponer que si se produjera en algún momento un estrés hídrico es muy pequeña la diferencia entre los dos potenciales nombrados y rápidamente se llegaría al punto de marchitez permanente.

Se asume que las Curvas de Retención de Humedad para año 1986 serían semejantes a las del año 2006 ya que los valores de humedad equivalente para el primer año son muy semejantes a los de la situación analizada actualmente.

Figura N°4: Curvas de retención de humedad de cada horizonte del Hapludol udorténtico, de la serie Alejo Ledesma.



CONCLUSIONES

- Se encontró una mayor disminución del contenido de materia orgánica que del nitrógeno total. Dichas disminuciones no son tan marcadas como se esperaba al inicio del trabajo.
- El pH disminuyó como era lo esperado, pero como es una propiedad dinámica que puede cambiar en menos tiempo que los 20 años tomados en el presente estudio se entiende que tendría que medirse mayor número de veces en intervalos de tiempo menores para concluir certeramente si el cambio leve encontrado se debe realmente al uso del suelo.
- La CIC se mantuvo relativamente estable, no coincidiendo con lo esperado al inicio de este trabajo.
- La saturación de bases resultó levemente superior no pudiendo afirmar que esto se deba al uso del suelo.
- El contenido hídrico a capacidad de campo no mostró cambios entre las dos situaciones y por lo tanto no coincidió con lo que se esperaba.
- En función de las conclusiones anteriores se considera que para realizar un análisis de indicadores de calidad de suelos deberían ser elegidos éstos por el nivel de impacto que tengan en la zona de estudio, además tendrían que tomarse intervalos de tiempo mucho menores al que se tomó en el presente trabajo, para poder determinar con mayor precisión cuales son los cambios producidos por el uso y cuantificar a los mismos con metodologías lo más semejante posible para evitar errores.

Abril A., P. Salas, E. Lovera, S. Kopp, N. Casado-Murillo, 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de Argentina. Ciencia del suelo, v.23 n.2 Buenos Aires ago. /dic. 2005.

Álvarez, C., M. Barraco 2005. Efecto de los sistemas de labranzas sobre las propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos. Boletín técnico N° 4 ISSN-0329-109X. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria General Villegas.

Bauer A., Black A.L. 1981. Soil Carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. Soil Sci. Soc Am J 45, 1166-1170

Bauer, A. y A. L. Black 1992. Organic Carbon effects on available water capacity of three Soil Textural Group. Soil Science Society of America Journal; vol 56, n°1: 248-254.

Bautista Cruz, A; J. Etchevers Barra; R.F. del Castillo y C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Año XIII N° 2/ 2004 mayo-agosto.

Bricchi, E. 1996. Relación entre la compactación, morfología y propiedades físicas de un Hapludol típico de Río Cuarto. Tesis Magíster Scientiae. Universidad de Buenos Aires 163 pp.

Bricchi, E; F. Formía; G. Espósito; L. Riberi y H. Aquino. 2004. The effect of topographic, tillage and stubble grazing on soil structure and organic carbon levels. Spanish Journal of Agricultural Research 2 (3), 409-418.

Burkart, R; N.O Barbaro; R.O Sánchez y D.A Gómez, 1999. Ecoregiones de la Argentina. Presidencia de la Nación. Secretaria de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.

Buckman, H. y N. Brady, 1970. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simón, SA. Barcelona. Pág. 50-73.

Campbell, C.A. 1978, Soil organic carbon, nitrogen and fertility. In soil Organic Mather.

Schnizer, M and S.V. Khan (Eds). Dev Soil Sci, vol 8. Elsevier Scientific. Amsterdam. pp. 173-271

CIAT, 2002. Memoria taller de indicadores locales de calidad de suelos, CIAT Ladera, USDA- ARS. Estelí -Nicaragua 28pp.

Chidiak K. M y M. R Murmis 2003 Gestión Ambiental en la Agroindustria: Competitividad y Sustentabilidad. Estudio 1 EGG 33.4 Préstamo BID 92555/OC-AR. PREII. Coordinación de Estudio: Oficina de la CEPAL- ONU, Buenos Aires, Argentina

Cosentino D; A. Costantini y A.Segat 1996. Variaciones en Carbono Orgánico, Carbono de Biomasa Microbiana y su relación con algunas propiedades físicas de un suelo sometido a diferentes sistemas de labranzas. XV Congreso de la Ciencia del Suelo. Actas. Santa Rosa, La Pampa. pág. 49

Crovetto Lamarca C.1992. Rastrojos sobre el suelo, una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria. Concepción. Chile. Pág. 239 – 240

Dalurzo C.H; D.M. Toledo y S. Vázquez.2005 Estimación de los parámetros químicos y biológicos en oxisoles con uso citrícola. Ciencia del suelo vol.23, num.2 Buenos Aires ago. /dic. 2005

Doran J. W; M. Sarrantino y M.A Liereberg 1996. Soil Health and sustainability. Adv. Agronomy. 56: 1- 54

Doran J.W y T.B. Parkin 1996. Quantitative Indicators of soil Quality. A Minimum Data Set in Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Inc Madison, Wisconsin, USA.

Esposito, G.P. 2002 Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a diferentes sistemas de labranzas en cultivo de maíz. Master's thesis. Universidad de Río Cuarto. Córdoba. Argentina 133pp.

Etchevehere, L. A 1976. Normas de reconocimiento de suelos 2^{da} ed. INTA. Departamento de suelos. Castellar. Buenos Aires.

Gee y Bauder 1986. In Methods of Soil Analysis, Part 1, Cap. 15. Sec. Edition.

A. Klute, Editor American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.

Hamblim A. 1991. Sustainable Agricultural Systems: What are the appropriate measures for soil structure? *Austr. J Soil Res* 29: 709 - 715, (Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Vol. 12 Pág. 75 1994)

Hampp E; F. Formía 2002. Material de Apoyo Didáctico de la Cátedra de Sistema Suelo. UNRC Ed. CEIA

Hampp, E. 2002 Material de Apoyo Didáctico de la Cátedra de Sistema Suelo. UNRC. Ed. CEIA

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (1986) Cartas de Suelos de la República Argentina. Hoja 3363-28 Canals. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables.

Jenny, H. 1941. *Factors of Soil Formation*. Mc Graw Hill. New York. USA. 281 pp.

Krüger, H; S. Venanzi y J. Galantini. 2004. Rotación y cambio en propiedades químicas de un Hapludol típico del sudoeste bonaerense bajo labranza. E.E.A INTA Bordenave. (Texto publicado en internet)

Malagón Castro, D.1974. *Propiedades físicas de los suelos*. Vol. X N°1. Instituto Geográfico Agustín Cadozzi. Dirección Agrológica. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Mérida, Venezuela.

Medina- Méndez, J; V.H, Volke-Haller; J. González-Ríos; A. Galvis-Spínola; M.J. Santiago-Cruz; J.I. Cortés-Flores. 2006. Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en luvisoles del estado de Campeche. www.ujat.mx/publicaciones/uciencia. 22(2):175-189

Miller, C.E; J.M; Turk; H.D.Foth. 1981. *Fundamentos de la ciencia del suelo*. Pág145- 160

Moreno I.S 2000 Tesis de postgrado. La materia orgánica y el uso de los suelos, su impacto sobre las propiedades físicas. Universidad del Sur. Bahía Blanca.

Moreno I; E Bonadeo; I Bernardo y M Bongiovanni 1999. El sistema suelo-planta.

Evaluación e interpretación de sus principales características. Apunte de cátedra .UNRC

Moreno, I; E, Bonadeo; I, Bernardo; M, Bongiovanni y R, Marzari. 2005. Diagnóstico de la condición física y química de los suelos. Apunte de cátedra. UNRC

Page, A.L; R.H, Miller and D.R, Keeney (eds.) 1982. Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties. Agron. Monograph N° 9 ASA, SSSA. Madison, Wisconsin, USA.

Panigatti, JL; H Marelli & D Buschiazzo (eds.). 2001. Siembra Directa II. INTA. Buenos Aires. Argentina. 377 pp.

Pires Da Silva, A.; S. Imhoff; N.F.B Giarola y C.A Tormena 2001. Análisis multivariados y univariado en la discriminación de sistemas de uso de suelos en la Provincia de Santa Fé. Edafología. Volumen 8. Pág. 21-34. Publicado por la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo.

Porta Casanellas J; M. López Acevedo Reguerin y C. Roquero De Laburu. 1999 Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Pág. 183-187.

Prause, Juan; C. Fernández-López; H.C. Dalurzo.2005. Propiedades de un Durustol éntico bajo labranza convencional y siembra directa. Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias. Corrientes, Argentina

Pritchett, W. 1990. Suelos forestales. Editorial Limunsa, México D.F. 364pp

Quiroga A. 2003. Indicadores de calidad de suelos. Sumario año XXXV. Número 275. Septiembre 2003.

Quiroga, A; O. Ormeño; N. Peinerman. 2005 Materia Orgánica, un indicador de calidad de suelos relacionado con la productividad de los cultivos. EEA INTA Anguil. Facultad de Agronomía. Crea Oeste Arenoso UNSur. Archivo pdf internet

Ragonesse, A. E 1967 Vegetación y Ganadería de la República Argentina. Colección

científica de INTA

Reyes, J.I; P. Silva; E. Acevedo.2002. Efecto de cuatro temporadas de cero labranzas y manejo de rastrojo en las condiciones físicas y químicas de un suelo aluvial de la zona central de Chile. (Texto publicado en internet.)

Richards, L. A. 1965. Physical conditions of water in soil. En: Black, C. A (Ed). Methods of soil analysis. Part I. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.

Sacchi, G; C. De Pauli.2002. Evaluación de los cambios en las propiedades físicas y químicas de un Argiustol údico por procesos de degradación. Agrocienca. Vol.VI N°2 pág. 37-46

Sanzano, G.A; R.D, Corbella; J.R, García; G.S, Fadda. 2005. Degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo del suelo. Ciencia de suelo v.23 n.1 Buenos Aires ene/jul. 2005.

Silva A.A. 1995. La materia orgánica del suelo. Facultad de Agronomía de Uruguay. Uruguay. (Texto publicado en internet).

Silva Rossi, M.M 2006. Materia Orgánica: su utilización en la evaluación de la calidad del suelo en distintos ambientes del sur de Santa Fe. (Texto publicado en internet)
SSSA Special Publication Number 49. Pág. 25-33

Verri J.L. 2004. Efecto del uso y del manejo sobre la materia orgánica total y sus fracciones en un Hapludol típico. Trabajo final presentado para optar de grado de Ingeniero Agrónomo. UNRC. FAV

Villamil M.B; N.M. Amiotti; N. Peineman 1997. Pérdida de fertilidad física en los suelos del sur del Caldenal (Argentina) por sobrepastoreo. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. 8000 Bahía Blanca. Argentina. (Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Volumen 15. pág. 102)

Worthen, E.L.; S.R. Aldrich; J.S. de la Loma. 1967. Suelos agrícolas, su conservación y fertilización. Pág.43-166,167.

