



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y**  
**VETERINARIA**

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

*“Análisis Comparativo de Atributos Físicos y Químicos  
entre un Suelo Prístino y otro Antropizado.”*

Sebastián M. Garis  
31767074

Director: Moreno, Inés  
Co-Director: Hampp, Eugenio

Río Cuarto – Córdoba  
Agosto 2011

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

*“Análisis Comparativo de Atributos Físicos y Químicos  
entre un Suelo Prístino y otro Antropizado.”*

Autor: **Sebastián M. Garis**

DNI: **31767074**

Director: **Moreno, Inés**

Co-Director: **Hampp, Eugenio**

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado  
Evaluador:

.....

.....

Fecha de presentación: ...../...../.....

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

.....

Secretario Académico

## *Agradecimientos*

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

*A mis cuatro abuelos*

*A mis tíos*

*A mi novia*

*A mis Amigos y compañeros: que me dieron fuerzas en todo momento. A mis otros amigos, los que nos están acá pero igual siempre están presentes.*

*A mi directora, Inés, quien me quitó y dedico su tiempo para poder llevar a cabo este trabajo.*

*A mi co-director, Eugenio, quien me brindo toda su apoyo y ayuda incondicional*

*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 los que creyeron y confiaron en mí.*

*A todos muchas gracias.*

*Sebastián*

# ÍNDICE

Certificado de aprobación.....	II
Dedicatoria.....	III
<b>Índice General.....</b>	<b>IV</b>
Índice de figuras.....	VI
Índices de cuadros.....	VII
<b>Resume.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Summary.....</b>	<b>IX</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Presentación del trabajo.....	1
1.2 Antecedentes.....	4
1.3 Hipótesis.....	14
1.4 Objetivos.....	15
a) Objetivos generales.....	15
b) Objetivos específicos.....	15
<b>2. Materiales y Métodos.....</b>	<b>16</b>
2.1 Ubicación de la zona en estudio.....	16
2.2 Descripción de la zona en estudio.....	18
2.2.1 Clima.....	19
2.2.2 Vegetación.....	19
2.2.3 Geomorfología y suelo de la zona en estudio.....	20

2.2.4 Características del suelo bajo monte.....	21
2.2.5 Características del suelo laboreado.....	24
2.3 Actividades realizadas a campo y laboratorio.....	26
a) Fraccionamiento físico de la materia orgánica.....	26
b) Materia orgánica.....	27
c) Nitrógeno.....	27
d) Fosforo.....	27
e) Estabilidad de agregados.....	28
f) Densidad aparente.....	28
<b>3. Resultados y discusiones.....</b>	<b>29</b>
1. Materia orgánica y nitrógeno.....	29
1.1 Fraccionamiento físico de la materia orgánica.....	30
1.2 Cambios en los contenidos de nitrógeno orgánico.....	33
1.3 Relación C/N.....	35
2. Distribución y cambios en el fósforo extractable.....	36
3. Estabilidad de agregados.....	39
4. Densidad aparente.....	42
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>45</b>
<b>5. Bibliografía.....</b>	<b>46</b>
<b>6. Anexos.....</b>	<b>56</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1: Evolución de la materia orgánica en el tiempo.....	8
FIGURA N°2: Ubicación de la zona de estudio.....	16
FIGURA N°3: Ubicación de la zona de estudio, sitios de muestreo.....	17
FIGURA N°4: Ubicación de la zona de estudio, lugar de muestreo.....	18
FIGURA N°5: Características del suelo bajo monte.....	22
FIGURA N°6: Características del suelo laboreado.....	24
FIGURA N°7: Contenido de MO total y fraccionadas en Tn/ha para Nalt y Alt.....	31
FIGURA N°8: Pérdidas de MO fraccionadas en %.....	31
FIGURA N°9: Contenido de MO total y fraccionadas de la situación bajo monte.....	33
FIGURA N°10: Contenido de MO total y fraccionadas de la situación laboreada.....	33
FIGURA N°11: Contenido de N total y fraccionado de la situación bajo monte.....	34
FIGURA N°12: Contenido de N total y fraccionado de la situación laboreada.....	34
FIGURA N°13: Contenido de P extractable de la situación bajo monte.....	38
FIGURA N°14: Contenido de P extractable de la situación laboreada.....	38
FIGURA N°15: Estabilidad de agregados para la situación bajo monte.....	41
FIGURA N°16: Estabilidad de agregados para la situación laboreada.....	41
FIGURA N°17: Densidad aparente para la situación bajo monte.....	44
FIGURA N°18: Densidad aparente para la situación laboreada.....	44

## ÍNDICES DE CUADROS

CUADRO N°1: Características del perfil del suelo de la situación bajo monte.....	23
CUADRO N°2: Características del perfil del suelo de la situación bajo laboreo.....	25
CUADRO N°3: Materia orgánica y nitrógeno.....	29
CUADRO N°4: Distribución y cambios en el fosforo extractable.....	36
CUADRO N°5: Estabilidad de agregados.....	39
CUADRO N°6: Densidad aparente.....	42

## RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en la cercanía de La Maruja, en la provincia de La Pampa, Republica Argentina sobre suelos Haplustoles, uno en condiciones prístinas (Nalt) y otro con 52 años de desmonte y uso continuo agrícola-ganadero (Alt). Se planteó la hipótesis de que la disminución de la materia orgánica del suelo en Alt impacta sobre varias propiedades de los mismos afectando el comportamiento global del sistema suelo-planta. El objetivo principal fue, analizar algunos parámetros físicos y químicos, de ambas situaciones y realizar una comparación entre los resultados obtenidos, tomando como referencia la situación prístina, y de esta manera concluir sobre la evolución de dichos parámetros a lo largo de los últimos 52 años de uso. Las variables físicas analizadas fueron: la estabilidad de agregados y la densidad aparente. Las variables químicas fueron: el porcentaje de materia orgánica total y fraccionada, y nitrógeno total de las fracciones y fósforo disponible. Los resultados obtenidos llevan a concluir que la intervención antrópica, en la situación estudiada, provoca notables disminuciones de la materia orgánica, particularmente la fracción joven, aspecto que impacta en los atributos físicos y químicos de los suelos estudiados.

**Palabras claves:** prístino, desmonte, uso del suelo, parámetros físicos, parámetros químicos.

## SUMMARY

This project was carried out in the vicinity of La Maruja, province of La Pampa, Argentine Republic. It deals with Haplustol soils, one in pristine conditions (Nalt, [*Not altered, No alterado*]) and the other one with 52 years of clearing and continuous farming and cattle raising use (Alt, [*Altered, Alterado*]). The proposed hypothesis stated the decrease of soil organic matter in Alt has an impact on several of the soil properties, affecting the overall behaviour of the soil-plant system. The main objective was to analyze some physical and chemical parameters of both situations and make a comparison between the results achieved, taking the pristine situation as reference, and thus conclude about the evolution of these parameters over the last 52 years of use. The physical variables analyzed were: aggregate stability and apparent density. The chemical variables were: percentage of total and fractionated organic matter, total nitrogen of the fractions and available phosphorus. The results achieved lead to the conclusion that the anthropic intervention in the studied situation causes remarkable decreases in organic matter, particularly the young fraction. This aspect affects the physical and chemical attributes of the studied soils.

**Key words:** pristine, clearing, use of soil, physical parameters, chemical parameters.

# 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; a su vez actúa a través de su acción como filtro y medio buffer para el agua, los nutrientes y sustancias químicas. La calidad o salud del mismo 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 un determinado 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.

Según la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, la seguridad alimentaria y energética, la disponibilidad de agua y la calidad y adaptación al cambio climático y mitigación de sus efectos son algunos de los mayores desafíos que enfrenta nuestra sociedad. Una adecuada gestión de los suelos ofrece el potencial de proporcionar soluciones para cada uno de estos desafíos.

El suelo en los ecosistemas proporciona servicios de secuestro de carbono, ciclos de nutrientes, purificación del agua, tratamiento de residuos, provisión de bienes industriales y farmacéuticos, y es un atenuante de sumideros de agentes químicos y biológicos, que mejoran la capacidad de adaptación de la gestión y los sistemas naturales. La salud del suelo, sin embargo, se enfrenta a un aumento de la población vinculado con amenazas de contaminación, desarrollo urbano no planificado, la desertificación, la salinización, la mala gestión y la erosión. Proteger y promover la salud del suelo, asegura la alimentación y la seguridad energética, ayuda en el cambio

climático adaptación y mitigación y conserva y mejora la calidad del agua (Keating *et al.*, 2010).

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 y 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: 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 físico-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.

Este trabajo surgió como una pregunta, ¿el desmonte mas el uso intensivo posterior, produce degradación de los suelos? Con respecto a esto, se analizaron algunos indicadores físicos y químicos en un Haplustol de la Región del Caldenal, en la Provincia de La Pampa, en dos situaciones de uso: - suelo bajo monte, donde el principal manejo ha sido ganadero versus un suelo laboreado, de 52 años de desmonte, siendo la siembra convencional el principal manejo realizado. Esta comparación tiene la finalidad de cuantificar los cambios producidos en algunas propiedades de dinámica intermedia del suelo laboreado en relación al suelo no laboreado.

## **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). Los cambios producidos en la misma, sea en cantidad, calidad o en su dinámica, producen impactos de gran magnitud sobre el funcionamiento de los suelos.

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).

Una de las funciones básicas de las sustancias húmicas citadas por Orlov (1995), es la función reguladora de las mismas sobre distintas propiedades físicas, físico-químicas y químicas de los suelos.

Las labranzas han sido identificadas como factores que controlan el nivel de materia orgánica de los suelos (Parton *et. al.*; 1989, citado por Cosentino *et. al.*; 1996).

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. Los cambios de usos del suelo, no solo afectan al contenido y distribución de carbono orgánico del suelo en los horizontes superficiales, sino también en los profundos (Ibañez, 2006).

La caracterización clásica de la materia orgánica se ha basado en el fraccionamiento químico, el cual da información sobre los tipos de compuestos presentes con aplicaciones poco significativas en el campo de la agropedología (Feller y Beare, 1997). Por su parte, los métodos de fraccionamiento físico de la materia orgánica son considerados menos destructivos y los resultados obtenidos están más directamente relacionados a la estructura y función de la materia orgánica *in situ* (Christensen, 1992). Sin embargo, el aislamiento cuantitativo y el estudio de las fracciones órgano-minerales usualmente requieren una combinación de métodos físicos y químicos degradativos. Algunos cambios en la organización estructural de la materia orgánica son inevitables.

El fraccionamiento por tamizado en seco o en húmedo de grupos de agregados por tamaño es probablemente el método menos destructivo para aislar complejos órgano-minerales para su estudio (Buyanovsky, *et. al.*, 1994).

El nombre de las fracciones orgánicas separadas por métodos físicos generalmente está asociado con características del material aislado, aspectos operacionales o conceptuales (Andriulo *et al.*, 1990; Elliott & Cambardella, 1991; Gregorich & Ellert, 1993; Sollins *et al.*, 1999; Wander, 2004). Se la ha denominado materia orgánica “joven”, “particulada”, “liviana”,

“libre”, “activa”, “macro-materia orgánica”, etc., al material orgánico más joven y activo del suelo, compuesto por partículas de mayor tamaño que el humus, en forma libre en la matriz mineral, y por eso es más liviana que los complejos órgano-minerales. Y el material más viejo, humificado, formado por sustancias orgánicas del suelo con exclusión de los residuos orgánicos y la biomasa edáfica, de peso molecular relativamente alto, de color pardo oscuro.

En suelos prístinos el contenido de humus es determinado por la textura del suelo, la topografía, las condiciones climáticas y la vegetación natural. Por regla general, el contenido de humus es más alto en climas fríos que en cálidos. Además el contenido de humus es mayor en suelos de textura fina que en los de textura gruesa (Echeverría, *et.al.* 2006).

Fenton *et al.* (1999), citados por Bricchi *et al.* (2004) calcularon en la región chaqueña, 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.

Hall *et. al.* (1992) afirman que la agriculturización en los últimos 30 años en la pampa ondulada de la República Argentina, con rotaciones maíz-trigo-soja, y bajo labranza convencional provocó disminuciones en los niveles de carbono orgánico de un 20 a un 50%.

Campbell and Souster (1982) Tiessen *et al.* (1982) demostraron que suelos con praderas de gramíneas pierden del 30 al 50% de su materia orgánica original luego de ser cultivados por 40-50 años. Bauer y Black (1981) y Havlin *et al.* (1990) independientemente demostraron que las pérdidas de carbono orgánico del suelo estuvieron directamente relacionadas a la intensidad de las labranzas.

Experiencias realizadas por Diaz-Zorita (1996) permiten afirmar que los contenidos de materia orgánica del suelo luego de tres años de ensayos muestran reducciones de distintas magnitudes en los tratamientos con labranza, con relación a los de una pastura adyacente tomada como referencia.

La descomposición de la materia orgánica fresca implica la ruptura en piezas cada vez de menor tamaño y un aumento de su densidad, como consecuencia de la pérdida del aire atrapado en las estructuras vasculares que se van destruyendo. Generalmente se define al humus como el producto final de la transformación de los residuos orgánicos. En realidad, es el producto con mayor grado de transformación, pero que continúa evolucionando con el tiempo,

sólo que cada vez más lentamente. La dinámica de la materia orgánica depende tanto de su composición química como de la ubicación e interacción en la matriz del suelo, aspectos que condicionan su accesibilidad para los microorganismos o enzimas (Sollins *et al.*, 1999). Está relacionada con el aporte de materia seca, así como con las características del clima (precipitación, temperatura) (Alvarez & Lavado, 1998) y del suelo (textura, profundidad, etc.).

Alvarez y Lavado (1998) trabajaron en suelos de la pampa argentina y de la llanura chaqueña encontraron una alta correlación entre el contenido de carbono y arcilla hasta los 50 cm de profundidad, no obstante consideraron que la distribución de carbono y arcilla en profundidad indica que en suelos bajo régimen de humedad údico, la arcilla tiende a acumularse en profundidad, mientras que el carbono lo hace en la superficie; por el contrario, bajo condiciones de humedad ústicas, donde la distribución de arcilla fue uniforme hasta los 50 cm, el carbono orgánico manifestó menor estratificación. Esto llevó a afirmar que a medida que el ecosistema tiende a ser más húmedo, los componentes mencionados siguen tendencias opuestas en su localización en el perfil.

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).

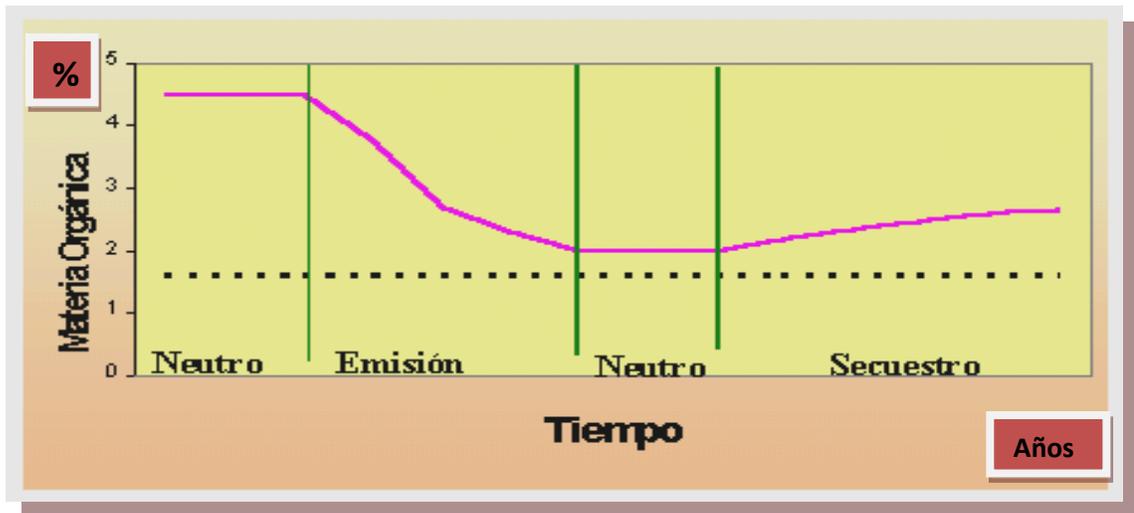


Fig. 1. Evolución del contenido de materia orgánica en el tiempo. Cambios producidos por efecto de las labranzas. (Quiroga, 2003).

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 labranzas 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 Rio Cuarto, en la ecoregión del espinal, Bricchi (1996) mostró pérdidas de materia orgánica del orden del 66% en los primeros 12 cm de espesor de 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 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 de 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 total inicial para poder analizar dicha pérdida.

Una de las manifestaciones del deterioro de la condición física de los suelos es la disminución en la estabilidad de agregados. Dexter (1991), afirma que en tierras bajo uso agrícola es común la disminución de la estabilidad de agregados en agua como consecuencia de la disminución del contenido de materia orgánica y la compactación por el tránsito de maquinarias.

Se entiende por agregado a un grupo o conjunto de partículas donde las fuerzas de unión entre sí superan a las existentes entre éste y otros grupos adyacentes y por estructura, al arreglo u ordenamiento espacial de los agregados y poros en el suelo (Oades, 1984). En suelos donde las partículas están agregadas, el diseño y la perdurabilidad del espacio poroso dependen en gran medida de la forma, tamaño, distribución y estabilidad de los agregados (Lynch, Bragg, 1985; Quirk, Murray 1991), consecuentemente, en estos suelos el movimiento y la disponibilidad del agua y el aire pueden estar influenciados por el estado de agregación. La macroagregación es controlada por el manejo (Oades, 1984), pues la ruptura de los agregados de gran tamaño, producto de la cantidad, frecuencia e intensidad de las labores, expone a la descomposición materia orgánica relativamente lábil, previamente protegida, resultando variadas combinaciones

de elementos orgánicos con diferentes tasas de ingreso y reciclado que afectan las fuentes productoras de agentes enlazantes y sustancias adhesivas orgánicas (raíces, hifas de hongos y organismos rizosféricos). Contrariamente a lo que sucede con los macroagregados, los microagregados (<250  $\mu$ ) no son alterados por el humedecimiento ni tampoco por disturbios mecánicos incluyendo las labores de labranza (Tisdall, Oades, 1982). La estabilidad de estos agregados depende de la fuerza con que las arcillas y otros componentes inorgánicos del suelo son sorbidos a la materia orgánica particulada, residuos microbianos y otros coloides orgánicos y compuestos de origen microbiano (Jastrow, Miller, 1998).

La materia orgánica del suelo es un factor estabilizador de la estructura del suelo, ya que ayuda a mantener las partículas minerales unidas frente a las fuerzas desestabilizadoras como el humedecimiento e impacto de las gotas de lluvia (Lado et al., 2004). Se ha encontrado una alta correlación entre el contenido de carbono orgánico del suelo y la agregación (Hermawan y Bomke, 1997), así como con la estabilidad de los agregados formados (Haynes et al., 1997), debido a la acción enlazante de las sustancias húmicas y otros productos generados por la actividad microbiana (Shepherd et al., 2001). En general, la materia orgánica del suelo promueve la estabilidad de los agregados porque reduce el hinchamiento del agregado, disminuye la permeabilidad del mismo, reduce las fuerzas destructivas del fenómeno de estallido y aumenta la fuerza intrínseca de los agregados (Fortun y Fortun, 1989).

Los tiempos de ciclados de, al menos, parte de la materia macroorgánica son muchos más cortos que la asociada a microagregados. En efecto, Tisdall y Oades (1982) dicen que los microagregados, que son considerados las unidades estructurales básicas de los suelos, contienen una gran proporción de la materia orgánica más estable. Esto es debido a que parte de la misma, al estar absorbida sobre o recubriendo las partículas de los microagregados, tienen un alto grado de protección física lo que la hace menos expuesta a procesos de oxidación. Además y por las mismas razones, los macroagregados son menos estables que los microagregados debido a que: a) son más susceptibles a rupturas producidas por las herramientas de labranza; b) están más sujetos a la dispersión que resulta de humedecimientos rápidos; y, c) a la ruptura por las gotas de lluvia (Tisdall y Oades, 1980, 1982).

La relación entre el volumen de poros y el contenido de coloide orgánico ha sido demostrado por Bricchi (1996), quien encontró que la pérdida de materia orgánica produce disminución del contenido hídrico principalmente en valores de potencial cercanos a capacidad

de campo, lo que se relaciona con disminución de macroporos cuando se producen cambios estructurales por procesos de compactación.

Tomando en consideración los distintos tamaños de agregados, la materia orgánica del suelo puede ser separada en dos fracciones: a) la materia macroorgánica que es aquella que posibilita la formación de macroagregados ( $>$  a  $250 \mu$ ) y b) la materia microorgánica que es aquella unida a microagregados (Hassink, 1995).

Moreno (2000), encontró que los macroagregados son los que mayores cambios manifiestan por efecto del tiempo de uso y las labranzas.

La dinámica del nitrógeno está íntimamente ligada a la del carbono, y por lo tanto también lo hace la relación C/N (Moreno, 2000). Gregorich, *et al.* (1994) afirman que la influencia de las prácticas agrícolas sobre la relación C/N puede dar información sobre la capacidad de los suelos para almacenar y reciclar energía y nutrientes.

El efecto del manejo de los suelos sobre la relación C/N ha sido estudiado extensivamente. Así, Duxbury, *et al.* (1989), citado por Wander y Traina, (1996) dicen que en los suelos bajo agricultura hay una reducción en la relación C/N siendo la misma –en valores promedios- de 13:1, mientras que aquellas de suelos vírgenes es de aproximadamente 20:1. Contrariamente, White (1990) encontró altas relaciones C/N en la superficie de los suelos cultivados y posiblemente refleje la extensión de la descomposición de residuos de cultivos y la acumulación de materia orgánica libre o liviana. Estos resultados coinciden con los informados por Stengel, *et al.* (1984), Cambardella y Elliot (1992) y Moreno (2000).

A comienzos de los '90 los productores de la Región Pampeana comenzaron a adoptar con éxito labranzas más conservacionistas, particularmente la siembra directa. Los efectos de esta práctica se vieron reflejados en niveles mayores de materia orgánica y actividad biológica en superficie (Crespo *et al.*, 2001), en un mayor almacenamiento de agua (Fabrizzini, *et al.*, 2005) y en diferencias en cuanto a la disponibilidad de nutrientes, como fósforo.

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.

Por su parte, 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 luego de 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).

Con respecto a fósforo, se observó que la concentración de P-Bray es mayor en siembra directa en comparación con labranza convencional, especialmente en los primeros 5 cm de suelo (Zamuner *et al.*, 2006) como consecuencia de la falta de incorporación del fertilizante fosfatado y del mantenimiento de residuos vegetales sin descomponer o parcialmente descompuestos en la superficie del suelo.

Si se considera que a través de las labranzas conservacionistas, hay un mayor retorno de residuos vegetales y carbono orgánico sería de esperar que una proporción importante del fósforo del suelo se encuentre bajo distintas formas orgánicas o como biomasa microbiana, conjuntamente con una menor tendencia a formar compuestos inorgánicos. Sin embargo, el efecto de las labranzas en la distribución de las fracciones de fósforo no está totalmente comprendido, especialmente en las orgánicas, y en general se han reportado resultados contradictorios. El fósforo orgánico está compuesto por varias fracciones que varían desde las más fácilmente utilizables por la planta hasta las más resistentes a la mineralización. Puede representar desde un 15 al 80 % del contenido total de fósforo en el suelo, siendo normal encontrar valores entre el 30 y 50 % en muchos suelos. Cuando se trata de suelos pobres en este

nutriente, la mineralización de la fracción orgánica, es importante en el reciclado ya que libera fósforo inorgánico a la solución, contribuyendo a mantener un nivel adecuado del mismo para la disponibilidad de las plantas. Algunos investigadores encontraron que la cantidad de fósforo mineralizado en suelos de regiones templadas puede alcanzar valores entre 5 a 20 kg/ha/año mientras que en los suelos tropicales puede variar desde 67 a 157 kg/ha/año (Boschetti y Quintero, 2002).

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).

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  $1.30 \text{ Mg.m}^{-3}$ , 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  $1.35 \text{ Mg.m}^{-3}$  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).

### **1.3 Hipótesis**

El uso de los suelos destinados a la actividad agrícola, supone cambios de importancia en los mismos, provocando en la mayoría de los casos, una progresiva degradación, más aun en regiones frágiles con dominancia de monte naturales. La disminución de la materia orgánica del suelo y su influencia sobre varias propiedades de los mismos se considera que afecta el comportamiento global del sistema suelo-planta. Luego de 52 años de desmonte y bajo labranza convencional mayoritariamente, en un planteo agrícola-ganadero, se esperan variaciones en las condiciones físicas y químicas del suelo

## 1.4Objetivos

Generales:

Evaluar variables físicas y químicas de un suelo Haplustol, ubicado en el departamento Rancul, Provincia de La Pampa, las cuales serán utilizadas como indicadores para comparar los cambios producidos entre un suelo laboreado y con 52 años de desmonte y un suelo bajo monte natural a través del tiempo.

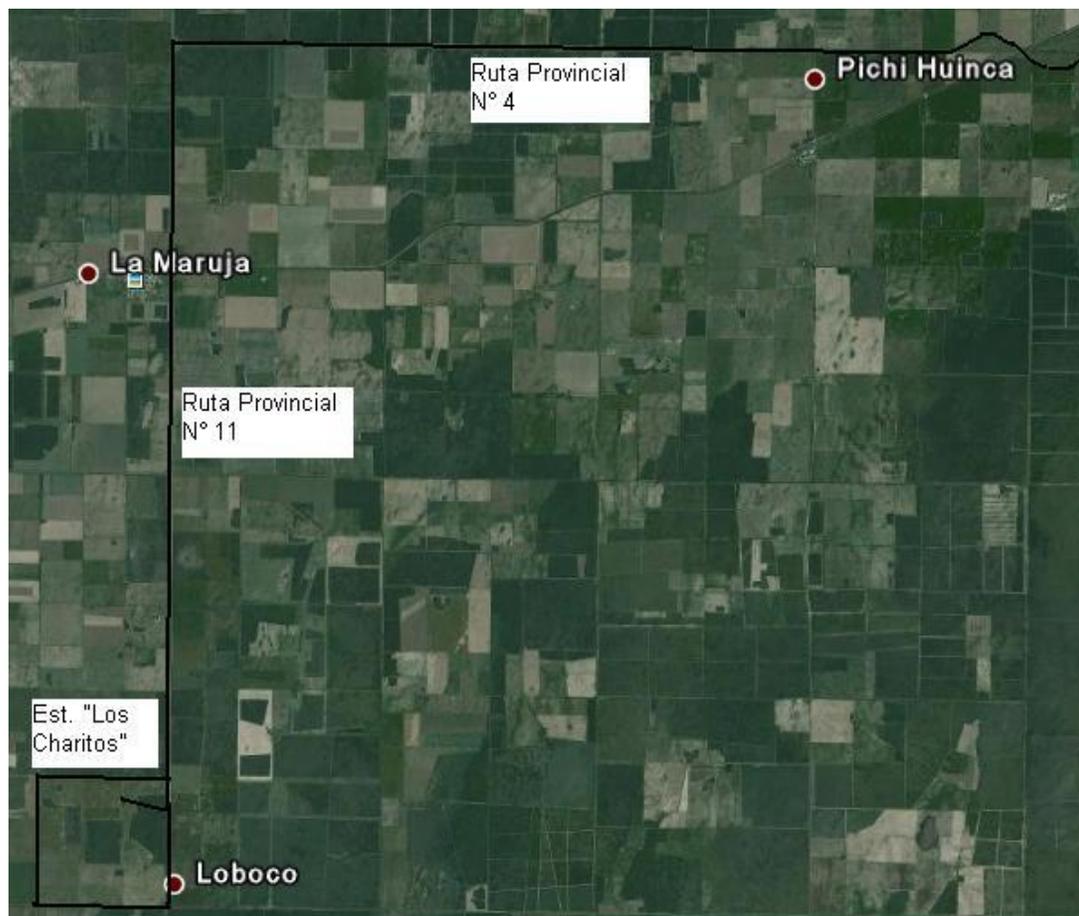
Específicos:

1. Evaluar indicadores químicos como: el porcentaje de materia orgánica total y fraccionada, el porcentaje de nitrógeno total de las fracciones y el fósforo disponible.
2. Evaluar indicadores físicos como: la estabilidad de agregados y la densidad aparente.
3. Comparar los resultados obtenidos de ambas situaciones (suelo laboreado y suelo bajo monte) para afirmar o no las hipótesis anteriormente planteadas

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1) Ubicación de la zona en estudio

El presente trabajo se realizó en un establecimiento ubicado a los  $35^{\circ} 46'S -64^{\circ} 56'W$ , en las cercanías de la localidad de La Maruja, departamento Rancul, al norte de la provincia de La Pampa, República Argentina. En la figura 2 se puede observar la ubicación de la mencionada localidad y del establecimiento.



Para el cumplimiento de los objetivos planteados se seleccionaron dos situaciones con diferentes grados de alteración: - No alterada (Nalt), con la formación vegetal correspondiente al Bosque del Caldenal, siendo su uso actual la actividad ganadera no permanente y Alterada (Alt) en una condición de 52 años de uso, principalmente agrícola-ganadero, cuyo principal labor era labranza convencional, y desde hace dos años se comenzó a utilizar siembra directa (sin incorporación de fertilizantes), cabe aclarar que hace 6 años que ese lote no es utilizado para la ganadería. Se tomaron tres muestras de cada situación, con un diseño estadístico completo al azar, (figura 3).



En la figura N° 4 se puede apreciar las características del lugar de muestreo, en el fondo la situación Nalt y en la base de la foto la situación Alt.



Figura N°4: Lugar de muestreo.

## 2.2) Descripción de la zona de estudio

Las características fisiográficas de la Provincia de La Pampa, realizada en una escala de 1:500000 han permitido esquematizarla en 4 regiones basadas en rasgos de clima, geomorfología, edafología y vegetación. (INTA, 2004).

Dentro de la gran región del caldenal y en base a las regiones climáticas definidas (árida, semiárida, subhúmeda) y a los otros procesos morfogenéticos que actuaron en cada una de esas áreas se diferenciaron 4 regiones fisiográficas, ellas son: Occidental, Central, Oriental y Meridional. (INTA, 2004).

El sitio elegido para llevar a cabo este estudio, se encuentra dentro de la “región

Central”, que a su vez se encuentra dentro de la “subregión de acumulaciones arenosas combinadas con mesetas residuales”, y dentro de la “Unidad Cartográfica de Las Planicies Limo-arenosas”. (INTA, 2004).

### **2.2.1) Clima**

El total medio anual de precipitaciones es de 668 mm con oscilaciones extremas de 300 mm hasta 1150 mm, siendo la media de los últimos 30 años de 800mm. La distribución estacional indica una marcada concentración del régimen de lluvias en el semestre cálido del año. La temperatura media anual es de 15,6 °C, siendo la temperatura media del mes más frío 8,5 °C y la temperatura media del más caliente 23,5 °C. El periodo libre de heladas ronda los 210-220 días. En cuanto al viento las direcciones dominantes son N-NE y E debido al accionar del anticiclón del Atlántico, y del S-SW por el anticiclón del Pacífico. La velocidad media anual es de unos 10 km/h, siendo la primavera la época en que poseen mayor intensidad. La presencia del bosque de caldén actúa disminuyendo la influencia erosiva del viento. (INTA, 2004).

### **2.2.2) Vegetación**

La región ecológica en la que se encuentra la zona de estudio es la llamada Región del Caldenal. La formación vegetal originaria es un bosque formado por grandes árboles aislados con una cobertura gramínea densa, predominan especies como: *Prosopis caldenia*, *Stipa gnynerioides*, *Stipa tenuissima*, *Condalia microphylla*, *Prosopis flexuosa*, *Piptochaetium napostaense*, y *Bromus catharticus*; además se encuentran los siguientes géneros: *Aristida*, *Setaria* y *Eragrostis* (INTA, 2004). Se trata de una región profundamente modificada por el hombre, particularmente desde que la colonización agrícola tomó impulso en la última década del siglo XX. Grandes partes de las comunidades vegetales nativas han sido alteradas. En su lugar existen cultivos agrícolas como maíz (*Zea maíz*), trigo (*Triticum aestivum*), centeno (*Cecale cereale*), avena (*Avena sativa*), sorgo (*Sorghum bicolor*), girasol (*Helianthus annus*),

soja (*Glicine max*) y pasturas basadas en alfalfa (*Medicago sativa*) y acompañadas por gramíneas exóticas (INTA, 2004).

### **2.2.3) Geomorfología y suelos de la zona en estudio**

En esta región, y desde el punto de vista geomorfológico, se evidencia la acción eólica con acumulación de arenas y sus geoformas características predominan en toda el área; no obstante se observan de manera aislada antiguas mesetas, cerros testigos, planicies calcáreas, etc. Esto indica que el potencial morfogenético del viento, si bien ha sido intenso, no ha logrado sepultar totalmente el relieve preexistente. La altitud promedio es de 250 m, disminuyendo en dirección N –S. (INTA 2004).

Los materiales parentales se conforman por arenas eólicas de reciente deposición, que descansan en discordancia sobre un manto de tosca. La textura de los materiales superficiales es franco con 20 % de arcilla, 35 % de limo y 45 % de arena; dentro de ésta última fracción predominan las arenas muy finas y finas (50 %). La tosca puede encontrarse desde la superficie hasta debajo de 1,5 m, pero generalmente se presenta entre los 0,50 y 1,5 m. No es posible relacionarlo con el microrelieve, siendo la profundidad y distancia de su localización muy variable. En los sectores ligeramente ondulados, el manto de tosca aparece coronando las lomadas donde pueden observarse trozos dispersos por el laboreo (INTA, 2004).

Los suelos, cartográficamente constituyen una asociación. El dominante tiene un perfil con cierta organización edafogenética, distinguiéndose un horizonte superficial arable de más de 25 cm, algo estructurado, y con buen contenido en materia orgánica y un perfil tipo A1-AC-C. Algunos suelos pueden contener hasta 50 % de limo total con textura franca a franco limosa. Muchos incluyen ceniza volcánica dentro de los primeros 25 cm, que en los campos cultivados se encuentra mezclada por el laboreo. Tiene régimen de humedad ústico, y régimen de temperatura térmica. Algunas veces puede observarse la presencia de carbonatos de calcio en la masa, conteniendo 1 % desde los 25 cm que pueden alcanzar el 2 % a los 100 centímetros. Tiene susceptibilidad a la erosión eólica, baja capacidad de retención de la humedad y tosca a poca profundidad. (INTA, 2004).

El suelo dominante es Haplustol éntico, familia franco gruesa, mixta, térmica. Se asocian Haplustoles arídicos, familia franco gruesa, mixta, térmica (suelos con buena provisión de materia orgánica dentro de los 30 cm). Suelos menores: Torripsamientos ústicos (médanos), Haplustoles páquicos (suelos cuya capa superficial contiene mucha materia orgánica y su espesor es más de 50 cm), Haplustoles petrocálcicos (suelos con buena provisión de materia orgánica, descansando sobre tosca) y algunos Haplustoles líticos (como los anteriores, pero limitando abruptamente sobre roca) (INTA, 2004).

#### **2.2.4) Características del suelo bajo monte (Nalt)**

A continuación se observa la figura N°5 correspondiente al perfil Nalt, en la cual se puede ver la abundante distribución de raíces en todo el perfil, como también la capa de ceniza volcánica, donde se puede apreciar con facilidad la discontinuidad y variación en el espesor de la misma.



Figura N°5: Perfil del suelo en la situación Nalt.

Seguidamente se describen en el cuadro N° 1 algunas características del perfil de suelo de la situación Nalt

Cuadro N° 1: Características del perfil del suelo de la situación no alterada

<b>Horizonte</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Textura</b>	<b>Estructura</b>	<b>pH 1:2,5</b>	<b>MO (%)</b>	<b>Arcilla (%)</b>	<b>Limo (%)</b>	<b>Arena (%)</b>
<b>A1</b>	0-8	Franco	Bloques subang. Finos, debiles	5,44	2,4	12,95	47,55	39,5
<b>A2</b>	8-14	Franco limoso	Bloques subang. Medio, debiles	6,5	0,9	11,6	53,6	34,8
<b>A3</b>	14-26	Franco	Bloques subang. Gruoso, moderado	7,6	1,21	12,14	49,33	38,53
<b>Ak</b>	26-45	Franco	Bloques subang. finos, debiles	8,24	1,12	11,91	48,74	39,35
<b>Ck1</b>	45-60	Franco	Masivo	8,74	1,1	13,47	38,33	48,2
<b>Ck2</b>	60-100	Franco	Masivo	8,8	0,7	13,21	36,4	50,39
<b>Cm</b>	+100	-	Tosca discont. (grava)	-	-	-	-	-

En el horizonte A2 se observan cenizas volcánicas.

### 2.2.5 Características del suelo labreado (Alt)

A continuación se observa la figura N°6 correspondiente al perfil Alt, en la cual ya no se puede ver la capa de cenizas volcánicas como en la figura N°5, esto se debe a que la ceniza se encuentra mezclada con el suelo debido a las continuas labores de labranzas.



Figura N°6: Perfil del suelo en la situación Alt.

El cuadro N° 2 contiene algunas características del perfil de suelo de la situación Alt

Cuadro N° 2: Características del perfil del suelo de la situación alterada

<b>Horizonte</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Textura</b>	<b>Estructura</b>	<b>pH 1:2,5</b>	<b>MO (%)</b>	<b>Arcilla (%)</b>	<b>Limo (%)</b>	<b>Arena (%)</b>
<b>Ap1</b>	0-6	Franco	Bloques subang. Finos muy debiles	6,9	1,36	16,1	36,95	46,94
<b>Ap2</b>	6-15	Franco	Bloques subang. Medio y finos, debiles	7	1,18	14,8	34,3	50,9
<b>Ak1</b>	15-34	Franco	Bloques subang. Medio, debiles	7,7	1,12	16,6	42,26	41,14
<b>ACk1</b>	34-55	Franco	Bloques subang. Medio y finos, muy debiles	8,2	1,1	15,2	38,58	46,22
<b>Ck</b>	55-100	Franco	Masivo	8,6	0,8	14,7	35,1	50,2
<b>Cm</b>	+100	-	Tosca discont. (grava)	-	-	-	-	-

Se detectaron carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a partir de los 15 cm de profundidad.

### 2.3) Actividades realizadas a campo y en laboratorio

Se realizaron las siguientes actividades:

- Descripción morfológica del perfil del suelo, según normas de reconocimiento de suelos de Etchevehere (Etchevehere, 1976).
- Tanto para la situación Nalt como para la situación Alt, se tomaron tres muestras al azar de cada horizonte, y se realizaron las siguientes determinaciones, las cuales son útiles como indicadores de calidad de suelos según la clasificación realizada por Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 2002). Fraccionamiento físico de la materia orgánica, determinación de carbono orgánico y nitrógeno total en las fracciones obtenidas, fósforo, estabilidad de agregados y densidad aparente.

A. **Fraccionamiento físico de la materia orgánica** (Cambardella y Elliott, 1994). El método consiste en separar por medio de agitación y filtrado la materia orgánica joven de la vieja, para poder determinar carbono orgánico lábil y resistente. La técnica consta de los siguientes pasos:

A.1) Para producir la dispersión de los agregados del suelo se pesan 30 gr de suelo, luego se agregan 60 gr de solución de hexametáfosfato de sodio al 0,5 % y 10 bolitas de vidrio, se mezcla bien, y se agita por 1 h.

A.2) Posteriormente se filtra por tamiz de 100  $\mu$ . Se recuperan por separado, las dos fracciones obtenidas, se llevan a estufa a 65 °C, hasta peso constante. Posteriormente se determina en ambas fracciones carbono orgánico, por medio del método de Mebius modificado (Page *et al.*, 1982).

Para el fraccionamiento de la materia orgánica, se utilizó un *factor de recuperación diferencial* para cada fracción, ajustado a la granulometría de la misma. Según Galantini *et al.* (1994), para Haplustoles de la región semiárida pampeana debería emplearse para la fracción > a 100  $\mu$ , un factor de recuperación de 1, y para la fracción < a 100  $\mu$  de 0,79.

B. **Materia Orgánica**, determinada por el método de Mebius modificado, (Page *et al.*, 1982). El método consiste en evaluar el oxidante no consumido en la oxidación de la materia orgánica 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.

C. Determinación de **Nitrógeno total** por medio del método de Kjeldahl, que consiste en un procedimiento de oxidación en húmedo y que consta de tres etapas: (Nelson y Sommers, 1982).

C.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 nitrógeno en  $\text{NH}_4$  (amonio) el que queda retenido en el medio ácido del sistema.

C.2) Destilación del  $\text{NH}_4$  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.

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

La determinación de nitrógeno total, se realizó en las dos fracciones resultantes del fraccionamiento físico, lo que permite conocer el contenido de nitrógeno asociado a la materia orgánica lábil y resistente.

D. **Fósforo** disponible, método de Bray-Kurtz I (Olsen y Sommers, 1982). El método conocido como Bray 1 se trata de una extracción con una solución mezcla de  $\text{NH}_4\text{F}$  0,03N y  $\text{HCl}$  0,025N, que se basa en el efecto solubilizador del  $\text{H}^+$  sobre el fósforo del suelo y la capacidad del ión  $\text{F}^-$  de bajar la actividad del  $\text{Al}^{+3}$ , evitando la reabsorción de los fosfatos en el sistema de extracción.

E. Distribución de tamaños de **agregados estables** en agua (Carter, et al., 1994). La evaluación de la estabilidad de agregados, es un indicador ligado a la calidad del suelo desde el punto de vista productivo. Cuando la estructura de la masa del suelo manifiesta estabilidad ante la aplicación de distintos tipos de energía (el efecto del agua, el tamaño de agregados, el tamaño de poros, lo cual condiciona a su vez el movimiento y distribución del agua y aire en dicho suelo, los implementos agrícolas) dan indicios de condiciones favorables en el tiempo para el crecimiento y desarrollos de las raíces. Por otro lado el tamaño de los agregados estables determina la susceptibilidad a la erosión. Para determinar la estabilidad de distintos rangos de tamaños de agregados se usan técnicas de tamizado en seco, en húmedo o ambas, según el objetivo que se persiga. En este caso se utilizó tamizado en seco y en húmedo, y el procedimiento consta de las siguientes etapas:

E.1) Secar el suelo a aire; realiza un tamizado del mismo en seco, para seleccionar agregados de diámetro entre 4-2 mm.

E.2) Realiza el tamizado en húmedo a través del agitado de los agregados en agua con cuatro tamices (2mm, 1mm, 0.5mm y 0.1mm); y posterior secado en estufa.

E.3) Pesado y el posterior agregado de Calgón al 10% para dispersar la muestra con su respectiva agitación y subsiguiente filtrado, secado en estufa

E.4) Pesado

F. Determinación de la **densidad aparente** mediante el método del cilindro. 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. (Blake and Hartge, 1986).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para hacer más comprensible el análisis de los resultados y la comparación entre las dos situaciones, cada variable analizada es expresada en distintas tablas, detallando los resultados obtenidos en el análisis de la situación Nalt y Alt. En el presente trabajo, se analizaron los horizontes más próximos a la superficie, ya que estos son los que están más expuestos a los cambios estudiados y que se originan con la intervención del hombre.

### 1) Materia Orgánica y Nitrógeno

A continuación se presentan en el cuadro N° 3 los valores obtenidos de Materia Orgánica (MO) y Nitrógeno (N)

Cuadro N°3: Porcentaje de Materia Orgánica y Nitrógeno total de las fracciones analizadas y relación Carbono- Nitrógeno de la situación Nalt y Alt.

<b>Horizontes</b>		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>Ap1</b>	<b>Ap2</b>	<b>Ak1</b>
<b>Profundidad (cm)</b>		<i>0-8</i>	<i>8-14</i>	<i>14-26</i>	<i>0-6</i>	<i>6-15</i>	<i>15-34</i>
<b>Situación</b>		<i>Nalt</i>	<i>Nalt</i>	<i>Nalt</i>	<i>Alt</i>	<i>Alt</i>	<i>Alt</i>
<b>Mat. Org. Total</b>		2,4	0,9	1,21	1,36	1,18	1,12
<b>Mat. Org. Fraccionada (%)</b>	<i>&gt;100 μ</i>	1,30	0,48	0,37	0,45	0,40	0,43
	<i>&lt;100 μ</i>	1,34	0,82	0,90	0,96	0,74	0,58
<b>Nitrógeno (%)</b>	<i>&gt;100 μ</i>	0,084	0,025	0,019	0,029	0,021	0,023
	<i>&lt;100 μ</i>	0,083	0,048	0,043	0,054	0,040	0,029
<b>Relación C/N</b>		8,32	7,12	11,3	9,52	10,49	12,31

## 1.1) Fraccionamiento Físico de la Materia Orgánica

Como se puede observar en la tabla N°3 en la situación Nalt, el contenido de MO humificada o vieja ( $<100 \mu$ ) es mayor en todos los horizontes, en relación a la MO joven ( $>100 \mu$ ), en el horizonte A1 se encuentra una alta cantidad de MO joven, casi alcanzando los valores de la MO vieja; en la situación Alt se mantiene la misma relación en cuanto al contenido de MO vieja y joven, siendo en todos los horizontes mayor el contenido de MO vieja (ver figura N° 9 y 10). Como es esperable el contenido de MO en ambas fracciones es mayor en los horizontes más superficiales disminuyendo a medida que aumenta la profundidad, destacándose el mayor contenido en la situación Nalt. Por su parte, en los horizontes más profundos, el contenido de MO vieja y joven para la situación Alt y Nalt tienden a ser muy similares.

En el horizonte superficial de la situación Alt, se produce una disminución del 66% para la fracción  $> 100 \mu$  y del 28% para la fracción  $< 100 \mu$ , respecto a Nalt. Esta menor disminución de la fracción vieja o resistente en relación a la fracción joven o lábil puede explicarse con simplicidad debido a un mayor tiempo de ciclado, a una mayor protección de la MO en microagregados al estar absorbidas sobre o recubriendo las partículas del mismo y una mayor estabilidad y resistencia de la misma a procesos de oxidación. En efecto, Tisdall y Oades (1982) dicen que los microagregados que son considerados las unidades estructurales básicas de los suelos, contienen una gran proporción de la MO más estable, y los tiempos de ciclado de, al menos parte, de la materia macroorgánica son muchos más cortos que la asociada a microagregados. Elliot (1986) y Gupta y Germida (1988), coinciden en afirmar que las pérdidas de MO producidas por las labranzas, se debe a la rápida mineralización de la MO; siguiendo a Hu (1997) se puede decir que la cantidad de carbono (C) en la materia macroorgánica está controlada por las acciones inherente a los distintos manejos del suelo, mientras la cantidad de C de la materia microorgánica, al estar protegida entre partículas de limo y arcilla, está controlada principalmente por la textura del suelo. Balesdent et al (1990), informan que modificaciones en el uso del suelo como la labranza, aumentan el ritmo de los procesos de mineralización (aumento de  $\text{CO}_2$ ) y la síntesis de MO menos lábil.

Si el contenido de MO se expresa en tn/ha, para lo cual es necesario considerar los valores de densidad aparente que se indican en el cuadro N°6 ( $1,35 \text{ Mg.m}^{-3}$  para los 20 cm superficiales en Alt y  $1,30 \text{ Mg.m}^{-3}$  para Nalt) para calcular el peso de suelo y de MO por

hectárea, se obtiene que el contenido de MO total en Nalt es de aproximadamente 55  $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$  y en la situación Alt 35  $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ , esto hace una diferencia de 20  $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$  y por ende la tasa anual de pérdida estimada sería de 384  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Si se realiza el mismo cálculo para las dos fracciones los resultados arrojan valores de 25  $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$  en Nalt para la fracción  $>$  a 100  $\mu$  y 30  $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$  para  $<$  a 100  $\mu$ .

Por su parte en, Alt, la fracción  $>$  a 100  $\mu$  representa 12  $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$  y 23  $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$  la  $<$  a 100  $\mu$ , esto hace una diferencia de 13  $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$  y 7  $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$  para  $>$  a 100  $\mu$  y  $<$  a 100  $\mu$  respectivamente al comparar la situación Nalt con la Alt, y por ende la tasa anual de pérdida estimada para la materia orgánica ligada a la fracción  $>$  a 100  $\mu$  sería de 250  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y para la  $<$  a 100  $\mu$  de 135  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Esto nos indica una pérdida del 65% de MO  $>$  a 100  $\mu$  y del 35% de MO  $<$  a 100  $\mu$  (ver figura N° 7 y 8).

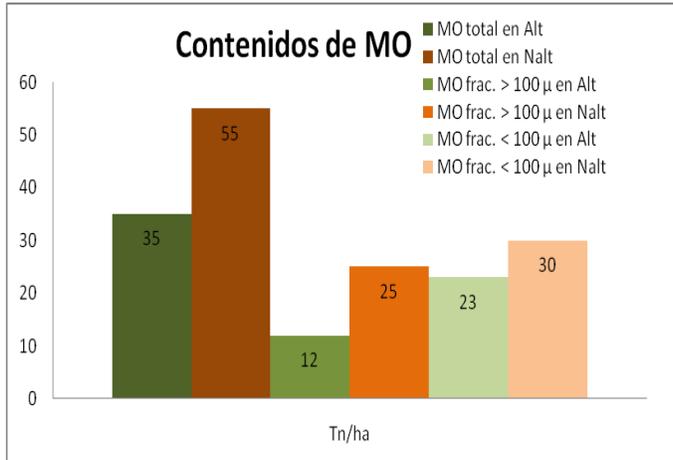


Figura N° 7: Contenido de MO total y fraccionadas en Tn/ha para Nalt y Alt.

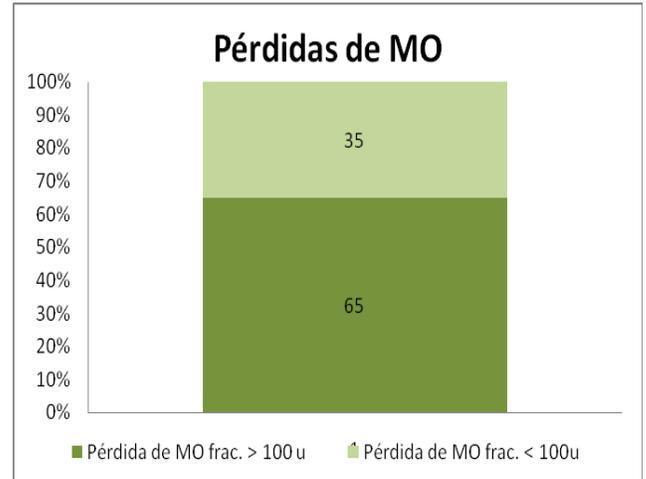


Figura N° 8: Pérdidas de MO fraccionadas en %.

En forma coincidente Quiroga (1994), en suelos de la región semiárida pampeana estudió las relaciones materia orgánica-textura-manejo, y mostró la importante disminución en los contenidos de MO total bajo manejos agrícolas continuos y las posibilidades de la rotación de cultivos con pasturas perennes como una forma de mantener y estabilizar la relación en niveles superiores. Los resultados permitieron concluir que la disminución de la MO bajo manejos agrícolas fue producida principalmente por la pérdida de fracciones vegetales mayores a 100  $\mu$ . Esta fracción representó un 36% de la MO total en suelos vírgenes, 27,2 % en suelos bajo

rotación y el 21,2 % en suelos sometidos a manejos agrícolas. Similar efecto se comprobó sobre el N total, con valores promedios para los suelos agrícolas de 0,083%, bajo rotaciones con pasturas 0,105% y 0,177% en suelos vírgenes. Por su parte, Pecorari (1991) señaló que la MO de fácil descomposición, formada en los últimos 10-20 años por transformación microbiana de los residuos de cosecha puede ser altamente modificada por el manejo, y la dinámica de la MO biológicamente resistente, que proviene de la pradera nativa, no depende del sistema cultural y está estabilizada y ligada a las fracciones minerales más finas. Los mismos resultados fueron obtenidos por Albadalejo et al. (1998) al estudiar el impacto de la remoción de la vegetación en suelos de España, donde la experiencia consistió en delimitar dos parcelas, una con vegetación natural y en la otra movieron la misma, luego de 55 meses encontraron que el contenido de CO había disminuido un 35% en el segundo caso.

En el presente trabajo, se esperaban disminuciones importantes de la MO del suelo, tal como lo demuestran los resultados del párrafo anterior, los cuales estarían dados por los años de uso y manejo del suelo. 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 nuevas prácticas de manejo conservacionistas que ayudan a mantener o incrementar el porcentaje de la misma (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.

Se realizó una “prueba t” de comparación de medias para la MO fraccionada en los horizontes superficiales y subsuperficiales de ambas situaciones, arrojando un  $p=0,0013$  para el horizonte A1 de Nalt y el Ap1 de Alt, y un  $p=0,0029$  para el A2 de Nalt y el Ap2 de Alt. Los resultados obtenidos permiten afirmar ( $\alpha$  10%) que la media poblacional de % MO en A1 es diferente de la media poblacional de % MO Ap1, siendo válida la misma conclusión para A2 y Ap2 (ver anexos N° 1 y 2).

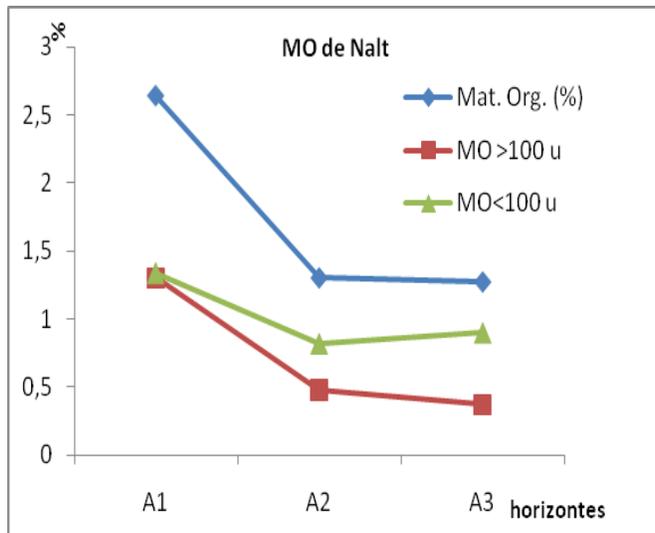


Figura N° 9: Contenido de MO total y fraccionadas de la situación Nalt.

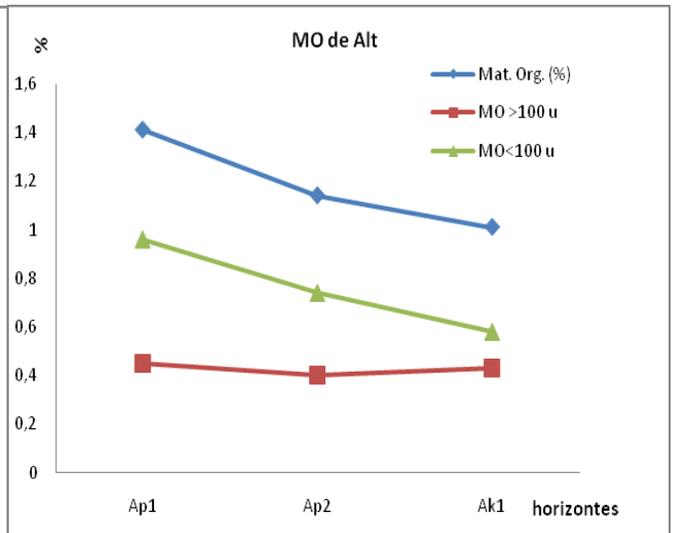


Figura N° 10: Contenido de MO total y fraccionadas de la situación Alt.

Tal como se expresó en párrafos precedentes, en las figuras 9 y 10 se puede observar que los contenidos de materia orgánica en ambas fracciones del horizonte A1 de Nalt son muy similares, a diferencia de Alt donde se advierte claramente la abrupta disminución de MO en la fracción > a 100  $\mu$  en el horizonte superficial al compararlo con Nalt.

### 1.2) Cambios en los contenidos de N orgánico.

En cuanto al nitrógeno (N) total, éste va disminuyendo a medida que aumenta la profundidad del suelo en ambas situaciones (Nalt y Alt); ahora, si se observa en el cuadro N°3, en el horizonte A1 de la situación Nalt el contenido de N > 100  $\mu$ , es prácticamente igual al contenido de N < 100  $\mu$ , comportamiento similar al que se obtiene con la MO de ambas fracciones, al igual que el contenido de nitrógeno en los restantes horizontes.

En la situación Alt, se produce una disminución del 65% en el horizonte superficial para la fracción > a 100  $\mu$ , y una disminución del 35% para la fracción < a 100  $\mu$ , es decir que las mayores pérdidas se dan en la fracción > a 100  $\mu$  (ver figura N° 11 y 12). Los contenidos de N

de las diferentes fracciones de tamaño, generalmente tienen las mismas tendencias que las observadas para C (Angers et al., 1993). Al respecto, estudios realizados bajo condiciones de suelos vírgenes y cultivados y en diferentes texturas mostraron importantes pérdidas de N (31-56%) y C (41-53%) orgánico, las que fueron comparativamente mayores en los suelos de textura más gruesa (Campbell y Souster, 1982).

La “prueba t” para % N en horizontes superficiales de ambas situaciones, arrojó un  $p=0,0047$ , con lo cual se puede decir que existen evidencias estadísticas significativas como para afirmar ( $\alpha$  10%) que la media poblacional de %N en A1 es diferente de la media poblacional de % N en Ap1 (ver anexo N°3), lo mismo ocurrió en la comparación de los horizontes subyacentes de ambas situaciones, con un  $p=0,0948$ . Es esperable este mayor valor de p en estas profundidades ya que el % de MO disminuye marcadamente (ver anexo N°4).

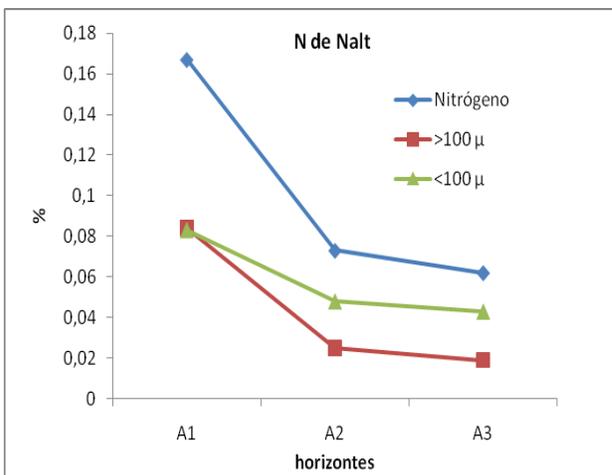


Figura N° 11: Contenido de N total y fraccionado de la situación Nalt.

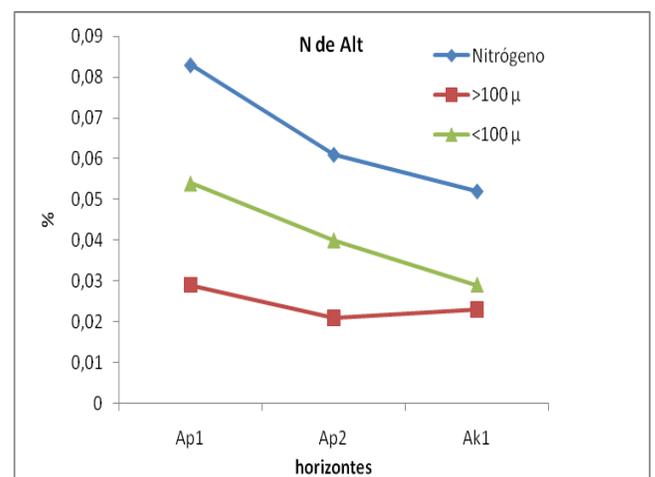


Figura N° 12: Contenido de N total y fraccionado de la situación Alt.

Como se observa en las figuras N° 11 y 12 el comportamiento del N es muy similar al del C, la fracción en la cual se encuentra el N más fácilmente mineralizable ( $> 100 \mu$ ), disminuye marcadamente en Alt, y con ello la disponibilidad de N para los cultivos.

### 1.3)Relación C/N

La relación C/N, aumenta a medida que aumenta la profundidad del suelo, tanto para la situación Nalt como para la Alt, a excepción del horizonte A2 de la situación Nalt (ver cuadro N°3), donde se produce una disminución de la relación C/N. Esto puede deberse a que este horizonte tiene una deposición discontinua de aproximadamente 1,5-3 cm de cenizas volcánicas, situación que produjo alteraciones en el contenido de MO total y por consiguiente en la relación C/N. Como lo expresan los resultados, el horizonte superficial es el más afectado a esos cambios y aun así en Alt se mantiene la relación C/N, aunque algo superior, posiblemente debido a los restos de cultivos. Además, si se observan las figuras N°9, 10, 11 y 12, se puede apreciar que el comportamiento de la MO y del N para ambas situaciones es prácticamente el mismo, debido a la estrecha relación entre ellas.

Se han encontrado altas relaciones C/N en la superficie de suelos cultivados y posiblemente reflejan la extensión de la descomposición de residuos de cultivos y la acumulación de MO libre o liviana en la superficie del suelo (Stengel et al., 1984; Cambardella y Elliot, 1992).

En forma general, la baja relación C/N que presenta la situación Nalt, puede deberse a que sobre este suelo hay una flora dominada por bosque de Caldén en el estrato superior, y gramíneas en el estrato inferior. El primero, es un árbol de la familia de las leguminosas, y por lo tanto tiene la capacidad de fijar N atmosférico. Para una buena humificación de la MO es necesaria una buena actividad biológica, aireación del suelo y riqueza de C y N, la relación C/N del suelo varía fundamentalmente en función de la relación C/N de la materia vegetal existente, las leguminosas poseen una relación C/N de 10-12 lo que es muy beneficioso para el suelo. De este punto de vista, por lo tanto, se considera que un suelo es fértil cuando su relación C/N se halla en torno de 10 (López, 2005).

## 2) Distribución y Cambios en el P extractable

A continuación se presenta en el cuadro N° 4 los valores de P extractable para ambas situaciones.

Cuadro N°4: Contenido de fósforo extractable, expresado en ppm de la situación Nalt y Alt.

<b>Horizontes</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>Ap1</b>	<b>Ap2</b>	<b>Ak1</b>
<b>Profundidad (cm)</b>	<i>0-8</i>	<i>8-14</i>	<i>14-26</i>	<i>0-6</i>	<i>6-15</i>	<i>15-34</i>
<b>Situación</b>	<i>Nalt</i>	<i>Nalt</i>	<i>Nalt</i>	<i>Alt</i>	<i>Alt</i>	<i>Alt</i>
<b>Fosforo (ppm)</b>	62,2	24,3	5	13,3	5,3	4,9

Los resultados obtenidos en Nalt establecen una altísima cantidad del mismo en el horizonte superficial, disminuyendo a medida que aumenta la profundidad. Así, en el horizonte A2 se encontró una abrupta disminución del orden del 70%, y de aproximadamente el 92% en el horizonte A3, ambos en comparación con el horizonte A1 (ver figura N°13).

Por su parte, en la situación Alt, el contenido de P en el horizonte superficial disminuye marcadamente, en el orden del 79%, comparado con A1 de Nalt, y el horizonte Ap2 tiene el mismo orden de disminución que el caso anterior al compararlo con el horizonte A2 de Nalt, el horizonte Ak1 prácticamente mantiene el mismo valor que el horizonte A3 de Nalt. (Ver figuras N° 13 y 14).

La “prueba t” para ppm de P en horizontes superficiales, dio un  $p=0,0007$ , es decir que existen evidencias estadísticas significativas como para afirmar ( $\alpha$  10%) que la media poblacional de ppm de P A1 es diferente de la media poblacional de ppm de P Ap1 (ver anexo N°5). Similares conclusiones se obtienen de la comparación de los horizontes A2 y Ap2, aunque el “p” obtenido fue mucho mayor (0,0952).

Es importante mencionar que las variaciones en el contenido de P (ver cuadro N°4) se expresan en mayor magnitud en los horizontes superficiales que son los más afectados por el cambio del uso del suelo. Además, de que estas diferencias entre ambas situaciones pueden verse reflejadas por diferentes factores, como lo es el uso y manejo del suelo, el pH y el tipo de cultivo y la ausencia de fertilización del suelo en Alt., es importante considerar que posiblemente una

importante cantidad de P disponible provenga de la mineralización de la fracción más lábil de la materia orgánica, ya que en el primer horizonte de Nalt contribuye en una cantidad importante al total de MO, en tanto en los horizontes inferiores se asemeja a Alt.

La rotación de pasturas de leguminosas y cultivos de cosecha es común en la Región Semiárida Pampeana Central, por lo que son conocidas las propiedades de las leguminosas en cuanto a la recuperación de la fertilidad nitrogenada (Bono y Fagioli 1994) pero también sus altos requerimientos de fósforo (Urioste et al. 1996). En general, se realiza pastoreo directo, existiendo una restitución al suelo del 80 al 96% de nutrientes, tales como N y K, no así el P que retorna al suelo en un 20 a 30 % del total ingerido. Suelos del oeste de la región que se hallaban bajo sistemas pastoriles extensivos han sido desmontados eliminándoseles el bosque de caldén y/o los pastizales naturales e incorporados a rotaciones de cultivos, En suelos vírgenes los contenidos de las fracciones inorgánicas más lábiles de fósforo se redujeron desde 101-136 a 53-21 mg kg<sup>-1</sup>, luego de estar sometidos a ciclos agrícolas y ganaderos durante 15 años (Hepper et al. 1996). Estos son agroecosistemas frágiles que sometidos a prácticas de manejo no conservacionistas comprometen su sustentabilidad.

La producción agropecuaria y la conservación del suelo son dos factores que deben ir apareados (Darwich 1989), de tal forma que no se afecte la producción y tampoco el recurso suelo. Los suelos empobrecidos comprometen la sostenibilidad de los sistemas. Las herramientas tecnológicas disponibles para evitarlo son la fertilización y la aplicación de prácticas de manejo conservacionistas. Los suelos bajo cultivo pierden P a través de la remoción en los productos de cosecha (granos, frutos, forrajes) y, eventualmente, por erosión. Los primeros efectos se ven en las caídas del P orgánico, ya que la materia orgánica (MO) disminuye rápidamente cuando los suelos se cultivan: un 1% de pérdida de MO puede representar una pérdida de 80-120 kg/ha de P de la capa superficial (Tiessen *et al.*, 1984; Stevenson y Cole, 1999; Vázquez, 2002). Si bien la combustión de la materia orgánica puede liberar fósforo, su disponibilidad dependerá del pH del suelo (Kettering *et al.*, 2002).

Los suelos de la Región Semiárida Pampeana Central de la Argentina presentan valores medios de fósforo total y las formas predominantes son los fosfatos de calcio poco solubles (Buschiazzo *et al.*, 2000), por lo que un incremento en el pH podría producir el desplazamiento de los equilibrios de solubilidad de estos fosfatos, con lo que disminuiría el contenido de fósforo disponible afectando la fertilidad de estos suelos.

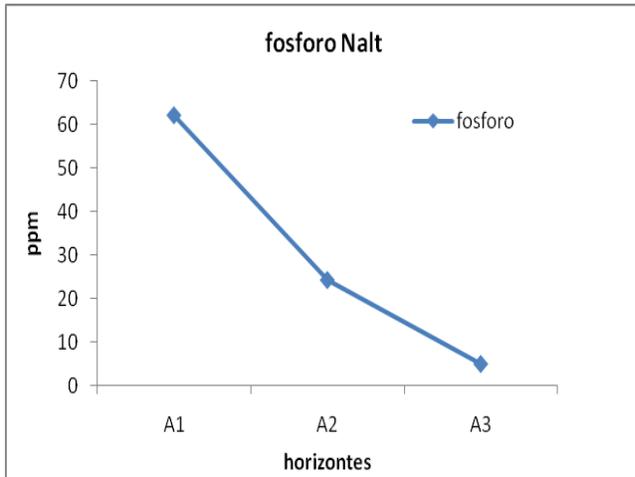


Figura N° 13: Contenido de P extractable de la situación Nalt.

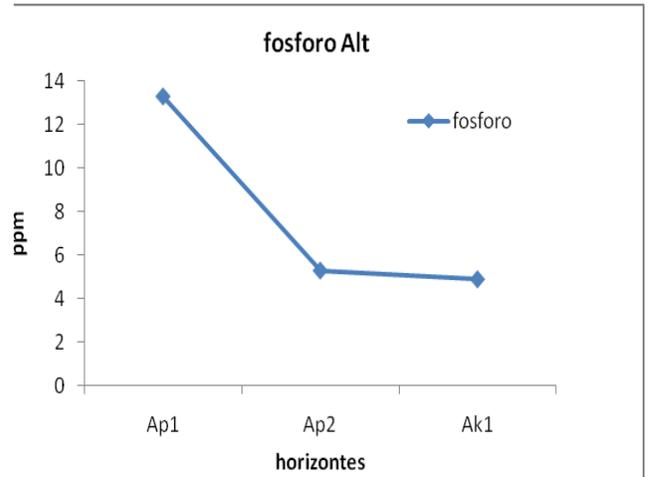


Figura N° 14: Contenido de P extractable de la situación Alt.

Como se observa en las figuras N° 13 y 14, el contenido de P no sufrió modificaciones importantes en profundidad (15-30 cm), contrariamente a lo sucedido en superficie (0-15 cm), donde la pérdida de P es muy alta en Alt, y como consecuencia de ello, es la poca disponibilidad de P para los cultivos.

### 3) Estabilidad de Agregados

Al estar comparando diferentes situaciones dentro de un mismo suelo, los valores más bajos de Diámetro Medio Ponderado (DMP) señalan un deterioro en la estabilidad estructural, de la misma forma que los valores más bajos de Agregados Estables (AE). En el cuadro N° 5 se presentan los resultados obtenidos para ambas situaciones.

Cuadro N°5: Valores de DMP y % de AE en diferentes tamaños de agregados para la situación Nalt y Alt.

<b>Horizontes</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>Ap1</b>	<b>Ap2</b>
<b>Profundidad (cm)</b>	<i>0-8</i>	<i>8-14</i>	<i>0-6</i>	<i>6-15</i>
<b>Situación</b>	<i>Nalt</i>	<i>Nalt</i>	<i>Alt</i>	<i>Alt</i>
<b>DMP</b>	2,67	2,04	1,36	1,28
<b>%AE&gt;2mm</b>	77.7	47.36	28.33	24.4
<b>%AE&gt;1mm</b>	8.35	14.9	10.6	16.3
<b>%AE&gt;0,5mm</b>	1.22	5.29	4.5	11.6
<b>%AE&gt;0,1mm</b>	0.7	1.9	12.43	9

Al observar el cuadro N° 5, se puede apreciar que el DMP disminuye en el orden del 50% en el horizonte superficial de Alt en comparación con Nat, lo mismo ocurre con el horizonte Ap2 al compararlo con el horizonte A2, salvo que el orden de disminución es del 38%. De esta forma puede apreciarse el deterioro en la estabilidad estructural de la situación Alt, y una disminución de este deterioro en la estabilidad estructural en profundidad. La “prueba t” para el DMP en horizontes superficiales, lanzo un  $p=0,0001$ , lo que significa que existen evidencias estadísticamente significativas como para afirmar ( $\alpha$  10%) que la media poblacional de DMP en A1 es diferente de la media poblacional de DMP en Ap1 (ver anexo N°7). Lo mismo ocurre cuando se comparan las medias de los horizontes sub-superficiales, siendo el valor  $p=0,0624$ , (ver anexo N°12).

Cuando se realiza esta misma prueba para los % de AE analizados se encuentra que en los horizontes superficiales,  $p$  da un valor de 0,0001 para %AE>2mm, %AE>1mm, %AE>0,5mm, y %AE>0,1mm, donde existen evidencias estadísticas significativas como para afirmar ( $\alpha$  10%) que la media poblacional de %AE en A1 es diferente a la media poblacional de %AE en Ap1 (ver anexos N° 8, 9, 10 y 11 respectivamente). Iguales conclusiones se obtienen en horizontes sub-superficiales (A2 y Ap2) para % AE>2mm, % AE>0.5mm y %AE>0.1mm obteniéndose un  $p=0,0007$ ,  $p=0,0463$  y  $p=0.0023$  respectivamente (ver anexos N° 13, 15 y 16 respectivamente). De forma contraria, en horizontes sub-superficiales para % AE>1mm se obtuvo un  $p=0,3642$ , por lo que se puede decir que no existen evidencias estadísticamente significativas como para afirmar ( $\alpha$  10%) que la media poblacional de % AE >1mm en A2 es igual a la media poblacional de % AE>1mm en Ap2 (ver anexo N° 14).

Como ya se expresó en párrafos precedentes, el horizonte superficial de Nalt mantiene una alta estabilidad estructural en relación al horizonte superficial de Alt, esto puede deberse al mayor contenido de MO de la situación Nalt (ver cuadro N°3) debido a la estrecha relación entre esta y la AE.

En ambas situaciones la estabilidad estructural disminuye a medida que el tamaño de partículas (%AE) también lo hace. En horizontes sub-superficiales de Nalt y Alt las diferencias de AE son menores, mientras que para los horizontes superficiales de ambas situaciones ocurre lo contrario. Todo ello lleva a concluir que en la situación Alt se ha producido un deterioro de la estabilidad estructural del suelo en relación con Nalt, y más aún en el horizonte superficial y en agregados de mayor tamaño. Por lo tanto, el menor deterioro en la estabilidad estructural se da en agregados chicos (AE>0,1mm) o microagregados (ver figuras N° 15 y 16).

En el cuadro N°3 se puede apreciar la diferencia del contenido de MO a favor de Nalt, lo cual está estrechamente relacionado con el mayor DMP y AE que presenta el mismo al compararlo con Alt, en especial en AE>2mm. Además cabe mencionar que los resultados obtenidos en MO demostraron que la pérdida de esta fue mayor en la MO joven, cosa similar ocurrió con AE, siendo que los resultados obtenidos acá demostraron que %AE >2mm tuvieron una mayor disminución de la estabilidad estructural que agregados más chicos como %AE >0,1mm; esto es coincidente con la mayor relación que existe entre la MO joven y el % AE >2mm.

Además, en el cuadro N°5 se puede apreciar claramente, como en Alt hay mayor cantidad de AE de menor tamaño (%AE>0,1mm), lo que se relación a la continua intervención del hombre a través de los movimientos de tierra, ocasionando la ruptura de agregados de mayor tamaño exponiendo la MO lábil a la descomposición y favoreciendo a los agregados más chicos, contrariamente a lo que sucede en Nalt.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo encontrado por Dexter (1991) quien afirma que en tierras bajo uso agrícola es común la disminución de la estabilidad de agregados en agua como consecuencia de la disminución del contenido de MO. Además, la macroagregación es controlada por el manejo (Oades, 1984), pues la ruptura de los agregados de gran tamaño, producto de la cantidad, frecuencia e intensidad de las labores, expone a la descomposición materia orgánica relativamente lábil, previamente protegida, resultando variadas combinaciones de elementos orgánicos con diferentes tasas de ingreso y reciclado que afectan las fuentes productoras de agentes enlazantes y sustancias adhesivas orgánicas (raíces, hifas de hongos y organismos rizosféricos). Contrariamente a lo que sucede con los macroagregados, los microagregados (<250 mm) no son alterados por el humedecimiento ni tampoco por disturbios mecánicos incluyendo las labores de labranza (Tisdall, Oades, 1982).

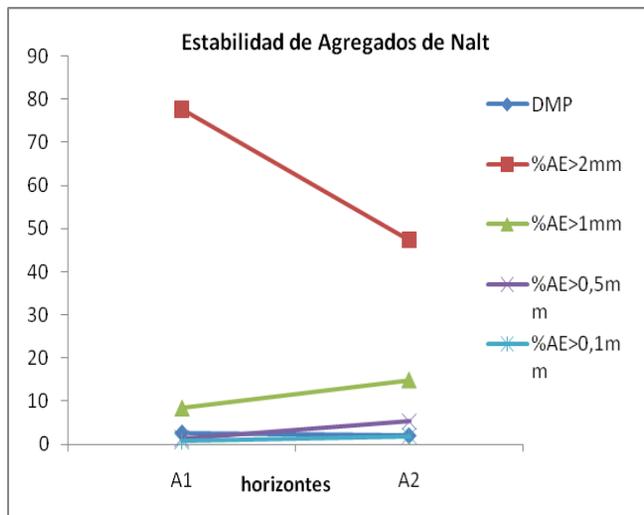


Figura N° 15: Valores de DMP y %AE según los diferentes tamaños para la situación Nalt.

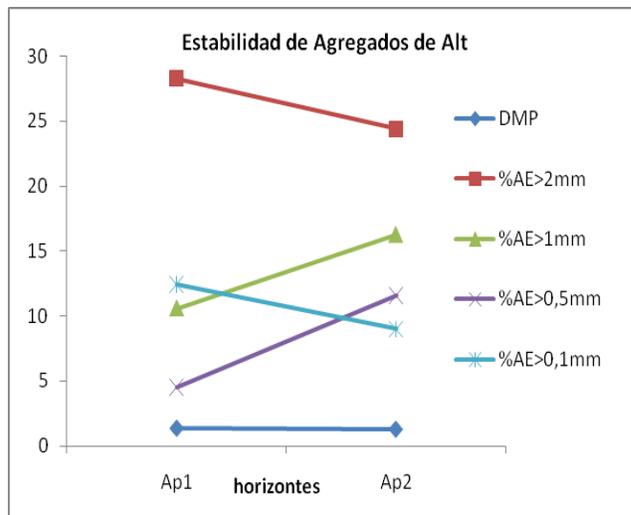


Figura N° 16: Valores de DMP y %AE según los diferentes tamaños para la situación Alt.

#### 4) Densidad Aparente

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la determinación de densidad aparente para ambas situaciones.

Cuadro N°6: Valores de densidad aparente en Mg.m<sup>3</sup> para la situación Nalt y Alt.

<b>Horizontes</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>Ck1</b>	<b>Ap1</b>	<b>Ap2</b>	<b>Ak1</b>
<b>Profundidad (cm)</b>	<i>0-8</i>	<i>8-14</i>	<i>14-26</i>	<i>26-45</i>	<i>45-60</i>	<i>0-6</i>	<i>6-15</i>	<i>15-34</i>
<b>Situación</b>	<i>Nalt</i>	<i>Nalt</i>	<i>Nalt</i>	<i>Nalt</i>	<i>Nalt</i>	<i>Alt</i>	<i>Alt</i>	<i>Alt</i>
<b>Densidad Aparente (Mg.m<sup>3</sup>)</b>	1,31	1,29	1,25	1,27	1,29	1,31	1,41	1,34

Los resultados de la determinación de densidad aparente (Dap) muestran que en Nalt, la misma se mantiene prácticamente constante a lo largo de todo el perfil del suelo (ver cuadro N°6). Al respecto, es esperable que en una situación prístina, la Dap vaya aumentando con la profundidad debido a la disminución de la MO, de menor peso específico que el resto de los constituyentes sólidos, y al peso de los horizontes superiores, pero hasta los 60 cm, en este caso este comportamiento no se da, por el elevado contenido de MO que hay en el suelo hasta dicha profundidad (ver cuadro N°3). Además, la Dap algo mayor en el horizonte A1 se puede deber al pisoteo animal (ver figura N°17). Pecorari et al., (1990) comprobaron la incidencia de las fracciones orgánicas sobre la densidad aparente en suelos de la pampa húmeda (Hapludoles). Esta influencia de la MO, tanto en la pampa húmeda como en la semiárida fue también estudiada por Davidson et al. (1967) con respecto a la sensibilidad de la compactación máxima a pequeños cambios en el contenido de MO producidos por el manejo. Incrementos en la materia orgánica dan lugar a una mayor capacidad de almacenaje de agua y porosidad, y disminución de la compactación, resistencia a la penetración y densidad aparente (Hamblin y Davies, 1977).

En Alt, se observa en los primeros 6 cm una Dap menor a la del horizonte subyacente (6-15 cm), esto seguramente para el caso de horizonte Ap1 está dado por las labores de siembra directa que se desarrollaron los últimos 2 años aflojando los primeros centímetros de suelo, y en cambio en el horizonte Ap2 donde la sembradora no llega, se observa una clara compactación (ver figura N° 18) debido al tránsito de maquinas, entre otros, efecto que va desapareciendo a

medida que aumenta la profundidad, como se ve en el horizonte ACk1, donde la Dap es menor que en el Ap2, y ambos horizontes tienen contenidos de MO muy similares (ver cuadro N°3).

Se realizó una “prueba t” para los horizontes sub-superficiales obteniéndose un  $p=0,0001$  donde existen evidencias estadísticas significativas como para afirmar ( $\alpha$  10%) que la media poblacional de Dap en A1 es diferente a la media poblacional de Dap en Ap1 (ver anexo N°17). No se realizó la “prueba t” para los horizontes superficiales, ya que los mismos tienen la misma Dap.

Según Pritchett (1990), la pérdida de MO aumenta los efectos producidos por la Dap, a su vez esta última está, estrechamente relacionada con la textura, siendo esta 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. A su vez, 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).

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. 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). El sistema de laboreo empleado sobre un suelo dado influye sobre la densidad aparente sobre todo en las capas superficiales. (Buckman y Brady, 1970).

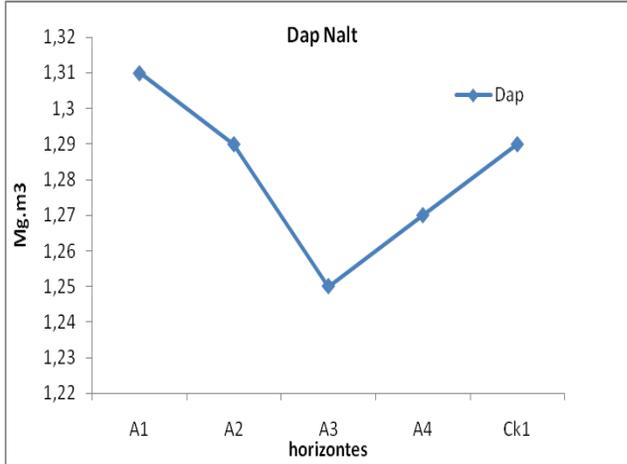


Figura N° 17: Valores de Dap obtenidos para la situación Nalt.

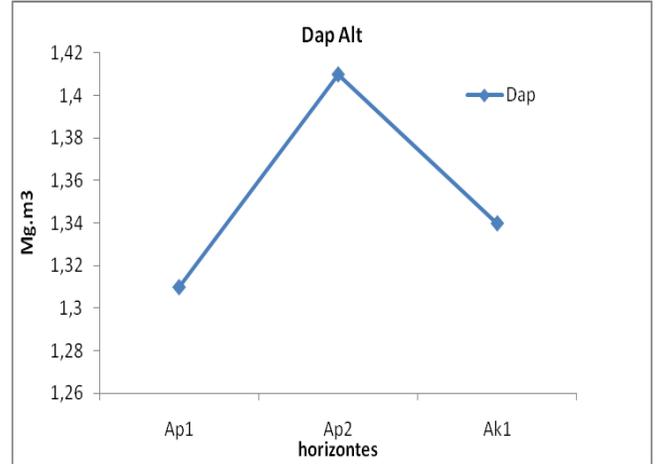


Figura N° 18: Valore de Dap obtenidos para la situación Alt.

## CONCLUSIONES

Luego de 52 años de labranza, los parámetros estudiados tuvieron el siguiente comportamiento, respecto al monte, el cual se tomó como situación no intervenida:

- En los primeros 20 cm del suelo, para Alt se encontró una disminución del contenido de materia orgánica lábil del 65% respecto de Nalt, y de 35% en la materia orgánica más estable. En cuanto al N, se encontraron los mismos porcentajes de pérdidas que en MO para las fracciones lábiles y estables y de igual forma estas pérdidas se produjeron en los horizontes más próximos a la superficie.
- Con respecto a P disponible para el horizonte Ap1 de Alt, se encontró una disminución del 79% al compararlo con A1 de Nalt, el horizonte Ap2 de Alt, también tuvo una disminución del 79% comparado con A2 de Nalt, en cambio en el horizonte Ak1 en Alt mantuvo valores muy similares a los de A3 en Nalt. Por lo que se encontró una muy alta disminución de fósforo en los horizontes más próximos a la superficie.
- En la situación Alt, se encontró una disminución del orden del 50% y 38% en DMP tanto para el horizonte superficial como para el sub-superficial respectivamente, en el caso del %AE, también se produjeron disminuciones, siendo estas superiores en el horizonte superficial que en el sub-superficial, de igual manera, los AE de mayor tamaño (%AE>2mm) fueron los más afectados, contrariamente es lo que sucedió con los AE de menor tamaño (%AE>0,1mm). Al igual que lo que ocurrió con el DMP, la mayor disminución de %AE se encontró en el horizonte superficial y para los tamaños de partículas mayores (%AE).
- En la situación Nalt, se encontró una distribución de Dap relativamente homogénea en todo el perfil del suelo, cosa que no se da en Alt, ya que en esta, en el horizonte Ap2 se encontró una clara compactación, y que por debajo de este horizonte, en el Ak1, el Dap es menor.
- Tal como se expresó en la hipótesis, los resultados obtenidos demuestran las variaciones en las condiciones físicas y químicas en Alt en comparación con Nalt, por este motivo, lo planteado en la hipótesis ha sido confirmado.

## BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Albadalejo, J., Martinezmena, M., Roldán, A. and V. Castillo. 1998. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Biol. Biochem.* 30: 767-773
- 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.
- Alvarez, R. and R. S. Lavado. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83: 127-141.
- Andriulo, A.; J. Galantini, C. Pecorari y E. Torioni, 1990. Materia orgánica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica (Italia)* XXXIV (5-6) 475-489.
- Angers, D. A., N`dayegamiye and D. Coté. 1993. Tillage-induced differences in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 57:512-516.
- Balesdent, J. A., Mariotti, A. and D. Boigontier. 1990 Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from <sup>13</sup>C abundance in maize fields. *J. Soil Sci.* 41:587-596.
- Bauer, A. and A. L. Black 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.
- 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.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. In *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Klute, A. (Ed). *Agronomy Monograph* N° 9. American Society of

Agronomy. Soil Science Society of America, Inc. Second edition. Madison, Wisconsin. USA. Pag. 363-375.

Bono A y Fagioli M. 1994. Eficiencia de la alfalfa en la recuperación de la fertilidad nitrogenada del suelo en la región semiárida pampeana Publicación Técnica ND 45, EEA Anguil, INTA. 11 pp.

Boschetti, G. N. y C. E. Quintero, 2002. Importancia del Fosforo Orgánico del Suelo en la Nutrición Fosfatada de los Cultivos. En: [www.fertilizando.com/articulos/Importancia del fosforo orgánico del suelo.asp](http://www.fertilizando.com/articulos/Importancia%20del%20fosforo%20org%C3%A1nico%20del%20suelo.asp). Consultado: 10-02-09.

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.

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

Buschiazzo, DE; GG Hevia; AM Urioste & EN Hepper. 2000. Cultivation effects on phosphate forms and sorption in loess soils of Argentina. *Soil Science* 165: 427-436.

Buyanovsky, G.A., Aslam, M. and G. H. Wagner. 1994. Carbon turnover in soil physical fractions *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1167-1173.

Cambardella, C. A. and E. T., Elliot. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777 – 782.

Cambardella, C. A. and E. T., Elliot. 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:123 – 130.

Campbell, C. A. and W Souster. 1982. Loss of organic matter and potentially mineralizable nitrogen from Saskatchewan soils due to cropping. *Can. J. Soil Sc.* 62: 651-656.

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-

Carter, M. R., Angers, D. A. and H. T. Kunelius. 1994. Soil structural form and stability, and organic matter under cool-season perennial grasses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1194 – 1199.

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

Christensen, B. T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil, Sci*, 20: 1-89.

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

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

Crespo, L; L.I., Picone; Y.E., Andreoli & F.O., García. 2001. Poblaciones microbianas y contenido de carbono y nitrógeno en el suelo en sistemas de siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 19: 30-38.

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.

Darwich N A. 1989. Manual de Fertilidad de Suelos. INTA. Enichem Agricultura SPA Miián, Italia 147 pp.

Davidson J., F. Gray and D. Pinson. 1967. Changes in organic matter and bulk density with depth under two cropping systems. *Agron. J.* 59:375-378.

Dexter, A. R. 1991. Ameloration of soil by natural processes. *Soil & Till. Res.* 20:87 – 100.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL

<http://www.infostat.com.ar>

Diaz-Zorita, Martín. 1996. Labranzas en la región semiárida argentina. Buschiazzo, Panigatti y Babinec (eds) INTA Centro Regional La Pampa-San Luis.

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.

Echeverria, H. E., H. S., Rozas, F. García. 2006. Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. Capítulo 4. 540 páginas

Elliot, E. T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorous in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:627-633

Elliott, E.T. and C.A. Cambardella, 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agric. Ecosystems Environ.* 34: 407-419.

Etchevehere, L. A 1976. Normas de reconocimiento de suelos 2<sup>da</sup> ed. INTA. Departamento de suelos. Castellar. Buenos Aires.

Fabrizzi, K.P.; F.O. Garcia; J.L. Costa & L.I. Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties minimum and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81: 57-69.

Feller, C. and M. Beare. 1997. Physical control of soil arganic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79: 69-116.

Fortun, C., y A. Fortun. 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Edafol. Agrobiol.* 48: 185-204.

Galantini, J. A.; Rosell, R. A.; Iglesias, J. O. 1994. Determinación de materia orgánica empleando el método de Walkley y Black en fracciones granulométricas del suelo. *Ciencia del Suelo* 12:81-83.

Gregorich, E. G., Carter, M. R., Angers, D. A., Monreal, C. M. and B. H. Ellert. 1994 (a). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74:367 – 385.

Gregorich, E. G., Ellert, B. H. and C. M. Monreal. 1994 (b). Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural <sup>13</sup>C abundance. *Can. J. Soil Sci.* 75:161 – 167.

Gregorich, E.G. and B.H. Ellert, 1993. Light fractions and macroorganic matter in mineral soils. P. 397-407. In M.R. Carter (ed.) *Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Gupta, V. V. and J. J. Germida. 1988. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. and Biochem.* 20:777-786.

Hall, A. J., Rebella, C. M., Ghersa, C. M. and J. P. Culot. 1992. Field-crop systems of the Pampas. In *Field Crop Ecosystems. Ecosystems of the World 18*. C. J. Pearson (ed). Elsevier. Amsterdam. Pág. 413-450.

Hamblin 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).

Hamblin A., D. Davies. 1977. Influence of organic matter on the physical properties of some east anglian soil of high silt content. *Journal of Soil Sc.* 28: 11-22.

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

Hassink, J. 1995. Density fractions of soil macroorganic matter and microbial biomass as predictors of C and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 27:1099 – 1108.

Havlin, J. L., Kissel D. E., Maddux, L. D., Claassen, M. M. and J. H. Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 448-452.

Hepper E N, Hevia G G, Buschiazzo D E, Urioste A M, Bono A A. 1996. Efectos de la agricultura sobre las fracciones de fosforo en suelos de Región Semiárida Pampeana Central (Argentina). *Ciencias del Suelo*. 14: 96-99.

Hermawan, B. and A. Bomke. 1997. Effects of winter cover crops and successive spring tillage on soil aggregation. *Soil Till. Res.* 44: 109–120.

Hu, S., Coleman, D. C., Carroll, C. R., Hendrix, P. F. and M. H. Beare. 1997 Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystems as influenced by management practices and vegetation types. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 65(1): 69-78.

Ibañez, J. J., 2006. La Distribución de la Materia Orgánica del Suelo en Profundidad por Climas y Tipos de Vegetación y Textura. Universidad de Valencia.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2004). Reedición del Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa 1980 complementada con Fauna de Vertebrados. INTA, Universidad Nacional de La Pampa, Subsecretaria de Cultura, Gobierno de La Pampa.

Jastrow J., R. Miller. 1998. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organo – mineral associations. En: *Soil processes and the carbon cycle*. Ed. by Lai R, Kimble J, Follett R, Stewart B. II. Series: *Advances in Soil Science*. Boca Raton, Fl. 33431. 207-223.

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

Keating, B. A., P. S. Carberry, P. S. Bindraban, S. Asseng, H. Meinke, and J. Dixon. 2010. Eco-efficient Agriculture: Concepts, Challenges, and Opportunities. Published in *Crop Sci.* 50:S-109–S-119 (2010). Published pdf online 8 Feb. 2010. Crop Science Society of America. 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711 USA.

Ketterings, QM; M van Noordwijk & JM Bigham. 2002. Soil phosphorus availability after slash and burn fires of different intensities in rubber agroforests in Sumatra, Indonesia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92: 37-48.

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)

Lado, M., A. Paz, and M. Ben-Hur. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 935–942.

López, A. J. 2005. Manual de edafología. Departamento de cristalografía, mineralogía y química Agrícola de la Universidad de Sevilla. Profesor asociado a la E. U. I. T. A. Publicado en internet en: <http://es.scribd.com/doc/51630897/17/Relacion-C-N>.

Lynch, J., E., Bragg. 1985. Microorganisms and soil aggregate stability. *Adv. Soil Science* 2: 133-171.

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](http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia). 22(2):175-189

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.

Nelson, D. and Sommers, L. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. (eds.). Agronomy Monograph N°9. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Segunda edición. Madison, Wisconsin. USA. Pág. 539-577.

Oades, J. M. 1984. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76:319 – 337.

Olsen S R.. and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. In *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. Page, A. L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds). Agronomy Monograph N°9. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Segunda edición. Madison, Wisconsin. USA. Pág. 403-427.

Orlov, D. S. 1995. Humic Substance of Soil and General Theory of Humification. Russian Translations Series 111. A. A. Balkema. Rotterdam/Brookfield. 323 pág.

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.

Pecorari C. 1991. La materia orgánica de los suelos de la región pampeana. En materia orgánica del suelo, INTA Pergamino.

Pecorari C., A. Andriulo, E. Muñoz y E. Frutos. 1990. Aptitud físico-mecánica de diferentes suelos para la aplicación de alternativas de laboreo. III. Efectos de la textura y de la materia orgánica sobre la densidad aparente máxima de algunos suelos de la región pampeana húmeda. INTA, EEA Pergamino.

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.

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

Quirk J, Murray R. 1991. Towards a model for soil structural behavior. Aust. J. Soil Res. 29: 829-867.

Quiroga A. 1994. Influencia del manejo sobre propiedades físicas de los suelos. Su relación con la granulometría y contenidos de materia orgánica. Tesis MSc. UNS, Bahía Blanca.

Quiroga A. 2003. Indicadores de calidad de suelos. e-campo.com. Agropecuaria en internet.

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.

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.)

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

Shepherd, T. G., S. Saggar, R. H. Newman, C. W. Ross, and J. L. Dando. 2001. Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fraction in New Zealand soils. *Aust. J. Soil Res.* 39: 465–489.

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

Sollins, P.; C. Glassman, E.A. Paul, C. Swanston, K. Lajtha, J.W. Heil and E.T. Elliott, 1999. Soil carbon and nitrogen: Pools and fractions. pp. 89-105. In G.P Robertson *et al.* (ed.) *Standard soil methods for long-term ecological research.* Oxford Univ. Press, Oxford, UK.

Stengel, P., Douglas, J. T., Guerif, J., Goss, M. J., Monnier, G. and R. Q. Cannell. 1984. Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. *Soil Till. Res.* 4:35 – 53.

Stevenson, F.J. and M.A. Cole. 1999. *Cycles of soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients.* John Wiley & Sons, Nueva York, EE.UU. 2a. edición. 427 pp.

Tiessen, H., Stewart, J. W. and J. R. Betany. 1982. Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soil. *Agron. J.* 74: 831-835.

Tiessen, H.; J.W.B. Stewart and C.V. Cole. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Science Society of American Journal* 48: 853-858.

Tisdall J. M. and J. M. Oades. 1980. The management of rye grass to stabilize aggregates of a red-brown earth. *Aust. J. Soil Res.* 18: 415-422

Tisdall J. M. and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. of Soil Sci.* 33: 141-163.

Urioste A M, Bono A A, Buschiazzi D E, Hevia G G, Hepper E N. 1996. Fracciones de fósforo en suelos agrícolas y pastoriles de la Región Semiárida Pampeana Central (Argentina). *Ciencias del suelo* 14: 92-95.

Vazquez, M.E. 2002. Balance y fertilidad fosforada en suelos productivos de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas* 16: 3-7. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.

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. Perdida 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)

Wander, M, 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. p. 67-102. In F. Magdoff and R.R. Weil (ed.) Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, FL.

Wander, M. M. and S. J., Traina. 1996. Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils: I. Carbon and nitrogen distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1081 – 1087.

White, P. F. 1990. The influence of alternative tillage systems on the distribution of nutrients and organic carbon in some common Western Australian wheat belt soils. *Aus. J. Soil Res* 28:95 – 116.

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

Zamuner, E.C.; L.I., Picone & H.E., Echeverría. 2006. Comparison of phosphorus fertilization diagnostic methods for wheat under no-tillage. *Soil Till. Res.* 89: 70-77.

## ANEXOS

Tabla 1: Prueba T para muestras independientes. %MO fraccionada, horizontes superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	%MO	{A1}	{Ap1}	3	3	2,64	1,18	0,6115	8,04	0,0013	Bilateral

Tabla 2: Prueba T para muestras independientes. %MO fraccionada, horizontes sub-superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	%MO	{A2}	{Ap2}	3	3	1,2	0,77	>0,9999	6,52	0,0029	Bilateral

Tabla 3: Prueba T para muestras independientes. N, horizontes superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	N	{A1}	{Ap1}	3	3	0,17	0,07	0,4614	5,69	0,0047	Bilateral

Tabla 4: Prueba T para muestras independientes. N, horizontes sub-superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	N	{A2}	{Ap2}	3	3	0,07	0,06	0,8417	2,18	0,0948	Bilateral

Tabla 5: Prueba T para muestras independientes. P, horizontes superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo</b> <b>1</b>	<b>Grupo</b> <b>2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	P	{A1}	{Ap1}	3	3	62,2	13,33	0,8393	9,46	0,0007	Bilateral

Tabla 6: Prueba T para muestras independientes. P, horizontes sub-superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo</b> <b>1</b>	<b>Grupo</b> <b>2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	P	{A2}	{Ap2}	3	3	24,27	5,3	0,0062	3	0,0952	Bilateral

Tabla 7: Prueba T para muestras independientes. DMP, horizontes superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo</b> <b>1</b>	<b>Grupo</b> <b>2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	DMP	{A1}	{Ap1}	3	3	2,67	1,36	0,8988	17,03	0,0001	Bilateral

Tabla 8: Prueba T para muestras independientes. %AE>2mm, horizontes superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo</b> <b>1</b>	<b>Grupo</b> <b>2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	%AE>2mm	{A1}	{Ap1}	3	3	77,7	28,33	0,7273	16,87	0,0001	Bilatera

Tabla 9: Prueba T para muestras independientes. %AE>1mm, horizontes superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo</b> <b>1</b>	<b>Grupo</b> <b>2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	%AE>1mm	{A1}	{Ap1}	3	3	8.35	10.6	0,875	35,75	<0,0001	Bilatera

Tabla 10: Prueba T para muestras independientes. %AE>0,5mm, horizontes superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo</b> <b>1</b>	<b>Grupo</b> <b>2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueb</b>
<b>horizontes</b>	%AE>0,5mm	{A1}	{Ap1}	3	3	1.22	4.5	0,5	33,25	<0,0001	Bilatera

Tabla 11: Prueba T para muestras independientes. %AE>0,1mm, horizontes superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo</b> <b>1</b>	<b>Grupo</b> <b>2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	%AE>0,1mm	{A1}	{Ap1}	3	3	0.7	12.43	0,65	9,8	0,0001	Bilatera

Tabla 12: Prueba T para muestras independientes. DMP, horizontes sub-superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo</b> <b>1</b>	<b>Grupo</b> <b>2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	DMP	{A2}	{Ap2}	3	3	2,04	1,28	0,4745	2,56	0,0624	Bilateral

Tabla 13: Prueba T para muestras independientes. %AE>2mm, horizontes sub-superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	%AE>2mm	{A2}	{Ap2}	3	3	47.36	24.4	0,5042	2,07	0,0007	Bilateral

Tabla 14: Prueba T para muestras independientes. %AE>1mm, horizontes sub-superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	%AE>1mm	{A2}	{Ap2}	3	3	14.9	16.3	0,5347	2,54	0,3642	Bilateral

Tabla 15: Prueba T para muestras independientes. %AE>0,5mm, horizontes sub-superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	%AE>0,5mm	{A2}	{Ap2}	3	3	5.29	11.6	0,8612	2,08	0,0463	Bilateral

Tabla 16: Prueba T para muestras independientes. %AE>0,1mm, horizontes sub-superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	%AE>0,1mm	{A2}	{Ap2}	3	3	1.9	9	0,6418	0,26	0,0023	Bilateral

Tabla 17: Prueba T para muestras independientes. PEA, horizontes sub-superficiales

<b>Clasific</b>	<b>Variable</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>n(1)</b>	<b>n(2)</b>	<b>Media(1)</b>	<b>Media(2)</b>	<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>	<b>prueba</b>
<b>horizontes</b>	PEA	{A2}	{Ap2}	3	3	1,29	1,41	>0,9999	- 14,7	0,0001	Bilateral