



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Proyecto de Trabajo Final
para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS
DE LA PAMPA MEDANOSA CAUSADA POR LOS CAMBIOS
DE USO ACTUALES

Cecilia Marina Clerici
25.813.247

José Manuel Cisneros
Director

Alberto Cantero G.
Co-Director

Río Cuarto - Córdoba
Diciembre/2007

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS DE LA PAMPA MEDANOSA CAUSADA POR LOS CAMBIOS DE USO ACTUALES

Alumna: CECILIA MARINA CLERICI
D.N.I. 25.813.247

Director: ING. AGR. MSc. JOSE MANUEL CISNEROS
Codirector: ING. AGR. MSc. ALBERTO CANTERO G.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

*A mis padres, Elba y Aníbal,
que facilitaron la realización de mis estudios
y siempre confiaron en mí.
Gracias.*

Mis agradecimientos son para Franco, por la importancia de su permanente e incondicional presencia; para mi amiga María Belén por su grande y especial ayuda; para mi familia y amigos, que me acompañaron y brindaron contención durante toda la carrera; para Rocío López Fourcade y José Cisneros, por su valiosas enseñanzas, y también para los Ingenieros Eugenio Hampp y Ariel Angeli por su asesoramiento y colaboración en la realización de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	1
SUMMARY	2
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1-Importancia de la temática. Fundamentación.....	3
1.2-Antecedentes.....	6
1.3-Hipótesis.....	8
1.4-Objetivo.....	8
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.1-Área de estudio.....	9
2.2-Situaciones de uso actual a estudiar.....	10
2.3-Evaluaciones.....	11
2.3.1 - Variables a medir.....	11
2.4-Criterios y métodos para la interpretación de resultados.....	13
2.4.1 - Comparación entre medias.....	13
2.4.2 - Relación entre variables.....	13
2.4.3 - Grados relativos de deterioro en porcentaje con respecto a los extremos....	13
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
3.1.-Descripción de los perfiles de suelo estudiados.....	14
3.1.1. - Situación con uso agrícola puro.....	14
3.1.2. - Situación agrícola degradada.....	15
3.1.3. - Situación pastura permanente.....	16
3.1.4. - Situación mixta agrícola-ganadera.....	16
3.2-Composición granulométrica.....	17
3.3-Fracción erodable.....	18
3.4-Resistencia a la penetración.....	20
3.5-Materia orgánica.....	24
3.6-Estabilidad de agregados.....	28
3.7-Relaciones entre variables analizadas.....	35
3.7.1. - Materia orgánica y estabilidad de agregados.....	35
3.7.2. - Fracción erodable y tamaño de agregados.....	37
3.7.3. - Fracción erodable y contenido de arena.....	38
3.7.4. - Fracción erodable y materia orgánica.....	39
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....	40
CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ambientes naturales de la Provincia de Córdoba (INTA, 2003) e Imagen LANDSAT de la zona de estudio, con localización de los sitios de muestreo (Google Earth, escala aproximada 1: 100.000).	10
Figura 2: Composición granulométrica de las situaciones de suelo de la Pampa Medanosa bajo diferentes usos.	18
Figura 3: Fracción erodable de cada situación de uso para un suelo de la Pampa Arenosa, obtenido por tamizado y por la fórmula RWEQ (1998).	19
Figura 4: Perfiles de resistencia a la penetración en suelos de la Pampa Medanosa de Córdoba.	21
Figura 5: Contenido de materia orgánica para cuatro situaciones de uso en la Pampa Medanosa de Córdoba.	25
Figura 6: Contenido relativo de materia orgánica de cuatro situaciones de uso de la Pampa Medanosa.	26
Figura 7: Porcentaje en peso promedio en seco de cada diámetro (mm) de agregados para cuatro situaciones de uso en la Pampa Medanosa de Córdoba.	29
Figura 8: Porcentaje en peso promedio en húmedo de cada diámetro (mm) de agregados para cuatro situaciones de uso en la Pampa Medanosa de Córdoba.	30
Figura 9: Índice de estabilidad de agregados (%) de las cuatro situaciones analizadas de la Pampa Medanosa.	32
Figura 10 : Grado relativo de estabilidad de agregados en cuatro situaciones de uso en la Pampa Medanosa de Córdoba.	33
Figura 11: Relación entre índice de estabilidad de agregados (%) y contenido de materia orgánica relativo (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.	35
Figura 12: Relación entre estabilidad de agregados en seco (%) y contenido de materia orgánica (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa. ...	36
Figura 13: Relación entre estabilidad de agregados en húmedo (%) y contenido de materia orgánica (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.	36
Figura 14: Relación entre tamaño de agregados en seco (%) y fracción erodable (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.	37
Figura 15: Relación entre tamaño de agregados en húmedo (%) y fracción erodable (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.	38
Figura 16: Relación entre fracción erodable (%) y contenido de arena en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.	38
Figura 17: Relación entre fracción erodable (%) y contenido de materia orgánica (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición granulométrica de cada situación de uso en la Pampa Medanosa.	18
Tabla 2: Fracción erodable de cada situación de uso para un suelo de la Pampa Medanosa, obtenida por tamizado y por la fórmula de RWEQ (1998).....	19
Tabla 3: Resistencia a la penetración en suelos de la Pampa Medanosa de Córdoba. ...	21
Tabla 4: Contenido de humedad (g/100 g) del suelo al momento de la determinación de resistencia a la penetración.....	22
Tabla 5: Contenido de materia orgánica para cuatro situaciones de uso en la Pampa Medanosa de Córdoba.....	26
Tabla 6: Peso medio (gr) de suelo seco en los tamices de diferente diámetro de las situaciones analizadas en la Pampa Medanosa.	29
Tabla 7: Peso medio (gr) de suelo húmedo en los tamices de diferente diámetro de las situaciones analizadas de la Pampa Medanosa.	31
Tabla 8: Estabilidad de agregados relativa (%) en seco y húmedo, tomando al diámetro ponderal medio como parámetro de relación. índice de estabilidad a partir del cambio de diámetro ponderal medio en seco y húmedo de cuatro situaciones de la Pampa Medanosa.	33

RESUMEN

La Pampa Medanosa viene soportando una intensificación en el uso de las tierras en las últimas décadas, caracterizada por un aumento en las superficies destinadas a uso agrícola y una disminución en las destinadas a usos pastoriles. Estos cambios en el uso del suelo han producido alteraciones en diferentes propiedades y funciones esenciales para la producción agropecuaria y la calidad del recurso suelo. Este trabajo pretende evaluar el grado de deterioro de los suelos de la región a través de la medición de su susceptibilidad a la erosión eólica, considerando además su resistencia mecánica, su contenido de materia orgánica y la estabilidad de sus agregados. Las mediciones se realizaron en cuatro situaciones de uso: agrícola degradado, agrícola, mixto y pastura permanente. Al sistema agrícola degradado, por ser el ambiente mas deteriorado, y a la pastura permanente, por ser el ambiente menos disturbado por el hombre, se los consideró como parámetros de comparación entre las situaciones. Los resultados obtenidos confirman que la agricultura llevada a cabo continuamente y sin cuidado en el manejo, genera disminución en el contenido de materia orgánica, inestabilidad en los agregados, e incrementos significativos de las fracciones erodables, trayendo como consecuencia un aumento en la susceptibilidad a la erosión eólica, y pudiendo llegar al extremo de producir un cambio en la clase textural y generar cambios irreversibles en la productividad del recurso suelo (desertificación).

SUMMARY

Sandy Pampa of southwest Cordoba is supporting a land use intensification in the last decades, with increase in agricultural areas and corresponding decrease in cattle use ones. This soil use changes have produced several modifications in soil properties and essential functions to crop productions and soil quality. The aim of this work is to evaluate soil degradation degree, to potential wind erosion, mechanical resistance, organic matter content and aggregate stability.

The soil evaluations were performed in four contrasting use situations: degraded agricultural use, agricultural use, rotational agricultural-grazing system, and permanent pasture. Degraded agricultural and permanent pasture were taken how reference situations of maximum and minimum deteriorated states.

The results confirm that continue agriculture in this environment, and without care in soil management, produce strong lost of organic matter and aggregates stability, and increasing significantly the eroded fraction, and risk to wind erosion. This tendency can to promote a change in textural class of soil from loamy sand to sandy, and tend to soil at state near desertification.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1-Importancia de la temática. Fundamentación

La región pampeana viene soportando una intensificación del uso de las tierras en las últimas décadas, caracterizada por un aumento en las superficies agrícolas, una disminución de las superficies destinadas a usos pastoriles, y un incremento en la proporción de cultivos oleaginosos sobre los de gramíneas (INTA 2003a).

A fines de la década del cuarenta y, sobre todo, en los cincuenta, comienzan a percibirse los primeros impactos del deterioro y degradación de los suelos, especialmente en aquellos sistemas que aplicaban agricultura continua (Pengue, 2002)

La agricultura y los recursos naturales han estado, desde siempre, indisolublemente ligados. La perturbación de los ecosistemas naturales, premeditadamente inducida por la actividad humana para producir más alimento y fibra puede, muy bien, ser una definición abarcativa de la actividad agropecuaria. Toda perturbación constituye, en sí misma, una modificación del equilibrio preexistente (Chudnovsky *et al.*, 1999)

En el año 1947, Moretti atestigua que: “... uno de los problemas del momento actual y de los más importantes desde el punto de vista económico lo constituye la enorme superficie afectada por formaciones de dunas y médanos, la que aumenta año tras año transformando en desierto lo que ayer eran excelentes tierras agrícologanaderas...”

Desde 1999 hasta la fecha, la tendencia en el cambio del uso del suelo se ha mantenido e incrementado, siendo los cultivos de verano, especialmente la soja, los rubros de producción que lideran estos cambios. También es probable que esta tendencia a la especialización agrícola (que algunos han dado en llamar “sojización”) se mantenga

en el futuro si sigue la tendencia favorable en los precios relativos, las condiciones climáticas, y las disponibilidades tecnológicas y biológicas al alcance del productor (Cisneros *et al.*, 2004).

Estos cambios en el uso del suelo producen alteraciones en diferentes propiedades y funciones esenciales del ambiente para la producción agropecuaria y la calidad de los recursos suelos y aguas. Entre las propiedades del suelo se pueden mencionar cambios en el régimen hídrico, con disminución gradual de las velocidades de infiltración y la conductividad hidráulica (Cisneros *et al.*, 1997), aumento de la compactación superficial y subsuperficial (Bricchi y Cisneros, 1998, Cholaky, 2003), reducción en los tenores de materia orgánica (Titonell, 2004, Apezteguía *et al.*, 2004) e incremento en los potenciales de pérdida de suelo y agua por erosión hídrica (Cisneros *et al.*, 2004).

Chidiak y Murmis (2003) citan a Casas para referirse a la importancia del manejo de los suelos para la sustentabilidad, la cual no puede ser subestimada. La sobreexplotación del recurso suelo lleva primero a su degradación, luego a la intensificación de la erosión hídrica y eólica, luego al deterioro de su estructura, a su salinización, a la disminución de la fertilidad (caída de la productividad) y finalmente, si no es detenido, a la desertificación (pérdida irreversible de su capacidad productiva)

En términos generales, Casas (en Chidiak y Murmis, *op cit*) destaca que la vulnerabilidad del sistema natural frente a la actividad antrópica (agricultura) es muy distinta según su nivel de resiliencia (capacidad natural de regeneración inicial). Desde este punto de vista, la vulnerabilidad del agroecosistema pampeano fue en aumento a lo largo del tiempo, lo cual implica períodos de recuperación más largos. Por lo tanto, puede decirse que cuanto mayor es la vulnerabilidad mayor es el impacto ambiental negativo de la intervención. El peligro es que si alcanza un estado de vulnerabilidad crítica, el suelo se degrada al extremo de ser irrecuperable en términos físicos o

económicos (lo cual ocurre a menudo en ecosistemas frágiles como en regiones áridas y semiáridas –pampa semiárida- y suelos con pendientes – pampa ondulada-).

La estabilidad física de una región y el mejoramiento de las capacidades productivas (o de explotación) de sus recursos naturales constituyen condiciones básicas imprescindibles para la implementación y mantenimiento de procesos de desarrollo integral de las comunidades integrantes de esos territorios. Sin ello, la sustentabilidad del crecimiento económico, la evolución y el desarrollo institucional y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas, se ven seriamente comprometidas en su realización (Cantero *et al.*, 1998).

Cada ambiente se encuentra en una condición de equilibrio con una determinada productividad, pero cuando el hombre interfiere modificando el uso y/o el manejo del sistema, éste luego de un tiempo alcanza un nuevo equilibrio, con un determinado nivel de productividad; por lo tanto está en nuestras manos, como técnicos, mantener y aumentar el nivel productivo de los suelos, por ende estaremos frente a un sistema sustentable, en donde se beneficiarán los productores y toda la sociedad.

A través de este trabajo se pretende evaluar el efecto de los distintos usos sobre algunas propiedades del suelo relacionadas con su productividad en un sitio representativo del ambiente medanoso de Córdoba.

Este trabajo guarda semejanza con la tesis de Rocío López Fourcade que estudia los mismos procesos en un área representativa próxima a la localidad de Washington. Ambos trabajos permitirán ampliar el marco de extrapolación de resultados, y verificar las hipótesis para dos áreas diferentes de las llanuras medanosas.

1.2-Antecedentes.

La llanura medanosa presenta un régimen climático transicional entre subhúmedo seco y semiárido, con precipitaciones anuales que oscilan entre 500 y más de 700 mm (Cantero *et al.*, 1998) con suelos desarrollados a partir de materiales franco arenosos y arenosos de origen eólico. El relieve es ondulado a suavemente ondulado, con drenaje excesivo y capas freáticas profundas. Los suelos pertenecen en su mayoría a los órdenes Entisoles (Ustipsamment típico) y Molisoles (Haplustol típico) (INTA, 2003b; Moscatelli y Puentes, 1996).

Esta región, a través del tiempo, ha ido sufriendo o experimentando cambios en el uso de la tierra. A principios del siglo el sistema productivo era mixto, basado en rotaciones agrícologanaderas, con la implantación de praderas permanentes durante un período de tiempo suficiente como para que el suelo recuperara gran parte de su fertilidad química y física (Chudnovsky *et al.*, 1999); también se practicaban cultivos en franjas para disminuir el proceso de erosión eólica. Esta actividad se daba en un paisaje en el cual predominaban las formaciones medanosas e isletas de chañar (*Geoffroea decorticans*) y cañas de castilla (*Arundo donax*), que servían para fijar los médanos. Luego, debido a una generalizada tala de los bosques nativos, sólo han quedado relictos de la vegetación típica del caldenal (Cantero *et al.*, 1998).

Estas tierras desmontadas y el incremento en las precipitaciones a partir del ciclo de El Niño en 1997-98 (Cisneros, 2003) sirvieron para aumentar la superficie destinada a la actividad agrícola.

Otro factor que colaboró en ese proceso de agriculturización fueron las sojas RG (resistentes al herbicida glifosato) las que en 5 años fueron adaptadas por la totalidad de los productores, adquiriendo el paquete **semilla+herbicida**, principalmente por su precio relativo más barato y la comodidad en el manejo (Pengue, 2001).

Otro cultivo que participa de ese proceso es el maní; el que actualmente está migrando de la zona productora hacia ambientes tradicionalmente de uso ganadero o mixto (Cisneros et al., 2006).

Este proceso ha inducido un significativo incremento en el uso de insumos, tales como fertilizantes y agroquímicos (Cisneros, 2003)

Históricamente, los agricultores han utilizado al rendimiento de los cultivos como índices de deterioro. Sin embargo, tal índice es poco utilizado entre los científicos como indicadores biológicos de calidad de sitio. Frecuentemente estas dos posturas generan visiones encontradas en el diagnóstico del deterioro de los suelos. El mayor riesgo del uso de los rendimientos como índice de degradación es que las situaciones de deterioro pueden permanecer enmascaradas por diferentes fuentes de variabilidad. Entre éstas se encontrarían el uso de diferentes materiales genéticos, variaciones climáticas, de sistemas de labranza y fertilización (Horne *et al.* 1992; Totis de Zeljovich *et al.* 1992; Otegui *et al.* 1995 citado por Urricariet y Lavado 1999).

El uso actual de las tierras laboreadas no coincide con su uso potencial (López Fourcade, 2007), por ende la consecuencia más visible de la agriculturización es la aceleración de la degradación del sistema suelo, la que se manifiesta a través de la erosión eólica. Esta forma de erosión es un proceso geológico normal de la evolución del paisaje que se manifiesta con mayor intensidad en ambientes áridos. Sin embargo, su magnitud puede incrementarse drásticamente por la acción antrópica, produciendo fuertes perjuicios para el medioambiente (Buschiazzo y Aimar, 2003). Moscatelli y Puentes (1996) consideran que en esta zona la dinámica erosiva del viento es muy alta, con importantes acumulaciones de médanos activos.

También la materia orgánica es uno de los indicadores más conspicuos de los factores de calidad y salud del sistema suelo (Rovira, 1993; Bouma, 1997; Nortcliff, 2002, citados por Tiftonell, 2004). Las prácticas de labranza han llevado a la mayoría de los suelos a una disminución de hasta el 50 % en el contenido de materia orgánica

(Titonell, 2004), por lo que Alvarez (1996) sostiene que el contenido de materia orgánica de un suelo está asociado a su sustentabilidad. Gregorich *et al.* (1994, citado por Moreno, 2000) afirman que las prácticas de manejo afectan la acumulación de materia orgánica del suelo ya que influyen sobre la cantidad de residuos que retornan al suelo y sobre la velocidad con la que éstos son descompuestos.

Otro resultado de la antropización del sistema es el desarrollo de elevadas resistencias en los suelos debido al tránsito de los equipos agrícolas, ya que en los últimos años la tendencia ha sido incrementar el tamaño de las maquinarias; también el pisoteo de los animales produce un efecto similar (Bernardo *et al.* 2006; Taboada y Micucci 2006).

El cambio en el uso de la tierra de la zona bajo estudio es reciente, pudiéndose observar un incremento sostenido de la superficie agrícola desde del año 1995 hasta la fecha; debido a ello, es insuficiente aún el conocimiento generado sobre el impacto que producirá este cambio en algunas propiedades del suelo. Este trabajo de tesis abordará el estudio de los cambios en algunas propiedades del suelo por efectos del uso.

1.3-Hipótesis.

Los suelos del área medanosa de Córdoba sufren una degradación de sus propiedades físicas y químicas y un aumento de su tasa potencial de erosión eólica por efecto de los cambios de uso.

1.4-Objetivo

Evaluar el grado de deterioro de los suelos de la región medanosa del suroeste de Córdoba a través de la susceptibilidad a la erosión eólica, resistencia mecánica, contenido de materia orgánica y estabilidad de los agregados.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1-Área de estudio:

Los suelos a estudiar están en una zona alrededor de los 34° 15' latitud sur y 64° 40' longitud oeste y pertenecen a la unidad cartográfica Mnen 32, la cual ocupa alrededor de 250.000 ha. en el Departamento General Roca (INTA, 2003b).

El trabajo se realizó en dos establecimientos indicados en la Figura 1. Las situaciones uso mixto (agrícola-ganadero) y pastura permanente se relevaron en el establecimiento “El Ranquel”, que se encuentra ubicado en el departamento General Roca de la provincia de Córdoba. Dista 7 km., por la ruta nacional N° 35, del Río Quinto y otros 7 km. hacia el oeste. En él se llevan a cabo actividades agrícolas y ganaderas, y en 600-700 ha. se realiza Siembra Directa desde hace 12 años aproximadamente y fueron las utilizadas en el muestreo.

Los suelos bajo uso agrícola puro y agrícola degradado pertenecen a un establecimiento vecino, en régimen de arrendamiento.

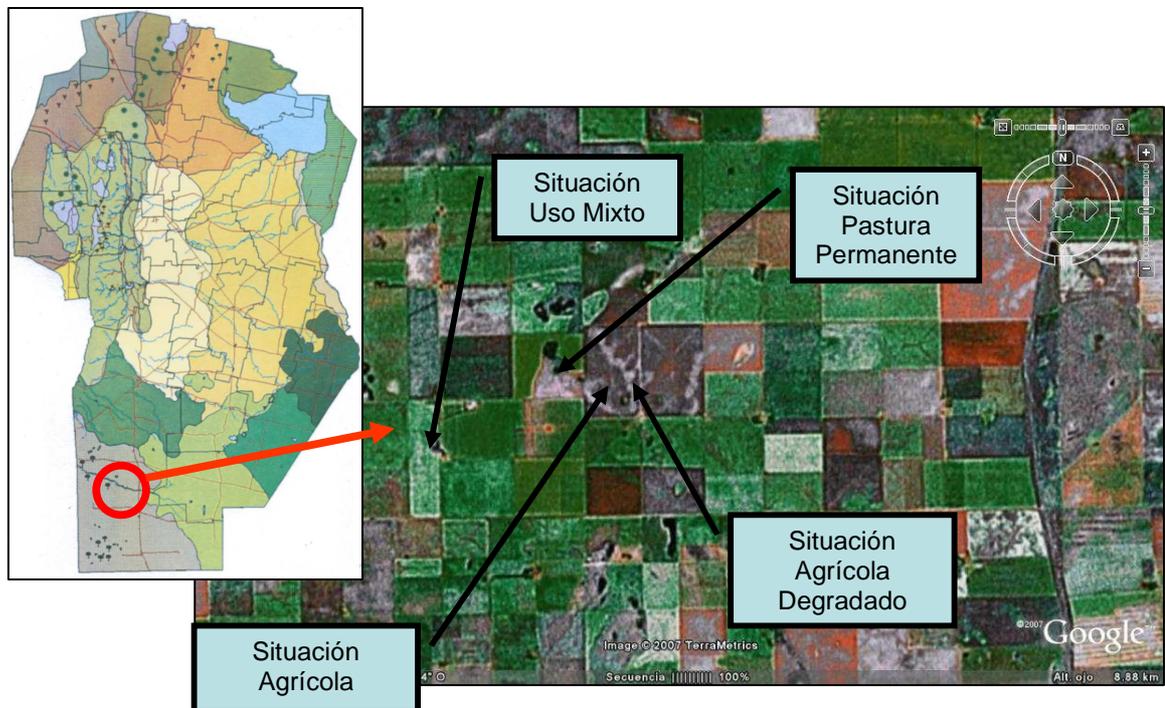


Figura 1: Mapa de ambientes naturales de la Provincia de Córdoba (INTA, 2003) e Imagen LANDSAT de la zona de estudio, con localización de los sitios de muestreo (Google Earth, escala aproximada 1: 100.000).

2.2-Situaciones de uso actual a estudiar:

Las mediciones se realizaron en cuatro situaciones que fueron seleccionadas con el apoyo de informantes calificados (Ing. Agr. Daniel Hernández, Ing. Agr. Edgardo Martini, Sr. Aníbal Clerici). Las situaciones se indican en la Figura 1:

- 1. Pastura permanente** (mínimo deterioro): sin uso agrícola ni ganadero al menos por los últimos 50 años.
- 2. Uso agrícola puro:** bajo régimen de agricultura permanente al menos en los últimos 5 años.
- 3. Uso mixto (agrícola ganadero):** con rotación en base a praderas permanentes.

4. Uso agrícola degradado (deterioro máximo): próxima al estado de desertificación por formación de médanos, en una condición de suelo similar a las anteriores.

Las situaciones 1 y 4 fueron tomadas como testigos o como marco de referencia para la comparación con el resto de las situaciones.

2.3-Evaluaciones:

En cada situación de uso antes mencionada se extrajeron tres muestras de cada una de las siguientes capas del perfil cultural: 0-5 cm, 5-20 cm y 20-30 cm, abarcando el espesor del horizonte A, a los fines de obtener un promedio de cada situación y de cada capa del perfil.

2.3.1 - Variables a medir.

Tomando diferentes profundidades de los suelos de las 4 situaciones, se midieron las siguientes variables:

2.3.1.1 - Granulometría:

A este efecto se utilizó un Analizador de partículas láser (Analissette 22 Economy, 1994). De cada situación se tomaron muestras de las siguiente profundidades: 0-20 cm y 20-30 cm, procediéndose a establecer en ambas profundidades de cada situación los porcentajes respectivos a arena, limo y arcilla. Procedido a comparar entre sí las muestras correspondientes a ambas profundidades en cada una de las situaciones, se obtuvo que los porcentajes que contenían en arena, limo y arcilla resultaban similares, tornando conveniente establecer una media que arrojó un porcentaje para cada una de los materiales nombrados, para cada situación, considerada hasta los 30 cm.

Posteriormente, en cada muestra de las situaciones de uso se determinaron las siguientes variables:

2.3.1.2 - Fracción Erodable:

Mediante el tamizado de muestras no disturbadas y secadas al aire, estableciéndose la proporción de partículas menores a 0,82 mm de diámetro (Chepil, 1963); y comparándose con la Ecuación Revisada de Erosión Eólica (RWEQ, Fryrear et al., 1998). Dichos procedimientos fueron efectuados sobre muestras conseguidas hasta los 5 cm de profundidad.

2.3.1.3 - Resistencia a la penetración:

Mediante un penetrómetro computarizado (Eijkelkamp, 1995). Sirvió para evaluar el grado de resistencia a la penetración hasta los 40 cm. en todas las situaciones, a excepción de la pastura permanente que solo se pudo llegar a 20 cm, debido al estado de humedad seco que presentaba, promediándolos luego cada 5 cm.

2.3.1.4 - Contenido de materia orgánica:

Según el método de Wakley-Black (Nelson y Sommers, 1982). De cada situación se tomaron tres muestras, analizándose cada una de ellas a diferentes profundidades: 0-5 cm., 5-20 cm. y 20-30 cm., exceptuándose de estas últimas medidas al agrícola degradado, que, debido a la homogeneidad en el perfil, solo se muestreó hasta los 20 cm.. Con los valores que se obtuvieron en los primeros 5 cm. se determinó el contenido de materia orgánica relativa, considerando como referencia a la situación de mínimo deterioro (pastura permanente).

2.3.1.5 - Estabilidad de los agregados:

Según el método de De Boodt y De Leenheer (1967). Las muestras de cada situación correspondían a los primeros 5 cm de profundidad, a las cuales se las tamizó y con el peso de muestra en cada tamiz, tanto en seco como en húmedo, se determinó el porcentaje de peso para corregir el suelo que se perdió en el procedimiento y se lo multiplicó por el promedio del diámetro del tamiz inferior y el superior. Con la sumatoria de estos valores se consiguió el diámetro ponderal medio. A través de este

último y tomando de referencia la situación de mínimo deterioro, se obtuvo la estabilidad de agregados relativa en seco y húmedo. También se pudo calcular el índice de estabilidad a partir del cambio de diámetro ponderal medio.

2.4-Criterios y métodos para la interpretación de resultados:

2.4.1 - Comparación entre medias:

Cada variable fue promediada por capa del perfil cultural y por cada variante de uso, y se realizó un test de comparación de medias para determinar la existencia de diferencias significativas (Infostat, 2002)

2.4.2 - Relación entre variables:

Se establecieron posibles relaciones funcionales entre las principales variables mediante regresiones lineales o no lineales (Módulo estadístico de Microsoft Excel).

2.4.3 - Grados relativos de deterioro en porcentaje con respecto a los extremos:

En base a los resultados encontrados se establecieron grados relativos de deterioro en función de las situaciones testigo seleccionadas: Pastura Permanente y Agrícola Degradado.

En función de estas relaciones se concluyó sobre el grado de deterioro de los suelos producto de los cambios de uso y manejo imperantes en los sistemas actuales de producción, lo cual permitió fundamentar nuevas hipótesis sobre la sustentabilidad futura de los modelos de producción.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.-Descripción de los perfiles de suelo estudiados.

3.1.1. - Situación con uso agrícola puro :

El lote presentaba rastrojo de maíz, el cual luego de la cosecha, había sido pastoreado. La campaña anterior fue utilizado para maní, que luego de la cosecha, el lote se “voló” y se depositó en el lote vecino.

La secuencia de horizontes es la siguiente:

A1: 0-15 cm, color pardo amarillento, arenoso franco, estructura en bloques débiles a muy débiles, y abundante grano suelto, fina, débil, no plástico, no adhesivo, deposición reciente de material (arena). Límite inferior abrupto ondulado.

IIA2: 15-30 cm, pardo amarillento, arenoso franco, estructura en bloques subangulares débiles y grano suelto, no plástico, no adhesivo. Límite inferior gradual.

IIAC: 30-40 cm, pardo amarillento claro, arenoso franco a arenoso, grano suelto, no plástico, no adhesivo. Límite inferior difuso.

C: + de 40 cm. Pardo amarillento, arenoso franco a arenoso, grano suelto, no plástico, no adhesivo.

De acuerdo a las características descritas, el suelo se clasifica como Ustipsamment típico (USDA, 2002). Las características del paisaje, suelo y cobertura de esta situación se muestran en las Fotos N° 1 y 2.



Foto 1: Paisaje Situación Agrícola



Foto 2: Perfil Cultural Agrícola

3.1.2. - Situación agrícola degradada:

Condición de suelo similar a la anterior, ubicada en una posición más alta de la secuencia topográfica. Es un suelo muy poco desarrollado, la superficie presentaba escasa cobertura y se observaba la deposición de material reciente, el cual era variable lo que significa que en algunos sectores se estaba decapitando y en otros depositando, produciendo un engrosamiento del horizonte A. La secuencia de horizontes en esta situación es AC, C. La situación se muestra en la Fotos 3 y 4.



Foto 3: Paisaje Agrícola Degradado.



Foto 4: Perfil Cultural Agrícola Degradado.

3.1.3. - Situación pastura permanente:

Esta situación se encontraba contigua al lote anterior y presentaba la misma secuencia topográfica. El muestreo fue realizado en la parte mas baja de la secuencia. El lote estaba cubierto de pasto llorón, el cual fue implantado muchos años atrás para estabilizar el médano; no es usado para ninguna actividad. El suelo en los primeros centímetros de profundidad se mostraba agregado debido a las raíces de la gramínea, se encontraba con menor contenido hídrico y mayor resistencia por lo que se obtuvieron datos de resistencia hasta los 20 cm. La secuencia y características de los horizontes es similar a la situación agrícola permanente (Fotos 5 y 6).



Foto 5: Paisaje Pastura Permanente.



Foto 6: Perfil Cultural Pastura Permanente.

3.1.4. - Situación mixta agrícola-ganadera:

El lote muestreado se encontraba mas alejado de las situaciones anteriores. Tenía implantado una alfalfa de cuatro años a la que en el último otoño se le había intersembrado avena.

Al realizar una calicata para observar el perfil, se encontró una capa densificada que era atravesada por las raíces, pero éstas estaban muy desarrolladas. (Fotos 7, 8, 9 y 10).



Foto 7: Paisaje Mixto.



Foto 8: Perfil Cultural Mixto.



Fotos 9 y 10: Raíces engrosadas de alfalfa en el sistema Mixto.

3.2-Composición granulométrica.

Las situaciones agrícola, mixto y pastura permanente pertenecen a la clase textural arenoso franco, mientras que la situación agrícola degradado pertenece a la clase textural arenoso (Figura 2 y Tabla 1). Esta clase textural es similar a la reportada en el Mapa de Suelos de Córdoba, para las principales series de suelos del Departamento General Roca, clasificados como Ustipsamment típicos (INTA 2003b).

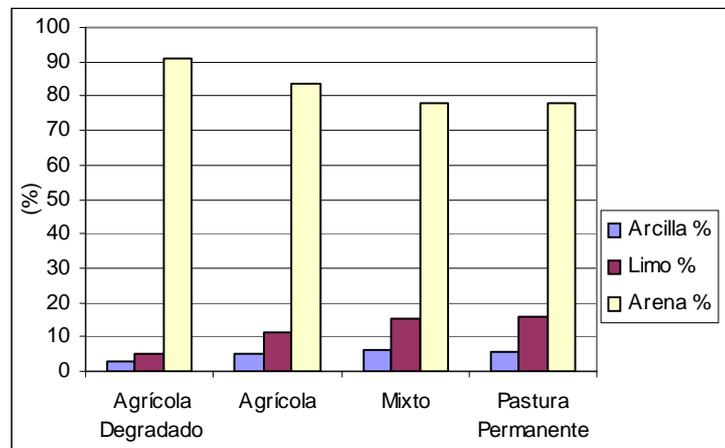


Figura 2: Composición granulométrica de las situaciones de suelo de la Pampa Medanosa bajo diferentes usos.

Tabla 1: Composición Granulométrica de cada situación de uso en la Pampa Medanosa.

Situación	Arcilla %	Limo %	Arena %	TEXTURA
Agrícola degradado	2,9	5,1	91,2	Arenoso
Agrícola	4,9	11,0	83,7	Arenoso Franco
Mixto	6,4	15,1	78,0	Arenoso Franco
Pastura permanente	5,6	16,1	77,8	Arenoso Franco

Las diferencias en granulometría con la situación degradada indican un proceso de selección de partículas hechas por el viento, producto del transporte diferencial operado en esta situación, las cuales hicieron cambiar de clase textural a arenoso, proceso ya descrito por Buschiazzo y Aimar (2003).

3.3-Fracción erodable.

La fracción erodable representa la proporción de suelo susceptible de deflacción eólica, y como puede apreciarse de la Tabla 2 y Figura 3, constituye más del 93 % en el agrícola degradado, seguido por el agrícola, el mixto y con una fracción significativamente menor la pastura permanente. La fórmula empírica parece no tener adecuada sensibilidad para diferenciar tipos de uso, siendo más sensible el procedimiento de tamizado utilizado.

Tabla 2: Fracción erodable de cada situación de uso para un suelo de la Pampa Medanosa, obtenida por tamizado y por la fórmula de RWEQ (1998).

	Agrícola Degradado	Agrícola	Mixto	Pastura permanente
Partículas menores a 0,84 mm por tamizado	93,02	87,33	63,18	49,84
Partículas menores a 0,84 mm según fórmula RWEQ	67,62	60,04	53,90	55,59

Por otra parte los resultados destacan la alta susceptibilidad a erosión eólica generada en los usos más intensivos, y la proximidad de valores entre el agrícola y el agrícola degradado, aspecto que se notó claramente en el estado de la superficie del suelo más degradado (Foto 2 y 4).

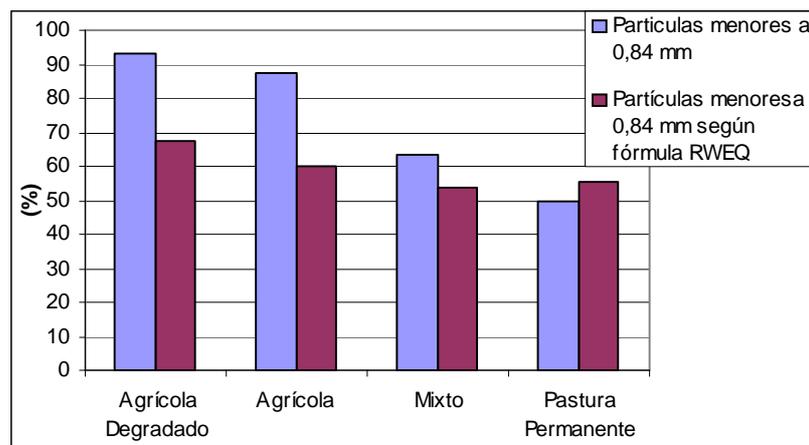


Figura 3: Fracción erodable de cada situación de uso para un suelo de la Pampa Arenosa, obtenido por tamizado y por la fórmula RWEQ (1998).

En cuanto a proporción de agregados menores a 0,84 mm, Aimar *et al.* (2006) informaron valores de entre 30,4 y 41,1 % para Ustipsammentes de La Pampa. Estos valores resultan sustancialmente menores a los encontrados en los suelos bajo uso agrícola, y aun a los encontrados en el uso ganadero y la pastura permanente del presente trabajo, lo cual confirmaría la alta susceptibilidad a erosión encontrada. En este sentido Michelena e Irurtia (1995, citados por Buschiazzo y Aimar, 1998) reportaron valores de erosión eólica actual de entre 9,4 y 27,1 Mg/ha/año, y la erosión potencial entre 23,6 y 178,6 Tn/ha/año, para suelos de la provincia de La Pampa.

En otro trabajo, Panebianco y Buschiazzo (2006), para suelos similares reportaron valores de erosión eólica anual medida de entre 6,3 y 40,2 Mg/ha/año, y estimadas por la fórmula RWEQ de entre 1,5 y 31,8 Mg/ha/año, de acuerdo a la erosividad del clima, que fluctuó entre 2 y 168.

En relación a la erosión potencial por viento, Bravo *et al.* (1998) encontraron diferencias apreciables en erosión eólica en diferentes tipos de barbecho de trigo en el sudeste bonaerense. Los autores hallaron que la cobertura superficial en sistemas de siembra directa reduce de 5 a 7 veces la erosión eólica.

3.4-Resistencia a la penetración.

Esta variable mostró una alta variabilidad debido a interacciones entre los tipos de suelo, y la humedad, por lo que no mostró buena sensibilidad para detectar cambios, al menos con la frecuencia de determinaciones realizadas en este trabajo.

En la Figura 4 se indican los perfiles de Resistencia Mecánica de las distintas situaciones, en la Tabla 3 los valores medios y sus diferencias significativas, y en la tabla 4 los valores de humedad del suelo al momento de las determinaciones.

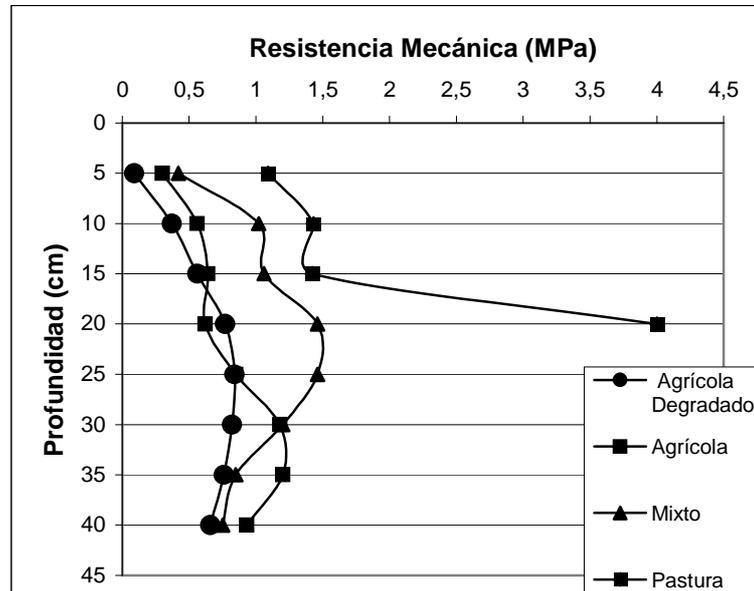


Figura 4: Perfiles de resistencia a la penetración en suelos de la Pampa Medanosa de Córdoba.

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la resistencia mecánica a distintas profundidades entre las diferentes situaciones (Tabla 3).

Tabla 3: Resistencia a la penetración en suelos de la Pampa Medanosa de Córdoba.

Profundidad	Agrícola Degradado	Agrícola	Mixto	Pastura Permanente
0-5 cm.	0.09 B	0.30 B	0.42 B	1.09 A
5-10 cm.	0.37 B	0.56 B	1.02 B A	1.43 A
10-15 cm.	0.56 B	0.64 B	1.06 B A	1.42 A
15-20 cm.	0.77 C	0.62 C	1.46 B	4 A
20-25 cm.	0.84 C	0.85 C	1.46 B	4 A
25-30 cm.	0.82 C	1.18 B	1.20 B	4 A
30-35 cm.	0.76 C	1.20 B	0.85 B A	4 A
35-40 cm.	0.66 C	0.93 B	0.75 B A	4 A

Letras distintas en las filas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Tabla 4: Contenido de humedad (gr/100 gr) del suelo al momento de la determinación de resistencia a la penetración.

Profundidad	Agrícola Degradado	Agrícola	Mixto	Pastura Permanente
0-5 cm.	2,89	14,09	6,05	5,27
5-20 cm.	5,41	14,06	7,08	6,03
20-30 cm.	*	15,41	6,71	5,69

*Sin dato

La situación agrícola degradada es la que presenta menores resistencias, salvo entre los 15 y 25 cm. de profundidad en que ésta es algo mayor a la de la agrícola, y entre los 20 y 30 cm. en que es mayor a 0.8 MPa. No obstante, estas diferencias no son significativas y no representan limitantes a la exploración radical. Todo esto indica que no existen procesos de compactación importantes en este sistema, ya que los valores son bajos y se dan en bajas humedades.

Bernardo *et al.*, (2006), consideran que cuando la resistencia es elevada la relación entre ésta y longitud de raíz, o velocidad de elongación o porcentaje de raíces que penetran un suelo resistente muestra un importante punto de inflexión entre 0.8 y 1.2 MPa.

Taboada *et al.*, (2006), menciona que aumentos de resistencia > 2 MPa son críticos para el crecimiento de las raíces, y considera a ese valor como el umbral crítico de resistencia a la penetración, por encima del cual se detiene el crecimiento radical. Pero también considera que la impedancia crítica del suelo para las raíces difiere en relación con el estado de humedad edáfica y la etapa de desarrollo de las plantas.

La situación agrícola tiene una resistencia mecánica menor al mixto a excepción de los últimos 10 cm. de profundidad en la que es mayor, aunque no significativamente. Las diferencias de resistencia están enmascaradas por las diferencias de humedad del suelo.

Mientras el sistema mixto presenta mayores valores de resistencia pero menores humedades que el agrícola. Por lo tanto no se podría inferir la existencia de pisos de

labor en ambas situaciones debido a la interacción fuerte entre resistencia y humedad del suelo, aspecto que ya fue destacado por otros autores (Cisneros *et al.*, 1997).

En la situación agrícola, a medida que aumenta la profundidad la resistencia a la penetración también lo hace, pero siempre con valores menores a 0.8 MPa.; a partir de los 20 cm. de profundidad comienza a tomar valores superiores a 0.8 MPa. alcanzando un máximo de 1.20 MPa. entre los 30 y 35 cm., luego a medida que aumenta la profundidad hasta los 40 cm. los valores de resistencia son cada vez menores, pero superiores a 0.8 MPa. Vale destacar que estos valores se dan a altas humedades propias de la acumulación producida luego de madurez fisiológica de maíz.

El sistema mixto siempre presenta valores menores a la pastura permanente. Para el sistema mixto los valores muestran que la resistencia mecánica en los primeros 5 cm. era de 0.42 MPa. y luego aumenta rápidamente alcanzando a los 10 cm. una resistencia de 1.02 MPa., desde los 15 cm. y hasta los 25 cm. alcanza un valor máximo de 1.46 MPa.; a partir de allí comienza a disminuir pero con valores mayores a 0.8 MPa.. Entre los 30 y 35 cm la resistencia es de 0.85 MPa. y luego a medida que aumenta la profundidad la resistencia disminuye. Para esta situación tampoco parece haber desarrollo de pisos de arado, aspecto confirmado además por la baja humedad del perfil. Por otra parte no se observaron modificaciones o deformaciones importantes en los sistemas de raíces de alfalfa al momento de muestreo (*Fotos 9 y 10*).

Por último, el de pastura permanente es el que tiene los valores mas altos y siempre superiores a 0.8 MPa., alcanzando a los 20 cm. la máxima resistencia que puede ser medida por el penetrómetro (4 MPa). Esto podría indicar la existencia de un valor de humedad crítico para la resistencia mecánica que podría situarse en el orden de entre 5 y 6 % de humedad, en el cual la relación resistencia-humedad se vuelve máxima. Este tipo de comportamientos con humedad crítica fue encontrado para otros suelos de la región, aunque con humedades mayores (Cisneros *et al.*, 1997).

Oussible *et al.*, (1992 citado por Elissondo *et al.*, 2001) menciona que la resistencia mecánica (RM) o resistencia a la penetración que ofrece el suelo en la zona de las raíces puede impedir el crecimiento de las raíces. En la misma obra Gerard *et al.*, (1982 citado por Elissondo *et al.*, 2001) cita valores críticos de 1.5, 1.6 MPa, a los cuales la actividad radical cesa dependiendo del suelo y el cultivo.

Por todo lo expuesto se considera que las determinaciones realizadas no permitirían mostrar diferencias marcadas entre tratamientos, debido a la fuerte interacción entre resistencia y humedad. Por otra parte en la bibliografía no existe aún acuerdo sobre los valores críticos de resistencia para el crecimiento de raíces.

Se debería profundizar sobre esta variable teniendo en cuenta diferentes contenidos hídricos, para cada uno de los usos analizados.

3.5.-Materia orgánica.

El contenido de materia orgánica mostró importantes diferencias entre las situaciones estudiadas, mostrándose como una variable muy sensible para detectar diferencias de uso (Figura 5).

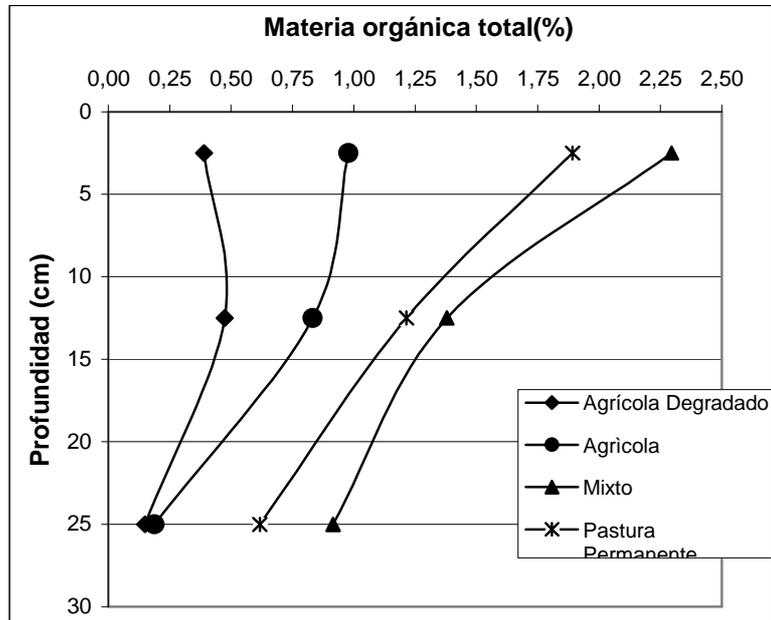


Figura 5: Contenido de materia orgánica para cuatro situaciones de uso en la Pampa Medanosa de Córdoba.

El agrícola degradado es el que presenta, en todo el perfil, el menor contenido de materia orgánica; en los primeros 20 cm. alcanza a tener 0.47 %, y entre los 20-30 cm. disminuye a 0.15%.

El agrícola presenta algo más del doble que el agrícola degradado en los primeros 20 cm. (0.98 y 0.83 %), pero entre los 20 y 30 cm. toma un valor similar.

El de pastura permanente tiene casi el doble de materia orgánica del agrícola en los primeros 20 cm., debido a que presenta un 1.89 % en los primeros 5 cm. y 1.21 % entre los 5-20 cm.. Luego toma un valor mínimo de 0.62 % entre los 20-30 cm..

El mixto es el que presenta mayor cantidad de materia orgánica: en los primeros 5 cm. de profundidad tiene 2.3 %, luego entre los 5-20 cm. disminuye a 1.38% y alcanza el valor mínimo entre los 20-30cm con 0.92%.

En todos los casos el mayor contenido de materia orgánica se presenta en los primeros 5 cm., y disminuye a medida que la profundidad aumenta. Varios autores coinciden con esta afirmación: El contenido de carbono orgánico de los suelos decrece

con la profundidad porque disminuye el aporte de residuos de la vegetación (Álvarez y Lavado, 1998 citado por Álvarez y Steinbach, 2006). También Wild A. (1992) menciona que la materia orgánica suele disminuir rápidamente con la profundidad, y Cabria y Culot (2001) encontraron que en suelos Udoles de Bs. As. el contenido de MO en los horizontes superficiales fue mayor y estadísticamente distinto que en los subsuperficiales.

El análisis de varianza indica que existen diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el contenido de materia orgánica a distintas profundidades entre las diferentes situaciones. (Tabla 5)

Tabla 5: Contenido de materia orgánica para cuatro situaciones de uso en la Pampa Medanosa de Córdoba.

Profundidad	Agrícola Degradado	Agrícola	Mixto	Pastura Permanente
0-5 cm.	0,39 D	0,98 C	2,30 A	1,89 B
5-20 cm.	0,47 C	0,83 B	1,38 A	1,21 A
20-30 cm.	0,15 C	0,19 C	0,92 A	0,62 B

Letras distintas en las filas indican diferencias significativas ($p <= 0,05$)

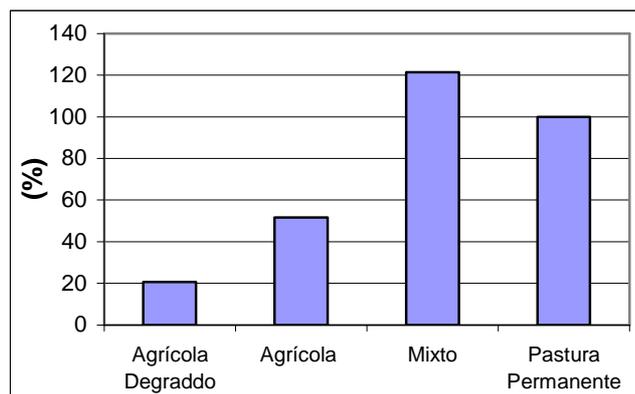


Figura 6: Contenido relativo de materia orgánica de cuatro situaciones de uso de la Pampa Medanosa.

La figura 6 indica el contenido relativo de materia orgánica (%), logrado de la relación del contenido de materia orgánica en los primeros 5 cm. de la situación con

menos deterioro con las demás situaciones. De esta manera queda de manifiesto que el sistema mixto es el que presenta mayor contenido de materia orgánica, inclusive mas que la situación con menos deterioro (pastura permanente).

Los valores obtenidos son mayores a los reportados por Titonell, 2003, para situaciones naturales bajo pastizal en la Pampa Medanosa, que reportó valores de entre 1 y 1,2 % de materia orgánica. Los valores obtenidos para la situación de uso mixto indicarían que se ha producido una recuperación hasta valores mayores a los de la condición de equilibrio, o similares a ella, en forma coincidente con otro trabajo para suelos del área medanosa de López Fourcade (2007).

Por otra parte los valores muestran que los suelos de uso mixto y de pastura permanente, entrarían en el orden molisol (Haplustoles énticos), mientras que a las otras dos situaciones los valores las colocarían en el orden entisol (Ustipsamment típicos).

Numerosos autores encuentran tendencias similares a las del presente trabajo.

Álvarez y Steinbach (2006), mencionan que en la Región Semiárida Pampeana y en la Pampa Ondulada, al aumentar la proporción de agricultura sobre ganadería, disminuyen los aportes de carbono al suelo y en consecuencia el nivel de materia orgánica.

También Jenkinson (1992) dice que se produce un descenso casi inevitable del contenido de materia orgánica de los suelos a la introducción del laboreo agrícola.

Álvarez y Steinbach (2006) citan a Orellana y Pilati (1994) y Urricariet y Lavado (1999) mencionando que, en general, hay una tendencia a encontrar mas carbono en los suelos bajo pastura que en los que están en cultivo, pero las diferencias son pequeñas. No obstante estos autores trabajaron en suelos de texturas más finas que las de este trabajo.

Echeverría y Ferrari (1993) mencionan que en el sudeste bonaerense, la intensificación del uso agrícola del suelo ha provocado una disminución en el contenido de MO.(citado por Elisondo *et al.*, 2001)

También Cabria y Culot (2001) encontraron que el porcentaje de materia orgánica en los horizontes A de los suelos labrados fue menor que en los no labrados en suelos Udoles de Buenos Aires.

Ciarlo *et al.*, (2004) concluyeron que los niveles de carbono orgánico total disminuyeron desde las situaciones de menor deterioro a las de mayor deterioro a medida que aumentó el número de años de agricultura en su historial agrícola en suelos vertisólicos de Entre Ríos.

Se encontraron marcadas diferencias entre las situaciones, por lo que este parámetro demuestra el deterioro de los suelos producto de los cambios de uso y manejo en esta zona. Ya se mencionó anteriormente que la situación Agrícola contenía menos materia orgánica que el sistema Mixto, lo que concuerda con lo afirmado por Hevia *et al.*, (2004), que el uso agrícola de los suelos, en la región semiárida Argentina, produce disminuciones de la fracción orgánica.

3.6-Estabilidad de Agregados.

Este parámetro, de relevante sensibilidad, evidenció que existe una marcada diferencia entre los sistemas de uso de cada situación estudiada en la Pampa Medanosa, y la estabilidad de sus agregados en seco y en húmedo.

La estabilidad estructural del suelo seco es el índice mas seguro de la susceptibilidad a la erosión eólica, de allí que su cuantificación es una forma directa de estimar las pérdidas del suelo (Chepil, 1950).

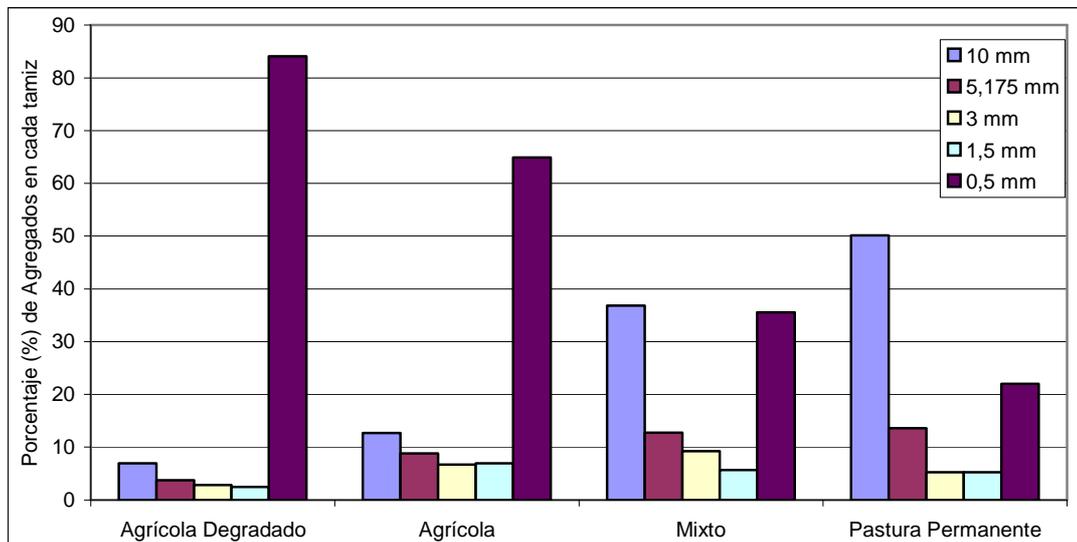


Figura 7: Porcentaje en peso promedio, en seco, de cada diámetro (mm) de agregados para cuatro situaciones de uso en la Pampa Medanosa de Córdoba.

La figura 7 indica que el agrícola degradado y el agrícola tienen en su mayoría agregados de pequeño diámetro (0.5 mm), en cambio, en el de pastura permanente predominan los agregados de mayor tamaño (10 mm), y en menor medida los de 0.5 mm. En el sistema mixto prevalecen, casi en igual porcentaje, los agregados de diámetros extremos (10 y 0.5 mm).

El análisis de varianza indica que existen diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el peso medio de suelo seco de diferente diámetro entre las diferentes situaciones de uso (tabla 6).

Tabla 6: Peso medio (gr) de suelo seco en los tamices de diferente diámetro de las situaciones analizadas en la Pampa Medanosa.

Diámetro Medio de agregados (mm)	Agrícola Degradado	Agrícola	Mixto	Pastura Permanente
10	0,7 B	1,27 B	3,68 A	5,02 A
5,175	0,19 C	0,45 B	0,66 BA	0,70 A
3	0,08 B	0,02 B	0,28 A	0,27 A
1,5	0,04 B	0,01 C	0,08 A	0,08 A
0,5	0,42 A	0,32 A	0,18 B	0,11 B

Letras distintas en las filas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

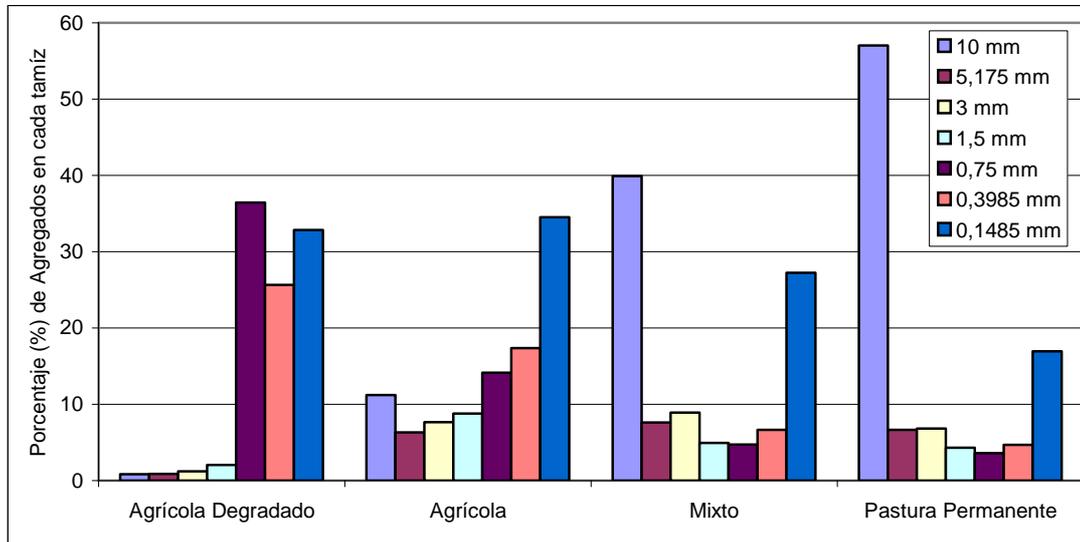


Figura 8: Porcentaje en peso promedio, en húmedo, de cada diámetro (mm) de agregados para cuatro situaciones de uso en la Pampa Medanosa de Córdoba.

La figura 8 indica que en la situación con máximo deterioro predominan los agregados de menor diámetro, al igual que en el sistema agrícola, no así en el mixto y en el de pastura permanente, que prevalecen los agregados de diámetros extremos (10 y 0.5 mm)

López Fourcade (2007) halló, en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba), que desde la situación de máximo a la de mínimo deterioro el peso de suelo de los diámetros de tamices más grandes va disminuyendo progresivamente; mientras que los diámetros más pequeños aumentan su peso. En el Médano Vivo, quedó el mayor porcentaje de suelo en el tamiz de malla mas pequeña (predominio de grano suelto), mientras que en la Tierra Virgen, el mayor porcentaje quedó en el tamiz de mayor diámetro (agregados más estables).

Tanto en seco como en húmedo el sistema mixto tiene mayoría de agregados de los diámetros extremos. Esto podría deberse al pisoteo de los animales, que provocaría la ruptura de los agregados en los primeros centímetros de profundidad.

En húmedo el análisis de varianza indica que existen diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el peso medio de suelo seco en los diferentes diámetros entre

las diferentes situaciones de uso; a excepción del diámetro medio de 0.1485, en el que la diferencia es significativa ($p \leq 0.05$). (Tabla 7).

Tabla 7: Peso medio (gr) de suelo húmedo en los tamices de diferente diámetro de las situaciones analizadas de la Pampa Medanosa.

Diámetro Medio de agregados (mm)	Agrícola Degradado	Agrícola	Mixto	Pastura Permanente
10	0,09 C	1,12 C	3,99 B	5,70 A
5,175	0,05 B	0,33 A	0,40 A	0,34 A
3	0,04 B	0,23 A	0,27 A	0,20 A
1,5	0,03 B	0,13 A	0,07 B	0,06 B
0,75	0,27 A	0,11 B	0,04 C	0,03 C
0,3985	0,10 A	0,07 A	0,03 B	0,02 B
0,1485	0,05 A	0,05 A	0,04 BA	0,03 B

Letras distintas en las filas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

La estabilidad estructural podría considerarse un evaluador sensible del efecto antrópico en los suelos de la región pampeana (Pilatti *et al.*, 1988, Vázquez *et al.*, 1990, Orellana, Pilatti 1994, citados por Urricarriet y Lavado 1999). Lo que también es confirmado en este trabajo, debido a que es evidente cómo los usos agrícolas han producido cambios en los diámetros de los agregados, generando que predominen los microagregados sobre los macroagregados.

La variación del diámetro medio ponderado de agregados estables al agua, permitió discriminar el grado de intensificación de uso agrícola de los suelos, resultando un indicador sensible del efecto antrópico (Urricarriet y Lavado 1999)

Ciarlo *et al.*, (2004) encontraron que en los suelos de Entre Ríos el uso agrícola produjo una disminución de los macroagregados estables al agua. Los mayores valores de macroagregados se observa en la situación de menor deterioro; éstos se encuentran relacionados directamente con las distintas fracciones de carbono orgánico.

Tisdall (1982) mencionado por Cabria y Culot (2001), considera que la estabilidad de los macroagregados es generalmente controlada por las prácticas de

manejo u otras perturbaciones, pues alteran el crecimiento de las raíces, hifas de hongos u organismos rizoféricos.

Cabría y Culot (2001) infieren que el nivel de desarrollo alcanzado por la estructura de los agregados en las pasturas no disturbadas mecánicamente es distinto al de los sitios labrados y cultivados. Estos últimos poseerían mayor cantidad de microagregados debido a la ruptura y pérdida de estabilidad de los macroagregados.

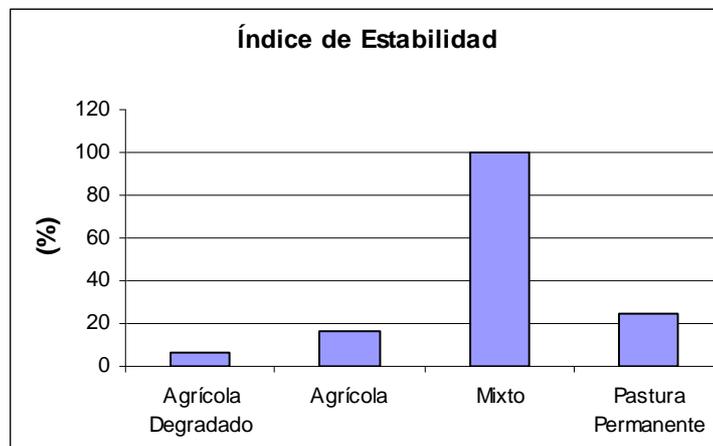


Figura 9: Índice de estabilidad de agregados (%) de las cuatro situaciones analizadas de la Pampa Medanosa.

El índice de estabilidad (figura 9) revela al sistema mixto como la situación de agregados mas estable, luego se encuentra el de pastura permanente seguido por el agrícola y por último es el agrícola degradado el que presenta los agregados menos estables.

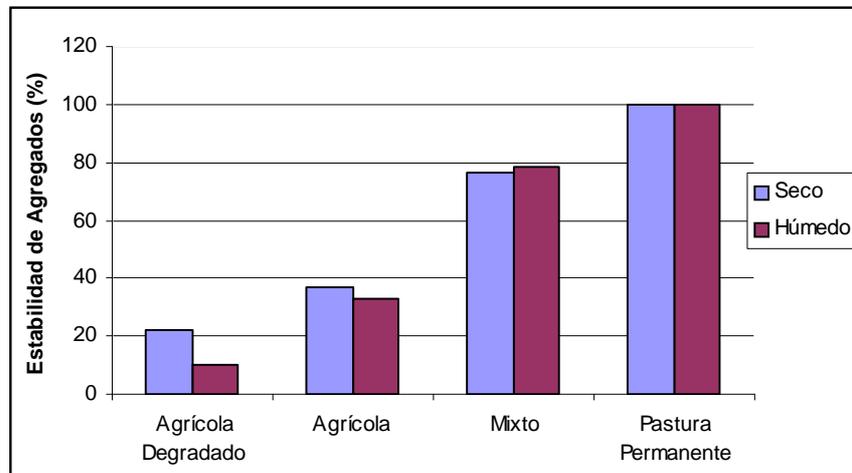


Figura 10 : Grado relativo de estabilidad de agregados en cuatro situaciones de uso en la Pampa Medanosa de Córdoba.

En relación con la situación menos disturbada (pastura permanente), tanto en seco como en húmedo, el mixto es el que presenta mayor estabilidad de agregados, luego se encuentra el agrícola y por último el agrícola degradado (figura 10).

Tabla 8: Estabilidad de agregados relativa (%) en seco y húmedo, tomando al diámetro ponderal medio como parámetro de relación. Índice de estabilidad a partir del cambio de diámetro ponderal medio en seco y húmedo de cuatro situaciones de la Pampa Medanosa.

	Agrícola Degradado	Agrícola	Mixto	Pastura permanente
Diámetro Ponderal Medio en Seco	1,43	2,35	4,88	6,39
Estabilidad de Agregados Relativo (%) Seco	22.41	36.83	76.49	100
Diámetro Ponderal Medio en Húmedo	0,63	2,03	4,83	6,18
Estabilidad de Agregados Relativo (%) Húmedo	10.15	32.97	78.27	100
Índice de Estabilidad de Agregados (%)	6,34	16,14	100	24,29

Los resultados de la Tabla 8 muestran que, si bien los mayores diámetros de agregados se dan en la situación de pastura permanente, y por lo tanto reflejan una estabilidad máxima en esta situación, al considerar el cambio en el diámetro ponderal medio, la situación de uso mixto es la que aparece con mayor estabilidad de agregados, lo cual se refleja en el máximo valor del índice de estabilidad. No obstante ambas

variables son importantes como indicadoras de calidad de suelo, en cuanto a resistencia a erosión, tanto hídrica como eólica, y las situaciones de uso mixto y de pastura permanente se separan en forma muy apreciable de ambas situaciones de uso agrícola.

Urricarriet y Lavado (1999) observaron en Argiudoles típicos de la Pampa Ondulada, que el deterioro redujo el diámetro de agregados estables al agua un 37% en suelos con corta historia agrícola y un 23% en suelos con larga historia agrícola; en relación al suelo en condiciones prístinas.

En suelos de Santa Fe, Orellana y Pilatti (1993) tomaron como límites críticos de Índice de Estabilidad en relación al suelo testigo (no laboreado) a valores del orden de 54% para praderas y 19% para lotes agrícolas.

Esto autores mencionan Índices de Estabilidad mucho menores en suelos que tienen una mayor estabilidad natural (Argiudoles típico franco arcillo limosos) que los estudiados en este trabajo, lo cual muestra la utilidad de usar índices relativos a una situación virgen.

Por otra parte, en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba), López Fourcade (2007), encontró mayores Índices de Estabilidad para la situación ganadero Llorón (98.35%), seguido por el Ganadero con verdeo de cebada (60.82%), luego el Agrícola con Soja (61.91%) todos con respecto a una situación de suelo Virgen. Esto confirmaría la mayor tendencia a la degradación de los suelos estudiados en esta tesis, que muestra valores de estabilidad aún menores a los encontrados en suelos similares de Washington.

3.7-Relaciones entre variables analizadas.

3.7.1. - Materia orgánica y estabilidad de agregados.

Ambas variables se correlacionaron positiva y significativamente. La Figura 11 muestra que a medida que aumenta el contenido de materia orgánica relativa, también lo hacen los diferentes índices de estabilidad de agregados. Las figuras 12 y 13 indican que existe la misma correlación entre dichas variables, quedando de manifiesto que en las situaciones cuyo contenido de materia orgánica era bajo (agrícolas) también lo fue la estabilidad de sus agregados.

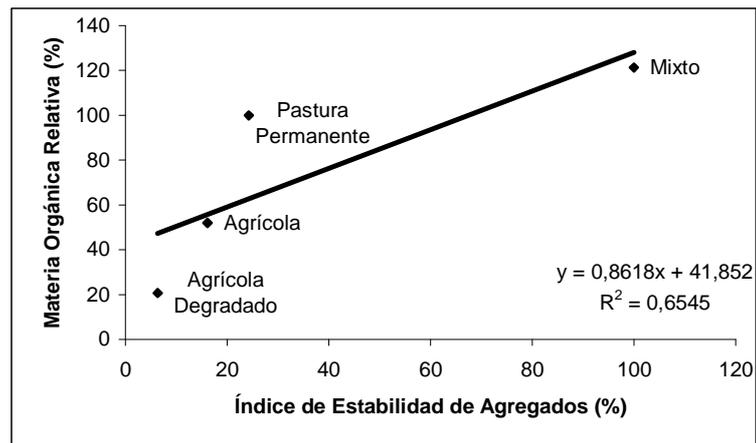


Figura 11: Relación entre índice de estabilidad de agregados (%) y contenido de materia orgánica relativa (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.

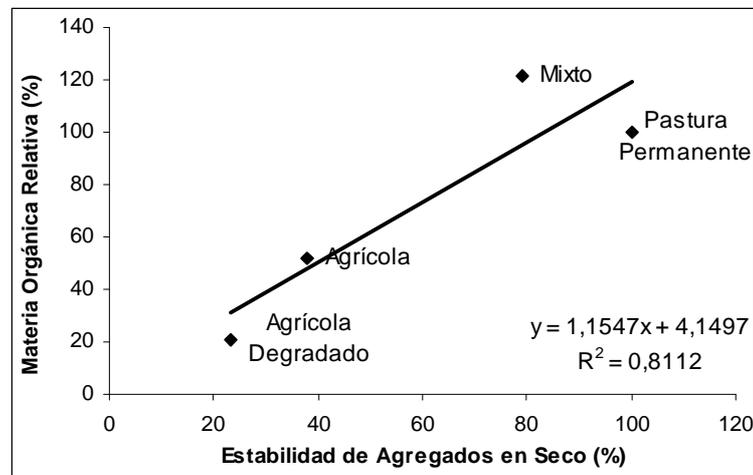


Figura 12: Relación entre estabilidad de agregados en seco (%) y contenido de materia orgánica (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.

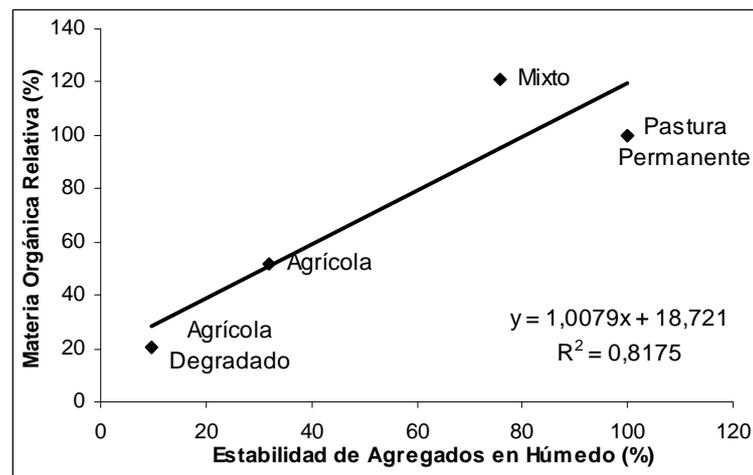


Figura 13: Relación entre estabilidad de agregados en húmedo (%) y contenido de materia orgánica (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.

Alvarez y Steinbach (2006) mencionan que entre las propiedades físicas del suelo una de las más afectadas por la materia orgánica es la estabilidad estructural del estrato superficial. A mayor nivel de materia orgánica los agregados son más estables

Santanatoglia, Fernández, Chagas *et al.*, 1995 (citados por Urricariet y Lavado 1999), encontraron una estrecha relación asociación entre estabilidad estructural con formas lábiles de carbono y biomasa microbiana, lo que confirma la capacidad estas como agentes cementantes de los agregados.

La materia orgánica ayuda a prevenir la desintegración de la estructura por el agua. Este rol es importante en suelos con una estructura inestable natural y en suelos arenosos sujetos a la erosión del viento, (Davies *et al.*, 1987).

La inestabilidad estructural es una característica de la mayoría de los suelos que contienen cantidades apreciables de partículas de arena y limo, sobre todo aquellos que tienen un nivel bajo de materia orgánica, (Davies *et al.*, 1987).

3.7.2. - Fracción erodable y tamaño de agregados.

Existe alta correlación entre ambas variables. La figuras 14 y 15 indican que a medida que disminuye el diámetro de los agregados la fracción erodable aumenta.

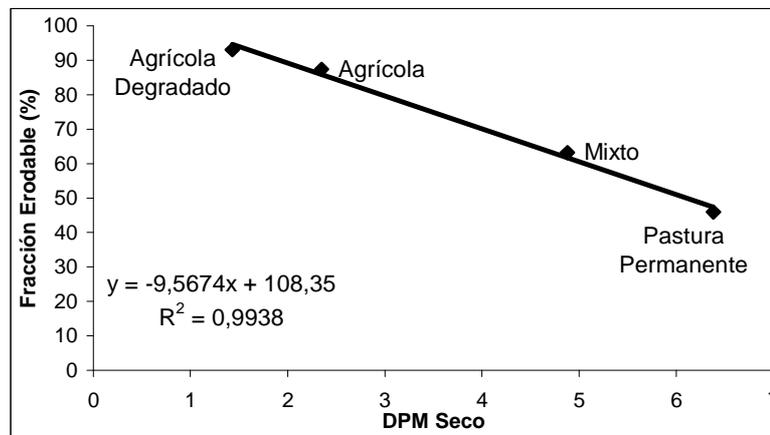


Figura 14: Relación entre tamaño de agregados en seco (%) y fracción erodable (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.

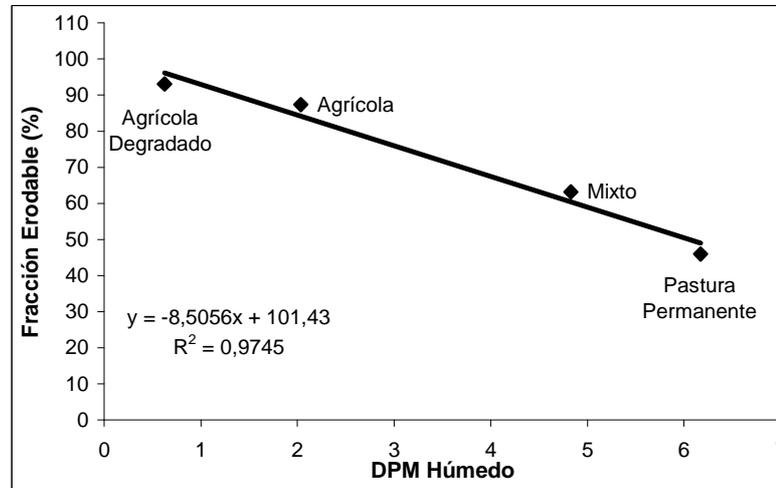


Figura 15: Relación entre tamaño de agregados en húmedo (%) y fracción erodable (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.

3.7.3. - Fracción erodable y contenido de arena.

A medida que aumenta el contenido de arena de estos suelos, también lo hace el contenido de partículas menores a 0.84 mm (fracción erodable). La figura 16 indica la alta correlación entre ambas variables.

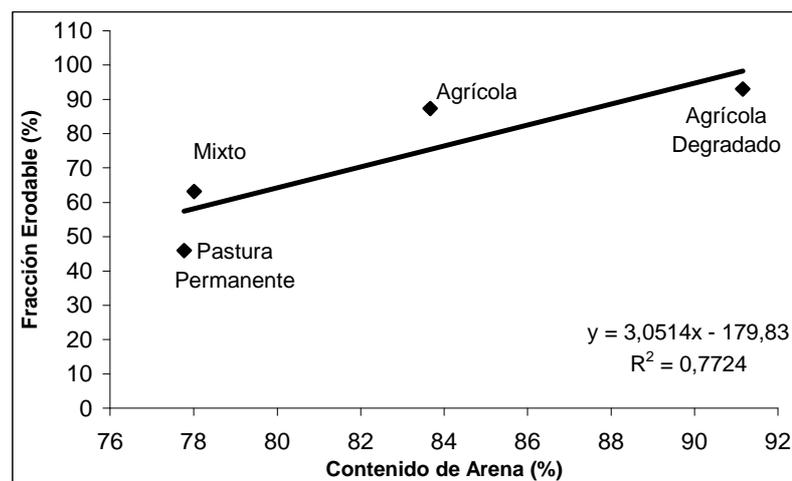


Figura 16: Relación entre fracción erodable (%) y contenido de arena en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.

Wilson y Cooke (1994) citan a Chepil (1955), quien observó que una alta proporción de arena produce pocos terrones y un suelo altamente erosionable.

3.7.4. - Fracción erodable y materia orgánica.

La figura 17 indica que en la medida que los suelos tengan mayores contenidos de materia orgánica la susceptibilidad a la erosión eólica es menor, porque genera que las partículas se unan y adquieran mayor diámetro.

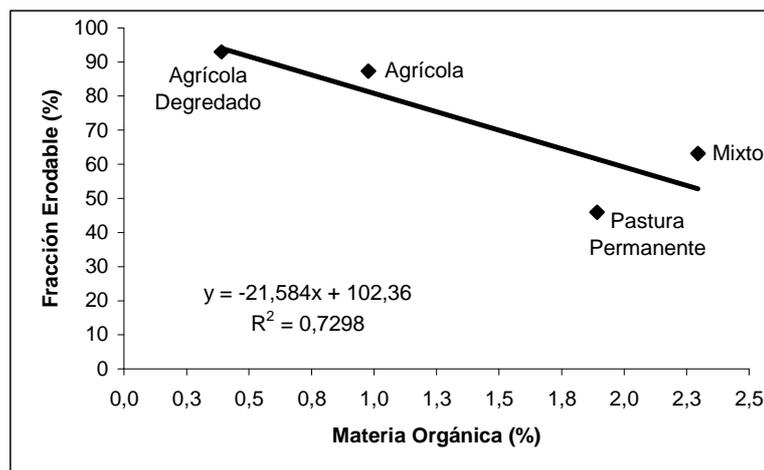


Figura 17: Relación entre fracción erodable (%) y contenido de materia orgánica (%) en cuatro situaciones de uso diferentes en la Pampa Medanosa.

Davies *et al.*, (1987) menciona que la materia orgánica del suelo juega un rol principal en promover la unión de los suelos livianos y da estabilidad a los suelos de textura mediana y friabilidad a los suelos pesados

Chepil (1955, citado por Wilson y Cooke 1994) observó que las adiciones al suelo de entre 1 y 6 por ciento de materia orgánica condujo a una mayor producción de terrones y una menor erodibilidad.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

- Todas las variables analizadas (físicas y químicas) muestran un notable deterioro, en especial en la situación agrícola, pudiendo llegar al extremo de degradación como lo es la situación agrícola degradada. El sistema mixto, debido a la implantación de pasturas perennes, permite que el sistema edáfico se encuentre con un nivel de deterioro inferior.
- Las situaciones analizadas presentan alta susceptibilidad a la erosión eólica, pero los resultados indican que las situaciones agrícolas son notablemente más susceptibles a este proceso, llegando incluso a producir cambios en la clase textural.
- Debido a los diferentes contenidos de humedad que presentaba cada situación analizada, la resistencia a la penetración no es un buen indicador de procesos de compactación antrópica en el perfil.
- El contenido de materia orgánica, la estabilidad de los agregados y las fracciones erodables fueron sensiblemente diferentes en las situaciones estudiadas. En todos los análisis, las situaciones agrícolas se asemejaron entre ellas y se diferenciaron notablemente del sistema mixto y del de pastura permanente, los que también mostraron semejanzas entre ellos.
- Los resultados obtenidos confirman un aumento en la tasa potencial de erosión eólica por efecto del cambio de uso, causante de la disminución de la materia orgánica y a la estabilidad de los agregados.
- La intensificación agrícola de la zona, en especial la vinculada al monocultivo de soja y maní, hace necesario, además, la implementación de técnicas de cobertura total o parcial del suelo para evitar focos de desertificación, como son las técnicas de cultivos en fajas y cultivos de cobertura.

- El deterioro del suelo de las situaciones analizadas guarda estrecha relación con su contenido en materia orgánica, con la estabilidad de sus agregados y la erosión eólica, por lo que resulta recomendable que se lleven a cabo prácticas de uso y manejo, de manera que las labranzas (tipo, intensidad y frecuencia) mantengan y aumenten los residuos en superficie, y disminuyan la velocidad del viento en el ambiente medanoso del sur-oeste de Córdoba.

CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA

- Aimar S. B., Buschiazzo D.E., y N. Peinemann 2006 Condiciones de dos suelos de la Región Semiárida Argentina en la etapa previa y posterior al proceso de erosión eólica. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 367. Salta, Argentina.
- Álvarez R., 1996 Mineralización del Carbono del Suelo: Evaluación del Componente Lábil por Análisis Cinético y Separación Densimétrica. XV° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Santa Rosa. La Pampa. Argentina.
- Álvarez R. y H. Steinbach 2006. Factores climáticos y edáficos reguladores del nivel de materia orgánica. En Álvarez R. Materia Orgánica valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Editorial Facultad Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Argentina. 206 pags.
- Analisette 22 Economy, 1994 Introducción Manual. 215 pags.
- Apezteguía, H.P., Andriulo, A., Salas, H.P., Lovera, E., Sereno, R. 2004. Simulación de la dinámica de la materia orgánica en suelos del centro de la provincia de Córdoba con el modelo AMG. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná.
- Bernardo I., Bonadeo E., Moreno I., Bongiovanni M y R Marzari. 2006 Material de Apoyo Didáctico de la Cátedra de Suelo Planta. UNRC. Editado por el CEIA.
- Bravo O., Silenzi J. y Echeverría N. 1998. Evaluación de la erosión eólica en distintos sistemas de manejo durante el barbecho de trigo en la Región Semiárida Bonaerense. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo: 251. Villa Carlos Paz. Argentina.
- Bricchi E., y Cisnero J M., Soil porosity modifications induced by compaction. Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Montpellier Francia. Agosto de 1998.

- Buschiazzo D.E. y S.B. Aimar. 1998. Siembra directa y erosión eólica. En Panigatti, J.L., Marelli, H., Buschiazzo, D. y R. Gil. Siembra Directa. Editorial hemisferio sur. 333 pags.
- Buschiazzo D.E. y S.B. Aimar 2003 Erosión eólica: procesos y predicción. En: Goldberg A.D. y A.G. Kin (Ed.). Viento, Suelo y Plantas. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Cabria F.N. y J.Culot, 2001 Efecto de la Agricultura Continua bajo labranza convencional sobre características físicas y químicas en Udoles del sudoeste bonaerense. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del suelo Volumen 19 Número 1: 1-9. Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Campbell, D. J. 1994 Determination and use of soil bulk density in relation to soil compaction en: SOANE, B.D. and C. van OUWERKERK Ed. Soil Compaction in Crop production- Developments in Agricultural Engineering II. Elsevier Science B.V.
- Cantero A., Cantú M.P., Cisneros J.M., Cantero J.J., Blasarín M. Degioanni A., González J., Becerra V., Gil H., De Prada J., Degiovanni S., Cholaky C., Villegas M., Cabrera A. y C. Eric 1998 Las tierras y aguas del Sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Chepil, W.S. 1950. Soil Sci., 69:403-414
- Chepil W.S. y J.E. Woodruff 1963 The physics of wind erosion and its control: 211-299 Contribution from Soil and Water Conservation Research Division, Agricultural Research Service, USDA, with Kansas Agricultural Experiment Station cooperating. Department of Agronomy Contribution N° 795.
- Chidiak M. y M.R. Murmis 2003 Gestión ambiental en la Agroindustria: Competitividad y Sustentabilidad. Estudio 1.EGG.33.4. Préstamo BID 92555/OC-AR. Pre II. Coordinación del Estudio: Oficina de la CEPAL-ONU, Buenos Aires, Argentina.

- Cholaky, C.G. 2003. Efectividad y persistencia de la labor con subsolador alado, en función de la humedad y compactación previa. Tesis para optar al grado de Magíster en Manejo y Recuperación de Tierras, FAV-UNRC. Inédito.
- Chudnovsky D.S., Rubin E., E. Cap y E. Trigo 1999 Comercio Internacional y Desarrollo Sustentable. La Expansión de las Exportaciones Argentinas en los Años 1990 y sus Consecuencias Ambientales Estudio preparado por el Centro de Investigaciones para la Transformación (CENIT).
- Ciarlo E., Cosentino D., Heredia O., M Conti. 2004 Efecto del uso del suelo sobre componentes de la materia orgánica y estabilidad de agregados. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 41. Asociación Argentina de Suelos. Paraná, Argentina.
- Cisneros J.M, de Prada J, Degioanni A, Cantero A, Gil H, Reynero M.A, Shah F, Bravo U, Boris. 2004 Potencial de escurrimiento de cuencas agrícolas en relación a los cambios de uso entre 1986 y 1999.
- Cisneros J.M., 2003 El Avance de la Frontera Agrícola. Implicancias Futuras. Documento de apoyo didáctico del curso Uso y Manejo de Suelos. Editado por el CEIA.
- Cisneros J.M., Cholakly C., Bricchi E., Giayeto O. y J.J. Cantero 1997 Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Haplustol típico del centro de Córdoba. Revista Universidad Nacional de Río Cuarto 17 (1): 13-22. Córdoba, Argentina.
- Cisneros, J.M., Giayetto, O., Cholaky, C., Cerioni, G., Cantero, A., Uberto, M. 2006. Suelos, rotaciones y labranzas. En Fernández, E. y Giayetto, O. (Eds.). El Cultivo del Maní en Córdoba. Ed. Fundación de la UNRC, 280 pags.
- Davies B., Eagle D. y B. Finney (1987) Manejo del Suelo. Editorial El Ateneo, 228 pags.
- De Boodt M. and I. De Leenheer 1967 West European methods for soil structure determinations. The St. Faculty Agron. Sci Ghentt, Belguim. 7:60-62
- Eijkelkamp Agrisearch Equipment 1995 Penetrologger. Manual del usuario, 28 págs.

- Elissondo, E. Costa J.L., Suero E., Fabrizzi K.P. y F. Garcia 2001 Evaluación de algunas propiedades de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del suelo Volumen19 Número 1: 11-18 Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Fryrear D.W., Saleh A., Bilbro J.D., Schomber H.M., Stout, J.E. y T.M. Zobeck 1998 Revised Wind Erosion Equation. USDA-ARS. Technical Bulletin N° 1. 185 pags.
- Hevia G.G., Buschiazzo D.E. y M. Díaz Raviña 2004 Carbono Orgánico, Nitrogeno y Carbohidratos totales en suelos de la Región Semiárida Argentina. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 68. Asociación Argentina de Suelos. Paraná, Argentina.
- Humdbolt Scientific 1985 Compaction Control Gauges 5001 Series. Additional Intruction Manual for the HS-5001C.
- INTA 2003b Los Suelos de Córdoba. Nivel de Rec. 1 : 500.000 Agencia Córdoba DACyT – INTA. 539 pags.
- INTA 2003a El INTA ante la preocupación por la sustentabilidad de largo plazo de la producción agrícola argentina. Documento institucional en www.inta.gov.ar Consultado:15-12-2004.
- Jenkinson D. S. 1992. La materia orgánica del suelo: evolución. En Wild A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi-Prensa. 1045 pags.
- Kézdi, B.D. 1980 Soil Testing. Hanbook of Soil Mechanics. Elsevier, Vol. 2, 258 pags.
- López Fourcade R, 2007 Evaluación de la Degradación de los Suelos de la Pampa Medanosa Frente a los Cambios de Uso Actuales. Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba.

- Moreno I, 2000 La Materia Orgánica y el Uso de los Suelos: Su Impacto sobre Propiedades Físicas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Moretti O. 1947 Fijación de dunas y médanos en la provincia de Buenos Aires. DAGI publicaciones técnicas. Tomo IV – N° 1. Buenos Aires.
- Moscatelli G., Puentes I. 1996. Caracterización edáfica de la región. En: Buschiazzo D.E., Panigatti J. L. y Babinec F. J. (Ed.) Labranzas de la Región semiárida de la Argentina. Editorial Extra. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Nelson D.L. y L.E. Sommers 1982 Total Organic Carbon and Organic Matter. En: A. L. Page (De.) Part II Methods of soil analysis. Monograph no.9. ASA and Sssa, Madison, Wi, USA.
- Panebianco J. y Buschiazzo D.E. 2006 Predicciones de la erosión eólica con el modelo EWEQ en un suelo de la Región Semiárida Pampeana Central. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 449. Salta, Argentina.
- Orellana J.A. y Pilatti M. A. 1993 Posibles Indicadores Edáficos de Estabilidad: I. La Estabilidad de Agregados. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Trabajo y Comunicaciones Resumidas: 19. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Mendoza, Argentina.
- Pengue, W. 2001 Los aspectos ambientales del cultivo de organismos transgénicos. GEPAMA-UBA.
- Pengue, W. 2002 Aspectos tecnológicos, ambientales y socioeconómicos de la agricultura pampeana durante la última década : Impactos, resultados y consecuencias. GEPAMA-UBA.
- Snedecor G.W. and W.G Cochran 1984 Métodos estadísticos. Compañía Editorial Continental S. A. 703 pags.
- Taboada M. y F. Micucci 2006 Fertilidad Física de los Suelos. Editorial Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 79 pags.
- Tittonell P., 2004 El carbono orgánico de los suelos del centro de Argentina. Tesis de Maestría en manejo y recuperación de tierras. UNRC. Inédito

- Urricariet S. y R. Lavado 1999 Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del suelo Volumen 17 Número 1: 37-43 Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Wilson S. J y R. U. Cooke 1994 Erosión Eólica. En Kirkby M. J. y R. P. C. Morgan Erosión de Suelos. Editorial Limusa. 375 pags.