

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

TRABAJO FINAL
PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO

EVALUACION DE LA DEGRADACIÓN DE LOS
SUELOS DE LA PAMPA MEDANOSA FRENTE
A LOS CAMBIOS DE USO ACTUALES

Rocío López Fourcade
28.091.502

José Manuel Cisneros
Director

Carmen Cholaky
Co-directora

Río Cuarto – Córdoba
Julio, 2007

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

EVALUACION DE LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS DE LA PAMPA MEDANOSA FRENTE A LOS CAMBIOS DE USO ACTUALES

**ALUMNA: ROCIO LOPEZ FOURCADE
D.N.I. 28.091.502**

**DIRECTOR: ING. AGR. MSC JOSE MANUEL CISNEROS
CODIRECTOR: ING. AGR. MSS. CARMEN GLORIA CHOLAKY**

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

ING. AGR. MSC. ESTELA M. BRICCHI _____

ING. AGR. MSC. MIGUEL REYNERO _____

ING. AGR. MSC. EUGENIO HAMPP _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	2
INDICE DE FIGURAS.....	4
INDICE DE TABLASRESUMEN	5
RESUMEN	7
SUMMARY	8
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1-Importancia de la temática abordada. Fundamentación	9
1.2-Antecedentes	10
1.3-Hipótesis	12
1.4-Objetivo general.....	13
1.5-Objetivos específicos	13
CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1-Área de trabajo	14
2.2-Situaciones de uso estudiadas	15
2.3-Evaluaciones	16
2.3.1-VARIABLES A MEDIR EN CADA SITUACIÓN DE USO.....	16
2.3.1.1-Granulometría.....	16
2.3.1.2-Compactación máxima del suelo.....	16
2.3.2-VARIABLES A MEDIR EN CADA MUESTRA.....	17
2.3.2.1-Densidad Aparente Actual	17
2.3.2.2-Resistencia a la penetración.....	17
2.3.2.3-Estabilidad de los agregados	17
2.3.2.4-Contenido de Carbono Orgánico.....	17
2.3.2.5-Fracción Erodable.....	18
2.4-Criterios y métodos para la interpretación de resultados	18
2.4.1-Comparación entre medias:.....	18
2.4.2-Relación entre variables.....	18
2.4.3-Grados relativos de deterioro en porcentaje con respecto a los extremos	18
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
3.1-Descripción de los perfiles de suelo estudiados.....	19
3.2-Granulometría.....	21
3.3-Fracción Erodable.....	22
3.4-Densidad Aparente Actual.....	23
3.5-Compactación máxima del suelo.....	26
3.6-Resistencia a la penetración.....	27
3.7-Estabilidad de los agregados	31
3.8-Contenido de Carbono Orgánico.....	38
3.9-Relaciones entre variables.....	42
CAPITULO IV. CONCLUSIONES.....	47
CAPÍTULO V. LITERATURA CITADA.....	48
ANEXO	53
Compactación máxima del suelo.....	53
Resistencia a la penetración.....	53
Estabilidad de los agregados.....	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Imagen LANDSAT de la zona de estudio, con localización de los sitios de muestreo (Escala aproximada 1: 50.000).....	21
Figura 2: Densidad Aparente (Mg/m ³) a diferentes profundidades para cuatro situaciones de uso en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	23
Figura 3: Comparación de la curva de humedad óptima de compactación para las cinco situaciones de uso en las cercanías de Washington (Córdoba).....	26
Figura 4: Resistencia a la Penetración en el perfil de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	28
Figura 5: Índice de Estabilidad de Agregados (%) de las cinco situaciones de uso en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	32
Figura 6: Estabilidad de Agregados Relativa (%) en Seco de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	33
Figura 7: Estabilidad de Agregados Relativa (%) en Húmedo de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	34
Figura 8: Peso (%) medio de suelo en seco de cada diámetro (mm) de tamiz, tomando la sumatoria en gr como 100% para cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	36
Figura 9: Peso (%) medio de suelo en seco de cada diámetro (mm) de tamiz, tomando la sumatoria en gr como 100% para cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	38
Figura 10: Contenido de Carbono Orgánico Relativo (%) de 0-5 cm de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	39
Figura 11: Contenido de Carbono Orgánico (%) en el perfil de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	41
Figura 12: Relación entre Estabilidad de Agregados Relativa (%) en Seco y Contenido de Carbono Orgánico (%) en cinco situaciones de uso diferentes en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	44
Figura 13: Relación entre Estabilidad de Agregados Relativa (%) en Húmedo y Contenido de Carbono Orgánico (%) en cinco situaciones de uso diferentes en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	44
Figura 14: Relación entre Índice de Estabilidad de Agregados (%) y Contenido de Carbono Orgánico (%) en cinco situaciones de uso diferentes en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	45
Figura 15: Relación entre Fracción Erodable (%) y Contenido de Carbono Orgánico (%) en cinco situaciones de uso diferentes en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	45
Figura 16: Relación entre RWEQ (%) y Contenido de Carbono Orgánico (%) en cinco situaciones de uso diferentes en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos analíticos perfil típico similar al descrito en proximidades de la localidad de Washington.....	15
Tabla 2: Porcentaje (%) de cada componente y clase textural para cinco situaciones de uso en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	21
Tabla 3: Fracción erodable (%) de partículas menores a 0.84 mm y fórmula empírica de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	22
Tabla 4: Densidad Aparente (Mg/m^3) a diferentes profundidades para cuatro situaciones de uso en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).....	24
Tabla 5: Grados Relativos de Compactación (%) a diferentes profundidades para cuatro situaciones de uso en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	25
Tabla 6: Densidad de máxima compactación (Mg/m^3) y humedad (%) a la que se provoca la máxima compactación para cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	27
Tabla 7: Resistencia a la Penetración (MPa) en el perfil de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	29
Tabla 8: Resistencia Mecánica Relativa (%) en el perfil de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	30
Tabla 9: 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 las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	35
Tabla 10: Peso medio (gr) de suelo en seco en los tamices de diferente diámetro de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	36
Tabla 11: Peso medio (gr) de suelo en húmedo en los tamices de diferente diámetro de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	37
Tabla 12: Contenido de Carbono Orgánico Relativo (%) de 0-5 cm de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	40
Tabla 13: Contenido de Carbono Orgánico (%) a diferentes profundidades de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	41
Tabla 14: Números de muestras, Ecuación de la relación, Valor de R^2 y Nivel de Significación de diferentes variables relacionadas en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	42
Tabla 15: Densidad máxima a distintos porcentajes de humedad para cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).	53
Tabla 16: Porcentaje de humedad (%) del suelo en el momento en el que se tomaron las muestras de Resistencia a la Penetración para cinco situaciones en las cercanías de Washington (Córdoba).	53

Tabla 17: Peso (%) medio en seco de suelo, tomando la sumatoria en gr como 100% para cinco situaciones en las cercanías de Washington (Córdoba).....54

Tabla 18: Diámetro Ponderal Medio tamizado en seco para cinco situaciones en las cercanías de Washington (Córdoba).....54

Tabla 19: Peso (%) medio en húmedo de suelo, tomando la sumatoria en gr como 100% para cinco situaciones en las cercanías de Washington (Córdoba).....54

Tabla 20: Diámetro Ponderal Medio tamizado en húmedo para cinco situaciones en las cercanías de Washington (Córdoba)54

RESUMEN

Los suelos del Suroeste de la provincia de Córdoba se caracterizan por su textura gruesa, su escasa estructura y una alta susceptibilidad a sufrir erosión por el viento, por otra parte están sufriendo fuertes cambios de uso, lo que comprometería su sustentabilidad. La hipótesis de este trabajo es que los cambios en el uso y manejo de las tierras de la Pampa Medanosa hacia la agricultura continua deterioran la condición física y química de los suelos y la calidad ambiental. El objetivo general fue evaluar estos cambios en algunas propiedades de los suelos de la Pampa Medanosa, por efecto de la intensificación agrícola.

El sitio de análisis está ubicado en las cercanías de la localidad de Washington (Córdoba), en suelos de textura arenosa y franco-arenosa, donde los suelos han sido clasificados como Ustipsamment típicos. Se muestrearon las situaciones Ganadero Pastura perenne de pasto llorón (*Eragrostis curvula*) sembrada hace más de 15 años, Ganadero pastura anual de cebada (*Hordeum vulgare*) y verdeos de verano, y Agrícola con soja (*Glycine max*) cultivado continuamente en los últimos 8 años, las cuales fueron comparadas mínimo deterioro (Tierra Virgen) y de máximo deterioro (Médano Vivo).

Los indicadores Resistencia a la Penetración y Densidad Aparente no se mostraron sensibles ante la intensificación del uso, los que probablemente puedan verse en un plazo de tiempo mayor. Sólo se observa en la situación Agrícola más resistencia a la penetración de las raíces ante la presencia de un viejo piso de arado. Los indicadores Fracción Erodable, Estabilidad de Agregados y Contenido de Carbono Orgánico mostraron diferencias significativas entre las situaciones y una estrecha relación entre ellos, expresando claramente el grado de deterioro de las situaciones con historia de uso más intenso y labradas (Ganadero Cebada y Agrícola Soja).

Estos resultados indican que tanto un uso agrícola continuo como un uso ganadero con manejos no apropiados, ponen a estos ambientes en un alto riesgo sufrir erosión eólica, pudiendo llegar a circunstancias irreversibles como la formación de médanos.

SUMMARY

The soils of Southeast Cordoba Province are coarse, with weak structure and high susceptibility to wind erosion, and suffer intensive changes in land use, which risk in your sustainability. The hypothesis of this thesis is that land use and management changes toward continue agriculture in Sandy Pampas tend to deteriorate physical and biological condition of soils, and the environmental quality. The aim was to evaluate the effects of this use changes in some soil properties in response to agricultural intensification.

The site is located near Washington city (Río Cuarto County, Cordoba Province), the soils are sandy to loam sandy (Typic Ustipsamment). The sampling sites were: Cattle perennial grass of *Eragrostis curvula* with more of 15 years old, Cattle winter annual grass of *Hordeum vulgare* continue, rotated with summer annual grass, 8 years of agriculture use with *Glycine max*; and to reference situations: natural grass with minimum deterioration soil (pristine soil), and maximum deterioration (active dune).

The variables Penetration Resistance and Bulk Density do not show sensibility in relation to use intensification, which can show some results in a longer place. In the soybean situation was detected a old hardpan with higher mechanical resistance. The variables erodible fraction, aggregates stability and organic carbon content shown significative differences between situations, and a high correlation , shown clearly the deterioration degree in more intensive situations (annual grasses and agriculture).

The results indicate that the intensive agricultural use and intensive grazing annual use with non appropriate management put this environment in a high risk of wind erosion, with possibilities of reach irreversible states, that dune formation.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1-Importancia de la temática abordada. Fundamentación

La humanidad, en búsqueda del desarrollo económico y del goce de las riquezas naturales, debe hacer frente a la realidad de lo limitado que son los recursos, como también la capacidad y fragilidad de los ecosistemas. Todo esto indica que debe tener presente las necesidades de las generaciones futuras (Crovetto Lamarca, 1992).

El suelo es el material sobre el que se basa la producción animal y vegetal; por lo tanto la producción de alimentos para los seres humanos depende de los usos que se den al mismo y de las tecnologías utilizadas para su aprovechamiento. El correcto uso y manejo de los suelos para una producción sostenible tiene dos objetivos: producir alimentos y fibras para obtener utilidades y mantener o mejorar la capacidad productiva del suelo a largo plazo (Davies et al., 1982). El concepto actual de Manejo Integrado de los Recursos Naturales (de los cuales el suelo es uno de los más importantes) implica considerar al Desarrollo Sostenible como la resultante del Crecimiento Económico, la Equidad Social y la Calidad Ambiental.

Los suelos de las regiones subhúmedas y semiáridas, y principalmente aquellos bajo uso agrícola tienen más susceptibilidad a la erosión eólica puesto que son generalmente poco desarrollados, de textura gruesa y poco estructurados (Buschiazzo y Aimar, 2003).

En el Sudoeste de la provincia de Córdoba se encuentra ubicada la subregión de las llanuras medanosas, constituida por materiales franco arenosos y arenosos de origen eólico (Gorgas y Tassile, 2003).

En las llanuras medanosas, el tipo de uso de las tierras predominante hasta hace algunos años, con una adecuada relación entre el uso actual predominante (mixto) y el uso potencial de las tierras, ya planteaba algunas hipótesis sobre la viabilidad y sustentabilidad ambiental para la región (Cantero et al., 1998).

En los últimos años, la mayor rentabilidad de la agricultura ha ido desplazando el uso ganadero de las tierras. En un trabajo reciente (de Prada, 2005) se estimó en por lo

menos un 16 % de reemplazo del uso ganadero por uso agrícola, fundamentalmente en base a oleaginosas (soja, maní y girasol). A esto, se le suma que en los Haplustoles típicos del área manisera de Córdoba (área central de la provincia) el uso agrícola continuado ha alterado significativamente variables como densidad aparente, conductividad hidráulica, velocidad de infiltración y resistencia mecánica, comparadas con una situación de no uso (Cisneros et al., 1997).

Hay estimaciones que plantean que alrededor del 50 % de las tierras están bajo régimen de arrendamiento, la mayor parte de ellos en forma anual, con lo cual la racionalidad de uso del suelo es de muy corto plazo (INTA, 2003).

Otra característica asociada a los cambios de uso es un aumento en el uso de variedades transgénicas, de fertilizantes y de adopción de la siembra directa, en especial del cultivo de soja (Chudnovsky et al., 1999, Pengue, 2001).

Frente a esta realidad de cambios importantes en el uso y las tecnologías en estos ambientes de alta fragilidad ecológica como el estudiado en esta tesis, se considera importante evaluar el impacto que tienen los cambios en el uso y manejo de los suelos sobre las características que definen su productividad e integridad, a través de indicadores sensibles.

1.2-Antecedentes

La región pampeana y extrapampeana ha venido sufriendo cambios importantes en la intensidad de uso de las tierras y en las tecnologías de producción, caracterizadas por un aumento de las superficies agrícolas, una disminución de las superficies ganaderas, un aumento en la superficie dedicada al cultivo de soja, un aumento en el uso de insumos (fertilizantes y herbicidas) y un cambio en las tecnologías de producción, pasando de sistemas de laboreo convencional o mínimo hacia la siembra directa (Chidiak y Murmis, 2003; INTA, 2003).

Estos cambios se han dado conjuntamente con nuevos regímenes de tenencia, en especial de productores-contratistas, empresas agroindustriales y proveedoras de insumos, que han aumentado la eficiencia productiva por escala. Se ha estimado que alrededor del 50 % de la superficie agrícola está bajo contratos de arrendamientos anuales (INTA 2003).

La superficie dedicada a soja, girasol, maíz y trigo aumentó un 30 % (4.7 millones de has) en el período 1990-1998, de los cuales la mayor parte se destinó a soja; en ese mismo período la superficie bajo siembra directa fluctuó de 500.000 a 7.5 millones de has, el consumo de glifosato de 1 a 60 millones de litros (Chudnovsky et al., 1999, Pengue, 1999), el consumo de fertilizantes pasó de 11 a más de 60 kg/ha, y la producción global se incrementó de 26 a 70 millones de Tn de granos.

En el ciclo 2003-2004, el cultivo de soja alcanzó un nuevo récord con casi 13.800.000 has sembradas, mientras que maíz alcanzaría las 2.800.000 has (SAGYP, 2004), con lo cual los dos principales cultivos de la región pampeana tendrían una relación de ocupación temporo-espacial del orden de 5:1.

Las tierras sujetas o susceptibles a erosión eólica en la Región Pampeana, abarcan el sur de la provincia de Córdoba, este de San Luis, noroeste de La Pampa, sudoeste de Buenos Aires, en una superficie de unos 6 millones de hectáreas. Las causas directas de la erosión eólica en la Región Pampeana Semiárida son la falta de rotaciones, uso reiterado de implementos de labranza inadecuados, sobrepastoreo de campos naturales y cultivos, deforestación sin planificación previa y laboreo de tierras no aptas para la agricultura (Casas, 2000).

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).

Urricariet y Lavado (1999) evaluaron propiedades físicas, químicas y biológicas como posibles indicadores del deterioro de suelos de la Pampa Ondulada; en condiciones prístinas, con corta historia agrícola y con larga historia agrícola. La variación del diámetro de agregados estables al agua resultó un indicador sensible del efecto antrópico sobre las propiedades físicas. No sucedió lo mismo con propiedades

químicas como la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico, ya que se habría superado un umbral de deterioro a partir del cual ya no se manifiestan diferencias importantes entre suelos. Por último, el contenido de carbono mostró diferencias, pero menos marcadas que en las registradas en otros relevamientos.

Cisneros et al. (1997) evaluaron el grado de deterioro físico en suelos Haplustoles típicos del centro de Córdoba sometidos a uso agrícola, por comparación con una situación de suelos no alterados. Se demostró que los primeros presentan un grado relativo de alteración de las variables densidad aparente, conductividad hidráulica, velocidad de infiltración y resistencia mecánica de entre 85 y 95 %, es decir muy próximos a la degradación máxima posible.

Quiroga et al. (1996) evaluaron durante nueve años los sistemas de labranza convencional y siembra directa en un Haplustol éntico de la Región Semiárida Pampeana, llegando a la conclusión de que la siembra directa incrementa los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total agua edáfica, y la actividad microbiana; en detrimento de condiciones estructurales como la compactación superficial.

Aimar et al (2006) encontraron al porcentaje de materia orgánica y de agregados menores a 0,84mm como los indicadores más sensibles en suelos Hapustoles y Ustipsamment de las región semiárida argentina con condiciones de erosionabilidad (sin cobertura ni rugosidad) por un año. Las diferencias no fueron tan marcadas en el análisis de pH y capacidad de intercambio catiónico.

En función de lo planteado es que para este trabajo se plantearon las siguientes hipótesis y objetivos:

1.3-Hipótesis

- Los cambios en el uso y manejo de las tierras de la Pampa Medanosa hacia la agricultura continua deterioran la condición física y química de los suelos y la calidad ambiental, según las siguientes tendencias:
- La intensificación del uso incrementa la densidad aparente y la resistencia a la penetración y reduce el diámetro y la estabilidad de los agregados superficiales del suelo,

- La intensificación del uso disminuye el contenido de carbono orgánico del suelo,
- La intensificación del uso aumenta la erosión eólica potencial de las tierras.

1.4-Objetivo general

- Evaluar los cambios en algunas propiedades de los suelos de la Pampa medanosa, por efecto de la intensificación agrícola.

1.5-Objetivos específicos

- Evaluar los cambios en variables físicas, químicas y ambientales en suelos de la Pampa Medanosa.
- Encontrar relaciones entre las variables analizadas.
- Establecer un grado relativo de deterioro de cada situación de uso.

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1-Área de trabajo

La zona a estudiar ocupa el extremo sudoeste de la provincia de Córdoba. Presenta un régimen climático que tiende a semiárido y un relieve ondulado a suavemente ondulado, de lomadas y lomas medanosas, con drenaje excesivo y napas freáticas profundas. Los suelos desarrollados sobre materiales arenosos medios y finos, poco profundos y sin agregación, pertenecen en su mayoría a los órdenes Entisoles (Ustipsamment típicos) y Molisoles (Haplustoles énticos).

Las muestras fueron extraídas en las cercanías de la localidad de Washington (Departamento Río Cuarto, Córdoba).

En la tabla 1 se detallan los datos analíticos del perfil (Tomado de Gorgas y Tassile Eds., 2003).

Tabla 1: Datos analíticos perfil típico similar al descrito en proximidades de la localidad de Washington.

Perfil	Ap	AC	C
Profundidad de la muestra (cm)	0-17	17-42	42 a +
Materia orgánica (%)	1,37	0,68	
Carbono orgánico (%)	0,81	0,44	
Nitrógeno total (%)	0,10	0,07	
Relación C/N	8,1	6,3	
Arcilla (<2 μ) (%)	7,5	7,7	7,3
Limo (2-20 μ) (%)			
Limo (2-50 μ) (%)	16,5	15,9	11,9
Arena muy fina (50-100 μ) (%)	56,9	46,9	76,4
Arena fina (100-250 μ) (%)	19,6	29,1	4,8
Arena media (250-500 μ) (%)	0,1	0,1	0,1
Arena gruesa (500-1000 μ) (%)	0,2	0,1	0,2
Arena muy gruesa (1000-2000 μ) (%)			
Gravas (>2000 μ) (%)			
CaCO ₃ (%)	0,0	0,0	0,0
Equivalente de humedad (%)	9,2	9,0	7,1
pH en pasta (%)	5,6	6,2	6,7
pH en H ₂ O (1:2,5)	5,7	6,3	6,8
Cationes de intercambio (meq/100g)	Ca ⁺⁺	4,8	5,7
	Mg ⁺⁺	0,7	1,0
	Na ⁺	0,2	0,1
	K ⁺	1,8	1,3
H ⁺ cambio (meq/100g)	1,9	1,1	0,5
Valor S. Suma de bases (meq/100g)	7,5	8,1	7,2
Valor T CIC (meq/100g)	9,4	9,0	7,5
Saturación con bases S/T (%)	80	90	96

Fuente: Perfil 111 Ustipsamment típico, Los Suelos, Instituto Nacional de Tecnología Agrícola Centro Córdoba y Agencia Córdoba D.A.C.yT. y SEM.

Este perfil consta de un horizonte A₁, que constituye la capa arable y es de 17 cm de espesor, de textura arenosa franca, de color parduzco, estructura en bloques subangulares débiles a masivo y pobre en materia orgánica. Hacia abajo, pasa gradualmente (horizonte transicional AC) al material originario u horizonte C, de textura arenosa franca a arenosa y masiva.

2.2-Situaciones de uso estudiadas

Las mediciones se realizaron en cinco situaciones que fueron seleccionadas con el apoyo de informantes calificados y denominadas de la siguiente manera:

- Mínimo deterioro (Tierra Virgen)

- Ganadero Pastura perenne (Ganadero Llorón)
- Ganadero Pastura anual (Ganadero Cebada)
- Agrícola (Agrícola Soja)
- Máximo deterioro (Médano Vivo)

2.3-Evaluaciones

En cada situación de uso antes mencionada se extrajeron muestras de distintas capas y profundidades según el parámetro que se evaluó.

2.3.1-VARIABLES A MEDIR EN CADA SITUACIÓN DE USO

Se medirán una serie de parámetros que permitan asegurar que los suelos pertenecen a la misma clase textural de materiales originarios. Estas variables son:

2.3.1.1-Granulometría

Mediante un Analizador de partículas láser (Analissette 22 Economy, 1994). Permitted verificar que las muestras pertenecen a la misma clase textural. Se tomaron muestras hasta los 30 cm de cada situación.

2.3.1.2-Compactación máxima del suelo

Según el ensayo Proctor (Kézdi, 1980), el que permitió determinar cuál es la máxima compactación que el suelo puede soportar, y sirvió como marco de referencia para cuantificar el deterioro. Se extrajo suelo de los primeros 20 cm del perfil de cada situación, que fue mezclado y cuarteado hasta llegar al peso requerido para el ensayo. Para sacar el porcentaje real de humedad, en cada instancia en que se golpeaba con el pistón se tomaron tres submuestras de cada muestra y se secaron en estufa para hacer la diferencia correspondiente.

2.3.2-VARIABLES A MEDIR EN CADA MUESTRA

2.3.2.1-Densidad Aparente Actual

Se determinó con sonda de rayos gamma (Humboldt Scientific, 1985). El instrumento no pudo trabajar debidamente en la situación del médano por sus características apedales, por lo que no se pudieron obtener datos de esta situación. Sí fueron tomados en todas las situaciones restantes hasta los 25 cm, repitiéndolo tres veces en cada una. Los mismos se promediaron cada 5 cm. Estos permitieron determinar Compactación Relativa del suelo (Campbell, 1994), al compararse con el ensayo Proctor.

2.3.2.2-Resistencia a la penetración

Mediante un penetrómetro computarizado (Eijkelkamp, 1995), que pudo llegar hasta los 76 cm en todas las situaciones, promediándolos luego cada 5 cm. Se evaluó el grado de Resistencia a la Penetración Relativa, teniendo como referencia el de mayor resistencia. Los datos se tomaron dos días después de una lluvia para obtener condiciones de humedad similares en todas las situaciones.

2.3.2.3-Estabilidad de los agregados

Según el método de De Boodt y De Leenheer (1967). Con el peso de muestra de cada tamiz, tanto en seco como en húmedo, se determinó el porcentaje de peso para corregir el suelo perdido y se lo multiplicó por el promedio del diámetro del tamiz inferior y el superior. Con la sumatoria de estos valores se obtuvo el Diámetro Ponderal Medio. Así, se obtuvo la Estabilidad de Agregados Relativa en seco y húmedo, tomando de referencia la situación de mínimo deterioro; y el Índice de Estabilidad, a partir del cambio de Diámetro Ponderal Medio.

2.3.2.4-Contenido de Carbono Orgánico

Según el método de Wakley-Black (Nelson y Sommers, 1982). En una primera instancia, se tomaron tres muestras de cada situación en las profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm; excepto en el Médano Vivo que se tomó sólo hasta los 10 cm dada la similitud de las características de las capas. A causa de la variabilidad

de los datos en las situaciones de Tierra Virgen y Ganadero Llorón, se duplicaron la cantidad de muestras. Con los resultados de la primer capa, se estableció el Contenido de Carbono Orgánico Relativo, tomando como referencia la situación de mínimo deterioro.

2.3.2.5-Fracción Erodable

Se determinó mediante el tamizado de muestras no disturbadas y secadas al aire la proporción de partículas menores a 0,82 mm de diámetro (Chepil, 1962); y se comparó con la Ecuación Revisada de Erosión Eólica (RWEQ, Fryrear et al., 1998).

2.4-Criterios y métodos para la interpretación de resultados

2.4.1-Comparación entre medias:

Cada variable será promediada por capa del perfil cultural y por cada variante de uso, y se realizará un test de comparación de medias para determinar la existencia de diferencias significativas (Snedecor y Cochran, 1984).

2.4.2-Relación entre variables

Se establecerán posibles relaciones funcionales entre las principales variables mediante regresiones lineales o no lineales.

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

En base a las diferencias encontradas se intentará establecer grados relativos de deterioro en función de las situaciones testigo seleccionadas: Tierra Virgen y Médano Vivo. En función de estas relaciones se concluirá 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 permitirá 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

De las cinco situaciones, tres están situadas en el campo que actualmente pertenece al Sr. Etcheverri: Tierra Virgen, Ganadero Cebada y Médano Vivo.

La situación que representa el mínimo deterioro, Tierra Virgen, es una franja de aproximadamente 60 m de ancho. Se encuentra ubicada al pie del médano y rodeando al mismo, con la función de fijarlo.

Hace más de cien años que a este lote no entran máquinas ni animales. Las especies herbáceas que predominan son Pasto Llorón (*Eragrostis curvula*) y Alcanfor (*Heterotheca latifolia*). También hay especies arbóreas como Espinillo (*Acacia caven*) y Chañar (*Geoffroea decorticans*) que ayudan a disminuir los efectos erosivos del viento.

En el perfil pudo observarse una primer capa oscura, completamente colonizada de raíces de cabellera y formada por agregados grandes y estructurados. La misma llega hasta los 26 cm, donde comienza una capa transicional al material originario; que pierde el color y las características estructurales del horizonte suprayacente.

La situación de máximo deterioro está representada por el Médano Vivo, que lentamente se ha ido fijando desde la periferia a partir de la franja que ha sido ya mencionada.

En el centro del médano se encuentra una laguna que en años de extrema sequía como el de 1950 ha llegado a secarse por completo; y en años lluviosos como el 2001 ocupó unas 200 has, el doble de lo que actualmente ocupa.

Aquí no pudo diferenciarse capas, todo el perfil posee características visibles similares. El material no posee ningún tipo de agregación (apedal), siendo su color pálido como los horizontes profundos del resto de las situaciones.

La situación Ganadero con pasturas anuales se encuentra entre la de Tierra Virgen y la Agrícola, formando parte del límite O-SO del establecimiento de Etcheverri.

En este lote, hace más de 64 años que se realiza la actividad ganadera a partir de la siembra de verdes anuales de invierno y verano. Excepcionalmente, se ha sembrado algún cultivo de cosecha como maíz. Las labores que se realizan son del tipo convencionales. La pastura que se encontraba presente al momento de tomar las muestras era cebada (*Hordeum vulgare*). La cama de siembra de dicho cultivo fue preparada con dos pasadas de doble acción y la siembra se efectuó con una sembradora convencional, con rejas traseras.

Dentro de la primera capa del perfil, hasta los 9 cm hay un horizonte más suelto notablemente afectado por los medios mecánicos y el pastoreo. En sectores donde la vegetación no ha nacido, se forman isletas en las que esté material podría estar disponiéndose a comenzar un proceso erosivo. El horizonte entre los 9 y los 21 cm pertenece a la primera capa, pero se encuentra más densificada, formando un piso de arado que dificulta el crecimiento normal de las raíces. Después de los 21 cm, comienza el horizonte transicional.

La situación Agrícola pertenece al campo vecino, en el que anteriormente había un sistema mixto. En 1986, con el fallecimiento del dueño, comienza a arrendarse; y desde entonces, el régimen de agricultura permanente se basó en la rotación de cultivos de girasol, maní y soja. El antiguo dueño era muy conciente de los posibles riesgos de la labranza en esa zona, y hasta cambiaba la huella de lugar para disminuir los mismos.

En el momento en el que se tomaron las muestras, el cultivo antecesor había sido soja, con un rastrojo de escasa cobertura en superficie a pesar de que se efectuaba siembra directa desde 1986.

En el perfil cultural de este suelo puede observarse una capa más oscura, vinculada a un efecto antrópico, que llega hasta los 20 cm. A partir de ahí, comienza un horizonte transicional.

La situación ganadera con pastizales perennes está ubicada a unos 5 Km de las situaciones antemencionadas. Aquí se halló una pastura de pasto llorón. El suelo se encuentra cubierto de 5 cm de mulch. Hasta los 15 cm hay una primer capa de color oscuro (horizonte A1), agregada en forma de bloques subangulares. Desde los 15 a los 22 cm pudo observarse una capa que formaría parte de un horizonte A más antiguo, debido a su coloración (horizonte Ad). Luego de los 22 cm, comienza el horizonte

transicional que podría denominarse AC y que se encontró en el resto de las situaciones en los que pudo diferenciarse capas (a excepción del médano vivo).

La ubicación de cada una de éstas se observa en la figura 1.

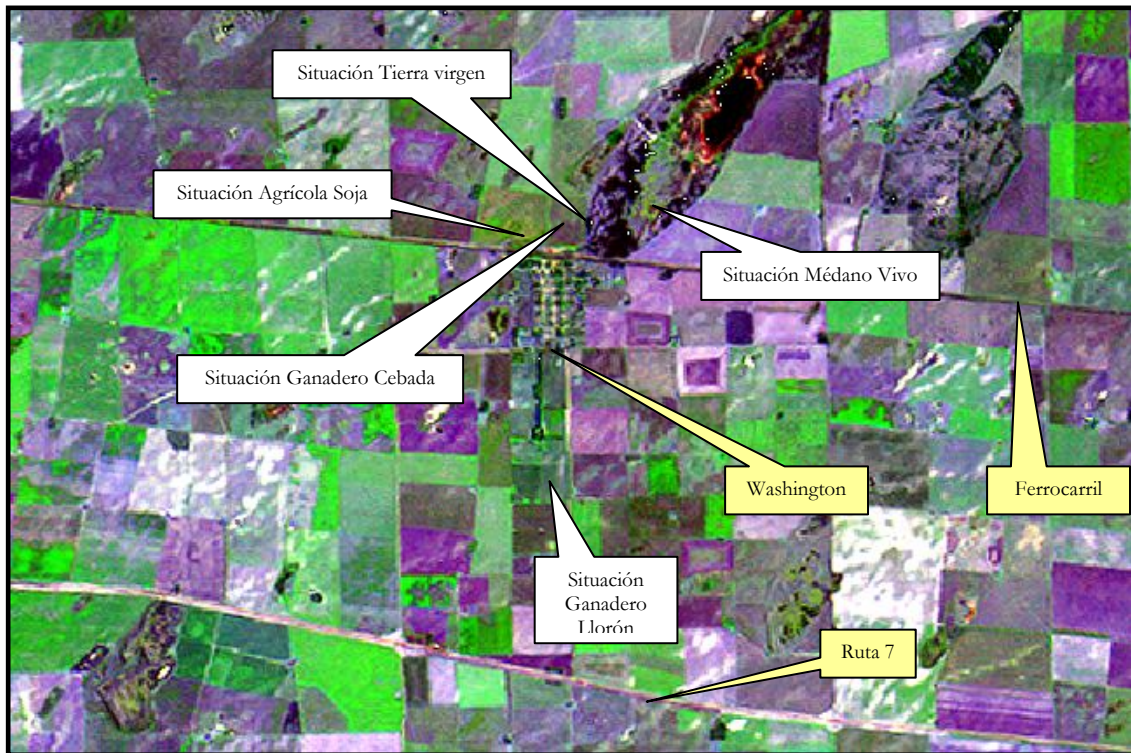


Figura 1: Imagen LANDSAT de la zona de estudio, con localización de los sitios de muestreo (Escala aproximada 1: 50.000).

3.2-Granulometría

En la tabla 2 se muestra el porcentaje de cada componente textural tomados a partir de muestras hasta los 30 cm.

Tabla 2: Porcentaje (%) de cada componente y clase textural para cinco situaciones de uso en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
Textura	Arenoso franco	Arenoso franco	Arenoso	Arenoso franco	Arenoso
Arcilla (0-2 μ)	5,02	5,27	3,61	4,53	2,19
Limo (2-50 μ)	10,98	11,93	7,12	11,27	5,18
Arena (50-250 μ)	84,0	82,8	89,27	84,2	92,63

Los porcentajes de cada componente son similares. La clase textural de estos suelos va desde arenoso a arenoso franco; lo cual, sumado a características de escaso

desarrollo y estructura (como se analiza en el apartado siguiente) proporciona condiciones de alta susceptibilidad a los efectos erosivos de los vientos.

3.3-Fracción Erodable

A partir del porcentaje de suelo tomado del tamizado en seco, se pudo determinar el porcentaje de partículas menor a 0,84 mm, que según Chepil (1962) es el diámetro por debajo del cual las mismas pueden ser erosionadas por el viento. Estos resultados experimentales se comparan en la tabla 3 con una fórmula empírica de la Ecuación Revisada de Erosión Eólica (RWEQ, Fryrear et al., 1998) que tiene en cuenta el porcentaje de arena, el porcentaje de limo, la relación entre arena y arcilla, el porcentaje de materia orgánica y el de carbonatos de calcio.

Tabla 3: Fracción erodable (%) de partículas menores a 0.84 mm y fórmula empírica de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
Partículas menores a 0,84 mm	59,69	69,40	91,33	89,81	97,17
Fórmula empírica según RWEQ	56,17	55,31	62,07	60,65	72,23

Ambos métodos muestran al Médano Vivo con el mayor porcentaje de partículas erodables. En el método empírico, la fracción erodable de la situación Ganadero Llorón es mayor que en la de Tierra Virgen; contrariamente a lo que sucede en el método experimental. Esta diferencia se debe a que uno de los indicadores que la Ecuación Revisada de Erosión Eólica tiene en cuenta es el contenido de materia orgánica (ver apartado 3.8), el cual es mayor en la primer situación. Ya Bravo et al. (1993) detectaron diferencias significativas en el porcentaje de agregados mayores de 0,84 mm de diámetro por la acción de la labranza en Ustipsamment típicos y Haplustoles énticos en Bahía Blanca. Además, está comprobado que los suelos se vuelven más arenosos al erosionarse porque pierden las partículas y agregados finos que son más livianos (Buschiazzo y Taylor, 1993).

En el método experimental, las dos situaciones de laboreo se acercan más a la de máxima degradación que en los resultados de la fórmula empírica. Y en la situación

Ganadero llorón, el porcentaje de partículas erosionables disminuye entre un 27 y 28 % de la de máximo deterioro.

La formula empírica, fue menos sensible que el método de partículas menores a 0,84 mm. Esto coincide con lo analizado por López et al (2006), donde afirma que el modelo propuesto por Fryrear et al (1998) no es eficaz para predecir fracción erodable en los suelos de la Pampa Central Argentina.

Aimar et al (2006) encontraron que la fracción erodable aumentó en un año del 30,4 al 41,1 % en un suelo Ustipsamment de La Pampa con condiciones de alta susceptibilidad a la erosión. Esto, sumados a los datos aquí expuestos, demuestra que la sensibilidad del indicador; y la simpleza del mismo podría ser de gran utilidad para detectar el inicio de un proceso de degradación.

3.4-Densidad Aparente Actual

Esta variable no se mostró muy sensible a los diferentes usos que reciben las situaciones tenidas en cuenta. En la figura 2 y tabla 4 se observa que no hay una tendencia definida en las curvas. Si es notable a los 20 cm la presencia de un viejo piso de arado, que en la situación Agrícola Soja se ve más acentuada.

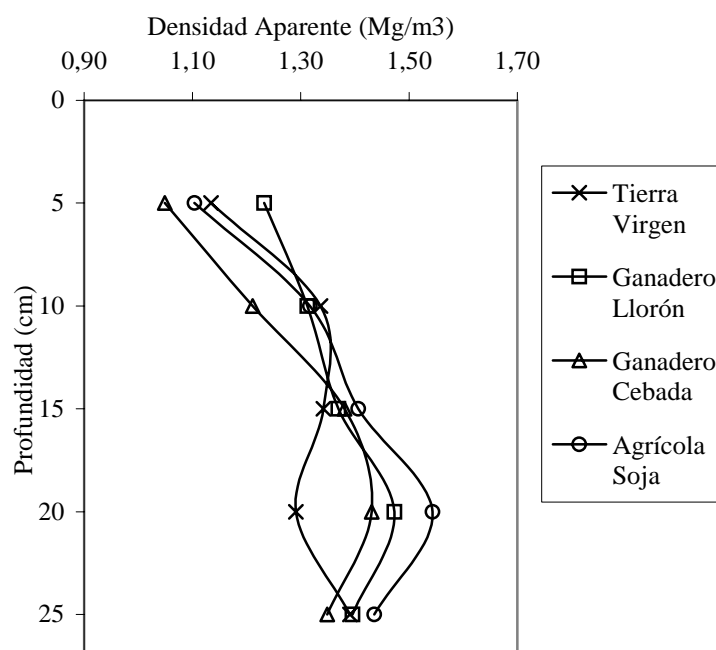


Figura 2: Densidad Aparente (Mg/m3) a diferentes profundidades para cuatro situaciones de uso en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

Taboada y Micucci (2004) afirman que el horizonte superficial de los suelos pastoreados posee, en comparación con similares no pastoreados, mayores densidades aparentes y resistencia superficial. Esto puede verse claramente en la situación Ganadero Llorón.

En las primeras capas del perfil de las situaciones laboreadas Ganadero Cebada y Agrícola Soja, se observa la influencia de la labranza que en estas se efectúan anualmente. La escasa estabilidad estructural de estas situaciones (ver apartado 3.7), sumado al movimiento superficial provoca una disminución del peso por unidad de superficie.

Según Arshad et al, (1996) en relación a la textura de estos suelos, la densidad aparente que podría restringir el crecimiento radicular debería ser mayor a $1,8 \text{ Mg/m}^3$, valor al que no se llega a ninguna profundidad de las situaciones. Tampoco a valores que podrían afectar el crecimiento radicular (entre $1,63$ y $1,69 \text{ Mg/m}^3$). En su análisis, el autor, indica que los suelos de textura gruesa, requieren compactaciones más elevadas que otros tipos de suelo para restringir el movimiento de aire y agua e inhibir el crecimiento radicular, por su mayor espacio entre partículas.

Tabla 4: Densidad Aparente (Mg/m^3) a diferentes profundidades para cuatro situaciones de uso en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

Profundidad (cm.)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja
5	1,13 b	1,23 a	1,05c	1,10 bc
10	1,34 a	1,31 a	1,21 b	1,32 a
15	1,34 a	1,37 a	1,38 a	1,41 a
20	1,29 b	1,47 a	1,43 a	1,54 a
25	1,39 a	1,40 a	1,35 a	1,44 a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

El análisis de varianza arroja valores de coeficiente de variación menores al 10 % en todos los casos. A excepción de los 15 y 25 cm de profundidad, las diferencias son significativas.

En la tabla 5 se indican los datos de Grados Relativos de Compactación, tomando como numerador la densidad aparente a cada profundidad y como denominador la compactación máxima de cada situación.

En este sentido, se destaca que la mayor compactación se encuentra a los 20 cm de la situación Agrícola Soja. En menor grado, en las situaciones ganaderas, también se observa un aumento de la compactación a la misma profundidad. En la situación de mínimo deterioro no ocurre lo mismo, sino que por el contrario disminuye y comienza luego a aumentar paulatinamente.

Tabla 5: Grados Relativos de Compactación (%) a diferentes profundidades para cuatro situaciones de uso en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

Profundidad (cm.)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja
5	59,87	65,21	55,49	58,40
10	70,53	69,45	64,09	69,68
15	70,79	72,49	73,07	74,41
20	68,12	77,94	75,71	81,68
25	73,40	73,84	71,38	75,98

Carter (1990) encontró una relación evidente entre la compactación relativa y la macroporosidad de suelos franco arenosos. Identificó como adecuado para mantener el medio aeróbico óptimo para el régimen de humedad de estos suelos, un rango de macroporosidad entre 12 y 14 % (vol/vol); y a esto lo relacionó con niveles de compactación relativa de 83 y 86 %. En el presente trabajo, ningún valor sobrepasa el 82%; condición principalmente ligada a la textura que caracteriza estas situaciones.

Existe un óptimo de compactación relativa, donde el rendimiento de los cultivos alcanza su máximo. Carter (1990) observó una relación altamente significativa entre un rango de 77,5 y 84 % de compactación relativa y un rendimiento relativo en grano mayor o igual a 95 %.

Sin embargo, Elisondo et al. (2001) registraron en Argiudoles típicos de la provincia de Buenos Aires que valores de compactación relativa mayores al 90 % no provocaron reducción del rendimiento en sistemas de labranza vertical y siembra directa.

El incremento de agregados pequeños debido a la ruptura de los macroagregados, provocaría el aumento de la densidad aparente de los suelos (Cabria y Culot, 2001). En este caso, aunque el proceso de deterioro se observa en la ruptura de agregados (ver apartado 3.3 y 3.7) aún no se evidencia en la densidad aparente.

Por otro lado, Álvarez et al. (2004), determinaron en Haplustoles énticos de La Pampa, que la densidad aparente fue significativamente mayor en un suelo cultivado durante 13 años, mientras que los valores del cultivado durante 2 años y del de una pastura de llorón (que ha estado por más de 40 años) fueron similares; y afirman que el efecto de las labranzas sobre la compactación y la dinámica del agua en este tipo de suelo es a más largo plazo.

3.5-Compactación máxima del suelo

En la figura 3 y la tabla 6 puede observarse como la máxima compactación se produce alrededor de 1,85 y 1,9 Mg/m³. No se producen grandes diferencias entre las situaciones, ya que la granulometría es semejante entre las situaciones y prácticamente no incide la materia orgánica. Los datos utilizados para la elaboración de esta curva pueden verse en el Anexo (apartado 6.1)

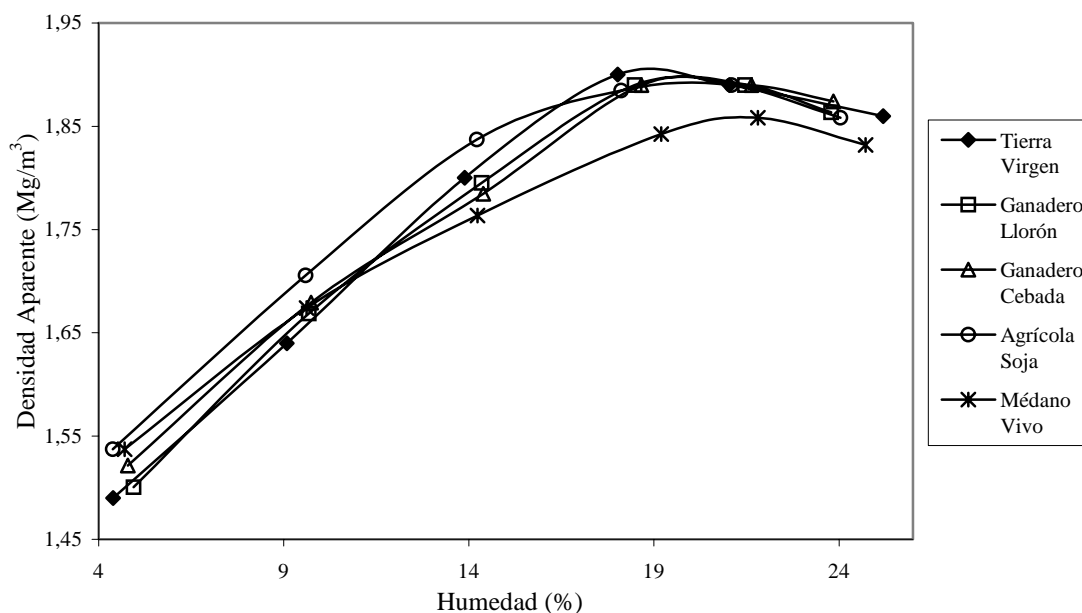


Figura 3: Comparación de la curva de humedad óptima de compactación para las cinco situaciones de uso en las cercanías de Washington (Córdoba).

Según Taboada y Micucci (2004), la pendiente del tramo ascendente de la curva permite obtener la susceptibilidad a la compactación; la que disminuye con el aumento de arcilla y limo y/o contenido de carbono orgánico.

Por otra parte, en el presente estudio, los resultados indicarían que no se producen diferencias en compactación máxima a pesar de los observados cambios en la materia

orgánica (ver apartado 3.8). La diferencia con lo expresado por Taboada y Micucci (2004), se debe probablemente a que estos autores trabajaron en suelos franco limosos y franco arenosos con un comportamiento esquelético distinto. En estos suelos, donde el porcentaje de arena es más elevado (arenoso francos), con un comportamiento fuertemente esquelético, la susceptibilidad a sufrir procesos de compactación es menor.

Tabla 6: Densidad de máxima compactación (Mg/m^3) y humedad (%) a la que se provoca la máxima compactación para cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
Densidad (gr/cm^3)	1,9	1,89	1,89	1,89	1,86
Humedad (%)	18,02	19,97	20,14	21,1	21,8

En cuanto a la humedad óptima de compactación, en la tabla 6 se observa que es más del doble del valor de humedad a capacidad de campo según los datos analíticos de la Serie Estancia Las Mercedes (Tabla 1). Y en este sentido será poco probable estos suelos tuvieran un estado de humedad como para tener una alta compactación (salvo que se encuentran en contacto con la capa freática), a diferencia de lo encontrado por Cisneros (1997) en suelos de texturas franco a franco arenosos donde la máxima compactación se produce con humedad próxima a capacidad de campo.

3.6-Resistencia a la penetración

En la figura 4 y tabla 7 se observan las determinaciones de resistencia a la penetración. En ellas se evidencia como las curvas siguen tendencias similares según el manejo y la labranza. Las curvas de las situaciones de mayor tiempo sin labranza, Tierra Virgen y Ganadero Llorón, son más uniformes en todo el perfil; lo mismo sucede con la curva del Médano Vivo. Por el contrario, las curvas de las situaciones en las que el laboreo se realiza cada año, Ganadero Cebada y Agrícola Soja, muestran una gran variación de resistencia a la penetración, destacándose un aumento abrupto entre los 20 y los 30 cm.

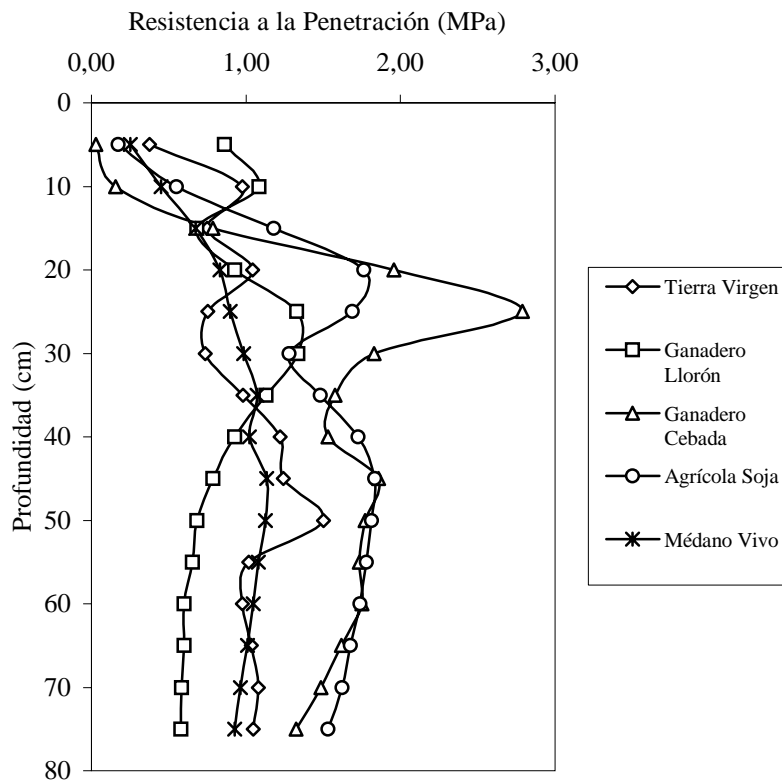


Figura 4: Resistencia a la penetración en el perfil de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

En las primeras capas de suelo, los de menor labranza (Tierra Virgen y Ganadero Llorón) ofrecen mayor resistencia mecánica. Luego se revierte, ofreciendo más resistencia a la penetración de las raíces las situaciones de labranza (Ganadero Cebada y Agrícola Soja).

Tabla 7: Resistencia a la Penetración (MPa) en el perfil de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

Profundidad (cm.)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
5	0,38 b	0,86 a	0,03 d	0,18 c	0,25 bc
10	0,98 a	1,08 a	0,16 c	0,55 b	0,45 b
15	0,75 a	0,68 a	0,79 a	1,18 a	0,67 a
20	1,04 bc	0,93 bc	1,96 a	1,76 ab	0,83 c
25	0,75 c	1,33 b	2,79 a	1,69 ab	0,90 c
30	0,74 c	1,34 b	1,83 a	1,28 bc	0,98 bc
35	0,98 c	1,13 abc	1,58 a	1,48 ab	1,07 bc
40	1,22 bc	0,93 c	1,53 ab	1,72 a	1,02 c
45	1,24 b	0,78 b	1,86 a	1,83 a	1,14 b
50	1,50 ab	0,68 c	1,77 a	1,81 a	1,13 b
55	1,02 b	0,65 c	1,73 a	1,78 a	1,08 b
60	0,98 b	0,60 c	1,75 a	1,74 a	1,05 b
65	1,04 b	0,60 c	1,62 a	1,68 a	1,01 b
70	1,08 b	0,58 c	1,49 a	1,62 c	0,96 c
75	1,05 bc	0,58 d	1,32 ab	1,53 a	0,93 cd

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Los colores grises en las celdas denotan los horizontes con mayor resistencia a la penetración.

Los valores de la tabla resaltan el cambio abrupto de resistencia a la penetración entre los 15 y los 20 cm. A pesar de que los mayores valores a esta profundidad se observan en las situaciones Ganadero Cebada y Agrícola Soja; las mismas prácticamente no ofrecen resistencia a los primeros 5 cm de profundidad. La heterogeneidad a lo largo del perfil de estas situaciones, se acentúa en este indicador.

El p-valor del análisis de varianza es menor a 0,05, excepto a los 15 y 35 cm de profundidad. El coeficiente de variación supera el 25 % únicamente entre los 15 y 25 cm de profundidad.

Gerard et al. (1982) cita valores críticos de 1,5-1,6 MPa, a los cuales la actividad radical cesa, dependiendo del suelo y del cultivo. De esta manera, las situaciones Ganadero Cebada y Agrícola Soja tienen resistencias que pueden impedir el crecimiento normal de las raíces (destacados en gris en Tabla 7).

Bono et al. (1993) encontraron en suelos con textura franco arenosa (Haplustoles) que el contenido de materia orgánica explica el componente diferencial de la resistencia

mecánica ante iguales contenidos de humedad. Exceptuando el caso del Médano Vivo, lo determinado por estos autores podría explicar de alguna manera estos resultados.

La humedad del suelo al momento de extraer las muestras (ver apartado 6.2) era entre el 5 y el 10%, cercano al equivalente de humedad típica de estos suelos; a excepción de la situación del Médano Vivo, en la que a los 20 cm el porcentaje descende aún más. Del resto de las situaciones, la de Ganadero Cebada es la que más se aleja del contenido de humedad a capacidad de campo. Esta condición también influencia en que la presencia del piso de arado se muestre más evidente en esta situación.

Tomando el valor a los 25 cm de la situación Ganadero Cebada de 2,79 MPa como parámetro de máxima resistencia a la penetración, se lo relacionó con el resto de los valores para determinar la Resistencia Mecánica Relativa; como se observa en la tabla 8.

Tabla 8: Resistencia Mecánica Relativa (%) en el perfil de las cinco situaciones en Ustipsammet típicos de Washington (Córdoba).

Profundidad (cm.)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
5	13,46	30,93	1,03	6,29	9,08
10	35,05	38,82	5,64	19,72	16,18
15	26,80	24,50	28,19	42,36	24,12
20	37,34	33,25	70,21	63,21	29,81
25	26,99	47,69	100,00	60,53	32,20
30	26,46	47,91	65,62	45,80	35,31
35	35,19	40,55	56,49	53,07	38,47
40	43,82	33,25	54,84	61,85	36,72
45	44,51	28,14	66,58	65,69	40,71
50	53,91	24,50	63,57	65,00	40,43
55	36,43	23,45	62,11	63,73	38,73
60	35,02	21,59	62,73	62,37	37,56
65	37,15	21,59	58,02	60,12	36,17
70	38,78	20,92	53,33	58,21	34,57
75	37,56	20,82	47,43	54,94	33,23

En grisáceo se destacan las zonas del perfil más compactadas

Esta tabla indica como las situaciones que han sido sometidas a laboreo anual, muestran una compactación a partir de los 20 cm. Esto también se destaca en la figura 4 y en la tabla 7.

Para medir compactación (tanto densidad aparente como resistencia a la penetración) la situación de Médano Vivo no es una referencia de máximo deterioro, a razón de la dinámica geomórfica del material. Esta situación funciona como sedimento suelto con un escaso tiempo de estabilización y pedogénesis, como consecuencia de la degradación de tierras por erosión eólica.

En este tipo de suelos, probablemente, el deterioro de los sistemas actuales; evaluados a partir parámetros que denuncian la compactación del suelo y su resistencia a la exploración de las raíces; sea visible en un plazo mayor. De todos modos, el proceso de compactación ya podría comenzar a causar problemas en el crecimiento vegetal.

3.7-Estabilidad de los agregados

Este parámetro se mostró muy sensible a los cambios provocados por la intensificación del uso en éstos suelos. En la figura 5 se pueden apreciar a través del Índice de Estabilidad, las diferencias entre las situaciones laboreadas y las no laboreadas, y la falta completa de estabilidad del Médano Vivo. En la tabla 9 se puede observar los valores precisos.

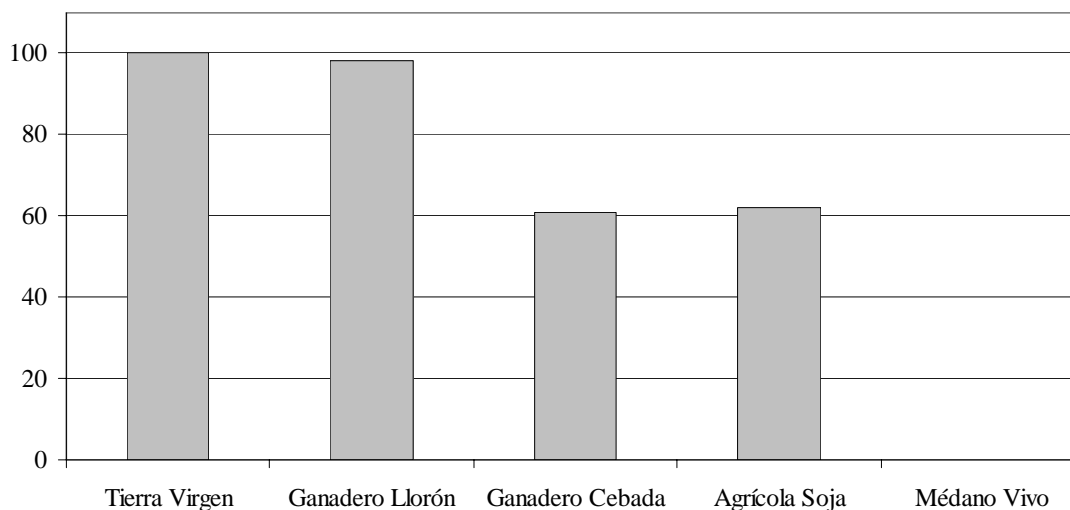


Figura 5: Índice de Estabilidad de Agregados (%) de las cinco situaciones de uso en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

La figura muestra que respecto a la estabilidad de agregados, la situación Ganadero Llorón se acerca a la condición de mínimo deterioro; y que las situaciones en las que se realiza labranzas anualmente, se encuentran entre las antemencionadas y la situación de máximo deterioro. Esta última carece de estabilidad, ya que no posee componentes coloidales ni tiempo de pedogénesis que proporcionen las condiciones de formar agregados.

Los resultados coinciden con lo expuesto por Astier Calderon et al. (2002), en que este indicador requiere menos de dos años para exhibir cambios como respuesta a un manejo determinado.

Según Orellana y Pilatti (1993), la estabilidad de agregados puede ser utilizada como indicador global de sostenibilidad, reflejando efectos degradantes o recuperadores a partir de la definición de parámetros críticos. Urricariet y Lavado (1999) también coincidieron en que éste índice permite discriminar según el grado de intensificación agrícola de los suelos, cuando en Argiudoles típicos compararon lotes con corta historia agrícola y con larga historia agrícola.

En la figura 6 se observa la Estabilidad de Agregados Relativa en seco tomada a partir de la relación entre el Diámetro Ponderal Medio en Seco de cada situación con el de Tierra Virgen, y en la tabla 9 se exponen los datos.

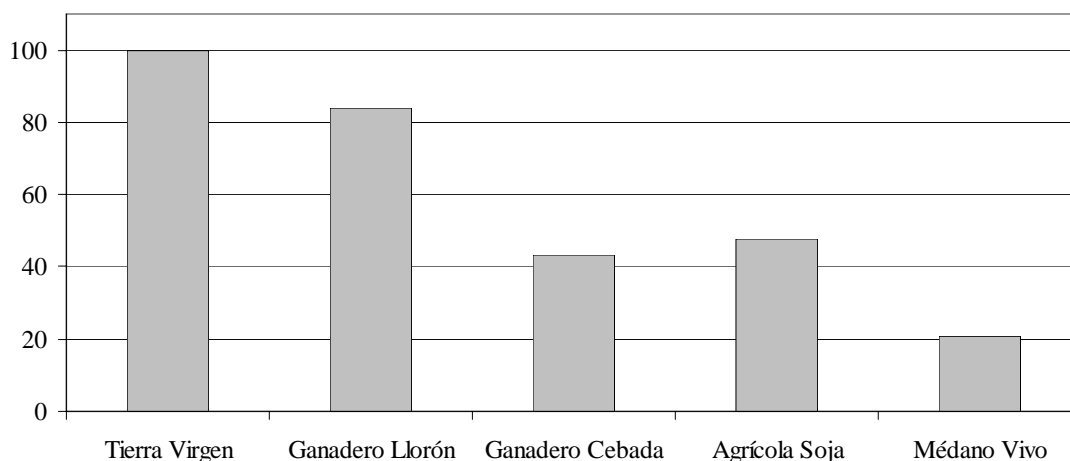


Figura 6: Estabilidad de Agregados Relativa (%) en Seco de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

En la Estabilidad de Agregados Relativa en Seco, la situación Ganadero Llorón se separa de la situación de mínimo deterioro. La de máximo deterioro, con respecto a la anterior, disminuye su grado relativo de estabilidad en seco en un 80 % aproximadamente. La diferencia entre las situaciones Ganadero Cebada y Agrícola Soja se acentúa más en relación al Índice de Estabilidad.

La estabilidad estructural del suelo en seco es el índice más seguro de susceptibilidad a la erosión eólica, de allí que su cuantificación es una forma directa de estimar las pérdidas de suelo (Chepil, 1950). A partir de esto se puede inferir que la situación con más susceptibilidad a sufrir erosión por el viento después del Médano Vivo es la Ganadero Cebada.

La figura 7 y la tabla 9 muestra como, en húmedo, también las diferencias entre los suelos que han sufrido perturbaciones y los que no, son notables.

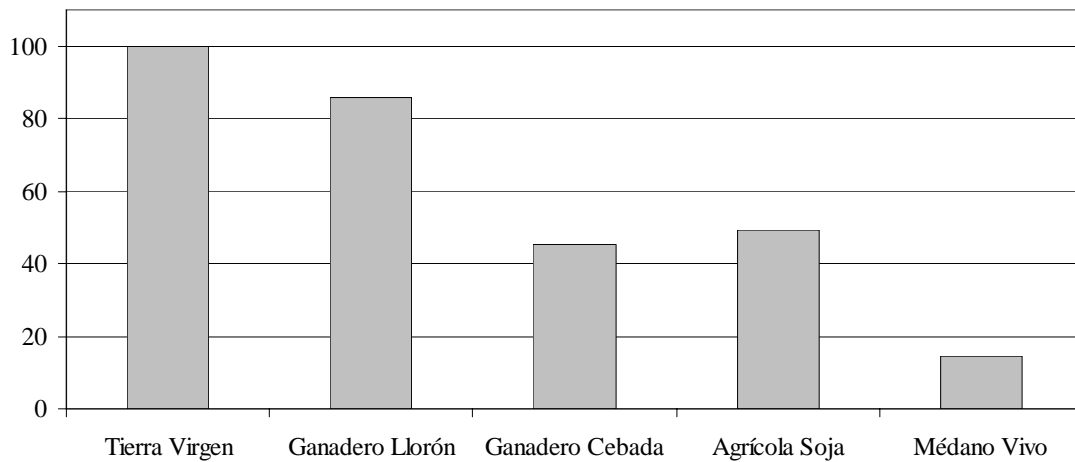


Figura 7: Estabilidad de Agregados Relativa (%) en Húmedo de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

En el Médano Vivo puede apreciarse el cambio de estabilidad en húmedo y seco, lo cuál provocó que su Índice de Estabilidad sea el menor.

Aquí se evidencia que el uso actual de las tierras laboreadas no coincide con su uso potencial, creando en estas un estado de inestabilidad que las predispone al proceso de erosión eólica. La composición textural de estos suelos, con escaso porcentaje de partículas coloidales como arcilla con respecto a las esqueléticas, hace a su estabilidad dependiente del contenido de materia orgánica.

Tabla 9: 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 las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
Diámetro Ponderal Medio en Seco	6,03	5,07	2,62	2,89	1,24
Estabilidad de Agregados Relativa (%) en Seco	100,00	84,08	43,45	47,93	20,56
Diámetro Ponderal Medio en Húmedo	6,77	5,80	3,07	3,35	0,99
Estabilidad de Agregados Relativa (%) en Húmedo	100,00	85,64	45,35	49,46	14,62
Índice de Estabilidad	100,00	98,35	60,82	61,91	0,00

La situación Ganadero Llorón prácticamente no se aleja de la de Tierra Virgen; y las situaciones Agrícola Soja y Ganadero Cebada poseen alrededor del 60 % de su estabilidad máxima.

Urricarriet y Lavado (1999) observaron 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 Argiudoles típicos de la Series Pergamino y Rojas.

En suelos de Santa Fe, Orellana y Pilatti (1993) tomaron como límites críticos de Índice de Estabilidad en relación al suelo testigo (sin uso, no laboreado) a valores del orden de 54% para praderas y 19% para lotes agrícolas, para suelos que tienen una mayor estabilidad natural (Argiudoles típicos franco arcillo limosos) que los aquí estudiados.

Posiblemente, en los suelos del presente trabajo, muy susceptibles a erosión eólica y de baja resistencia y resiliencia, y donde la estabilidad de sus agregados juega un rol fundamental, los valores críticos serían mayores a los anteriormente expuestos. No obstante, para hacer un análisis comparativo más consistente, sería correcto disponer de Índices de Estabilidad Relativa específicos para cada suelo y cada tipo de manejo.

En las tablas 10 y 11 se observa como las diferencias estadísticas se tornan significativas en los tamices extremos de mayor y menor tamaño. Estas diferencias

también se observan en las figuras 8 y 9. Se encuentra anexo (ver apartado 6.3) el procesamiento de estos.

Tabla 10: Peso medio (gr) de suelo seco en los tamices de diferente diámetro de las cinco situaciones en Ustipsammet típicos de Washington (Córdoba).

Diámetro medio de agregados (mm)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
10	39,39 a	30,18 b	8,63 c	10,11 c	2,63 d
5,175	25,10 a	22,54 a	14,40 b	16,20 b	5,27 c
3	17,03 a	19,28 a	17,57 a	19,76 a	5,75 b
1,5	6,82 b	11,31 b	18,12 a	16,84 a	4,96 c
0,5	9,37 c	15,32 c	40,79 b	36,35 b	74,30 a
Sumatorias*	97,71	98,63	99,51	99,26	92,90

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)
*(en relación a 100 gr iniciales de muestra)

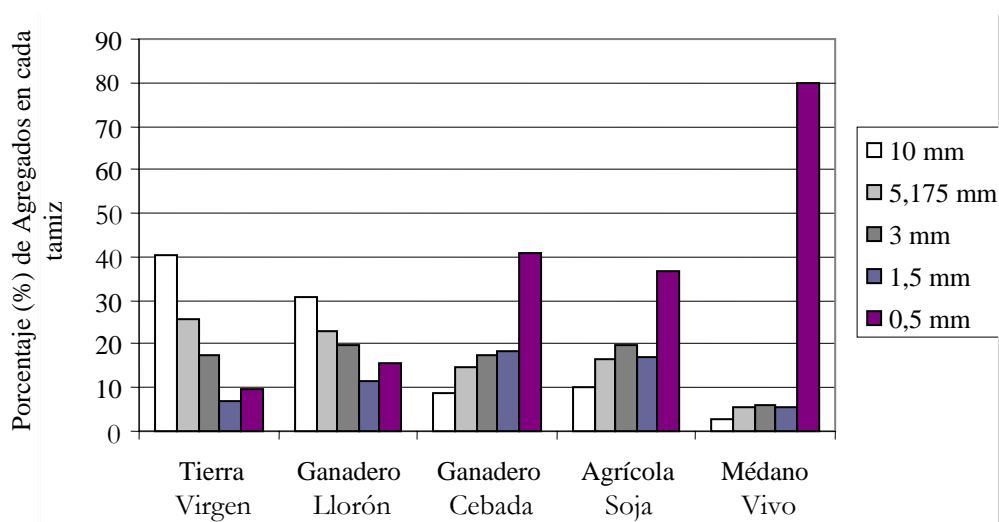


Figura 8: Peso (%) medio de suelo en seco de cada diámetro (mm) de tamiz, tomando la sumatoria en gr como 100% para cinco situaciones en Ustipsammet típicos de Washington (Córdoba).

Desde la situación de máximo a la de mínimo deterioro (de izquierda a derecha) 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 la base del tamiz, mientras que en la Tierra Virgen, el mayor porcentaje quedó en el último tamiz.

En el análisis de varianza del peso medio en seco de suelo en los tamices de diferente diámetro, se observa que la diferencia entre las situaciones es altamente

significativa en todos los casos (p -valor $\ll 0,01$). El coeficiente de variación no supera en ninguno de los casos el 26 %.

Tabla 11: Peso medio (gr) de suelo en húmedo en los tamices de diferente diámetro de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

Diámetro medio de agregados (mm)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
10	50,81 a	41,34 a	13,73 bc	15,95 b	2,14 c
5,175	15,73 a	15,31 a	13,41 a	15,38 a	3,77 b
3	15,17 ab	17,00 ab	19,46 a	19,34 a	6,77 b
1,5	4,71 a	7,24 a	11,18 a	7,27 a	6,63 a
0,75	0,72 b	1,08 b	2,60 b	2,19 b	8,01 a
0,3985	0,69 c	1,24 bc	5,10 a	3,72 ab	2,25 abc
0,1485	7,26 c	12,95 c	28,99 b	30,38 b	58,04 a
Sumatorias*	95,09	96,14	94,47	94,22	87,62

*Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)
(en relación a 100 gr iniciales de muestra)

En húmedo, las diferencias son altamente significativas ($p < 0,01$) en los diámetros medios de 10, 5,175 y 0,1485 mm; y significativas ($p < 0,05$) en los 0,75 y 0,3985. En los tamices intermedios las diferencias no son significativas. En este caso el coeficiente de variación osciló entre 22 y 90%. Estas diferencias provocaron que los valores del diámetro ponderal medio sean tan visibles.

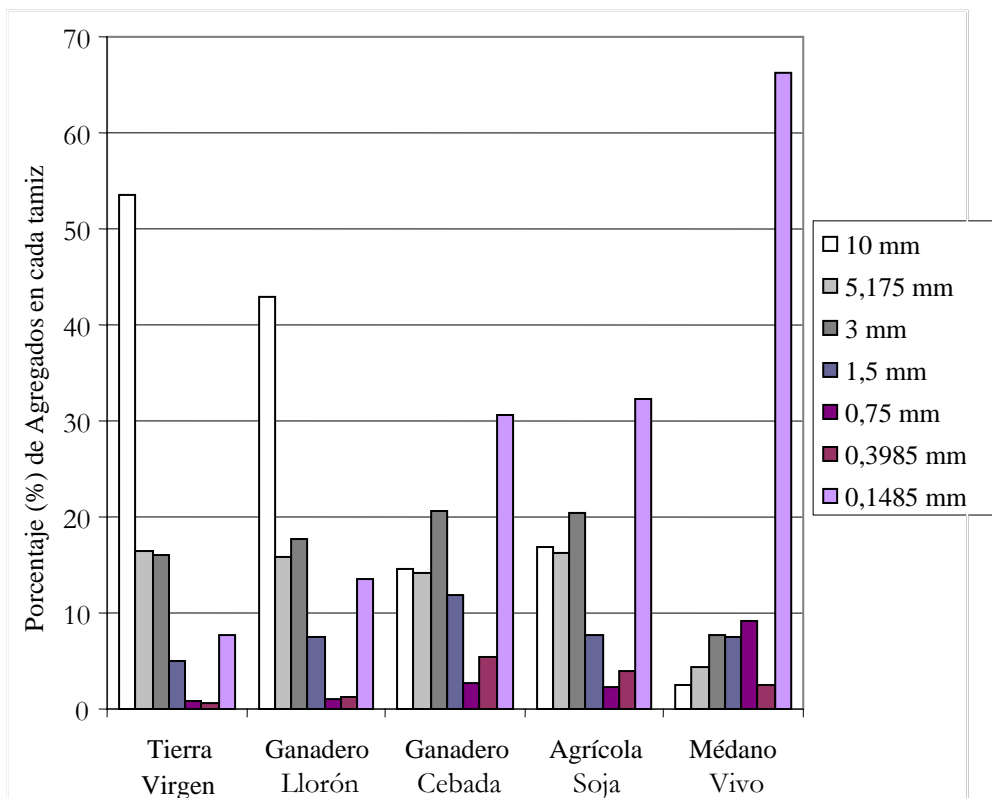


Figura 9: Peso (%) medio de suelo en seco de cada diámetro (mm) de tamiz, tomando la sumatoria en gr como 100% para cinco situaciones en Ustipsammet típicos de Washington (Córdoba).

En la figura 9 pasa algo similar a lo que sucede en la figura 8, aumentando el peso de los tamices extremos.

La falta de estabilidad de los agregados en el suelo provocados por el uso y manejo inadecuado de los mismos, dispone a estas tierras a erosionarse por el viento, dadas sus características intrínsecas y del propio ambiente. Esto, sumado a la pérdida de las fracciones texturales finas (Buschiazzo y Taylor, 1993); determinan los procesos de humificación y la tasa de acumulación de materia orgánica (Buschiazzo et al., 1991)

3.8-Contenido de Carbono Orgánico

Este parámetro también demuestra el deterioro de los suelos producto de los cambios de uso y manejo en esta zona.

La figura 10 y la tabla 12, muestran el Contenido de Carbono Orgánico Relativo (%), obtenido a partir de la relación entre el contenido de carbono orgánico de los primeros cinco cm de cada situación, y el de la situación de mínimo deterioro.

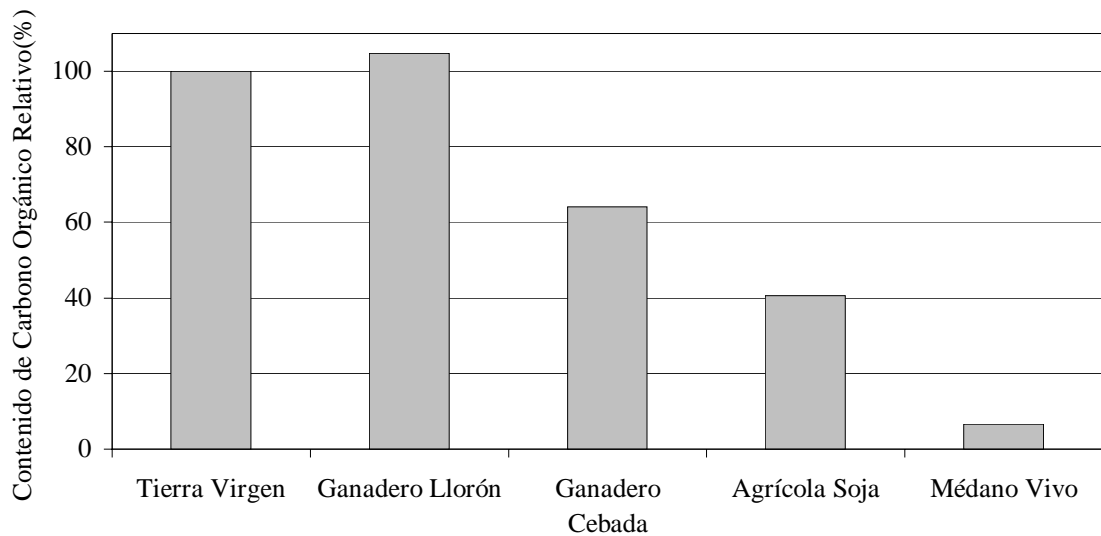


Figura 10: Contenido de Carbono Orgánico Relativo (%) de 0-5 cm de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

La situación Ganadero Llorón supera el contenido de carbono orgánico de la situación de mínimo deterioro, lo cual puede estar vinculado al aporte que realizan los animales a través de sus deyecciones y a la humificación de residuos y raíces. A este mismo factor se le podría adjudicar la variabilidad de los resultados, por los que se tuvieron que duplicar el número de muestras.

Estos resultados concuerdan con los de Cabria y Culot (2001) quienes observaron que en los horizontes A de los suelos labrados, el porcentaje de materia orgánica es menor que en los no labrados. En los suelos no labrados, donde el ambiente no es mecánicamente perturbado, las fracciones más lábiles de materia orgánica son el sustrato de diversos hongos, streptomycetes y bacterias, en los cuales estos organismos junto con las raíces y la mesofauna, envuelven a los agregados primarios con sustancias adherentes que generan y otorgan mayor estabilidad a los agregados de gran tamaño (Harris et al. 1996, Tisdale y Oades 1982)

Tabla 12: Contenido de Carbono Orgánico Relativo (%) de 0-5 cm de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
100,00	104,79	64,15	40,64	6,60

La disminución del contenido orgánico de los suelos cuando son sometidos a un intensivo uso agrícola ha sido ya afirmada en diversos trabajos.

En suelos vertisólicos de Entre Ríos, históricamente destinados para la producción agrícola, Ciarlo et al (2004) detectaron que los niveles de carbono orgánico total disminuyeron desde las situaciones de menor a las de mayor deterioro a medida que aumentó el número de años dedicados a la agricultura.

Vasquez et al (1990) y Urricariet y Lavado (1999) evaluaron en la Pampa Ondulada que los contenidos de carbono de suelos con larga historia agrícola representan el 77% del carbono de los de condiciones prístinas. En cambio, Michelena et al (1989) encontraron caídas del 37% en rotaciones agrícolas ganaderas y del 47% bajo agricultura continua con respecto a suelos prístinos.

En la Región Semiárida Argentina, Hevia et al (2004) encontraron que las disminuciones oscilaron entre el 56 y 59% para contenido de carbono total, al comparar un suelo virgen bajo monte de caldén (*Prosopis caldenia*) con un suelo agrícola sometido hace más de 30 años a sistemas mixtos.

En este caso, la situación que más larga historia agrícola tiene (8 años) demuestra una disminución del contenido de carbono orgánico del 60%; resultados que indican el alto grado de fragilidad del ambiente, y ponen un alerta a los decisores del uso del suelo.

El transporte y deposición de material por el viento acelera la pérdida de sus componentes orgánicos. Buschiazzo y Aimar (2003) afirman que en regiones semiáridas, cuando el suelo ha perdido un contenido determinado de materia orgánica y llega a aproximadamente un 3%, el mismo pierde estabilidad estructural y se torna más susceptible a la erosión. Por otra parte la mineralización de la materia orgánica es mas intensa en este tipo de suelos, por una mayor aireación y por una menor protección por parte de la fracción coloidal mineral.

En la figura 11 y tabla 13 puede observarse como el contenido de carbono orgánico del Médano Vivo es prácticamente nulo. A los 25 cm, las restantes situaciones, se asemejan entre ellas en su contenido de carbono orgánico, marcando el límite del perfil cultural del suelo, y de la influencia del uso y de la génesis sobre dicho contenido orgánico.

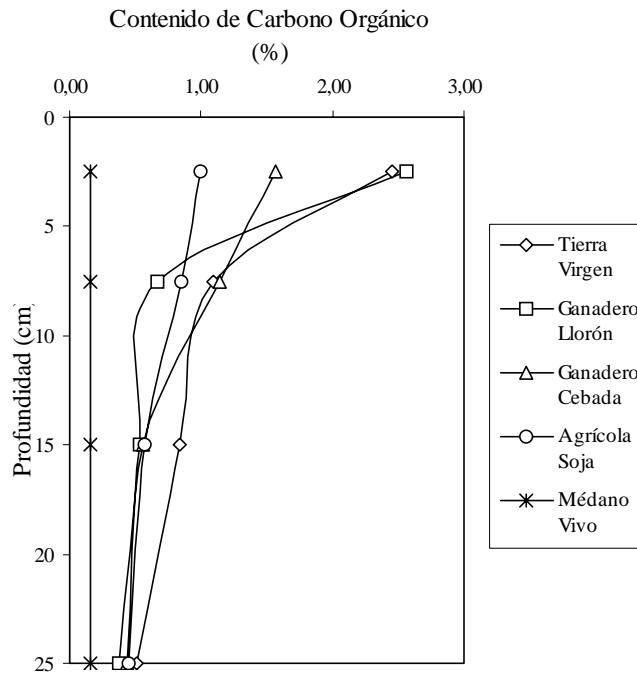


Figura 11: Contenido de Carbono Orgánico (%) en el perfil de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

En las situaciones Tierra Virgen y Ganadero llorón se observa una disminución abrupta en los 7,5 cm de profundidad podría deberse a falta de remoción e incorporación de restos orgánicos. Este proceso probablemente ha afectado a la situación Ganadero Cebada donde el cambio de contenido orgánico es más gradual.

Tabla 13: Contenido de Carbono Orgánico (%) a diferentes profundidades de las cinco situaciones en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

Profundidad media (cm)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
2,5	2,45 a	2,57 a	1,57 ab	1,00 bc	0,16 c
7,5	1,09 ab	0,74 c	1,14 a	0,85 bc	0,16 d
15	0,83	0,53	0,56	0,57	0,16
25	0,52	0,38	0,43	0,44	0,16

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

El análisis de varianza da un p-valor menor a 0,01 en todos los casos que poseen letras en la tabla anterior, por lo que las diferencias son altamente significativas. El coeficiente de variación fue de 35,02% en la primer capa, a pesar de la repetición de muestras y de 14,51% en la segunda capa.

3.9-Relaciones entre variables

Se probaron las relaciones entre las siguientes variables: Índice de Estabilidad y Carbono orgánico, Estabilidad de agregados relativa en seco y húmedo y Carbono orgánico, Fracción erodable y Carbono orgánico, Resistencia a la Penetración y Carbono orgánico, Resistencia a la Penetración y Densidad Aparente y Carbono Orgánico y Densidad aparente, obteniéndose los resultados de la tabla 14.

Tabla 14: Números de muestras, Ecuación de la relación, Valor de R² y Nivel de Significación de diferentes variables relacionadas en Ustipsammet típicos de Washington (Córdoba).

Variables Relacionadas	Número de muestras	Ecuación Obtenida	R ²	P valor
Índice de Estabilidad (%) y Contenido de Carbono Orgánico Relativo (%) 0-5cm	10	$y = 0,94 x + 4,49$	0,92	**
Estabilidad de Agregados Relativa en Seco (%) y Contenido de Carbono Orgánico Relativo (%) 0-5cm	10	$y = 0,73x + 13,04$	0,87	**
Estabilidad de Agregados Relativa en Húmedo (%) y Contenido de Carbono Orgánico Relativo (%) 0-5cm	10	$y = 0,78 x + 9,42$	0,90	**
Fracción Erodable (%) y Contenido de Carbono Orgánico (%) 0-5cm	10	$y = -0,34 x + 103,54$	0,80	**
RWEQ y Contenido de Carbono Orgánico (%) 0-5cm	10	$y = -0,15 x + 70,97$	0,87	**
Resistencia a la Penetración (MPa) a los 2,5cm y Contenido de Carbono Orgánico (%) a los 2,5cm	10	$y = 0,18 x + 0,04$	0,35	Ns
Resistencia a la Penetración (MPa) a los 7,5cm y Contenido de Carbono Orgánico (%) a los 7,5cm	10	$y = -0,017 x + 0,65$	0,00	Ns
Resistencia a la Penetración (MPa) a los 15cm y Contenido de Carbono Orgánico (%) a los 15cm	10	$y = 0,38 x + 0,85$	0,07	Ns
Resistencia a la Penetración (MPa) a los 25cm y Contenido de Carbono Orgánico (%) a los 25cm	10	$y = 0,92 x + 1,00$	0,04	Ns

Densidad Aparente (gr/cm ³) a los 5 cm y Resistencia a la Penetración (MPa) a los 5cm	8	$y = 0,21 x + 1,0541$	0,98	**
Densidad Aparente (gr/cm ³) a los 10 cm y Resistencia a la Penetración (MPa) a los 10cm	8	$y = 0,11 x + 1,21$	0,70	*
Densidad Aparente (gr/cm ³) a los 15 cm y Resistencia a la Penetración (MPa) a los 15cm	8	$y = 0,09x + 1,29$	0,61	Ns
Densidad Aparente (gr/cm ³) a los 20 cm y Resistencia a la Penetración (MPa) a los 20cm	8	$y = 0,08 x + 1,30$	0,18	Ns
Densidad Aparente (gr/cm ³) a los 25 cm y Resistencia a la Penetración (MPa) a los 25cm	8	$y = -0,02 x + 1,42$	0,27	Ns
Contenido de Carbono Orgánico o (%) a los 2,5 y Densidad Aparente (gr/cm ³) a los 2,5 cm	8	$y = 0,07 x + 0,99$	0,49	Ns
Contenido de Carbono Orgánico (%) a los 7,5 y Densidad Aparente (gr/cm ³) a los 7,5 cm	8	$y = 0,07 x + 0,99$	0,49	Ns
Contenido de Carbono Orgánico (%) a los 15 y Densidad Aparente (gr/cm ³) a los 15 cm	8	$y = -0,11 x + 1,40$	0,22	Ns
Contenido de Carbono Orgánico (%) a los 25 y Densidad Aparente (gr/cm ³) a los 25 cm	8	$y = -0,40 x + 1,65$	0,73	*

*, **: *significación <0.05 y <0.01, respectivamente, Ns: correlación no significativa.*

No existe una relación significativa de las variables de Densidad Aparente y Resistencia a la Penetración con Contenido de Carbono Orgánico.

Entre Densidad Aparente y Resistencia a la Penetración si existe una relación significativa, aunque sólo en las primeras dos capas del perfil.

Las relaciones importantes y significativas se dan entre Estabilidad de Agregados, Fracción Erodable y Contenido de Carbono Orgánico, y se observan en las figuras 12, 13, 14, 15 y 16. Las interacciones entre estos tres indicadores han sido ya analizadas en este y otros trabajos. Colazo et al (2006) afirman que un 50 % de la variabilidad de la estabilidad de agregados medida en seco es negativamente definida por los contenidos de arena en los Aridisoles y positivamente por materia orgánica en Haplustoles.

Una intervención incorrecta en estas tierras susceptibles a la erosión provocada por el viento ocasiona el comienzo en un proceso de degradación donde estas variables van retroalimentándose de manera tal que se torna irreversible.

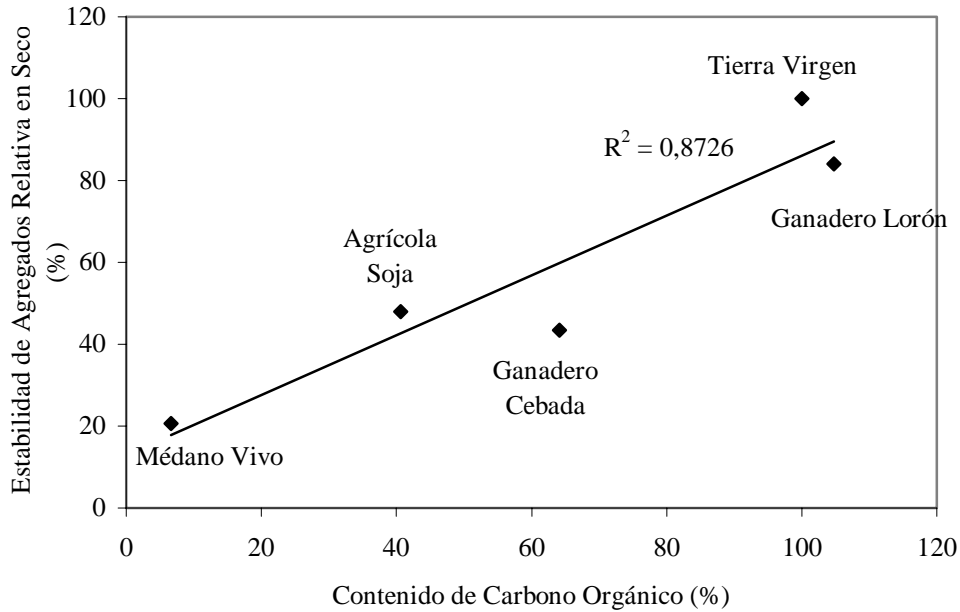


Figura 12: Relación entre Estabilidad de Agregados Relativa (%) en Seco y Contenido de Carbono Orgánico (%) en cinco situaciones de uso diferentes en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

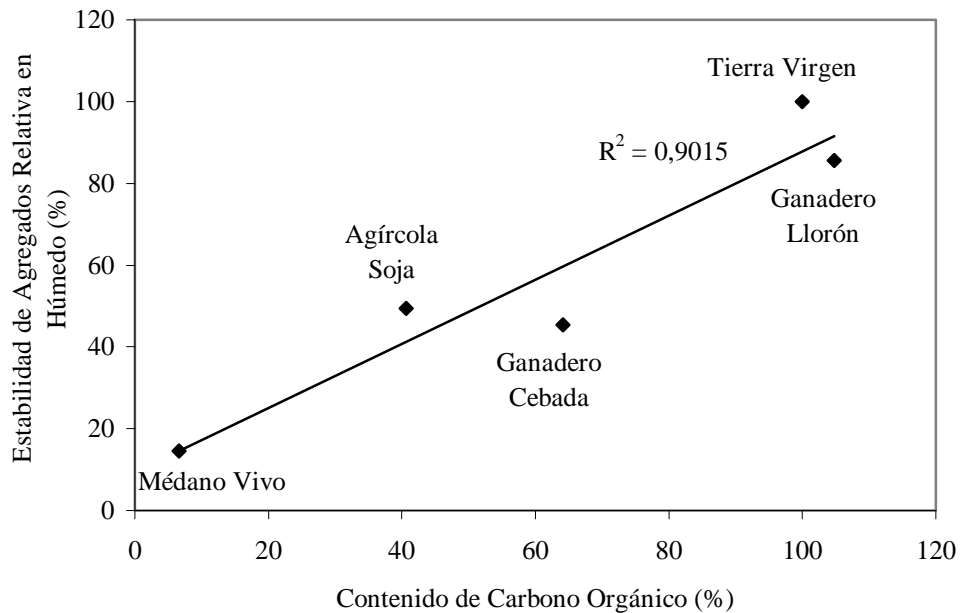


Figura 13: Relación entre Estabilidad de Agregados Relativa (%) en Húmedo y Contenido de Carbono Orgánico (%) en cinco situaciones de uso diferentes en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

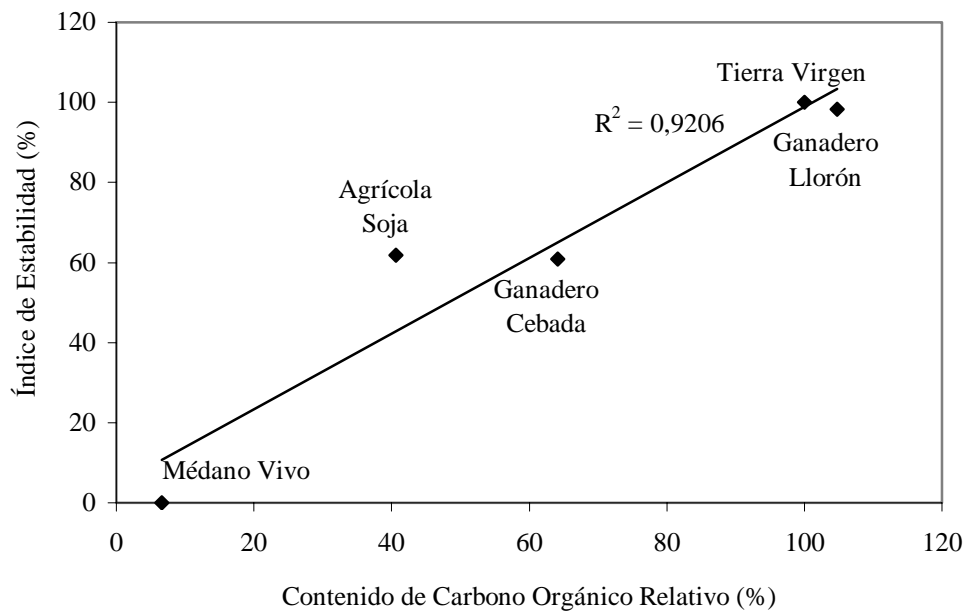


Figura 14: Relación entre Índice de Estabilidad de Agregados (%) y Contenido de Carbono Orgánico (%) en cinco situaciones de uso diferentes en Ustipsammet típicos de Washington (Córdoba).

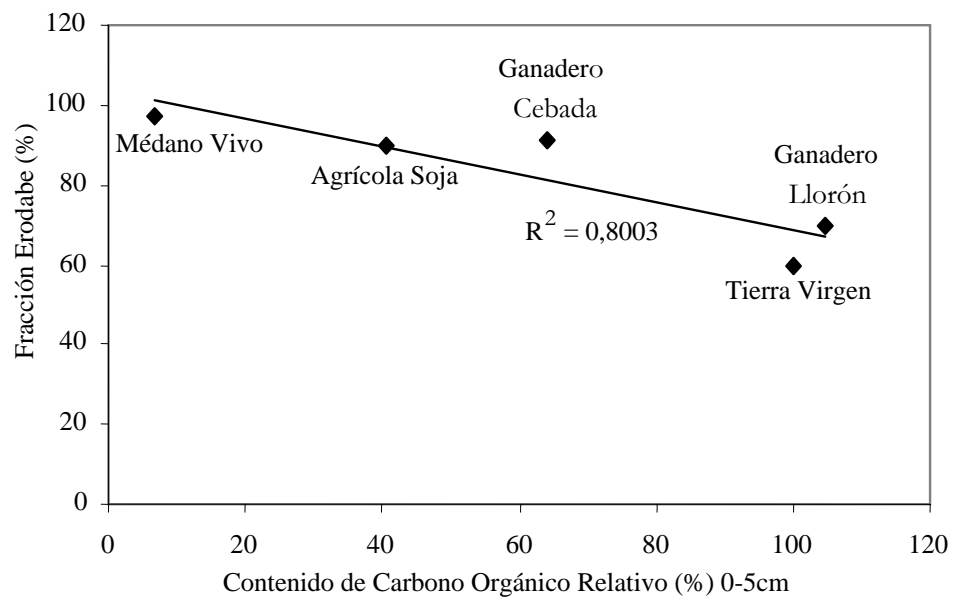


Figura 15: Relación entre Fracción Erodable (%) y Contenido de Carbono Orgánico (%) en cinco situaciones de uso diferentes en Ustipsammet típicos de Washington (Córdoba).

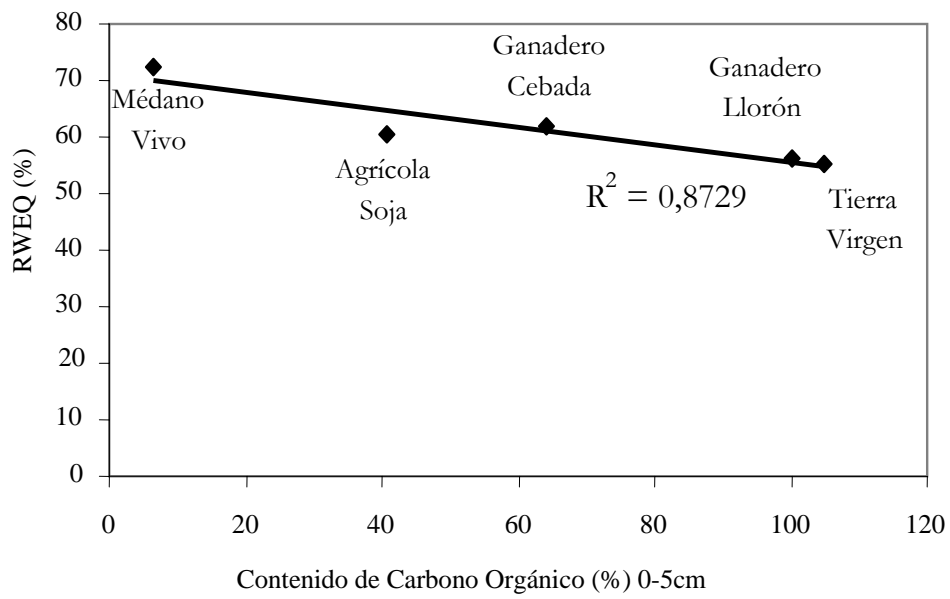


Figura 16: Relación entre RWEQ (%) y Contenido de Carbono Orgánico (%) en cinco situaciones de uso diferentes en Ustipsamment típicos de Washington (Córdoba).

CAPITULO IV. CONCLUSIONES

- Las condiciones físicas y químicas de los suelos estudiados en particular y la calidad ambiental en general, han sido deterioradas por el efecto de la intensificación del uso agrícola, como así también por manejos no apropiados del uso ganadero.
- Entre los indicadores físicos de deterioro, la densidad aparente y la resistencia a la penetración se mostraron menos sensibles al deterioro. En este tipo de suelos de textura gruesa, la compactación podría hacerse evidente a más largo plazo. No obstante, parte de los perfiles de las situaciones Agrícola Soja y Ganadero Cebada mostraron incrementos de resistencia a la penetración en la zona de raíces.
- El aumento de las fracciones erodables y la disminución de la estabilidad de agregados han sido los indicadores más sensibles. Las situaciones Agrícola Soja y Ganadero Cebada poseen entre un 30 y 32% más de fracción erodable que la situación de mínimo deterioro, y entre un 38 y 40% menos de estabilidad de agregados; acercándose de esta manera a la situación de máximo deterioro
- El escaso porcentaje de componentes inorgánicos que forman coloides en estos suelos, hace a la estructura dependiente de los componentes orgánicos y de su condición biológica. Existe una alta relación entre la pérdida de la estabilidad estructural y la pérdida del contenido de carbono orgánico en los resultados de este trabajo.
- La situación Ganadero Llorón se acerca en sus resultados a la situación de mínimo deterioro respecto a su estabilidad de agregados, y la sobrepasa en su contenido de carbono orgánico. Esto muestra la importancia de la inclusión de pasturas perennes, ya sea en el tiempo (rotaciones) o en el espacio (cultivos en franjas) que disminuyan la velocidad del viento en la superficie del suelo, aumenten o mantengan la materia orgánica y otorguen la estabilidad necesaria a los agregados que disminuyan su fragilidad ecológica característica.
- Se concluye que en estos suelos, cuando el uso es netamente agrícola o el uso ganadero lleva aparejado un manejo de labranza anual, se los expone a procesos erosivos que pueden llegar a ser irreversibles como la formación de médanos.

CAPÍTULO V. LITERATURA CITADA

- 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. Resúmenes del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo:367. Salta, Argentina.
- Álvarez C., Frank F., Goicochea L., Noellemeyer E. y A. Quiroga 2004 Evolución de Parámetros Físicos en un Haplustol éntico bajo distintos usos del suelo en la Región Semiárida Pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 283. Asociación Argentina de Suelos. Paraná, Argentina.
- Analisette 22 economy 1994 Introduction Manual. 215 pags.
- Arshad, M.A., Lowery B. y B. Grossman 1996 Physical test for monitoring soil quality: 123-142. En: J.W. Doran y J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Astier Calderon M., Maas Moreno M. y J. Echevers Barra 2002 Indicadores de Calidad de Suelos en Agricultura Sustentable: 605-620. Agrocienca. Volumen 36. Número 5. Argentina.
- Bono A., J.C. Fernández, S. Aimar y D.E. Buschiazzo 1993 Resistencia a la Penetración y Contenido de Humedad en diferentes suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Trabajo y Comunicaciones Resumidas: 31. Mendoza. Argentina.
- Bravo O., Díaz Zorita M. y J.C. Silenzi 1993 Efecto del laboreo sobre la agregación en seco y carbono orgánico para distintos espesores del horizonte superficial. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Trabajos y Comunicaciones Resumidas:359. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Mendoza, Argentina.
- Buschiazzo D. E., Quiroga A.R. y K. Stahr 1991 Patterns of organic matter accumulation in soil of the Semiárid Pampeana Argentinian. Z. Pflanzen Boden. 154:347-441.
- Buschiazzo D.E. y S.B. Aimar 2003 Erosión eólica: procesos y predicción. En: Golber A.D. Y A.G. Kin (Ed.). Viento, Suelo y Plantas. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.

- Buschiazzo D.E. y C. Taylor 1993 Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la región Semiárida Pampeana Central. *Ciencia del Suelo* 10/11:46-53.
- 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 Volumen19 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.
- Carter M.R. 1990 Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Can. J. Soil Sci.* 70:425-433.
- Casas R.R. 2000 *La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas*. En: www.insuelos.org.ar. Consultado: 12-02-2004.
- Chepil, W.S. 1950. *Soil Sci.*, 69:403-414.
- Chepil W. S. 1962 A Compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Sci.Soc. Am. Proc.* 26:4-6.
- 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. Prestamo BID 92555/OC-AR. Pre II. Coordinación del Estudio: Oficina de la CEPAL-ONU, Buenos Aires, Argentina.

- 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.S. y M.E. 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., Cholaly 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.
- Colazo J.C., Blanco P., Becker A. Bouza P. del Valle H., Quintero C., Boschetti G., de Dios Herrero J., Osterriet M., Alvarez M., Borrelli N. y D.E. Buschiazzo 2006 Estabilidad estructural de los suelos de Argentina. Resúmenes del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo:120. Salta, Argentina.
- Crovetto Lamarca C. 1992 Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria. Concepción, Chile.
- de Prada, J. D., 2005. Economics of soil erosion and wetlands degradation: A case of study from Argentina. Ph. D. thesis, University of Connecticut, Storrs, Connecticut.
- Davies B., Eagle D. y B. Finney 1982 Manejo del suelo. Editorial El Ateneo. Buenos Aires, Argentina.
- 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.
- Gerard C.J., Sexton P. y G. Shaw 1982 Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agron. J.* 74: 875-879.
- Gorgas J.A. y J.L. Tassile 2003 Recursos Naturales de la provincia de Córdoba. Los Suelos Instituto Nacional de Tecnología Agrícola Centro Córdoba y Agencia Córdoba D.A.C.yT. y SEM., Córdoba, Argentina.
- Harris R., Chesters G. and O. Allem 1966. Dynamics of soil aggregation. In Norman, A.G. eds. *Advances in Agronomy*. Vol 18. Academia Press Inc. 111 fifth avenue, NY:107-169. NY, USA.
- 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.
- Humboldt Scientific 1985 Compaction Control Gauges 5001 Series. Additional Intruccion Manual for the HS-5001C.
- INTA 2003 El INTA ante la preocupación por la sustentabilidad de largo plazo de la producción agrícola argentina. Documento institucional en www.inta.gov.ar Consultado:10-02-2004.
- Kézdi, B.D. 1980 Soil Testing. Hanbook of Soil Mechanics. Elsevier, Vol. 2:258
- López M.V., de Dios Herrero J.M., Hevia G.G., Garcia R. y D.E. Buschiazzo 2006 Determinación de la Fracción Erosionable del suelo con diferentes metodologías. Resumenes del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo:376. Salta, Argentina.
- Michelena R.O., Iruetia C.B., Vavrusk E.A., Mon R. y A. Pittaluga 1989 Degradación de suelos del norte de la región pampeana. Publicación técnica 6 INTA Centros Regionales de Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe. Proyecto de Agricultura Conservacionista.
- 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.

- 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.A. 1999 Agricultura Argentina. Sustentabilidad, Hasta Cuando? Inédito.
- Pengue, W. 2001. Los aspectos ambientales del cultivo de organismos transgénicos. GEPAMA-UBA.
- Quiroga A.R., Monsalvo M., Buschiazzo D.E. y E. Adema 1996 Labranzas en la Región semiárida pampeana central. 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.
- SAGYP 2004 Documento institucional en www.sagyp.gov.ar Consultado: 08-02-2004.
- Silenzi J.C., Bravo O.A: Echeverría N.E. y T. Grossi 1993 Efectos de la Erosión Eólica sobre la productividad de un suelo. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Trabajos y Comunicaciones Resumidas:329. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Mendoza, Argentina.
- Snedecor G.W. and W.G Cochran 1984 Métodos estadísticos. Compañía Editorial Continental S. A. 703 pags.
- Taboada M. y F. Micucci 2004 Fertilidad Física de los Suelos. Editorial Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina
- Tisdall J. y J. Oades 1982 Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci. 33:141-163.
- 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 Volumen17 Número 1: 37-43 Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Vasquez M.E., Berasategui L.A., Chamorro E.R. Taquiri L.A. y L.A. Barberis 1990 Evaluación de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la Pradera Pampeana. Ciencia del Suelo 8:203-210.

ANEXO

Compactación máxima del suelo

Tabla 15: Densidad máxima a distintos porcentajes de humedad para cinco situaciones en Ustipsammet típicos de Washington (Córdoba).

Tierra Virgen		Ganadero Llorón		Ganadero Cebada		Agrícola Soja		Médano Vivo	
DAP media en gr/cm ³	H° media (%)	DAP media en gr/cm ³	H° media (%)	DAP media en gr/cm ³	H° media (%)	DAP media en gr/cm ³	H° media (%)	DAP media en gr/cm ³	H° media (%)
1,49	4,39	1,50	4,94	1,52	4,79	1,54	4,38	1,54	4,70
1,64	9,08	1,67	9,68	1,68	9,74	1,71	9,59	1,67	9,62
1,80	13,89	1,80	14,34	1,78	14,39	1,84	14,22	1,76	14,23
1,90	18,02	1,89	18,48	1,89	18,66	1,88	18,11	1,84	19,19
1,89	21,04	1,89	21,47	1,89	21,63	1,89	21,10	1,86	21,80
1,86	25,20	1,86	23,79	1,87	23,85	1,86	24,03	1,83	24,72

Resistencia a la penetración

Tabla 16: Porcentaje de humedad (%) del suelo en el momento en el que se tomaron las muestras de Resistencia a la Penetración para cinco situaciones en las cercanías de Washington (Córdoba).

Profundidad (cm)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
0-20	6,14	8,54	5,09	6,3	5,81
20-40	5,35	7,5	5,1	5,18	2,63

Estabilidad de los agregados

Tabla 17: Peso (%) medio en seco de suelo, tomando la sumatoria en gr como 100% para cinco situaciones en las cercanías de Washington (Córdoba).

Diámetro medio de agregados (mm)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
10	40,31	30,60	8,67	10,19	2,83
5,175	25,69	22,85	14,47	16,32	5,67
3	17,43	19,55	17,66	19,91	6,19
1,5	6,98	11,47	18,21	16,97	5,34
0,5	9,59	15,53	40,99	36,62	79,98
Sumatorias	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 18: Diámetro Ponderal Medio tamizado en seco para cinco situaciones en las cercanías de Washington (Córdoba).

Diámetro medio de agregados (mm)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
10	4,03	3,06	0,87	1,02	0,28
5,175	1,33	1,18	0,75	0,84	0,29
3	0,52	0,59	0,53	0,60	0,19
1,5	0,10	0,17	0,27	0,25	0,08
0,5	0,05	0,08	0,20	0,18	0,40
Sumatorias	6,04	5,08	2,62	2,90	1,24

Tabla 19: Peso (%) medio en húmedo de suelo, tomando la sumatoria en gr como 100% para cinco situaciones en las cercanías de Washington (Córdoba).

Diámetro medio de agregados (mm)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
10	53,44	42,99	14,54	16,92	2,45
5,175	16,55	15,92	14,19	16,32	4,31
3	15,95	17,68	20,60	20,52	7,73
1,5	4,95	7,53	11,84	7,71	7,56
0,75	0,76	1,12	2,75	2,33	9,14
0,3985	0,72	1,29	5,40	3,94	2,57
0,1485	7,64	13,47	30,68	32,24	66,24
Sumatorias	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 20: Diámetro Ponderal Medio tamizado en húmedo para cinco situaciones en las cercanías de Washington (Córdoba).

Diámetro medio de agregados (mm)	Tierra Virgen	Ganadero Llorón	Ganadero Cebada	Agrícola Soja	Médano Vivo
10	5,344	4,30	1,45	1,69	0,24
5,175	0,856	0,82	0,73	0,84	0,22
3	0,479	0,53	0,62	0,62	0,23
1,5	0,074	0,11	0,18	0,12	0,11
0,75	0,006	0,01	0,02	0,02	0,07
0,3985	0,003	0,01	0,02	0,02	0,01
0,1485	0,011	0,02	0,05	0,05	0,10
Sumatorias	6,772	5,80	3,07	3,35	0,99