



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

**TESIS DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRARIAS**

**Aspectos de calidad de suelos representativos del sur de la provincia de Buenos Aires y efectos de la actividad agropecuaria sobre la misma.**

Ing. Agr. Josefina Zilio

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2015

## Prefacio

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para acceder al grado Académico de Magister en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Laboratorio de Suelos de EEA INTA Bordenave y en el Laboratorio de Humus y Biodinámica (LAHBIS), dependiente del Departamento de Agronomía y en el Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS) durante el período comprendido entre el año 2012 y 2015, bajo la dirección del Dr. Juan Alberto Galantini, Investigador Independiente de la Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires (CIC) y el Ph.D. Hugo Krüger Investigador INTA Bordenave, como Director Adjunto.

Ing. Agr. Josefina Paula Zilio

D.N.I. 29.508.001



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el ...../...../....., mereciendo la calificación de .....(.....)

## AGRADECIMIENTOS

El que ha transitado el camino del posgrado, conoce que no es posible la realización de un trabajo de tal magnitud sin la colaboración de una gran cantidad de personas. Me siento agradecida porque he encontrado apoyo en los más diversos ámbitos, como el académico y personal. Es por ello que quiero agradecerles a todos y a cada uno por su colaboración desinteresada y paciente.

Al Dr. Juan Galantini, por dirigirme en este trabajo. Por su calidez humana y compartir sus saberes de manera generosa.

Al Dr. Hugo Krüger, quien es guía académica y personal en esta Tesis y en el día a día laboral. Quien me dio una palmada en la espalda cuando fue necesario y buenas críticas para aprender. Por su grandeza en compartir su saber y dar el espacio para que sus becarios crezcan y se formen.

Al grupo de trabajo de Conservación y Manejo de Suelos y Laboratorio de Suelos de EEA INTA Bordenave, por su excelente predisposición, el tiempo dedicado y la inagotable paciencia: Rubén Elorriaga, Rubén Giménez, Franco Frolla, Julieta Calzada, Miguel Giménez y Andrea Pizzano.

Al grupo de extensionistas de la EEA Bordenave, especialmente a Eduardo de Sá Pereira, Emanuel Lageyre, Marcelo Real, Héctor Pelta y Federico Labarthe, por abrirme las puertas de cada una de las agencias y colaborar como nexo con los productores de la zona.

A la Dra. Marisa Gómez, Magalí Vercellino y Cecilia Zabaloy, por brindar sus conocimientos y ayudarme a entender el mundo microbiológico.

A quienes han brindado tiempo en enseñarme las técnicas analíticas: Liliana Suñer, Juan Manuel Martínez, Matías Duval, Martín De Lucía, Martín Sarti, Mariana Bouza y Silvia Canelo.

A Fabián Marini, por enseñarme los rudimentos de SIG y por su colaboración desinteresada.

A Nilda Amiotti por la colaboración en la clasificación de los suelos estudiados.

A Germán Balbarrey, por su valiosa colaboración y su saber entender.

A Nelson Gibelli, por haberme acompañado en los primeros pasos de la vida institucional y por sus siempre alentadoras palabras en todos estos años.

A Federico Labarthe y Marianela Diez, entrañables compañeros de cursada, por la alegre compañía y gratos momentos de estudio.

A Alexis, mi amor y compañero de vida, quien me contuvo aún con los vaivenes emocionales producidos por la exigencia académica, que estuvo ahí presente, siempre.

A mi familia, que cada día es más numerosa, por la educación brindada, el cariño y el apoyo incondicional, especialmente a mis padres Milly y Alberto, por los valores que me transmitieron.

A todos mis amigos, que por suerte son muchos, por el apoyo moral, la escucha y el acompañamiento.

Dedico esta tesis a mis abuelos Otilia, Ernesto, Isolina y Lino, por el cariño que me brindaron y por el hermoso recuerdo que tengo de cada uno de ellos, entre los cuales añoro los dulces caseros, el bandoneón, la fariña y la salida de las clases de patín.

## RESUMEN

El avance de la agricultura hacia zonas cada vez más marginales ha sido un fenómeno extendido en todo el mundo, atendiendo una demanda creciente de alimentos. Así, en las zonas históricamente productivas, se ha observado un aumento sostenido en la intensificación de las actividades agropecuarias, mientras que zonas de menor potencial productivo han sido incorporadas a la producción. Estos sucesos han impactado de manera generalmente negativa en la calidad de los suelos, aunque la magnitud del impacto y los indicadores adecuados para su detección, varían de acuerdo a características climáticas, edáficas y de manejo.

Los objetivos del presente trabajo fueron: I) evaluar el impacto de las actividades agropecuarias tradicionales sobre la calidad de suelos característicos de la zona de influencia de la EEA Bordenave; II) relacionar los cambios observados en indicadores e índices seleccionados con factores de sitio, para establecer impactos diferenciales de las actividades productivas y III) investigar distintos indicadores de calidad de suelos, e índices derivados, para determinar aquellos más apropiados para este tipo de evaluaciones en la región.

Se tomaron muestras de cuatro suelos representativos del área, bajo tres manejos agropecuarios de diferente intensidad: Inalterado (I), Moderado (M), Agresivo (A). El primero consistió en lotes con escaso disturbio antrópico, incluyéndose pasturas longevas, cascotes, parques y esquineros. El manejo M incluyó lotes con cierto nivel de aplicación de buenas prácticas, como rotación de cultivos, inclusión de pasturas, reposición de nutrientes y/o labores conservacionistas. El manejo A, refirió a lotes con alta frecuencia de labores mecánicas, escaso control de malezas, alta frecuencia de cultivos y nula reposición de nutrientes. Sobre las muestras extraídas se determinó: Carbono Orgánico Total (COT), fraccionamiento físico de CO: Carbono orgánico particulado grueso (COPg 100-2000 $\mu$ m), Carbono orgánico particulado fino (COPf 50-100 $\mu$ m), Carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM <50 $\mu$ m), índice estructural (IE) para COT y sus fracciones, hidratos de carbono solubles (HCs) y totales (HCt), pH, fósforo extraíble, fósforo orgánico e inorgánico (Po y Pi), densidad aparente (Dap), densidad aparente máxima (Dap Máx.), compactación relativa (CR), estabilidad estructural (EE) a partir del cambio del diámetro medio ponderado (CDMP) y del diámetro medio ponderado (DMP), con tres pretratamientos según método de Le Bissonais (DMP<sub>LB1</sub>, DMP<sub>LB2</sub> y DMP<sub>LB3</sub>) índice de estabilidad estructural (IEE) y fracción erodable (FE).

Los resultados indican que las actividades agropecuarias tradicionales impactaron en forma negativa sobre la calidad de suelos determinando pérdidas de: COT, COPg y COM, hidratos de carbono totales y solubles, disminuciones en el IE calculado para COT y COM, y en la EE. La magnitud del impacto se relacionó principalmente con las características de los suelos (composición granulométrica), y ambientales (clima y régimen de humedad del suelo). Suelos de baja capacidad de uso en ambientes marginales generalmente presentaron diferencias de menor magnitud entre los distintos manejos que aquellos ambientes de alto potencial productivo.

Numerosos indicadores acusaron el efecto del manejo agropecuario en todos los suelos evaluados, mostrando diferencias en los valores correspondientes a los manejos M y A respecto de I, siendo los siguientes: COT (capas 0-10 y 10-20 cm), COPg (capa 10-20 cm), COM (capas 0-10 cm y 10-20 cm), IE COT (capas 0-10 y 10-20 cm), IE calculado para COM (capas 0-10 y 10-20 cm), HCt capa 0-10 cm y HCs estimado sobre masa de suelo equivalente, HCs capa 0-20 cm, Pi capa 0-10 cm, CDMP, DMP<sub>LB</sub> y DMP<sub>></sub>. Algunos resultaron especialmente adecuados para los ambientes údicos pero no así en los ústicos, aunque las tendencias resultaran similares: COPf, HCt sin ajustar y ajustado por masa de suelo equivalente, P extraíble y Dap Máx. Finalmente, el DMP<sub><</sub> resultó útil sólo en los suelos ústicos.

Solo unos pocos indicadores permitieron evaluar el efecto del factor intensidad de uso: cantidad de COT perdida con respecto a I, IE calculado para COM (capa 10-20 cm) y DMP<sub>LB3</sub> (sólo en los suelos con mayor contenido de arcilla+limo, SG y CS).

De los indicadores evaluados, no registraron cambios debidos al manejo agropecuario: pH, CR (%), IEE (%) y FE (%).

De acuerdo con los resultados obtenidos y en función de la correlación existente entre algunos de los indicadores estudiados, se postula que es posible definir un set mínimo con posibilidades de evaluar el impacto del uso de la tierra sobre la calidad de estos suelos. En este conjunto se incluyen tentativamente: contenido de COT, IE COT e IE COPg.

Palabras clave: Calidad de suelos, Carbono Orgánico Total, propiedades químicas, propiedades físicas.

## ABSTRACT

The advance of agriculture into increasingly marginal areas has been a widespread phenomenon worldwide, serving a growing demand for food. Thus, in the historically productive areas there has been a sustained intensification of agricultural activities, while less productive areas have been brought into production. These events usually have negative impact on soil quality, although the magnitude of the impact and the appropriate indicators used for its detection vary according to climatic, soil and management factors.

The objectives of this study were: I) to assess the impact of traditional agricultural activities on the quality of soils characteristic of the area of influence of the EEA Bordenave; II) to relate the observed changes in indicators and selected indices to site factors, in order to establish differential impacts of productive activities and III) to investigate different indicators and indices of soil quality, to determine those most appropriate for this type of evaluation in the studied region.

Samples from four representative soils of the area were taken, under three agricultural managements of different intensity: Unchanged (I), Moderate (M), Aggressive (A). Unchanged management represented fields with low anthropogenic disturbance including old pastures, parks and field corners. Moderate management included fields with implementation of good practices such as crop rotation, pasture, replenishment of nutrients and/or conservation tillage. Aggressive management referred to lots with high frequency of mechanical tillage, poor weed control, high cropping intensity and no nutrient replenishment. Determinations included: Total Organic Carbon (COT), physical fractionation of organic carbon: coarse particulate organic carbon (COP<sub>g</sub> 100-2000 $\mu$ m), fine particulate organic carbon (COP<sub>f</sub> 50-100 $\mu$ m), organic carbon associated with the mineral fraction (COM <50  $\mu$ m), structural index (IE) for COT and its fractions, soluble (CHs) and total carbohydrates (HCt), pH, extractable phosphorus, organic and inorganic phosphorus (Po and Pi), bulk density (Dap ), maximum bulk density (Dap Max.), relative compaction (CR), structural stability (EE) assessed from the change of the weighted average diameter (CDMP) and mean weight diameter (DMP) with three pretreatment method according to Le Bissonnais (DMP<sub>LB1</sub>, DMP<sub>LB2</sub> and DMP<sub>LB3</sub>) structural stability index (EEI), and erodible fraction (EF).

The results indicate that traditional agricultural activities impacted negatively on the quality of soils determining losses of COT, COP<sub>g</sub>, COM, and total and soluble carbohydrates, decreases in IE calculated for COT and COM, and in the EE. The magnitude of impact was mainly related to soil and environmental characteristics (granulometric composition, climate and soil moisture regime). Soils of low capability in marginal environments generally had

lower magnitude differences between managements than those in highly productive environments.

Many indicators showed the effects of agricultural management in all soils tested, showing differences in magnitudes corresponding to M and A related to I. They were: COT (0-10 and 10-20 cm layers), COPg (10-20cm layer), COM (0-10 and 10-20 cm layers), IE calculated for COT (0-10 and 10-20 cm layers), IE calculated for COM (0-10 and 10-20 cm layers), HCt (0-10 cm layer), and HCs estimated on equivalent mass of soil (0-20 cm layer), Pi (0-10 cm layer), CDMP, DMP<sub>LB</sub> and DMP<sub>></sub>. Some indicators were particularly suitable for udic but not for the ustic environments, although trends will result similar: COPf, HCs adjusted or not by equivalent soil mass, extractable phosphorus, and Dap Max. Finally, the DMP<sub><</sub> proved useful only in ustic soils.

Only a few indicators allowed assessing the impact of the intensity of use factor: the amount of COT lost related to I, IE calculated for COM (10-20 cm layer), and DMP<sub>LB3</sub> (only in soils with high clay + silt content, GS and CS).

Other evaluated indicators: pH, CR (%), IEE (%) and FE (%), did not register changes due to agricultural management.

According to the results and based on correlation observed between some of the studied indicators, it is possible to define a tentative minimum set to assess the impact of land use on the quality of these soils. This set includes: content of COT, IE calculated for COT and IE calculated for COPg.

Keywords: Soil quality, total organic carbon, chemical properties, physical properties.

Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.

Dr. Juan A. Galantini

# INDICE TEMÁTICO

<b>INDICE TEMÁTICO</b> .....	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>3</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>V</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 LA AGRICULTURA EN ARGENTINA .....	1
1.2 EVALUACIÓN DE LOS SUELOS .....	4
1.3 INDICADORES DE CALIDAD DE LOS SUELOS .....	5
1.3.1 <i>Materia orgánica y sus fracciones</i> .....	5
1.3.2 <i>Fósforo</i> .....	9
1.3.3 <i>Reacción del suelo</i> .....	10
1.3.4 <i>Hidratos de Carbono</i> .....	10
1.3.5 <i>Densidad aparente</i> .....	11
1.3.6 <i>Densidad aparente máxima</i> .....	11
1.3.7 <i>Estabilidad estructural</i> .....	12
<b>2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 HIPÓTESIS .....	14
2.2 OBJETIVOS.....	14
2.2.1 <i>Objetivo General</i> .....	14
2.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	14
<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>15</b>
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO .....	15
3.2 ESQUEMA DE TRABAJO.....	19
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ESTADÍSTICO .....	20
3.4 MUESTREO Y ACONDICIONAMIENTO DEL SUELO .....	22
3.5 DETERMINACIONES ANALÍTICAS .....	22
3.6 ÍNDICES .....	24
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>26</b>
4.1 PARÁMETROS BIOQUÍMICOS .....	26
4.1.1 <i>Carbono Orgánico</i> .....	26
4.1.1.1 <i>Carbono Orgánico Total</i> .....	26
4.1.1.2 <i>Fracciones del CO</i> .....	33
4.1.1.3 <i>Resultados del Índice Estructural de Pieri por fracción</i> .....	41
4.1.1.4 <i>Hidratos de Carbono en el suelo</i> .....	43
4.1.2 <i>Fósforo</i> .....	50
4.1.2.1 <i>Disponibilidad de P</i> .....	50
4.1.2.2 <i>Comparación de métodos de P disponible</i> .....	53
4.1.2.3 <i>Fósforo orgánico e inorgánico</i> .....	54
4.1.2.4 <i>Cantidad de Po y Pi</i> .....	57
4.1.3 <i>Reacción del suelo: pH</i> .....	59

4.2	PARÁMETROS FÍSICOS .....	62
4.2.1	<i>Densidad aparente</i> .....	62
4.2.2	<i>Test Proctor</i> .....	66
4.2.3	<i>Estabilidad estructural</i> .....	71
4.2.4	<i>Fracción Erodable</i> .....	75
4.3	ANÁLISIS MULTIVARIADO: ASOCIACIÓN DE TRATAMIENTOS Y RELACIÓN ENTRE VARIABLES .....	78
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>86</b>
<b>7</b>	<b>ANEXO</b> .....	<b>100</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Suelos dominantes en el área de influencia de la EEA INTA Bordenave. ....	18
<b>Tabla 2.</b> Cuadro de análisis de variancia (ANOVA) para el Diseño Estadístico desarrollado .....	21
<b>Tabla 3.</b> Nivel de degradación física en base al Índice Estructural.....	25
<b>Tabla 4.</b> Contenido de Carbono Orgánico Total (COT), para distintos suelos, manejos y profundidades de muestreo.....	27
<b>Tabla 5.</b> Índice Estructural (IE COT) para distintos suelos, manejos y profundidades.....	30
<b>Tabla 6.</b> Cantidad de Carbono Orgánico Total (COT) en distintos suelos, manejos y profundidades. ....	31
<b>Tabla 7.</b> Fracciones de CO, expresadas en concentración y como % del COT, para distintos suelos y manejos, profundidad 0-10 cm. ....	35
<b>Tabla 8.</b> Fracciones de CO, expresadas en concentración y como % del COT, para distintos suelos y manejos, profundidad 10-20 cm. ....	37
<b>Tabla 9.</b> Cantidad de CO en cada fracción, para distintos suelos y manejos. ....	40
<b>Tabla 10.</b> Índice Estructural (IE) para distintas fracciones del CO, para diferentes suelos y manejos y profundidades. ....	42
<b>Tabla 11.</b> Contenido de Hidratos de Carbono solubles y totales, para distintos suelos, manejos y profundidades. ....	45
<b>Tabla 12.</b> Relaciones entre el contenido de HCs, HCt y COT, ajustado a MSE. ....	49
<b>Tabla 13.</b> Concentración de P extraíble (Método Bray y Kurtz N°1 y Método Olsen) para distintos suelos, manejos y profundidades de muestreo (0-10 y 10-20 cm).....	52
<b>Tabla 14.</b> Cantidad de P extraíble (Método Bray y Kurtz N°1 y método Olsen) para la profundidad 0-20 cm y ajustado a MSE, para distintos suelos y manejos. ....	53
<b>Tabla 15.</b> Concentración de P orgánico (Po) y P inorgánico (Pi) para distintos suelos, manejos y profundidades de muestreo. ....	56
<b>Tabla 16.</b> Cantidad de Po y Pi, para la profundidad 0-20 cm y ajustado a MSE, para distintos suelos y manejos. ....	58
<b>Tabla 17.</b> Resultados de pH del suelo en tres profundidades de muestreo.....	60
<b>Tabla 18.</b> Densidad aparente (Dap) por suelo y por manejo, para 4 profundidades.....	62
<b>Tabla 19.</b> Valores de Margen Dap para distintos suelos, manejos y profundidades de muestreo.....	66
<b>Tabla 20.</b> Resultados determinaciones físicas: Estabilidad Estructural por el Método de Le Bissonnais ( $DMP_{LB}$ ) y por el Método de De Boodt y De Leenher (CDMP), Fracción erodable (FE), Dap Máxima (Dap Máx.) y Contenido Hídrico Crítico (CHC), para distintos suelos y manejos. ....	70
<b>Tabla 21.</b> Funciones discriminantes en base a valores estandarizados de acuerdo a su variabilidad para las determinaciones en dos profundidades (0-10 y 10-20 cm).....	80
<b>Tabla 22.</b> Descripción del manejo agropecuario en cada uno de los sitios de muestreo...	100

## INDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1.</b> Área de influencia de la EEA INTA Bordenave _____	16
<b>Fig. 2.</b> Ubicación de las muestras en el triángulo textural _____	19
<b>Fig. 3.</b> Relación entre el contenido de arcilla+limo y concentración de COT, para todos los suelos y manejos, elaborado en base a las muestras tomadas a 0-10 y 10-20 cm. _____	29
<b>Fig. 4.</b> Cantidad de COT actual y perdida en la capa 0-20 cm., para distintos suelos y manejos. _____	32
<b>Fig. 5.</b> Relación entre fracciones de CO y contenido de arcilla+limo, para datos de la capa 0-10 y 10-20. _____	41
<b>Fig. 6.</b> Esquema de comportamiento del COT y sus fracciones frente a diversas combinaciones de régimen hídrico y contenido de arcilla+limo de un suelo. _____	43
<b>Fig. 7.</b> Relación entre el contenido de HC ajustado a MSE y las fracciones más finas del CO (COPf y COM) (Mg ha <sup>-1</sup> ), para cada uno de los manejos evaluados _____	47
<b>Fig. 8.</b> Relación entre métodos de determinación de P extraíble. _____	55
<b>Fig. 9.</b> Histogramas de frecuencia relativa de pH para caracterización de suelos, incluyendo la totalidad de las muestras evaluadas _____	59
<b>Fig. 10.</b> Relación entre Dap (Mg m <sup>-3</sup> ) y contenido de arcilla+limo (%), para todos los suelos manejos y profundidades. _____	64
<b>Fig. 11.</b> Curvas Proctor para los distintos suelos evaluados, bajo tres manejos diferentes: Agresivo (A), Moderado (M) e Inalterado (I) _____	68
<b>Fig. 12.</b> Curvas correspondientes al ensayo Proctor, presentado como promedio de los manejos para cada uno de los suelos _____	69
<b>Fig. 13.</b> Relación entre el cambio del diámetro medio ponderado (CDMP) y el contenido de COT y sus fracciones _____	73
<b>Fig. 14.</b> Relación entre la Fracción Erodable (FE) y el contenido de Carbono Orgánico Total (COT), para todos los suelos y manejos evaluados. _____	76
<b>Fig. 15.</b> Análisis discriminante canónico de los tratamientos para la profundidad 0-10 cm. _____	78
<b>Fig. 16.</b> Análisis de componentes principales para variables, tipo de suelo y manejo, de la profundidad 0-10 cm en el plano de las primeras dos componentes _____	81
<b>Fig. 17.</b> Análisis de componentes principales para variables, tipo de suelo y manejo de la profundidad 10-20 cm en el plano de las primeras dos componentes _____	82

## ABREVIATURAS

A: agresivo  
I: inalterado  
M: moderado  
SG: San Germán  
Ca: Carhué  
CS: Coronel Suárez  
To: Tornquist  
ACP: Análisis de Componentes Principales  
AD: Análisis discriminante  
CDMP: Cambio del diámetro medio ponderado (mm)  
CHC: Contenido hídrico crítico (%)  
CO: Carbono orgánico ( $\text{g kg}^{-1}$ ;  $\text{Mg ha}^{-1}$ )  
COM: CO de la fracción  $<50 \mu\text{m}$  ( $\text{g kg}^{-1}$ ;  $\text{Mg ha}^{-1}$ )  
COPf: CO de la fracción  $50\text{-}100 \mu\text{m}$  ( $\text{g kg}^{-1}$ ;  $\text{Mg ha}^{-1}$ )  
COPg: CO de la fracción  $100\text{-}2000 \mu\text{m}$  ( $\text{g kg}^{-1}$ ;  $\text{Mg ha}^{-1}$ )  
COT: Carbono orgánico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ;  $\text{Mg ha}^{-1}$ )  
CR: Compactación Relativa (%)  
Dap Máx: Densidad aparente máxima, obtenida por Mét. Proctor ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )  
Dap: Densidad aparente ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )  
DMP<sub>LB</sub>: Estabilidad estructural por Mét. Le Bissonnais (mm).  
EE: Estabilidad Estructural (mm)  
FE: Fracción Erodable (%)  
FG: fracción gruesa  
HC: Hidratos de Carbono ( $\text{Kg ha}^{-1}$ )  
HCs: Hidratos de Carbono solubles ( $\text{Kg ha}^{-1}$ )  
HCt: Hidratos de Carbono totales ( $\text{Kg ha}^{-1}$ )  
IE: Índice Estructural de Pieri ( $\text{MO}/(\text{arcilla}+\text{limo})$ )  
IEE: Índice de Estabilidad Estructural (%)  
INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
LC: labranza convencional  
MO: Materia Orgánica ( $\text{MO} = \text{CO} \times 1,724$ ) ( $\text{g kg}^{-1}$ ;  $\text{Mg ha}^{-1}$ )  
MOA: manufacturas de origen agropecuario  
MOJ: MO joven  
MOM: MO mineral  
MOP: MO particulada  
MSE: masa de suelo equivalente  
P: Fósforo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ;  $\text{Kg ha}^{-1}$ )  
Pd: P disponible ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ;  $\text{Kg ha}^{-1}$ )  
Pi: P inorgánico ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ;  $\text{Kg ha}^{-1}$ )  
Po: P orgánico ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ;  $\text{Kg ha}^{-1}$ )  
SD: siembra directa

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 La agricultura en Argentina

A partir de fines del siglo XIX, la agricultura de nuestro país comenzó a extenderse sobre toda la pradera pampeana, al paso de los colonizadores. Vastas zonas fueron modificadas ecológicamente para ser incorporadas a la explotación granaria y ganadera. El uso de la tierra ha cambiado relativamente desde aquel momento hasta el presente, manifestándose un aumento sostenido de la superficie de cultivos anuales, como así también de la energía cosechada y de la extracción estimada de nitrógeno (N) y fósforo (P) (Viglizzo et al., 2004).

La expansión agropecuaria sobre las tierras más productivas de la Argentina, en los últimos 50 años, ha provocado tanto alteraciones funcionales en los ecosistemas, como impactos ambientales en el medio rural (Viglizzo et al., 2010).

La década del 70 fue clave en esta transformación ya que se incrementó la demanda de alimentos a nivel mundial y al mismo tiempo se registraron aumentos en el precio de los productos agrícolas. Fue entonces cuando comenzaron a aplicarse mayores presiones en las tierras agrícolas y aún en zonas marginales. Las últimas fueron utilizadas sin cuidar los principios de la sustentabilidad, generando así áreas de conflicto con respecto a su actual capacidad y el tradicional uso de la tierra (Moscatelli y Pazos, 2000). Como resultado de la mayor extracción de nutrientes por parte de los cultivos y la escasa reposición vía abonos o fertilizantes, la Región Pampeana perdió 23 millones de toneladas de nutrientes, principalmente Nitrógeno, Fósforo y Potasio, en el período 1970-1999 (Flores y Sarandón, 2002).

Hacia fines de la citada década y especialmente a partir de los ochenta, con la caída de los precios de la hacienda y su bajo nivel tecnológico, se produce un cambio hacia una nueva agricultura, cuyas principales características han sido: una mayor extensión de la etapa agrícola de la rotación, la roturación de pastizales para incorporarlos a agricultura, una

mayor intensificación en el uso de insumos, un aumento de la capacidad de uso de la maquinaria agrícola, un incremento de extracción de cosechas (tres cosechas en dos años), aumento de la escala de producción y un incremento de la frontera agropecuaria, directamente con agricultura (Pengue, 2001).

La soja ha entrado a nuestro sistema produciendo cambios sin precedentes en el plan de rotación agroganadera desde el mismo momento de su aceptación y adaptación del paquete tecnológico por parte de los productores agropecuarios. En este aspecto se complementó con el desarrollo de las variedades de trigo con germoplasma mejicano de ciclo corto, con lo que la combinación trigo-soja tuvo una acelerada expansión en pocos años. El doble cultivo significó un fuerte impacto sobre la rentabilidad de la empresa y sobre el flujo de fondos, al aportar ingresos en dos épocas del año, permitiendo incrementar el resultado económico, pero con una fuerte presión sobre el sistema y con secuelas de erosión y degradación ambiental (Pengue, 2001).

Aunque los distintos actores del sistema agropecuario reconozcan la degradación de las tierras trabajadas, tal vez no exista una amplia conciencia respecto de este problema, debido al incremento del rendimiento de los cultivos desde los años 50. El aumento en la productividad de los suelos está principalmente ligado a los avances tecnológicos en mejoramiento de los cultivos y genética, fertilización, aplicación de pesticidas y manejo de plagas (Havlin et al., 1999), y enmascara posibles pérdidas de productividad por degradación.

Al presente se acepta que en Argentina un total de 60 millones de hectáreas están afectadas por erosión eólica e hídrica en diferentes grados. Ambos fenómenos coexisten, pero su importancia relativa depende de las características del ambiente. La erosión eólica se expresa mayormente en regiones áridas y semiáridas como la Patagonia o la Región Semiárida Pampeana, mientras que la erosión hídrica afecta particularmente las áreas húmedas con la Región Pampeana Húmeda y la Mesopotamia (Moscatelli y Pazos, 2000). Para el sudoeste bonaerense, Glave (1984) reportó aumentos en las pérdidas de suelo

debidas a erosión hídrica y eólica a partir de la década del 70 y propuso la implementación de técnicas conservacionistas como el barbecho cubierto y la mínima labranza para su mitigación. Años más tarde, Puricelli (1992) realizó mediciones a campo de la pérdida real de suelo, confirmando la presencia del problema en nuestros sistemas productivos.

La declinación de la fertilidad física y química de los suelos bajo cultivo continuo, exige una planificación acorde a su capacidad productiva. Los sistemas de producción y las tecnologías aplicadas, ya sea de procesos o de insumos, deben tender a la protección de los recursos involucrados en la producción (acuíferos, suelo, etc.), contra diversas formas de degradación y contaminación. En concordancia con la composición del producto que se observa en el resto de los países de América Latina, la participación del sector agrícola en el Producto Bruto Interno (PBI) argentino alcanza sólo el 5,2%, exhibiendo a lo largo de los últimos 40 años una evolución relativamente estable, con una tendencia levemente decreciente (WRI, 2009). No obstante esto, se trata de un sector de gran relevancia por sus encadenamientos hacia adelante y hacia atrás dentro de la estructura de la economía, particularmente notorios en el sector externo. En este último, las manufacturas de origen agropecuario (MOA) constituyen el rubro más fuerte de las exportaciones argentinas al resto del mundo, alcanzando el 39% de las mismas (lo siguen las manufacturas de origen industrial, con el 34%). El sector productor primario (rama agricultura, ganadería, caza y silvicultura) representó el 8,7% del PBI a precios corrientes en el período comprendido entre los años 2002 y 2010, en tanto que los sectores industriales asociados a la producción agropecuaria representaron un 6,4% adicional del producto en dicho período. El complejo agroalimentario en su conjunto representó en promedio durante la post-convertibilidad el 15% del valor agregado PBI generado en la economía argentina.

## 1.2 Evaluación de los suelos

La evaluación de los suelos es una herramienta fundamental para planificar el uso de los recursos naturales, ya que el objetivo es utilizar cada suelo para aquello que presenta mejores características y programar su manejo de manera que se cause la mínima degradación.

Existen diversos métodos de evaluación de suelos, que pueden ser clasificados según su enfoque en: métodos cualitativos, métodos paramétricos y métodos cuantitativos. En el primer grupo, encontramos los más usados a nivel mundial, como la Clasificación de las tierras por su Capacidad de Uso (Klingebiel y Montgomery, 1962), el Esquema de Evaluación de Tierras de la FAO y la Ponderación Potencial de Suelos (USDA, 1983), entre otras. Los métodos paramétricos, como el Índice de productividad de Riquier (1970), integran en una fórmula multiplicativa, propiedades intrínsecas del suelo dando como resultado un único valor, cuyo objetivo es comparar la capacidad productiva de distintos suelos. Los métodos cuantitativos permiten establecer relaciones entre la productividad y los factores edáficos, climáticos y de manejo. Su basamento consta de extensas series de datos puntuales, que permiten el desarrollo de modelos matemáticos predictores. A mayor magnitud de datos de base, mayor poder de predicción tiene el modelo.

Otra forma de evaluar los suelos, es midiendo su calidad y para ello suelen utilizarse ciertas propiedades físicas, químicas y biológicas, que funcionan como indicadores (Debelis, 2003). La calidad del suelo ha sido definida por el Comité para la Salud del suelo de la Soil Science Society of America como “la capacidad de cada tipo de suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o intervenido, a fin de sostener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, preservando la salud humana” (Karlen et al., 1997). Este concepto toma una relevancia mayor en el caso de un país con fuerte perfil agroexportador como lo es Argentina.

### **1.3 Indicadores de calidad de los suelos**

Diversos trabajos científicos nacionales e internacionales, están dedicados a la obtención de Indicadores de Calidad de Suelo, que cumplan con los requisitos de ser confiables, sensibles y sencillos de medir, además de reflejar los cambios de la calidad del mismo.

En nuestro país se han reportado, diversos indicadores químicos de la calidad edáfica: Materia Orgánica (MO) y sus fracciones (Casanovas et al., 1995; Andriulo e Irizar, 2012; Quiroga et al., 2001; Galantini y Suñer, 2008; Buschiazzo et al., 2001; Krüger et al., 2004), contenido de P (Heredia, 2008; Cardozo et al., 2006; Carrasco, 2009), pH (Urricariet y Lavado, 1999; Cantú et al., 2007, Musso et al., 2006), contenido de carbohidratos en el suelo (Guggenberger et al., 1995, Bongiovanni y Lobartini, 2006; Duval et al., 2013).

Entre los indicadores físicos de calidad de suelo evaluados en Argentina y en el mundo, se pueden citar: estabilidad estructural (Quiroga, 2008; Aoki, 2008; López Fourcade, 2008; Ciarlo et al., 2004, Gabioud et al., 2011), densidad aparente (Vidal, 2008; Echeverría et al., 2008, Carrasco, 2009), densidad aparente máxima (Quiroga et al., 1999) y fracción erodable (Druille et al., 2013). [Quiroga et al., 1999a](#)

En cuanto al aspecto microbiológico, también se han desarrollado algunas técnicas que caracterizan la calidad de los suelos y por ello fueron reportados como indicadores. Tal es el caso de respiración microbiana (Cortés et al., 2006; Piquín et al., 2006, Ullé et al., 2012) y actividad deshidrogenasa (García et al., 1997; Jha et al., 1992; Frioni et al., 2003; Ferreras et al., 2009), Carbono de la Biomasa microbiana (Armida-Alcudia et al., 2005, Moscatelli et al., 2007, Ullé et al., 2012, Benitende et al., 2014), Fauna edáfica (Schloter et al., 2003, Vicentín et al., 2008), Fosfatasa ácida y Actividad Ureásica (Albanesi et al., 2001, Ferreras et al., 2014).

#### **1.3.1 Materia orgánica y sus fracciones**

La Materia Orgánica es el parámetro más reportado en el mundo entero como indicador de la calidad del suelo y la sustentabilidad agronómica, por su influencia sobre variables

físicas, químicas y biológicas (Reeves, 1997). Se trata de una mezcla heterogénea de compuestos orgánicos con propiedades diferentes y en distintos grados de transformación (Galantini y Suñer, 2008).

La mayoría de los métodos estiman la MO a partir de la cuantificación del Carbono Orgánico (CO), utilizando factores de conversión adecuados para cada suelo (Galantini et al., 1994). Es por ello que, dependiendo del autor, los resultados suelen expresarse en uno u otro término indistintamente.

Incrementos en los niveles de MO se relacionan directamente con una mejor nutrición mineral, facilidad para las labores, reducción de la densidad aparente y mejoras en la capacidad de retención hídrica y la porosidad del suelo (Quiroga, 1994; Lal, 2002), hecho que justifica la gran importancia asignada a este indicador.

Cuando una tierra virgen es incorporada a cultivo, experimenta una rápida pérdida de MO como consecuencia de la mayor aireación provocada por la remoción del suelo y a la mayor extracción de la materia seca producida a través de cosechas y pastoreos (Quiroga et al., 2001). Esta pérdida es exponencial inmediatamente posterior al disturbio y finalmente se aproxima a un equilibrio en 50-60 años (Campbell, 1978 citado en Quiroga et al., 2001).

Aoki et al. (2008), sobre un *Haplustol típico* en el centro de Córdoba, midieron pérdidas de COT del 60% entre las situaciones más degradadas (monocultivo de soja de 10 años, ya sea bajo labranza convencional, LC o bajo siembra directa, SD) con respecto al testigo (bosque nativo). Los lotes con rotación de pasturas, tuvieron niveles de pérdida intermedios, demostrando que la rotación es una técnica que colabora en el mantenimiento de los niveles orgánicos del suelo y de las propiedades que de allí se derivan.

Krüger et al. (2004), sobre un *Hapludol típico* del sudoeste bonaerense, reportaron pérdidas de COT de 15 Mg ha<sup>-1</sup> en 30 años de agricultura continua bajo labranza convencional, equivalente al 35% del contenido en el suelo natural. Los manejos que incluyeron rotaciones con pasturas mostraron menores pérdidas de COT que agricultura continua, llegando a

valores de 35, 26 y 23% de pérdida, dependiendo de la cantidad de ciclos de rotación (1, 2 y 3, respectivamente)

En la Pampa medanosa de Córdoba, estudios conducidos por López Fourcade et al. (2008) marcaron diferencias en el contenido de CO, estabilidad de agregados (EA) y fracción erosionable, en lotes con historia ganadera en base a pasturas perennes, en comparación con ganadería en base a verdes invernales y una diferencia más marcada con respecto a agricultura continua. Estos resultados indican que un uso agrícola continuo, como así también un uso ganadero con manejos no apropiados, provocan deterioro físico y químico de distintas magnitudes.

Además del análisis del contenido total de Materia Orgánica, se han desarrollado numerosos métodos para la separación de las fracciones orgánicas. Algunos de ellos consisten en separar según características físicas (tamaño de partícula o densidad) y otros en características bioquímicas. Dependiendo del método y el autor, las fracciones pueden tomar distintos nombres.

Entre los métodos de fraccionamiento físico, el método densimétrico, separa la fracción "liviana", cuya denominación se asocia a su menor densidad y grado de transformación con respecto a fracciones más estabilizadas de la MO y asociadas a los minerales del suelo.

La separación por tamaño de partículas (tamizado), utiliza tamices con distinta apertura de malla. Generalmente, el mayor es de 2000  $\mu\text{m}$  y el menor puede variar según el autor. Los tamices más frecuentes son de 50  $\mu\text{m}$  (Angers et al. 1993; Cambardella y Elliott, 1993), y 100  $\mu\text{m}$  (Andriulo et al. 1990a; Quiroga et al. 1996; Galantini et al. 2002).

La MO asociada a la fracción mineral (MOM) representa la fracción más resistente del suelo, sin embargo, el efecto acumulado de las rotaciones y las labranzas puede producir cambios significativos, especialmente de largo plazo, tanto en la cantidad como en la calidad de esta fracción (Galantini y Rosell, 1997; Galantini et al., 2002).

La MOP es la porción más dinámica de la MO y fuente de nutrientes para los procesos microbianos. Estudios llevados a cabo por Minoldo (2010), en un experimento de larga duración sobre *Haplustoles* del SO bonaerense, permiten demostrar la sensibilidad de las distintas fracciones carbonadas al efecto de las rotaciones, a corto y largo plazo. El contenido de COT sólo permitió diferenciar un monocultivo de trigo sin fertilización (35,6 Mg ha<sup>-1</sup>), de una rotación trigo-pastura (47 y 44,8 Mg ha<sup>-1</sup>, con y sin fertilización respectivamente) luego de 27 años de tratamiento. En un plazo menor de tiempo, el COP detectó cambios entre una rotación que incluyó dos años de leguminosas y la que incluía pasturas perennes. A partir de esto podría concluirse que el COP es útil como indicador de cambios en el corto plazo. Las fracciones lábiles son más sensibles a los efectos del uso de la tierra, indicadores tempranos del efecto de la rotación de cultivos, fertilización o sistemas de labranzas (Haynes, 2000; Six et al., 2002).

Otros estudios confirman estos resultados. Casanovas et al. (1995), en un trabajo sobre rotaciones llevadas a cabo en el sudeste bonaerense, detectó mermas en el contenido de CO de la fracción liviana en función de una mayor frecuencia de cultivos anuales en comparación a lotes con pasturas implantadas.

En *molisoles* y *entisoles* de la región semiárida pampeana, Quiroga et al. (2008) encontraron que 10 años de agricultura continua, bajo labranza convencional, disminuyeron la relación entre COP y COT del suelo (COP/COT), cuando se comparaba con el suelo bajo monte de caldén.

En el Noreste de nuestro país, Ciarlo et al. (2004) encontraron que en *Vertisoles* los niveles de COT disminuyeron a medida que aumentó el número de años de agricultura en su historia agrícola, indicando un deterioro creciente. El contenido de COP (mayor a 53 µm) en las situaciones de menor deterioro fue siempre mayor que en los sitios agrícolas. El COP en suelos prístinos, bajo las condiciones de dicho estudio, fue del 32,6% del COT, mientras que bajo agricultura este valor descendió a 17 ó 24% según el uso de la tierra.

### **1.3.2 Fósforo**

Otros indicadores han sido utilizados en la detección de cambios en la calidad del suelo, uno de ellos es el contenido de P, en distintas formas. Este nutriente, junto con el nitrógeno (N) y el potasio (K), conforma el grupo de los macronutrientes principales, tanto por las cantidades requeridas por los cultivos como por la frecuencia de su deficiencia a nivel de campo (García et al., 2005). En general, las principales funciones del P se relacionan con la transferencia y el almacenaje de energía, de forma que su deficiencia suele afectar en mayor medida el crecimiento que la fotosíntesis (Marschner, 1995).

El P disponible representa una pequeña fracción del P total presente en el suelo y se encuentra en un equilibrio dinámico con las formas orgánicas e inorgánicas (Galantini et al., 2005). El análisis más utilizado para estimarlo es el método de Bray y Kurtz N°1 (1945), en el cual se emplea un extractante que simula la acción de la planta sobre la solución del suelo. Es un método efectivo para suelos de reacción neutros y ácidos, pero presenta dificultades en suelos con pH mayores, por lo que en esos casos suele reemplazarse por la técnica de Olsen (1954).

La movilización de las formas menos disponibles hacia la solución del suelo es muy lenta y depende de las características físico-químicas del suelo, el contenido de las diferentes formas de P y los mecanismos biológicos (Tiessen et al., 1994).

En cuanto al efecto de las actividades agropecuarias, numerosos trabajos demuestran pérdidas de P en distintas zonas del país y bajo distintos manejos agronómicos (García, 2001; Carrasco, 2009, Duval et al., 2013). Esto se observa más notoriamente en campos agrícolas donde la extracción por parte de los cultivos no es compensada por una incorporación equivalente de P mediante fertilización (Suñer et al., 2005, Gutiérrez Boem et al., 2008, Galantini y Suñer, 2008).

Krüger et al. (2004) reportaron pérdidas de P que representaron el 49% del contenido de situaciones de mínimo disturbio, sin diferencias entre distintas rotaciones mixtas y agricultura en *Hapludoles* cercanos a Guaminí (Bs. As.). Pérdidas aún mayores fueron

encontradas por Heredia (2008) en Gral. Viamonte (Bs. As.), con valores que oscilaron entre 68 y 89%. Evidencias similares con este nutriente fueron medidas por Cardozo et al. (2006) en el Noroeste del país, alcanzando magnitudes de pérdida de 39% en los lotes con historia agrícola prolongada en relación a una cortina forestal utilizada como referencia.

### **1.3.3 Reacción del suelo**

La reacción del suelo hace referencia al grado de acidez o basicidad del mismo y se mide por el pH, que expresa la actividad de los iones  $H^+$ , en escala logarítmica.

El pH influye en propiedades físicas y químicas del suelo. A pH muy ácidos, existe una intensa alteración de los minerales y la estructura se vuelve inestable. A pH alcalinos, ocurre dispersión de arcillas, con la consecuente destrucción de la estructura y el deterioro de las condiciones físicas (Porta Casanelas et al., 1999). Desde el punto de vista químico, el pH influye marcadamente en la disponibilidad de nutrientes (Picone, 2005), por lo que resulta determinante en la nutrición vegetal.

Existen estudios que evidencian disminuciones en el pH debidas al uso agrícola, principalmente asociadas al uso de fertilizantes nitrogenados (Liebig et al., 2002). Fabrizzi et al. (1998), trabajando sobre *Argiudoles* del sudeste de la provincia de Buenos Aires, reportaron pérdidas de 0,3 unidades de pH por la aplicación de 120 kg N ha<sup>-1</sup>. Cantú et al. (2007) encontraron pH menores en suelos bajo uso agropecuarios respecto a suelos de referencia, aunque en un rango que no resultó limitante para el crecimiento de los cultivos. El sistema de labranza también puede influenciar el pH del suelo. Al respecto, Buschiazzo et al. (1996) informaron disminuciones producidas por la incorporación de SD.

### **1.3.4 Hidratos de Carbono**

Los hidratos de carbono del suelo (HC) han sido descriptos por Angers y Mehuys (1989) como polisacáridos de exudados de plantas de origen microbiano. Tanto el contenido de HC solubles (HCs) propuesto por Haynes y Beare (1996), como el contenido de HC totales

(HCt) postulado por Guggenberger et al. (1995) demostraron ser sensibles a cambios en la calidad de suelo.

Hevia et al. (2008) encontraron que la evolución de los HCt está principalmente condicionada por el tipo de residuo y la intensidad de labranza. A su vez, los mismos autores encontraron diferencias significativas en el contenido de estos compuestos carbonados, entre sistemas de labranza, siendo mayores en sistemas de siembra directa con respecto a sistemas de labranza vertical y convencional.

### **1.3.5 Densidad aparente**

Entre los indicadores físicos que han aportado información sobre la calidad de los suelos, puede mencionarse la densidad aparente (Dap), que especifica la relación existente entre el espacio poroso y los componentes sólidos del suelo, se define como la masa por unidad de volumen y se expresa como  $Mg\ m^{-3}$ .

Se han observado aumentos en la Dap debidas al pastoreo (Venanzi et al., 2004; Silenzi et al., 2010). Otra de las causas del aumento de la Dap es el tránsito de máquinas agrícolas, que afecta a distintas capas de suelo dependiendo del sistema de labranza utilizado (Iglesias et al., 2014).

En la región chaqueña, Osinaga et al. (2014) encontraron aumentos progresivos en la Dap debidos al uso agrícola prolongado. Campitelli et al. (2010), en suelos del centro de Córdoba, midieron mayores valores de Dap en suelos bajo cultivo que bajo monte nativo, con valores intermedios en suelos con desmonte reciente. Este aumento fue independiente de los sistemas de labranza evaluados, tanto para lotes con rotación trigo-soja como bajo monocultivo de soja.

### **1.3.6 Densidad aparente máxima**

El test Proctor ha sido utilizado como indicador de la susceptibilidad y el estado de compactación de horizontes edáficos (Andriulo et al. 1990b). Este procedimiento, originalmente utilizado en la construcción de carreteras, compacta la muestra con energía

constante bajo distintos contenidos de humedad, determinando la Dap máxima alcanzada (Dap Máx.), y la humedad correspondiente (Contenido hídrico crítico, CHC).

Krüger (1996), luego de seis años de tratamiento sobre *Haplustoles* observó menor Dap Máx en la capa superficial de suelos bajo SD respecto de aquellos con labranza en distintas intensidades. Otros estudios realizados en la región pampeana muestran que, en suelos con similar textura, la capa superficial de los sistemas agrícolas bajo SD o bajo pasturas tiene menor Dap Máx. que aquellos con otros sistemas de labranza (Diaz-Zorita, 1996; Quiroga et al., 1996). Thomas et al. (1996) observaron que el contenido de materia orgánica del suelo tuvo mayor influencia sobre la Dap Max. que el sistema de labranza. Pecorari et al. (1993), concluyeron que la materia orgánica tiene un efecto mayor en los valores Dap Máx. que la composición granulométrica (arcilla y limo fino).

### **1.3.7 Estabilidad estructural**

La Estabilidad Estructural (EE) es una medida de la resistencia que ofrecen los agregados del suelo al deterioro producido por fuerzas externas, sean climáticas o antrópicas. Ha sido reportada como uno de los principales indicadores de la sustentabilidad de los sistemas de manejo (Aparicio y Costa, 2007; Quiroga et al., 2008).

Mon y Santanatoglia (1986) observaron diferencias en la EE atribuidas a diferentes secuencias de cultivos en *Haplustoles énticos*, donde el monocultivo de trigo registró menor EE con respecto a rotación trigo-pastura y trigo-campo natural. Ciarlo et al. (2004), detectaron disminuciones en la estabilidad estructural (EE) y en el contenido del COT, en la medida que se extendía la historia agrícola.

Se observa que existe una variedad de indicadores que permiten caracterizar la calidad de un suelo bajo un manejo determinado, y su relación con suelos poco alterados. Estos indicadores conforman una herramienta indispensable para el monitoreo de la sustentabilidad de sistemas productivos. Un conjunto de indicadores seleccionados con este

objeto ha sido denominado set mínimo de datos, conjunto mínimo de indicadores o conjunto mínimo de datos (Larson y Pierce, 1994; Doran y Safley, 1997), y puede proveer una estimación práctica de aquellos procesos que afectan funciones específicas del suelo. Sin embargo, la conformación de este conjunto mínimo puede variar para distintas regiones, dependiendo de los factores formadores, del tipo de suelo, sus funciones y el uso de la tierra (Carter et al., 1997). Esto determina que los indicadores deban ser desarrollados localmente para cumplir adecuadamente con sus funciones.

## **2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### **2.1 Hipótesis**

-Las actividades agropecuarias tradicionales (extensivas y en secano) impactan en forma negativa sobre la calidad de los suelos. La magnitud del impacto se relaciona con la intensidad del uso y las características ambientales y de suelos. Suelos de baja capacidad de uso en ambientes marginales son más sensibles que suelos de alta capacidad de uso en ambientes de alto potencial productivo.

-La magnitud del impacto se puede determinar a través de indicadores de calidad de suelos o índices (combinación de indicadores). No todos los indicadores e índices a utilizar resultarán adecuados para la variedad de condiciones agroecológicas y productivas presentes en los sitios estudiados. Es posible detectar y seleccionar un set relativamente pequeño (conjunto mínimo de indicadores), que permita evaluar cambios en la calidad de los suelos en el área bajo estudio.

### **2.2 Objetivos**

#### **2.2.1 Objetivo General**

Evaluar el impacto de las actividades agropecuarias tradicionales sobre la calidad de suelos característicos de la zona de influencia de la EEA Bordenave.

#### **2.2.2 Objetivos Específicos**

- 1.- Relacionar los cambios observados en indicadores e índices seleccionados con factores de sitio, para establecer impactos diferenciales de las actividades productivas.
- 2.- Investigar distintos indicadores de calidad de suelos, e índices derivados, para determinar aquellos más apropiados para este tipo de evaluaciones en la región.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

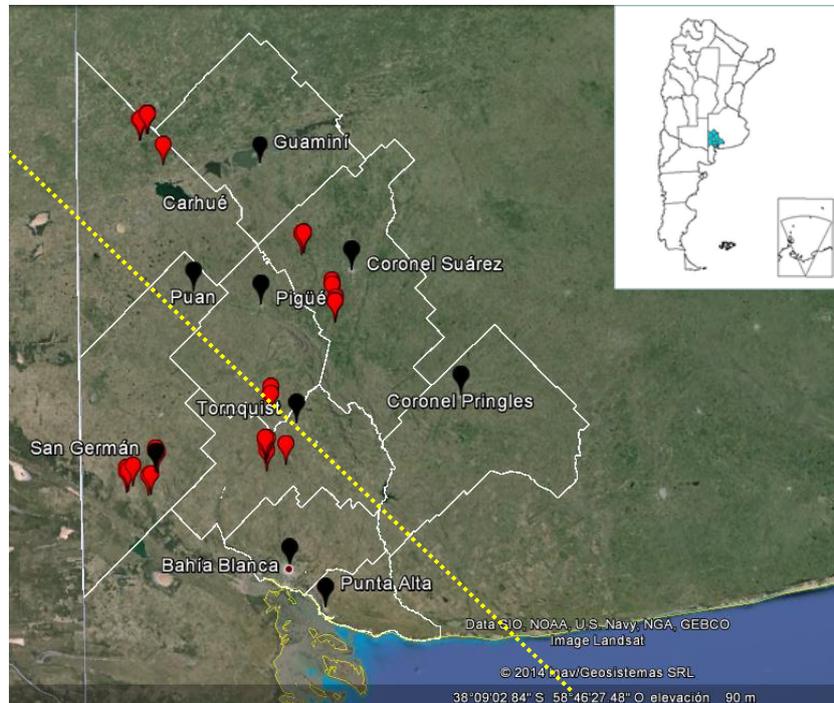
#### 3.1 Caracterización de la zona de muestreo

El presente Trabajo de Tesis se enmarcó en un Proyecto Regional del INTA “Evaluación y promoción de la sustentabilidad de agroecosistemas en el área del CERBAS” (BASUR-720132), con el objeto de aportar información sobre el estado actual de degradación de los suelos de la región, para permitir una posterior definición de prácticas sustentables que mejoren el manejo de suelos de los sistemas productivos tradicionales.

El área de estudio corresponde a la zona de influencia de la EEA INTA Bordenave (Fig. 1), que abarca una superficie aproximada de 4,3 millones de ha en el SO de la provincia de Buenos Aires, comprendida en la denominada Pampa Austral (Viglizzo, 2002).

Tomando las Sierras de Ventania como eje geográfico de la región, en sentido NE-SO se registra en ella la transición entre el régimen de la pampa húmeda y el de la pampa semiárida, con lluvias que van decreciendo desde los 800 hasta los 500 mm de media anual, al mismo tiempo que se incrementa la frecuencia e intensidad de los vientos y la evapotranspiración (Cappaninni et al., 1978). La isohieta de 700 mm divide al área en una zona subhúmeda al NE y una semiárida al SO. Esta división también se corresponde, aproximadamente, con el régimen de humedad de los suelos, údico y ústico definidos por el Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires (SAGyP-INTA, 1989). De acuerdo con esta cartografía, en toda la periferia del sistema serrano los suelos conforman “Dominio 2”, integrado principalmente por *molisoles*. El régimen climático los subdivide en Udoles (*Hapludoles* y *Argiudoles*) al N, y Ustoles (*Haplustoles* y *Argiustoles*) al Sur, resultando los primeros con mayor aptitud productiva. La zona Norte comprende además *Hapludoles énticos* (suelos arenosos, profundos, favorecidos relativamente por el clima), y un área deprimida con suelos hidromórficos y/o salino-sódicos (*Acuoles* y *Acuulfes*). Otros Dominios edáficos de la zona Sur, como por ejemplo el “Dominio 3”, resultan de menor aptitud productiva principalmente por un escaso espesor de la capa loésica y la presencia de un

horizonte petrocálcico entre los 40 y 80 cm de profundidad. Esta característica limita la acumulación de agua, como así también el crecimiento de las raíces, reduciendo la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos, ya sean para pastoreo o cosecha.



**Fig. 1.** Área de influencia de la EEA INTA Bordenave, puntos de muestreo (en rojo) y localidades cercanas (en negro).  
Fuente: elaboración propia en base a Imágenes Google Earth, captura 29/9/14. La línea punteada esquematiza la isohieta de 700 mm.

Considerando la existencia de dos zonas climáticas (subhúmeda y semiárida), la presencia de materiales originarios de diferente composición granulométrica, y teniendo en cuenta la distribución e importancia de las unidades cartográficas del Mapa de Suelos de la provincia (Tabla 1) se seleccionaron cuatro sitios de muestreo.

El sitio denominado **“San Germán” (SG)**, se ubica en una superficie que tiene como centro la localidad del mismo nombre perteneciente al Municipio de Puán (Fig.1). Forma parte de la zona semiárida y presenta materiales franco-arcillosos de un espesor medio de 0,5 m sobre la costra calcárea. Estos suelos han sido clasificados como *Haplustoles énticos*, aunque

posteriores modificaciones del sistema taxonómico los ubicarían entre los *Paleustoles petrocálcicos* (Amiotti, com. pers.).

**“Coronel Suárez” (CS)**, se ubica sobre la falda septentrional del sistema de Ventania, al Sur de la localidad del mismo nombre. Forma parte de la zona subhúmeda, y presenta materiales franco-arcillosos con un espesor medio de 0,6 m sobre la costra calcárea. Estos suelos han sido clasificados como *Argiudoles típicos*, y posteriormente como *Paleustoles petrocálcicos* con horizonte Bt.

**“Carhué” (Ca)**, entre las localidades de Carhué y Leubucó en el Municipio de Adolfo Alsina, se localiza sobre las planicies arenosas situadas al N de la unidad geomorfológica conocida como depresión lacunar (SAGyP-INTA, 1989). Pertenece a la zona subhúmeda y presenta materiales franco-arenosos. En los perfiles estudiados no se alcanzó la capa de tosca dentro del metro de profundidad. Los suelos han sido clasificados como *Hapludoles énticos* primero, y posteriormente como *Hapludoles típicos*.

**“Tornquist” (To)**, incluye una superficie al sur de la localidad del mismo nombre y de la ruta nacional N°33. Pertenece a un área de transición entre las zonas subhúmeda y semiárida y se encuentra cubierta por materiales franco-arcillo-arenosos con un espesor medio de 0,7 m sobre la costra calcárea. Los suelos se han clasificado como *Haplustoles énticos* primero y posteriormente como *Haplustoles líticos*.

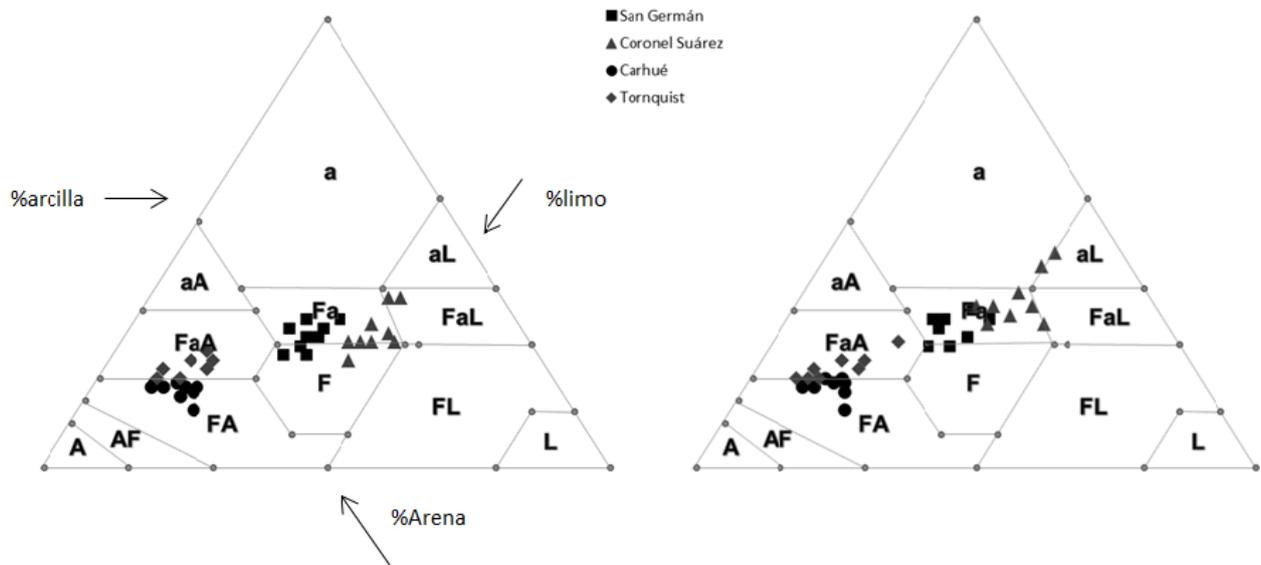
**Tabla 1.** Suelos dominantes en el área de influencia de la EEA INTA Bordenave.

<b>Suelos</b>	<b>%</b>
Argiudoles típicos y fases	21,2
Haplustoles énticos y fases	16,5
Argiustoles típicos y fases	10,9
Haplustoles típicos y fases	8,4
Hapludoles típicos y fases	5,2
Hapludoles énticos y fases	4,5
Hapludoles petrocálcicos	3,1
Rocas	2,7
Hapludoles líticos	2,6
Haplustoles líticos	2,5
Agua	2,0
Ustortentes típicos	1,9
Natracuoles típicos y fases	1,9
Argiudoles ácuicos	1,8
Ustipsamientos típicos	1,7
Udipsamientos típicos	1,1
Natracualfes típicos	1,1
Hapludoles tapto-nátricos	1,0
Otros	9,9
Zona EEA Bordenave	100%

Elaborado a partir de información provista en el Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires (SAGyP- INTA, 1989).

La Fig. 2 muestra la composición granulométrica de cada uno de los suelos muestreados. Puede observarse que las muestras tomadas en SG y CS, corresponden mayoritariamente a la clase textural Franco arcillosa, con mayor contenido de arcilla y limo en el horizonte subsuperficial. En cambio, las muestras relevadas en Ca y To, son de textura más gruesa, correspondiendo a las clases Franco arenosa y Franco arcillo limosa.

Desde el punto de vista genético, la granulometría de los materiales parentales permite, según la propuesta de Bidart (1992), determinar dos grupos de suelos: SG y CS, con dominancia de loess arenosos y arcillosos eólicos, y Ca y To con arenas limoarcillosas eólicas. Estos sedimentos corresponderían a depósitos del Pleistoceno tardío-Holoceno (126.000 años a 11.700 años de antigüedad).



**Fig. 2.** Ubicación de las muestras en el triángulo textural (a= arcilloso, L= limoso, A= arenoso, F= franco). Izq.: muestreo 0-10 cm, Der.: muestreo 10-20 cm.

### 3.2 Esquema de trabajo

Con la colaboración de referentes técnicos locales, y con la restricción metodológica de privilegiar la selección de suelos con características zonales, que verificaran similar secuencia de horizontes y composición granulométrica, se identificaron en cada sitio tres grandes situaciones en cuanto a su historia agrícola:

**Manejo agresivo (A):** alta presión productiva, con predominancia de monocultivo o secuencia de cultivos anuales, labranza mecánica intensiva, y/o baja a nula reposición de nutrientes.

**Manejo moderado (M):** baja presión productiva, rotación de pasturas y cultivos anuales, mayor uso de siembra directa, y/o fertilización en función de la extracción.

**Inalterado (I):** áreas con disturbio antrópico mínimo, ubicadas en parques, taperas, lotes poco utilizados, esquineros, etc. La imposibilidad de conocer con exactitud la historia previa, impide afirmar que se trata lotes prístinos o inalterados en el sentido estricto.

La selección de los sitios de muestreo fue uno de los puntos más críticos del trabajo de tesis. Por ello se tomaron medidas pertinentes a la identificación de suelos similares al

momento de comparar manejos. Al tratarse de un muestreo a nivel de campo de productor, no resultó fácil disponer de información exhaustiva de la secuencia de cultivos ni de la historia de fertilización. Por ello, la clasificación de los lotes en dos categorías contrastantes se realizó en base a la información que surgió de la entrevista con los productores, extensionistas y vecinos de otros establecimientos. Si bien este criterio puede ser objetado, se trató por todos los medios de uniformar el criterio de buenas prácticas para cada tipo de suelo (manejo M) vs. prácticas que se consideran inadecuadas para cada zona (manejo A). Por ello, el concepto “agresividad” del manejo representa algo más que la cantidad de cultivos anuales, ya que en las localidades con mayor predominio de ganadería, este valor podría no reflejar cambios, aun cuando el suelo revele degradación por pisoteo y pastoreos excesivos.

En el Anexo (Tabla 22) se detallan características de la historia de manejo de los lotes estudiados.

### **3.3 Diseño experimental y estadístico**

Se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante el uso de Q-Q plot y el test de Levene respectivamente. Las variables relacionadas al contenido de P (P Olsen, P Bray, Pi y Po), mostraron desviaciones respecto de la distribución normal. A través de la utilización del método de Box Cox se identificó la transformación  $W=\ln(Y)$  como la más adecuada para atenuar este problema. En los casos en que el set de datos incluyó valores muy cercanos a 0, se aplicó la transformación  $W=\ln(Y+1)$  para evitar exagerar la variabilidad de los mismos (Winzer y Camina, 2010).

Para las comparaciones de variables entre Suelos y Manejos se siguió un Diseño Factorial Doble con Parcela Dividida. Los Factores Principales fueron Suelo y Manejo y el Factor Secundario Profundidad (Prof.) (Tabla 2). Cada uno de los manejos fue estudiado en tres repeticiones, sobre el mismo tipo de suelo aunque en diferentes establecimientos agropecuarios. La cantidad total de puntos de muestreo fue 108.

**Tabla 2.** Cuadro de análisis de variancia (ANOVA) para el Diseño Estadístico desarrollado (gl: grados de libertad)

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Niveles</b>	<b>gl</b>
Suelo	4	3
Manejo	3	2
Suelo*Manejo		6
Error 1		27
Prof.	3	2
Suelo*Prof.		6
Manejo*Prof.		4
Suelo*Manejo*Prof.		12
Error 2		45
<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>107</b>

En los casos que la interacción triple resultó significativa, se simplificó el análisis realizando un ANOVA Doble (Suelo y Manejo), para cada una de las Prof. Para esto se utilizó el Cuadrado Medio del Error definido por Satterthwaite (Lyman, 1993), que pondera los Cuadrados Medios del Error 1 y del Error 2, de acuerdo a los grados de libertad de cada uno.

Cuando alguna de las interacciones con el factor Suelo fue significativa, los suelos fueron comparados mediante un ANOVA Simple, promediando los Manejos para cada una de las profundidades por separado. La comparación de medias, para todos los casos, se realizó mediante el método de Diferencia Mínima Significativa de Fisher (DMS), con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

Se calcularon regresiones simples y coeficientes de correlación (Pearson) entre variables. En los casos en que se realizó la comparación de rectas de regresión, se utilizó una secuencia de pruebas de hipótesis, que incluyó prueba de homogeneidad de varianzas ( $\delta$ ) mediante prueba F, igualdad de pendientes ( $\beta$ ) e igualdad de ordenada al origen ( $\alpha$ ), mediante una prueba t a dos colas.

Se realizó Análisis Multivariado, análisis discriminante (AD) y de componentes principales (ACP), para determinar la correlación entre variables y su peso relativo en cuanto a la

variabilidad de los datos. Sobre esta base se seleccionaron aquellas más adecuadas a la función de indicadores.

Para todas estas pruebas se utilizó el programa estadístico INFOSTAT®. (Di Rienzo et al. 2012).

### **3.4 Muestreo y acondicionamiento del suelo**

En cada sitio de muestreo correspondiente a los factores Suelo y Manejo se estudió la secuencia de horizontes en excavaciones “ad hoc”, y se tomaron muestras preliminares para determinar la composición granulométrica. Una vez asegurada la homogeneidad de materiales en cada sitio (Suelo) se procedió al muestreo definitivo durante el año 2012.

Para las determinaciones químicas, en cada uno de los sitios, se extrajo una muestra compuesta (20 submuestras), utilizando muestreador “ad hoc” en la Profundidad 1 (0-10 cm) y barreno en la Profundidad 2 (10-20 cm). Las muestras correspondientes a la Profundidad 3 (40-50 cm), se obtuvieron de la pared de pozos realizados al efecto. Todas las muestras fueron secadas al aire y pasadas por tamiz de 2 mm.

### **3.5 Determinaciones analíticas**

-Carbono Orgánico (Nelson and Sommers, 1982): Profundidades 1, 2 y 3.

-Fraccionamiento de Materia Orgánica (fraccionamiento físico granulométrico, Galantini, 2005 con modificaciones). El fraccionamiento se realizó utilizando el tamiz vibratorio SPARTAN Analysette 3, con tamices homologados marca FRITSCH (ISO 9001), de 50, 100 y 2000  $\mu\text{m}$ . El tiempo de tamizado varió entre 5 y 7 minutos, dependiendo de la textura y se culminó cuando el agua de descarte se tornó translúcida. En las dos fracciones mayores, se determinó el contenido de CO y por diferencia con el valor obtenido para suelo entero se calculó el correspondiente al COM. Cada una de las fracciones, denominadas en lo

sucesivo: COM, COP fino (COPf) y COP grueso (COPg), fue ponderada y expresada como porcentaje del suelo entero. Profundidades 1 y 2.

- Para el cálculo de la cantidad de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) se verificó, mediante ANOVA, la existencia de distintos valores de densidad aparente entre suelos y entre manejos. Se utilizó el valor mínimo absoluto de  $D_{ap}$  correspondiente a cada grupo textural de suelos por capa y para el espesor 0-20 cm. El mismo procedimiento fue utilizado para el cálculo de la cantidad de carbono correspondiente a cada una de las fracciones y para los contenidos de HCs y HCt en  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

-Fósforo disponible (Bray y Kurtz, 1945; Olsen 1954): Profundidades 1, 2 y 3.

-Fósforo orgánico e inorgánico ( $P_o+P_i$ ) previa calcinación de la muestra a  $550^\circ\text{C}$ , por el método de Saunders y Williams (1955). Profundidades 1 y 2.

-Fósforo inorgánico (Saunders y Williams, 1955). Profundidades 1 y 2.

-Fósforo orgánico (por diferencia entre  $P_o+P_i$  y  $P_i$ ). Profundidades 1 y 2.

Para cuantificar el fósforo extraído por los diferentes métodos se aplicó la técnica colorimétrica de Watanabe y Olsen (1965).

-pH (1:2,5). Profundidades 1, 2 y 3.

-Carbohidratos totales (Brink et al. 1960). Profundidades 1 y 2

-Carbohidratos solubles en agua caliente (Puget et al., 1999). Profundidades 1 y 2

-Textura (Método del Hidrómetro, Bouyoucos, 1965). Profundidades 1, 2 y 3

-Densidad aparente (Método del cilindro, Blake y Hartge, 1986). En las profundidades 0-5, 5-10, 10-15, y 15-20 cm. Tres submuestras por profundidad y sitio de muestreo.

-Densidad aparente máxima (test Proctor - Felt, 1965). Para cada uno de los contenidos de humedad ensayados, se graficó la  $D_{ap}$  Máxima obtenida. A partir de ellos se ajustó una función cuadrática y se obtuvo el máximo de cada función ( $D_{ap}$  Máx.) y su correspondiente humedad crítica (CHC) mediante el uso de la derivada segunda. Profundidad 1.

-Estabilidad Estructural por los métodos de De Leenheer y De Boodt (1959) y de Le Bissonnais et al. (2002) sobre muestras sin disturbar secadas al aire. Profundidad 1.

En el primer caso se calculó el cambio del diámetro medio ponderado (CDMP en mm) por diferencia entre el CDMP en seco y en húmedo. Además, se calculó el diámetro medio para los agregados de mayor tamaño (CDM<sub>></sub>; 8 a 4,76 mm), y menor tamaño (CDM<sub><</sub>; 2 a 1 mm), de manera independiente. El valor obtenido es un índice de inestabilidad, ya que a mayor valor de CDMP, menos estable resulta la estructura del suelo.

En el segundo caso, se calculó el diámetro medio ponderado (DMP, en mm), obtenidos luego de tres pretratamientos aplicados a la muestra de manera independiente: humedecimiento rápido (DMP<sub>LB1</sub>), humedecimiento lento (DMP<sub>LB2</sub>) y disgregación mecánica por agitación después de humedecimiento lento (DMP<sub>LB3</sub>).

-Fracción Erodable o Índice de Erosionabilidad Eólica (Lyles et al., 1970, modificado por Silenzi et al., 1990), determinado como la proporción de agregados mayores a 0,84 mm en relación a la muestra de suelo entero. Muestra compuesta (4 submuestras) tomadas de la capa 0-2,5 cm.

### 3.6 Índices

Sobre la base de los resultados de las determinaciones analíticas se calcularon los siguientes índices:

-Índice Estructural (IE), calculado según Pieri (1995), como la relación entre el contenido de materia orgánica (MO) y el contenido de arcilla más limo, según la ecuación:

$$IE = (MO \text{ (g kg}^{-1}\text{)} / \text{arcilla+limo (g kg}^{-1}\text{)}) * 100$$

En base a este índice, se puede establecer una escala de riesgo a la degradación física de un suelo, como se detalla en la Tabla 3 (Pieri, 1995, Quiroga, 2002).

**Tabla 3.** Nivel de degradación física en base al Índice Estructural.

<b>MO/arcilla+limo</b>	<b>Nivel de degradación</b>
≤5	Físicamente degradado
5-7	Alto riesgo de degradación física
7-9	Moderado riesgo de degradación física
>9	Estable, conservado

-Índice de Estabilidad Estructural (IEE, %), calculado como la relación entre el CDMP correspondiente al suelo de referencia y el CDMP del tratamiento evaluado (Aparicio y Costa, 2007).

-Compactación Relativa (Soane et al., 1981), calculada como el cociente entre la densidad aparente actual y la máxima densidad aparente obtenida por Proctor.

-Dap crítica (Pillatti y de Orellana, 2000): calculada en base al contenido de arcilla (%), tal como se describe en la siguiente ecuación:

$$Dap\ crítica\ (Mg\ m^{-3}) = 1,52 - 0,0065 * (\% \text{ arcilla})$$

-Margen Dap ( $Mg\ m^{-3}$ ): calculado en base a la diferencia entre la Dap crítica según Pillatti y de Orellana (2000), y la Dap actual.

Cabe aclarar para su posterior análisis en los resultados, que Dap crítica y Dap Máx. no indican estrictamente lo mismo. La primera, hace referencia a la Dap a la cual los cultivos comienzan a tener limitaciones severas en el crecimiento de sus raíces. La Dap Máx. representa la máxima densidad alcanzada por un suelo bajo compresión a distintos contenidos de humedad. En este sentido tiene mayor relación con la porosidad textural que con los efectos en el crecimiento de las plantas, por lo que cabe esperar que los valores de Dap crítica sean siempre menores que la Dap Máxima, ya que las raíces sufrirán limitaciones en su crecimiento antes que la mayoría de los poros colapsen.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Parámetros bioquímicos

#### 4.1.1 Carbono Orgánico

##### 4.1.1.1 Carbono Orgánico Total

No se detectaron interacciones significativas entre los factores suelo y manejo, por lo que se discuten las determinaciones de COT en forma separada (Tabla 4).

#### **Factor suelo**

El contenido de COT fue diferente para los cuatro suelos en todas las capas. En la capa superficial los mayores valores correspondieron a CS siguiendo en orden decreciente SG, Ca y To. Las diferencias tendieron a disminuir en profundidad. En la capa más profunda (40-50 cm), sólo SG mostró valores mayores que los restantes. Al ser los suelos de SG someros, durante los años húmedos una gran biomasa de raíces se concentra en un escaso volumen de suelo, dando como resultado una mayor acumulación relativa de COT.

Los valores obtenidos coinciden en gran medida con los observados en distintos estudios realizados en la región. Los determinados en SG, son similares a los publicados por Lobartini et al. (1998), para suelos comparables de la localidad cercana de Jacinto Arauz. Duval et al. (2014) reportaron contenidos de 31, 25 y 23 g kg<sup>-1</sup> (0-20 cm) en suelos bajo pastizal natural, rotación y monocultivo respectivamente, sobre un *Argiudol típico* de Coronel Suárez.

Investigaciones sobre *Hapludoles énticos* de la localidad de Guaminí, informan valores de COT de 6,2 a 10,1 g kg<sup>-1</sup> en el horizonte superficial (Lobartini et al., 1998), coincidentes con los obtenidos para la zona de Carhué (Ca). En este caso, el valor encontrado para el manejo Inalterado, supera ampliamente estos valores de referencia, posiblemente por tratarse de pasturas de mayor edad o pastoreos más cuidadosos, con mayor retorno de biomasa al suelo.

**Tabla 4.** Contenido de Carbono Orgánico Total (COT), para distintos suelos, manejos y profundidades de muestreo.

Suelo	Manejo	COT		
		0-10	10-20 cm	40-50
		-----g kg <sup>-1</sup> -----		
SG	A	17,1	12,1	6,1
	M	16,3	13,6	7,8
	I	23,3	16,5	7,5
CS	A	20,7	17,9	5,1
	M	23,1	19,0	5,5
	I	30,4	26,3	7,1
Ca	A	9,2	6,9	2,6
	M	10,2	8,6	3,0
	I	19,8	13,3	5,0
To	A	7,3	5,8	3,0
	M	9,6	8,4	3,3
	I	12,2	9,4	3,5
<b>Valor p S*M</b>		0,3879	0,2049	0,8977
<b>Medias Manejo</b>	A	13,6 b	10,7 b	4,2 ns
	M	14,8 b	12,4 b	4,9 ns
	I	21,5 a	16,4 a	5,8 ns
<b>Valor p Manejos</b>		<0,0001	<0,0001	0,1253
<b>Medias Suelo</b>	SG	18,9 B	14,1 B	7,1 A
	CS	24,8 A	21,1 A	5,9 AB
	Ca	13,1 C	9,6 C	3,5 B
	To	9,7 D	7,9 C	3,3 B
<b>Valor p Suelos</b>		<0,0001	<0,0001	0,002

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos ( $\alpha=0,05$ ).

### Factor Manejo

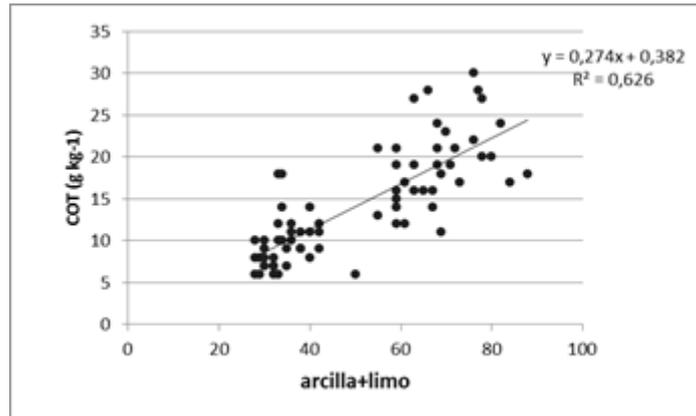
El factor manejo mostró efectos sobre el COT en las dos capas superficiales, con valores mayores para I respecto de M y A. Los contenidos de COT observados para ambos manejos agropecuarios (M y A) no resultaron diferentes en ninguno de los suelos estudiados.

Los resultados obtenidos resaltan la relación entre el COT y la composición granulométrica del suelo (Fig.3). Esta relación es conocida, y ha sido reportada por Diovisalvi et al. (2010), en un estudio que abarcó el sur bonaerense, Entre Ríos y Córdoba; por Fontana et al. (2006), Quiroga et al. (2005), Buschiazzo y Taylor (1993-1994), en trabajos desarrollados en el oeste de la pampa semiárida, y por Galantini et al. (2004), sobre la pampa semiárida bonaerense.

Sobre esta base, se observa una importante influencia de la composición granulométrica de los materiales parentales, en cuanto al contenido potencial de COT del suelo, y la mayor o menor susceptibilidad a perderlo bajo cultivo. Al respecto, Hassink (1997) destaca que suelos de textura fina tienen generalmente más CO que los de textura gruesa y las pérdidas son menores, debido a las menores tasas de descomposición que presentan, por ser materia orgánica físicamente protegida.

Los suelos de CS y SG, con mayor porcentaje de arcilla+limo, mostraron mayor contenido de COT que Ca y To. Las diferencias entre CS y SG posiblemente tienen que ver con un ambiente más húmedo que determina una mayor producción de biomasa en el primero y, consecuentemente, mayor incorporación de residuos al suelo. Esta diferenciación no resultó tan evidente entre Ca y To, sea porque este último mostró un porcentaje de arcilla ligeramente mayor que Ca, o bien por su ubicación en una zona transicional entre el clima semiárido y subhúmedo, que reduce las diferencias en cuanto a este factor.

La relación entre el contenido de materia orgánica y la fracción fina (arcilla+limo), también denominada Índice Estructural (Pieri, 1995), puede resultar de utilidad como valor crítico de referencia en la interpretación de los contenidos de COT del suelo. En la Tabla 5 puede observarse que dicho índice es mayor en suelos de régimen údico, que en suelos ústicos ( $p < 0,01$ ), tanto en la capa 0-10 cm como en la capa 10-20 cm.



**Fig. 3.** Relación entre el contenido de arcilla+limo y concentración de COT, para todos los suelos y manejos, elaborado en base a las muestras tomadas a 0-10 y 10-20 cm.

Ambas profundidades se diferencian levemente en las significancias estadísticas entre suelos, aunque las tendencias se mantienen. El efecto del manejo fue significativo, con valores mayores en I con respecto a M y A, pero en ninguno de los suelos evaluados fue posible separar entre ambas intensidades de uso agropecuario.

Según la clasificación propuesta por Quiroga (2002), la mayor parte de los suelos muestreados se encuentra físicamente degradada ( $IE < 5$ ), especialmente en la profundidad 10-20 cm, ya que al aumentar la profundidad de muestreo, el contenido de COT disminuye por el menor aporte de residuos, hecho que se observa incluso en el manejo I. Bravo (2013) ajustó dicha escala a la Pampa Austral, aunque los valores hallados para el presente trabajo, quedaron clasificados como deficientes, excepto los correspondientes al manejo I de Ca. En consecuencia, no resultó eficiente para distinguir distintos usos del suelo.

**Tabla 5.** Índice Estructural (IE COT) para distintos suelos, manejos y profundidades.

Suelo	Manejo	IE COT		
		0-10	10-20	0-20
		cm		
SG	A	4,53	3,19	3,86 b
	M	4,66	3,88	4,27 b
	I	6,79	4,73	5,76 a
CS	A	4,91	4,10	4,50 b
	M	5,25	4,26	4,76 b
	I	7,29	6,10	6,69 a
Ca	A	5,32	4,03	4,67 b
	M	5,24	4,41	4,83 b
	I	10,45	6,69	8,57 a
To	A	3,68	2,9	3,29 b
	M	4,58	3,98	4,28 a
	I	5,45	4,38	4,91 a
<b>Valor p S*M</b>		0,1879	0,5776	0,1456
<b>Medias Manejo</b>	A	4,61 b	3,56 b	4,08
	M	4,94 b	4,13 b	4,53
	I	7,50 a	5,48 a	6,48
<b>Valor p Manejos</b>		<0,0001	0,0001	<0,02
<b>Medias Suelo</b>	SG	5,33 B	3,93 B	4,63 BC
	CS	5,82 AB	4,82 A	5,32 AB
	Ca	7,00 A	5,05 A	6,02 A
	To	4,57 B	3,75 B	4,16 C
<b>Valor p Suelos</b>		0,0071	0,0086	0,0005

IE COT= MO/(arcilla+limo), medida adimensional. Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos ( $\alpha=0,05$ ).

### Cantidad de COT

A pesar de existir diferencias en la densidad aparente de la capa 0-20 cm, entre suelos y manejos, al realizar el ajuste a masas equivalentes los resultados estadísticos mantienen la tendencia de la concentración de COT (Tabla 6). El manejo I presentó los mayores valores de COT, en todos los suelos. Con respecto a los suelos, el contenido en orden decreciente fue CS>SG>Ca>To. Si bien las cantidades calculadas sin ajuste (concentración\*Dap) fueron

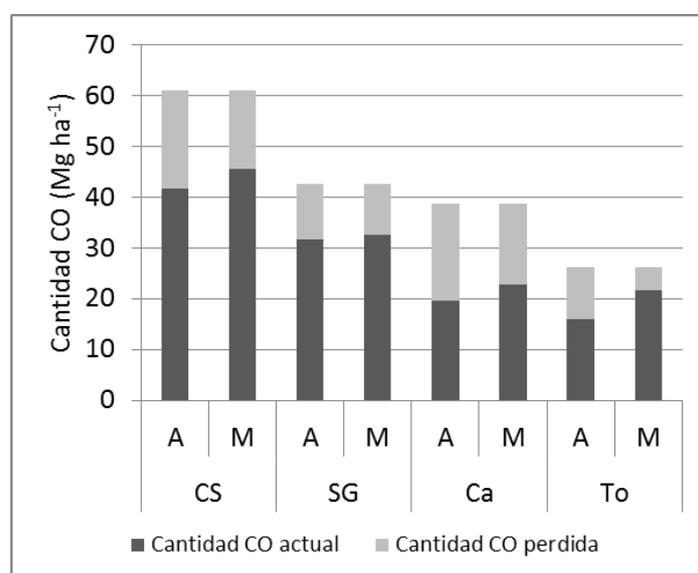
siempre mayores que aquellas calculadas en base a masa de suelo equivalente (MSE), los valores de p y las diferencias entre las medias se mantuvieron.

**Tabla 6.** Cantidad de Carbono Orgánico Total (COT) en distintos suelos, manejos y profundidades.

Suelo	Manejo	Cantidad de COT			
		0-10 cm	MSE <sup>1</sup>	0-20 cm	MSE <sup>2</sup>
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----					
<b>SG</b>	A	19,3	17,1	34,5	31,8
	M	19,4	16,3	36,8	32,6
	I	24,0	23,3	42,9	42,6
<b>CS</b>	A	22,4	20,7	44,2	41,7
	M	25,0	23,1	48,1	45,5
	I	30,4	30,4	60,8	61,0
<b>Ca</b>	A	12,1	10,0	21,7	19,6
	M	12,9	11,1	24,5	22,7
	I	20,9	21,4	38,2	38,7
<b>To</b>	A	9,6	7,9	17,8	16,0
	M	12,2	10,4	23,4	21,7
	I	15,6	13,2	28,2	26,2
<b>Valor p S*M</b>		0,7114	0,3934	0,4923	0,3731
<b>Medias Manejo</b>	A	15,8 b	13,9 b	29,6 b	27,3 b
	M	17,4 b	15,2 b	33,2 b	30,6 b
	I	22,7 a	22,1 a	42,5 a	42,1 a
<b>Valor p Manejos</b>		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<b>Medias Suelo</b>	SG	20,9 B	18,9 B	38,1 B	35,7 B
	CS	25,9 A	24,8 A	51,0 A	49,4 A
	Ca	15,3 C	14,2 C	28,2 C	27,0 C
	To	12,4 D	10,5 D	23,1 D	21,3 D
<b>Valor p Suelos</b>		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). MSE<sup>1</sup>: cantidad de COT ajustado a masa de suelo equivalente, 1000 Tn para SG y CS y 1080 Tn para Ca y To. MSE<sup>2</sup>: cantidad de COT ajustado a masa de suelo equivalente, 2160 Tn para SG y CS y 2400 Tn para Ca y To. Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos ( $\alpha=0,05$ ).

En la Fig. 4 se observan la cantidad de COT actual y la perdida con respecto al contenido de los suelos considerados inalterados. La interacción resultó no significativa ( $p=0,5258$ ). El análisis estadístico indicó que los suelos de régimen údico presentaron mayores pérdidas que los de régimen ústico ( $p=0,01$ ). En cuanto al manejo, la cantidad de CO perdida en la capa 0-20 cm fue mayor para A que para M ( $p=0,01$ ). Las pérdidas equivalen a 32 y 25% en CS, 25 y 23% en San Germán, 49 y 41% en Ca y 39 y 17% en Tornquist, para A y M respectivamente.



**Fig. 4.** Cantidad de COT actual (barras oscuras) y perdida (barras claras) en la capa 0-20 cm., para distintos suelos y manejos. La barra apilada representa la cantidad de COT correspondiente al manejo I. Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M).

Estos resultados coinciden parcialmente con los hallados de Lobartini et al. (1998) y Post et al. (1982), quienes concluyeron que las pérdidas de COT son mayores en ambientes údicos que en ústicos y en suelos de texturas gruesas respecto a finas.

Según Urioste et al. (2002), las disminuciones más pronunciadas de COT por efecto de la agricultura en el suelo más arenoso, estarían asociadas a un mayor contenido de CO en las fracciones granulométricas más gruesas. Estos materiales orgánicos más lábiles son rápidamente transformados (Dalal & Mayer, 1986; Zhang et al. 1988; Angers et al. 1993).

Los resultados del presente estudio indicarían que el contenido de COT estaría fuertemente influenciado por el material parental de los suelos y que el efecto antrópico derivado del uso y manejo no siempre es claro. Bravo (2013), a partir de un estudio zonal en la Pampa Austral, detectó variaciones en el COT debidas a la intensidad de manejo para grupos texturales más gruesos, pero sin diferencias en grupos texturales más finos.

[Quiroga et al. \(1999b\)](#)

Investigaciones llevadas a cabo por Quiroga et al. (1999), sobre suelos similares a los muestreados en las localidades de Ca y SG, registraron pérdidas de 68 y 52% de COT con respecto a suelos vírgenes, por efecto de secuencias de cultivos anuales y rotación respectivamente. En *Hapludoles* franco arenosos del SO de la provincia de Buenos Aires, Krüger et al. (2004), reportaron valores de pérdidas del 35% del COT como resultado de agricultura permanente, respecto de un suelo definido como “natural”. A su vez, Urioste et al. (2002) encontraron pérdidas del 38% del CO por efecto de la agricultura, en el horizonte superficial de *Hapludoles* y *Haplustoles* de la región semiárida pampeana.

Los valores de pérdida de COT por efecto de las actividades agropecuarias reportados por la bibliografía son muy variables. Esto se debe a la gran diversidad de situaciones tomadas como referencia: monte de caldén (Urioste et al. 2002, [Quiroga et al. \(1999b\)](#)), pastizales típicos (Duval et al. 2014), lotes sin cultivo (Duval et al. 2013), taperas o muestreos debajo de los alambrados (Lobartini et al. 1998, Krüger et al. 2004). En todos los casos, sin embargo, se observa coincidencia en cuanto al impacto negativo del uso agropecuario sobre el contenido original de CO de los suelos. En el presente estudio, los principales condicionantes de estos cambios tienen que ver con el contenido de arcilla+limo y con el clima, ambos factores relacionados con la génesis de los suelos, que predominarían sobre los factores antrópicos representados por M y A.

#### 4.1.1.2 Fracciones del CO

Numerosos trabajos han utilizado distintas fracciones del CO para detectar cambios de calidad a corto y mediano plazo relacionados con el manejo agropecuario (Quiroga et al., 1996, Biederbeck et al., 1998, Krüger, et al. 2004). A medida que los materiales orgánicos

son incorporados al suelo, se desencadena una secuencia de transformaciones físicas y químicas de los mismos, acompañada por una disminución en el tamaño de sus partículas y un aumento en la complejidad química y estabilidad.

El contenido de CO en cada una de las fracciones, expresada como concentración ( $\text{g CO kg}^{-1}$  suelo), brinda información en cuanto a los rangos correspondientes a cada suelo y manejo. Por otra parte, expresar estos resultados en relación porcentual al COT, permite evaluar la velocidad de pasaje entre los diversos compartimentos, y con ello tener una estimación de las tasas de transformación entre las mismas (Duval et al., 2014). De esta forma, las interpretaciones son independientes de los contenidos absolutos de COT.

Desde el punto de vista de la concentración, las fracciones estudiadas en la capa 0-10 cm mostraron comportamientos diferentes (Tabla 7): el COPg mostró interacción significativa entre los factores Suelo y Manejo. En cuanto a los suelos, no mostró diferencias estadísticas. El manejo sólo produjo efectos en SG, donde I mostró mayores concentraciones de COPg que M y A. Por el contrario, el COM mostró efectos de ambos factores: mayores concentraciones en CS y SG respecto de Ca y To, y mayores concentraciones en I respecto de M y A en todos los suelos. En forma coherente con sus características intermedias entre COPg y COM, el COPf mostró concentraciones transicionales entre los anteriores, con interacción entre los factores, presentando efectos de manejo sólo en los suelos de régimen údico (CS y Ca), a favor de I, con M en una posición intermedia.

**Tabla 7.** Fracciones de CO, expresadas en concentración y como % del COT, para distintos suelos y manejos. Profundidad 0-10 cm.

Suelo	Manejo	COPg	COPf	COM	COPg:COPf:COM
		-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0-10 cm					
SG	A	1,70 b	2,27 ns	13,1	10:13:77
	M	1,90 b	1,97 ns	12,5	11:12:77
	I	5,13 a	3,97 ns	14,2	22:16:62
CS	A	1,37 ns	2,73 b	16,6	7:13:80
	M	1,33 ns	3,30 b	18,5	6:14:80
	I	1,67 ns	8,33 a	20,4	6:28:67
Ca	A	1,33 ns	0,73 b	7,1	15:8:78
	M	2,03 ns	1,03 ab	7,1	20:10:70
	I	6,93 ns	2,70 a	10,2	32:14:54
To	A	1,23 ns	0,60 ns	5,63	17:8:75
	M	2,67 ns	0,90 ns	6,03	28:9:63
	I	1,93 ns	1,23 ns	9,07	17:10:73
<b>Valor p S*M</b>		0,0692	0,0317	0,8748	
<b>Medias Manejo</b>	A			10,61 b	
	M			11,04 b	
	I			13,48 a	
<b>Valor p Manejo</b>				0,0026	
<b>Medias Suelo</b>	SG	2,91 NS	2,7 B	13,27 B	
	CS	1,46 NS	4,8 A	18,51 A	
	Ca	3,43 NS	1,5 C	8,16 C	
	To	1,94 NS	0,9 C	6,91 C	
<b>Valor p Suelo</b>		0,224	0,0005	<0,0001	

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos ( $\alpha=0,05$ ).

Las proporciones de cada fracción respecto del COT muestran que la mayor parte del CO (54 al 80%) corresponde a COM. Se puede observar que el manejo I de todos los suelos presenta menor proporción de COM y mayor de COPf que los manejos M y A, excepto To. El COPg presenta mayor variabilidad, debido a la fuerte influencia que ejercen los factores de manejo y meteorológicos sobre su dinámica (Galantini y Rosell, 2006). Como ejemplo, se

observa una mayor proporción de COPg en el manejo I en SG y en Ca, mientras que en CS los porcentajes para dicha fracción son muy similares entre manejos.

En CS, se observa una disminución del COPf/COT en los manejos M y A, con respecto al manejo I, posiblemente debido a mayores tasas de mineralización en los suelos con mayor disturbio antrópico. En Ca se observan disminuciones de COPg y COPf en los manejos M y A, indicando mayores velocidades en la descomposición y dinámica de la MO en dicho tratamiento. En To se observó un comportamiento distinto, ya que el manejo M presentó mayores proporciones de COPg y menores de COM, que los manejos I y A, posiblemente porque los lotes correspondientes al manejo I eran lotes con pasturas longevas, con cierto nivel de degradación por pastoreo.

En la capa subsuperficial (Tabla 8), la concentración de COPg no difirió entre suelos, pero permitió diferenciar manejos ( $I > M = A$ ). La concentración de COPf resultó mayor en los suelos con mayor contenido de arcilla+lamo (CS y SG) y separó manejos en los mismos casos, con mayores valores en I que A. El manejo M mostró un comportamiento intermedio en Ca, pero sin diferencias con el manejo A en los suelos de CS. Estos resultados coinciden en su mayoría con los obtenidos en la capa 0-10 cm., aunque se destaca el mejor comportamiento de COPg como indicador del efecto de manejo en todos los suelos, ya que se observa una diferenciación a favor del manejo I, mientras que en la capa superficial los manejos se diferenciaban solamente en SG.

En forma coincidente con el COT, las concentraciones de COM variaron entre suelos, mostrando los mayores valores en CS, seguido por aquellos registrados en SG y finalmente Ca y To, que no presentaron diferencias entre sí. En cuanto al efecto del manejo se detectaron mayores valores en I, sin diferenciarse M de A.

Las proporciones de cada fracción con respecto a COT, presentaron un comportamiento similar al descrito para la capa 0-10 cm, aunque se observa que I muestra mayores valores relativos de COPg y COPf, con respecto a los manejos M y A.

**Tabla 8.** Fracciones de CO, expresadas en concentración y como % del COT, para distintos suelos y manejos, profundidad 10-20 cm.

Suelo	Manejo	COPg	COPf	COM	COPg:COPf:COM
		g kg <sup>-1</sup> 10-20 cm			
SG	A	0,83	1,33 ns	9,93	7:11:82
	M	0,97	1,57 ns	11,07	7:12:81
	I	1,63	2,20 ns	12,63	10:13:77
CS	A	0,67	1,80 b	15,47	4:10:86
	M	0,67	2,37 b	15,97	4:12:84
	I	1,60	4,93 a	19,80	6:19:75
Ca	A	0,63	0,30 b	6,00	9:4:87
	M	0,77	0,47 ab	7,40	9:5:86
	I	2,30	1,27 a	9,70	16:9:75
To	A	0,63	0,40 ns	4,80	11:7:82
	M	0,80	0,67 ns	6,90	10:8:82
	I	1,20	0,70 ns	7,60	13:7:80
<b>Valor p S*M</b>		0,546	0,003	0,787	
<b>Medias Manejo</b>	A	0,69 b		9,03 b	
	M	0,80 b		10,34 b	
	I	1,68 a		12,43 a	
<b>Valor p Manejo</b>		0,0002		0,0002	
<b>Medias Suelo</b>	SG	1,14 NS	1,70 B	11,2 B	
	CS	0,98 NS	3,03 A	17,1 A	
	Ca	1,23 NS	0,68 BC	7,7 C	
	To	0,88 NS	0,88 C	6,4 C	
<b>Valor p Suelo</b>		0,4842	<0,0001	<0,0001	

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos ( $\alpha=0,05$ ).

Galantini e Iglesias (1999) observaron un marcado efecto de la textura sobre la acumulación y distribución de las fracciones orgánicas. Según estos autores, los valores de COM fueron mayores en suelos con mayores contenidos de fracción fina. Esto se explica porque suelos de texturas más finas, poseen condiciones más favorables para la acumulación de agua y

consecuentemente, una mejor producción de biomasa, mayor aporte de residuos y una mayor acumulación de COP en superficie. Esto se compensa con las mayores tasas de descomposición y humificación que expresan estos suelos, en contraste con aquellos que poseen mayor contenido de arena, donde hay menores aportes de biomasa y menores tasas de transformación de los residuos, resultando en una mayor proporción de COP.

Si bien la distinción entre las situaciones de referencia (I), y los distintos manejos agropecuarios es evidente, se dificulta la diferenciación entre manejos agronómicos de distinta intensidad (M vs. A). En coincidencia con estas observaciones, Duval et al. (2014) no lograron diferenciar entre varias rotaciones y monocultivos de soja de distinta antigüedad, como así tampoco entre pasturas y rotaciones mixtas, a partir de valores de los contenidos de COT y sus fracciones. Por su parte, el estudio conducido por Bravo (2013) en la Pampa Austral, encontró diferencias en el COT entre manejos mixtos, ganaderos y forestales, pero sólo en suelos desarrollados sobre materiales parentales de textura gruesa. En cambio, al evaluar distintos manejos sobre suelos loésicos, el COT sólo pudo diferenciar el manejo forestal de los agropecuarios. Este antecedente podría explicar los resultados aquí obtenidos, donde se evidencian mayores pérdidas de COT en los manejos agropecuarios de Ca, con respecto al manejo sin disturbio.

La escasa sensibilidad del COT y sus fracciones para diferenciar entre manejos, tiene que ver con la variedad de factores que influyen en la dinámica del CO, además de aquellos que pretenden ser evaluados. Tanto la falta general de registros de historias de cultivo de largo plazo, como la variabilidad observada en la presión productiva entre los distintos ambientes/suelos, conspiran contra esta diferenciación.

Por su carácter regional el presente estudio involucra suelos de diversos ambientes y características genéticas, distribuidos en un área geográfica amplia, con el consecuente gradiente climático y con diferencias en el potencial y la presión productiva resultantes de su combinación. Esta escala regional atenta contra la precisión de algunas conclusiones, especialmente aquellas relacionadas con los efectos del factor manejo sobre las

propiedades del suelo, pero, al mismo tiempo, permite realizar interpretaciones generales sobre grupos de suelos considerados importantes en el área de estudio.

Las proporciones entre fracciones encontradas en este estudio coinciden con aquellas encontradas por Duval et al. (2014). Ellos observaron que a mayor intensidad de manejo, correspondían aumentos en el COM, en detrimento del COP. Bongiovanni y Lobartini (2006), en *Haplustoles* encontraron diferencias en las proporciones relativas de las distintas fracciones del CO dependiendo del manejo: en situaciones sin disturbio, el COP representó el 29,6% del COT, y en lotes agrícolas esta proporción se redujo a 15,8%. En el caso del *Hapludol* muestreado en Ca, el COP (>50  $\mu\text{m}$ ) en el manejo I representó 25,3% del COT, mientras que en los manejos M y A se redujo a 14,3 y 13,1% respectivamente. En To (*Haplustol*), también se registró una disminución de la proporción del COP en los manejos M y A con respecto a I, pero de menor magnitud que en Ca.

La gran mayoría de las investigaciones que involucran fraccionamiento de la materia orgánica, concluyen que el CO relacionado a las fracciones más gruesas evidencia cambios en el manejo. Sin embargo, los resultados de este trabajo indican que la fracción más fina (COM) separó estadísticamente los manejos agropecuarios de los lotes de referencia en las dos profundidades evaluadas y en la capa 0-20 cm, mientras que COPg sólo encontró esa diferencia en la capa 10-20 cm y COPf solamente lo hizo en los suelos údicos.

Antecedentes de ello son reportados por Krüger et al. (2004), quienes trabajando sobre *Hapludoles* del Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, observaron que el CO asociado a la fracción fina del suelo reflejó los cambios en el manejo, mientras que COP se mantuvo constante. Esto puede explicarse porque COP representa un pequeño porcentaje del COT hecho que enmascara los cambios en tan pequeñas magnitudes.

#### Cantidades de CO de cada fracción

De manera similar a COT, el cálculo de las cantidades de cada fracción en la capa 0-20 cm, mostró ligeros cambios estadísticos frente a los valores de concentración, con algunas

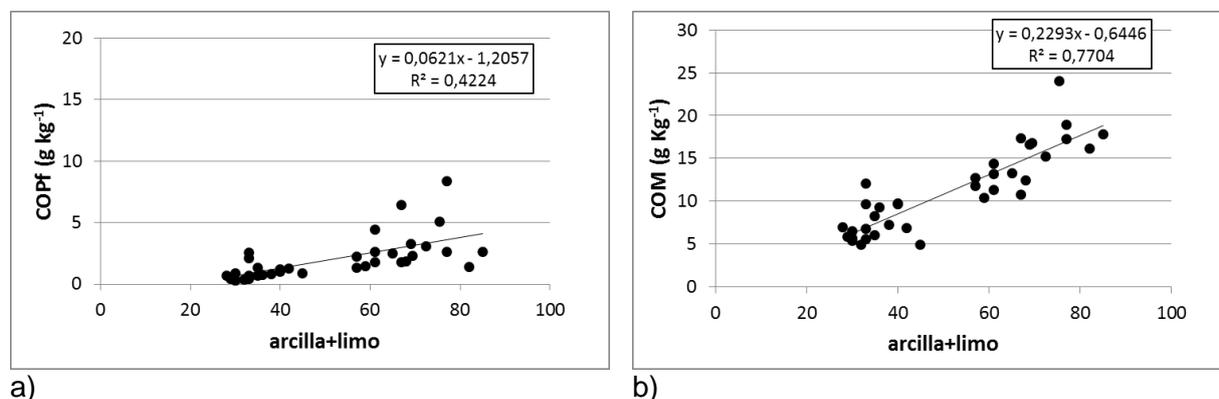
pequeñas diferencias en la fracción más gruesa. Pese a las diferencias de Dap entre suelos y manejos, la cantidad de CO correspondiente a cada fracción ajustada a MSE, no varió en su interpretación estadística con respecto al cálculo obtenido sin ajuste (Tabla 9).

**Tabla 9.** Cantidad de CO en cada fracción, para distintos suelos y manejos.

Suelo	Manejo	Cantidad de CO por fracción					
		COPg		COPf		COM	
		SA	MSE	SA	MSE	SA	MSE
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----							
Profundidad 0-20 cm							
SG	A	3,0 b	2,8 b	4,2 ns	3,9 ns	27,3	25,1
	M	3,5 b	3,2 b	4,3 ns	3,9 ns	29,1	25,6
	I	7,1 a	7,1 a	6,6 ns	6,6 ns	29,1	29
CS	A	2,3 b	2,2 b	5,1 b	4,9 b	36,8	34,7
	M	2,3 b	2,2 b	6,5 b	6,1 b	39,4	37,2
	I	3,6 a	3,6 a	13,9 a	13,8 a	43,4	43,6
Ca	A	2,6 ns	2,4 ns	1,4 b	1,3 b	17,6	15,8
	M	3,6 ns	3,4 ns	1,9 b	1,8 b	19	17,5
	I	10,1 ns	10,3 ns	4,6 a	4,6 a	23,6	23,9
To	A	2,5 ns	2,3 ns	1,3 ns	1,2 ns	14,1	12,6
	M	4,5 ns	4,3 ns	2,0 ns	1,9 ns	16,9	15,5
	I	4,1 ns	3,8 ns	2,5 ns	2,4 ns	21,6	20,1
<b>Valor p S*M</b>		0,0962	0,0924	0,0013	0,0014	0,8396	0,9244
<b>Medias Manejo</b>	A					24,0 b	22,0 b
	M					26,1 b	23,9 b
	I					29,4 a	29,1 a
<b>Valor p Manejos</b>						0,0037	0,0002
<b>Medias Suelo</b>	SG	4,5 NS	4,4 NS	5,1 B	4,8 B	28,5 B	26,5 B
	CS	2,7 NS	2,6 NS	8,5 A	8,3 A	39,9 A	38,5 A
	Ca	5,4 NS	5,4 NS	2,6 BC	2,6 BC	20,1 C	19 C
	To	3,7 NS	3,5 NS	1,9 C	1,8 C	17,5 C	16 C
<b>Valor p Suelos</b>		0,207	0,2419	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). SA: sin ajuste, calculado como producto de la concentración, espesor de la capa y densidad aparente. MSE: cantidad de COT ajustado a masa de suelo equivalente, 2160 Tn para SG y CS y 2400 Tn para Ca y To. Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos ( $\alpha=0,05$ ).

Además de la correlación con el COT, se encontró que el contenido de arcilla+limo se relacionó positivamente con COPf y COM ( $p < 0,0001$  en ambos casos), presentando valores de  $R^2$  de 0,42 y 0,77 respectivamente (Fig. 5). Por el contrario, la relación con COPg fue no significativa ( $p = 0,56$ ).



**Fig. 5.** Relación entre fracciones de CO y contenido de arcilla+limo, para datos de la capa 0-10 y 10-20.

#### 4.1.1.3 Resultados del Índice Estructural de Pieri por fracción

El Índice Estructural calculado para la fracción gruesa de la MO (equivalente a COPg) presentó interacción significativa entre factores suelo y manejo en ambas capas evaluadas. En la capa superficial presentó diferencias entre manejos sólo en SG, con mayores valores en I, con respecto a M y A. Sin embargo, en la capa 10-20 cm este resultado se extendió a todos los suelos, excepto Ca (Tabla 10).

El comportamiento observado en la capa 10-20 regularmente fue más estable y mostró mayores diferencias que la capa superficial. Este hecho podría deberse a la mayor alteración que sufre la superficie edáfica a causa del clima y la acción antrópica.

El Índice de Estabilidad calculado para COPf mostró interacción significativa entre los factores suelo y manejo, encontrándose diferencias entre manejos en SG, CS y Ca a favor de I, sin distinción entre M y A. La excepción fue To, donde los manejos fueron estadísticamente iguales.

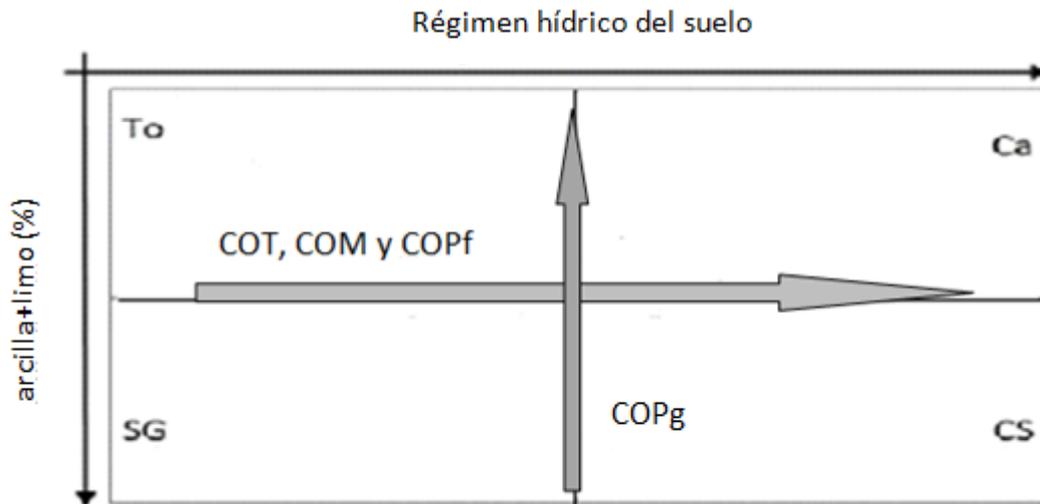
Los resultados del índice correspondientes a COM, denotó efectos de Suelo y de Manejo, con ausencia de interacción. Los suelos de régimen ústico presentaron menores valores que aquellos de régimen údico, que difirieron entre sí. En cuanto al manejo, I presentó mayores índices que M y A. Sin embargo en la capa 10-20 cm, los tres manejos evaluados resultaron diferentes ( $p=0,0006$ ).

**Tabla 10.** Índice Estructural (IE) para distintas fracciones del CO, para diferentes suelos y manejos y profundidades.

Suelo	Manejo	IE COPg			IE COPf			IE COM		
		0-10 cm			10-20 cm					
SG	A	0,45 b	0,60 b	3,47	0,22 b	0,35 ns	2,61			
	M	0,54 b	0,56 b	3,57	0,28 b	0,44 ns	3,16			
	I	1,49 a	1,14 a	4,17	0,47 a	0,63 ns	3,62			
CS	A	0,32 ns	0,65 b	3,93	0,15 b	0,42 b	3,53			
	M	0,30 ns	0,75 b	4,21	0,15 b	0,54 b	3,55			
	I	0,41 ns	1,98 a	4,89	0,37 a	1,16 a	4,57			
Ca	A	0,78 ns	0,43 b	4,08	0,37 ns	0,18 b	3,46			
	M	1,06 ns	0,54 b	3,63	0,39 ns	0,24 b	3,80			
	I	3,67 ns	1,42 a	5,37	1,16 ns	0,64 a	4,89			
To	A	0,61 ns	0,29 ns	2,84	0,30 c	0,17 ns	2,41			
	M	1,35 ns	0,40 ns	2,81	0,37 b	0,30 ns	3,31			
	I	0,91 ns	0,55 ns	3,99	0,58 a	0,33 ns	3,51			
<b>Valor p S*M</b>		0,0809	0,0627	0,7739	0,3648	0,1086	0,8303			
<b>Medias Manejo</b>	A			3,58 b			3,00 c			
	M			3,55 b			3,45 b			
	I			4,61 a			4,15 a			
<b>Valor p Manejos</b>				0,0005			0,0006			
<b>Medias Suelo</b>	SG	0,83 AB	0,77 AB	3,74 B	0,32 B	0,47 AB	3,13 B			
	CS	0,35 B	1,13 A	4,34 A	0,23 B	0,71 A	3,89 A			
	Ca	1,84 A	0,79 AB	4,36 A	0,64 A	0,35 B	4,05 A			
	To	0,96 AB	0,41 B	3,21 C	0,42 AB	0,27 B	3,08 B			
<b>Valor p Suelos</b>		0,0465	0,0415	0,0021	0,0526	0,0089	0,0035			

IE COT= MO/(arcilla+lamo), medida adimensional. COPg (2000-100  $\mu$ m), COPf (100-50  $\mu$ m), COM (<50  $\mu$ m). Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos ( $\alpha=0,05$ ).

En base a lo desarrollado con las variables relacionadas al CO, la Fig. 6 muestra de manera esquemática el comportamiento de las mismas frente a un gradiente de regímenes hídricos del suelo y del contenido de arcilla+limo.



**Fig. 6.** Esquema de comportamiento del COT y sus fracciones frente a diversas combinaciones de régimen hídrico y contenido de arcilla+limo de un suelo. COT= Carbono Orgánico Total, COM: CO fracción <math> < 50\mu </math>; COPf: CO fracción <math> 50-100\mu </math>; COPg: CO fracción <math> 100-2000\mu </math>.

#### 4.1.1.4 Hidratos de Carbono en el suelo

Los mayores contenidos de Hidratos de Carbono solubles (HCs) en la capa 0-10 cm, se observaron en SG y CS (Tabla 11). En la profundidad 10-20 cm el orden fue similar, aunque SG presentó valores intermedios entre CS y los suelos más arenosos (Ca y To). Los contenidos de Hidratos de Carbono totales (HCt) presentaron escasas diferencias en la profundidad 0-10 cm, donde todos los suelos tuvieron mayores valores que To, mientras que 10-20 cm CS superó el contenido medido en Ca y To, con SG en posición intermedia.

Considerando la capa 0-20 cm en conjunto, la relación entre suelos fue similar a la de la capa 0-10 cm para el contenido de HCs. Para el contenido de HCt las diferencias fueron menos evidentes, mostrando los suelos una gradación  $CS \geq SG \geq Ca \geq To$ .

Desde el punto de vista del manejo, el contenido de HCs no registró diferencias en ninguno de los suelos ni capas. Sin embargo, para los HCt el manejo I presentó mayor contenido que M y A en la capa 0-10 cm de todos los suelos. El mismo comportamiento se observó en CS en la capa 10-20 cm.

En la capa 0-20 cm los HCs permitieron separar entre manejos, con mayores contenidos en I que A, y valores intermedios en M. Sin embargo, los HCt sólo muestran diferencias en los suelos de régimen údico (CS y Ca), donde los manejos difieren significativamente, a favor de I. En CS, los valores de M resultaron intermedios entre I y A. Aquí se encontró la única diferencia entre el contenido sin ajustar por masa equivalente (SA) y el ajustado (MSE). En el segundo caso, M es estadísticamente igual a A.

Las cantidades encontradas en la capa superficial coinciden con las halladas por Hevia (2008) sobre un Haplustol éntico de provincia de La Pampa, pero resultan muy inferiores a las informadas por Duval et al. (2013) sobre *Argiudoles típicos* del norte de la provincia de Buenos Aires.

En resumen, en las capas individuales estudiadas, el efecto del manejo no se reflejó en los contenidos de HCs, sin embargo los HCt diferenciaron I de M y A. En la suma de ambas capas los HCs muestran una ligera tendencia hacia la diferenciación entre los manejos M y A.

El hecho que la capa 0-20 cm permita detectar cambios entre los manejos que no habían sido detectados en cada capa por separado, puede deberse a la variabilidad de los patrones de localización de los materiales orgánicos, que se acumulan al sumar las dos capas.

**Tabla 11.** Contenido de Hidratos de Carbono solubles y totales, pada distintos suelos, manejos y profundidades.

Suelo	Manejo	HCs	HCt	HCs	HCt	HCs	HCt	HCs	HCt	
		0-10 cm		10-20 cm		0-20 cm		MSE		
-----Kg ha <sup>-1</sup> -----										
<b>SG</b>	A	281	893	184	650 ns	465	1543 ns	433	1417 ns	
	M	258	1030	233	728 ns	491	1758 ns	435	1581 ns	
	I	315	1230	230	879 ns	546	2109 ns	545	2102 ns	
<b>CS</b>	A	249	753	223	792 b	472	1545 b	446	1455 b	
	M	293	1010	248	893 ab	541	1903 ab	513	1796 b	
	I	393	1273	315	1120 a	707	2393 a	717	2390 a	
<b>Ca</b>	A	153	670	252	417 ns	279	1087 b	230	999 b	
	M	172	733	306	537 ns	325	1270 b	274	1187 b	
	I	193	1267	379	821 ns	382	2088 a	348	2127 a	
<b>To</b>	A	189	730	163	635 ns	352	1365 ns	285	1221 ns	
	M	175	680	187	606 ns	362	1286 ns	300	1185 ns	
	I	238	767	187	592 ns	425	1328 ns	362	1239 ns	
<b>Valor p S*M</b>		0,8504	0,2905	0,9238	0,1384	0,9263	0,1371	0,8783	0,1032	
<b>Medias Manejo</b>	A	218 ns	762 b	174 ns		392 b		348 b		
	M	224 ns	863 b	206 ns		430 ab		380 b		
	I	285 ns	1134 a	230 ns		515 a		493 a		
<b>Valor p Manejos</b>		0,0654	0,0006	0,0755		0,0601		0,0247		
<b>Medias Suelo</b>	SG	285 A	1051 A	216 AB	752 B	500 A	1803 AB	471 A	1700 AB	
	CS	312 A	1012 A	262 A	935 A	574 A	1947 A	558 A	1880 A	
	Ca	173 B	890 A	156 B	592 B	329 B	1482 BC	284 B	1438 BC	
	To	201 B	726 B	179 B	601 B	380 B	1326 C	315 B	1215 C	
<b>Valor p Suelos</b>		0,0011	0,0131	0,004	0,0005	0,0011	0,0128	0,0003	0,0214	

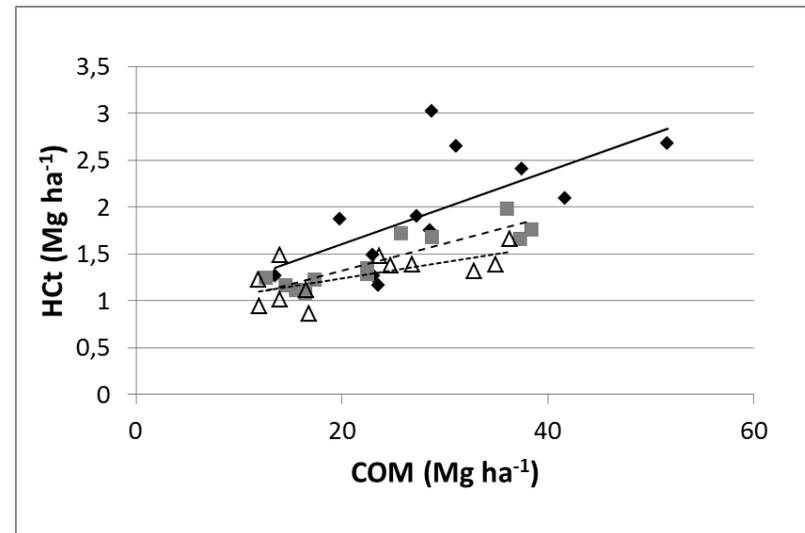
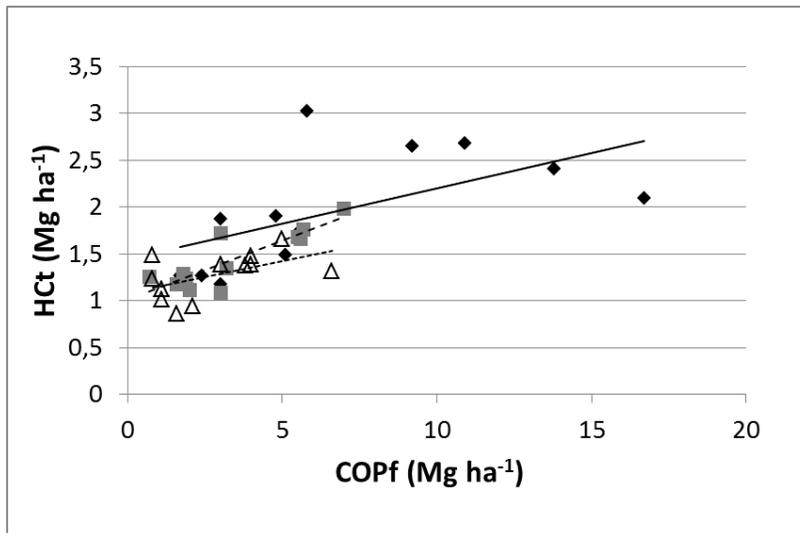
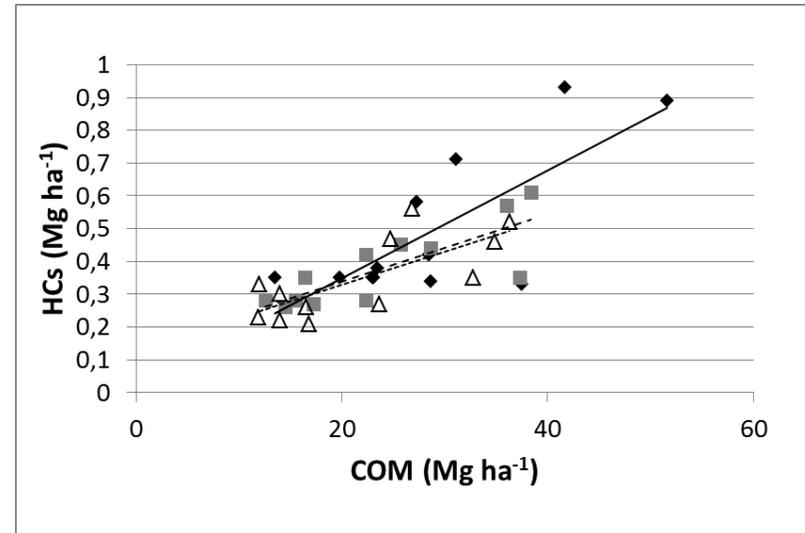
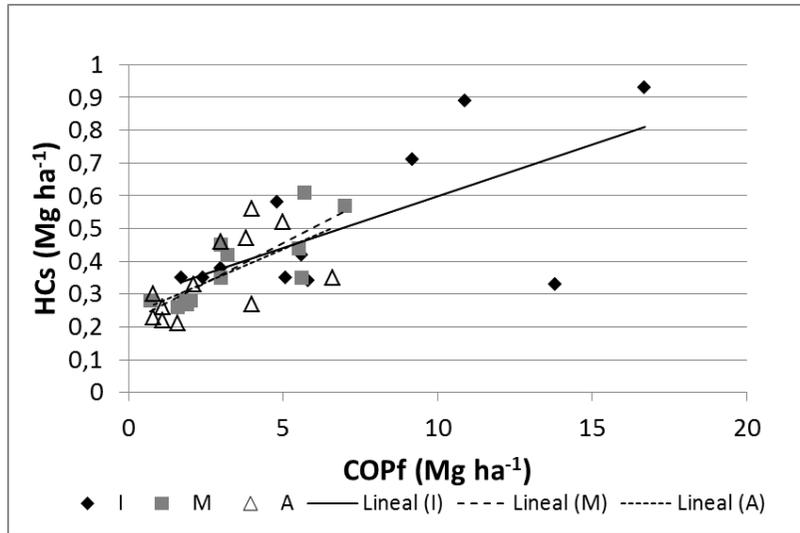
Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). SA: cantidad de HC sin ajustar por método alguno. MSE: cantidad de COT ajustado a masa de suelo equivalente: 2160 Tn para SG y CS y 2400 Tn para Ca y To. Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos.

Sobre la base de la cantidad de HC ajustada a MSE, el contenido de HCs mostró correlación con COPf ( $R^2=0,75$ ;  $p<0,0001$ ), y COM ( $R^2=0,44$ ;  $p<0,0001$ ), pero no con COPg ( $p=0,08$ ). Las rectas de regresión para los manejos evaluados son muy similares principalmente para HCs (Fig. 7).

El contenido de HCt presentó un comportamiento similar a los solubles, ya que se relacionaron positivamente con COPf ( $R^2=0,72$ ;  $p<0,0001$ ) y COM ( $R^2=0,65$ ;  $p<0,0001$ ). Si bien la relación con COPg fue significativa, se registró un bajo valor de  $R^2$  debido a una alta dispersión de los datos ( $R^2= 0,18$ ;  $p=0,0116$ ). Por otro lado, se observó correlación significativa entre el contenido de HC y el porcentaje de arcilla+limo ( $R^2=0,46$ ;  $p<0,0001$  y  $R^2=0,32$ ;  $p=0,0002$  para HCs y HCt respectivamente).

En base a todos estos resultados puede deducirse que el contenido de HC, tanto solubles como totales, se relacionó en mayor medida con fracciones de carbono de tamaño medio y fino. En este sentido, los HC se comportan de manera similar a COT, en cuanto a la relación estrecha con la composición granulométrica de los materiales parentales de los suelos y en menor medida con el régimen de humedad de los suelos.

Las investigaciones sobre esta variable no son numerosas y no se dispone de valores de referencia para la zona que abarca el presente trabajo de Tesis. Amelung et al. (1997), trabajando en las Grandes Planicies de Estados Unidos, encontraron que los polisacáridos tienden a aumentar con las precipitaciones, coincidiendo parcialmente con los datos del presente trabajo, ya que suelos similares de distintos regímenes hídricos, no difirieron estadísticamente en su contenido de HC, aunque se manifestó una tendencia en dicho sentido, en el contenido de HCt de la capa 0-20 cm.



**Fig. 7.** Relación entre el contenido de HC ajustado a MSE y las fracciones más finas del CO (COPf y COM) (Mg ha<sup>-1</sup>), para cada uno de los manejos evaluados. Manejos: Inalterado (I), Moderado (M), Agresivo (A). MSE: cantidad de HC ajustada a masa de suelo equivalente, 2160 Tn para SG y CS y 2400 Tn para Ca y To.

Las pérdidas observadas en M y A con respecto a I, en la capa 0-20 cm variaron entre 10 y 33%, para los HCs, y mostraron tendencia a ser mayores en el manejo A que en M. Con respecto a HCt, las pérdidas alcanzaron valores de 48% en suelos bajo manejo A en Ca, mientras que To mostró valores similares entre manejos, con mayor impacto sobre los HCs que sobre los HCt. Estas pérdidas resultaron menores que las reportadas por Bongiovanni y Lobartini (2005), quienes trabajando sobre *Haplustoles* típicos del centro de Córdoba encontraron diferencias significativas en los contenidos de HCs e HCt, debidas al uso agrícola, oscilando entre el 37 y el 47% de disminución con respecto al contenido en suelos sin disturbio.

Por el contrario, resultados presentados por Duval et al. (2013), en la Pampa Húmeda mostraron una baja sensibilidad de los HCs a los cambios en la secuencia de cultivos bajo siembra directa.

A partir de estos resultados se deduce que la variación en el contenido de carbohidratos deriva de la interacción entre textura y régimen hídrico del suelo. La composición granulométrica determina diferencias en los contenidos de HC: suelos de texturas más finas (CS y SG) contienen más HCs e HCt que aquellos de texturas más gruesas (Ca y To). Si los suelos son agrupados por textura, el contenido de HCt en la capa 0-20 cm varía con el régimen hídrico.

Por otra parte, el contenido de HC se relaciona con el COT que, a su vez, está influenciado por la textura y el régimen hídrico. En la Tabla 12 se detallan distintas relaciones entre las cantidades de HC y COT. Los HCs representan en promedio el 26,5% de los HCt y sólo el 1,3% del COT. Estos valores concuerdan con los citados por Hevia et al. (2008), quienes registraron valores entre 21 a 23% y 1,5 a 1,7%, respectivamente. Los HCt representan entre el 3,5 y el 7,7% del COT. Dalal y Henry (1988), en suelos agrícolas de Australia, encontraron que dicho rango oscila entre 5 y 16%, mientras que Guggenberger et al. (1995), citan valores entre 5 y 25% para *Oxisoles* de baja fertilidad y régimen hídrico údico. Por su

parte, Duval et al. (2013), observaron un rango de 9 a 20% sobre suelos de las provincias de Córdoba, Bs. As. y Entre Ríos.

Las relaciones entre los HC, ya sean solubles o totales con el COT, resultan estables ante los distintos manejos evaluados. El momento de muestreo, puede haber interferido en la detección de diferencias, ya que la dinámica de los compuestos carbonados es compleja y dependiente de múltiples factores, principalmente la temperatura y humedad edáfica, como así también la cantidad, calidad y momento en que los residuos son incorporados.

**Tabla 12.** Relaciones entre el contenido de HCs, HCt y COT, ajustado a MSE. Medias y Desvío Estándar.

Suelo	Manejo	HCs/HCt	HCt/COT	HCs/COT
		%		
<b>SG</b>	A	30,8±11,3	4,5±0,5	1,3±0,4
	M	27,7±2,7	4,9±0,5	1,4±0,2
	I	27,1±3,5	4,9±0,5	1,3±0,3
<b>CS</b>	A	30,5±3,6	3,5±0,3	1,1±0,2
	M	28,4±6,8	3,9±0,4	1,1±0,3
	I	30,5±15,7	3,9±0,5	1,1±0,5
<b>Ca</b>	A	28,4±1,5	3,9±1	1,1±0,2
	M	23,1±1,9	5,3±0,8	1,2±0,2
	I	17,8±6,1	5,5±1,3	1,0±0,3
<b>To</b>	A	24,4±8,6	7,7±1,6	1,8±0,2
	M	25,6±5,8	5,5±0,9	1,4±0,2
	I	29,3±2,8	4,9±1,2	1,4±0,3

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I).

## 4.1.2 Fósforo

### 4.1.2.1 Disponibilidad de P

El modelo estadístico general presentó interacción entre factores. Por ello, el análisis se particionó por profundidad de muestreo. La existencia de interacción en cada profundidad, reveló un comportamiento diferente del P frente al manejo en los diferentes suelos.

El P extraíble en la capa superficial (0-10 cm) de los suelos údicos resultó mayor que aquellos de régimen ústico (Tabla 13). En la capa 10-20 cm, se observaron algunas diferencias entre los suelos que no habían sido detectadas en la capa más superficial. De este modo, los valores de P Bray y Kurtz N°1 permitieron ordenar los suelos de la siguiente forma: CS=Ca>To>SG, mientras que los obtenidos por el método de Olsen para To y SG no difirieron estadísticamente.

Los resultados coinciden con los hallados por Krüger et al. (2006), quienes en el SO bonaerense, hallaron mayores valores de P en *Argiudoles* que en *Haplustoles* y *Hapludoles*, concentrando una mayor frecuencia de casos entre 10 y 15  $\mu\text{g g}^{-1}$  de P. En el caso de los dos últimos, las mayores frecuencias fueron para los valores de 5-10 y 10-15  $\mu\text{g g}^{-1}$ , alcanzando el 75 y 70% de los casos respectivamente.

Los valores de P Bray obtenidos en Ca para el manejo I, concuerdan con aquellos obtenidos por Krüger et al. (2004) para suelos de referencia de características similares, aunque los niveles para lotes agropecuarios del presente estudio resultaron mayores, debido posiblemente a distintas historias de fertilización fosfórica. Sin embargo, resultan inferiores a los hallados por Urioste (2002), para suelos de textura franco arenosa, de la Región Semiárida Pampeana, que oscilaron entre 65 y 150  $\mu\text{g g}^{-1}$  para suelos de referencia y entre 60 y 55  $\mu\text{g g}^{-1}$  para suelos agrícolas. Bravo et al. (2010) encontraron en suelos de textura franco arenosa a franco arcillo arenosa de la Pampa Austral, valores de P extraíble entre 15 y 21  $\mu\text{g g}^{-1}$ , en concordancia con los valores aquí hallados para Ca en la capa superficial.

Desde el punto de vista del manejo, no se detectaron diferencias en el contenido de P Bray y Kurtz ni de P Olsen en los suelos de régimen ústico (SG y To), posiblemente por los bajos valores observados. En los suelos údicos, en cambio, el contenido de P extraíble fue mayor en I respecto de ambos manejos agropecuarios. Esto coincide con las conclusiones obtenidas por Lobartini et al. (1998), quienes encontraron que los cambios químicos producidos por el uso y manejo de las tierras resultan más evidentes en ambientes subhúmedos que en semiáridos.

Debe destacarse que la presión productiva es considerablemente mayor en el ambiente subhúmedo; allí la práctica de fertilización es frecuente, pero las pérdidas registradas indican que los niveles de fertilización fosfórica no llegaron a igualar el consumo de los cultivos (Krüger et al. 2006).

A pesar de existir diferencias en la Dap entre suelos y manejos en la capa 0-20 cm, el cálculo de la cantidad de P, arrojó similares resultados estadísticos que la concentración (Tabla 14). Esto se registró tanto en el cálculo ajustado a MSE, como al contenido calculado en base a concentración, Dap y espesor de la capa evaluada.

Krüger et al. (2006), estudiaron la variación del P disponible en un período comprendido entre 1982 y 2005 en suelos de los partidos de Cnel. Suárez, Saavedra y Puán. Observaron disminuciones del 15, 17 y 27% del contenido de P disponible, respectivamente. Comparando los datos aquí obtenidos para la cantidad de P Bray (MSE) y utilizando los lotes I como referencia, se registraron pérdidas de 26, 85, 79 y 15% para SG, CS, Ca y To, respectivamente, confirmando pérdidas mayores para los suelos údicos con respecto a los ústicos.

**Tabla 13.** Concentración de P extraíble (Método Bray y Kurtz N°1 y Método Olsen) para distintos suelos, manejos y profundidades de muestreo (0-10 y 10-20 cm).

Suelo	Manejo	P Bray		P Olsen	
		$\mu\text{g g}^{-1}$			
		0-10 cm		10-20 cm	
SG	A	5,9 ns	5,6 ns	0,9 ns	2,7 ns
	M	5,2 ns	7,4 ns	1,3 ns	3,8 ns
	I	8,5 ns	9,1 ns	1,2 ns	4,1 ns
CS	A	19,0 b	11,5 b	7,5 b	4,7 b
	M	18,1 b	11,6 b	7,1 b	5,4 b
	I	96,8 a	76,2 a	77,8 a	65,9 a
Ca	A	24,5 b	12,1 b	10,1 b	4,8 b
	M	16,0 b	9,2 b	7,1 b	4,4 b
	I	73,8 a	46,7 a	77,9 a	48,2 a
To	A	8,4 ns	4,3 ns	3,9 ns	2,4 ns
	M	8,8 ns	9,3 ns	3,8 ns	3,9 ns
	I	12,2 ns	5,5 ns	3,5 ns	2,4 ns
<b>Valor p S*M</b>		0,0275	0,0072	0,0031	0,0025
<b>Medias Manejo</b>	A				
	M				
	I				
<b>Valor p Manejos</b>					
<b>Medias Suelo</b>	SG	6,5 B	7,4 B	1,1 C	3,6 B
	CS	44,6 A	33,1 A	30,8 A	25,3 A
	Ca	38,1 A	22,7 A	31,7 A	19,1 A
	To	9,8 B	6,4 B	3,7 B	2,9 B
<b>Valor p Suelos</b>		<0,0001	0,0023	<0,0001	0,0164

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos.

**Tabla 14.** Cantidad de P extraíble (Método Bray y Kurtz N°1 y método Olsen) para la capa 0-20 cm y ajustado a MSE, para distintos suelos y manejos.

Suelo	Manejo	P Bray		P Olsen	
		0-20 cm	MSE	0-20 cm	MSE
kg ha <sup>-1</sup>					
SG	A	7,8 ns	7,6 ns	9,8 ns	9,2 ns
	M	7,8 ns	7,4 ns	13,7 ns	12,5 ns
	I	10,1 ns	10,1 ns	14,1 ns	14,0 ns
CS	A	29,9 b	28,8 b	18,2 b	17,5 b
	M	28,0 b	27,0 b	19,0 b	18,3 b
	I	182,0 a	187,6 a	147,7 a	153,2 a
Ca	A	46,1 b	40,5 b	22,5 b	19,8 b
	M	29,7 b	26,5 b	17,6 b	15,6 b
	I	182,0 a	163,4 a	113,8 a	101,7 a
To	A	16,8 ns	14,5 ns	9,2 ns	7,7 ns
	M	20,7 ns	18,9 ns	17,1 ns	15,3 ns
	I	15,9 ns	14,3 ns	10,3 ns	9,2 ns
<b>Valor p S*M</b>		0,021	0,027	0,006	0,006
<b>Medias Suelo</b>	SG	8,6 b	8,4 b	12,5 b	11,9 b
	CS	80,0 a	81,1 a	61,6 a	63,0 a
	Ca	85,9 a	76,8 a	51,3 a	45,7 a
	To	17,8 b	15,9 b	12,2 b	10,7 b
<b>Valor p Suelos</b>		<0,0001	0,0443	0,0051	0,0045

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). MSE: cantidad de HC ajustada a masa de suelo equivalente, 2160 Tn para SG y CS y 2400 Tn para Ca y To. Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos ( $\alpha=0,05$ ).

#### 4.1.2.2 Comparación de métodos de P extraíble

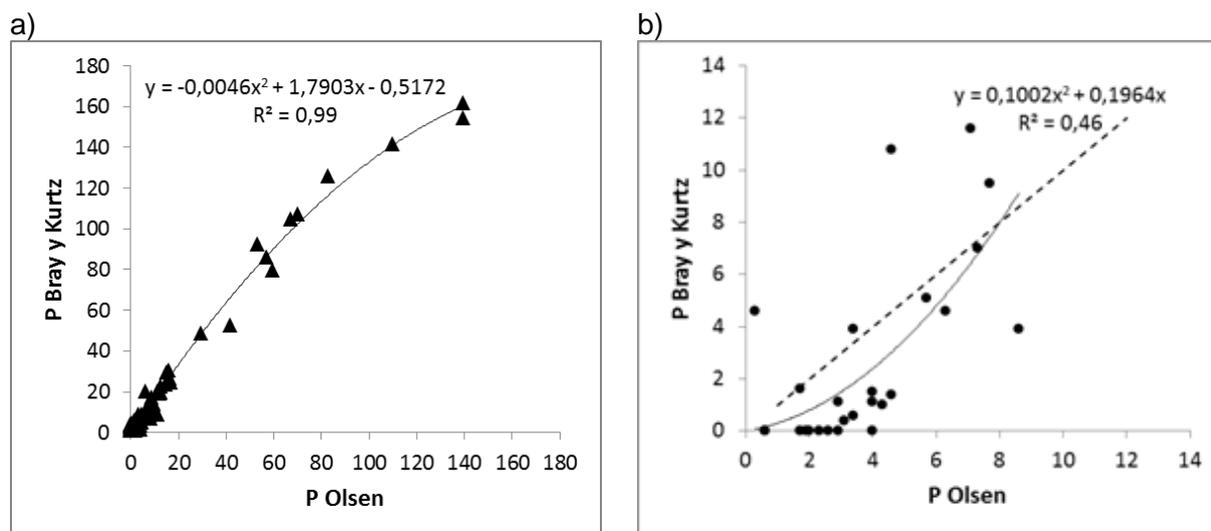
El contenido de P extraíble, mostró un comportamiento relativamente similar entre las técnicas de Bray y Kurtz N°1 y Olsen. Solamente en SG los valores de Olsen superaron ligeramente a los de Bray y Kurtz, coincidiendo con los mayores valores de pH y presencia de carbonatos de calcio en el subsuelo. Este hecho, que resultó determinante para la utilización del método alternativo, por una posible subestimación del contenido de P por el método de Bray y Kurtz, en realidad no afectó sensiblemente los resultados en un contexto

de bajos contenidos generales de P. Ambos métodos coinciden en cuanto al efecto del régimen de humedad dominando sobre la composición granulométrica de los sedimentos (údicos>ústicos). Sin embargo, en esta capa, P Olsen aumentó la estimación del P extraíble en SG, justificando el uso de este método.

Se calculó la relación entre ambos métodos de estimación de P disponible utilizados, y se detectó una mayor correlación cuando los valores de pH fueron inferiores a 7,4 ( $R^2=0,99$ ), que cuando superaron dicho valor. Esto indica que para los valores de pH más frecuentes de la zona de muestreo, ambos métodos tienen un comportamiento similar (Fig. 8 a). En cambio, cuando el  $pH>7,4$  el valor de  $R^2$  disminuye, indicando una mayor dispersión de los datos ( $R^2=0,46$ ) (Fig. 8 b) Zalba et al. (2002) encontraron que cuando el  $pH>7$ , el método de Olsen estima el 24% más de P que el método de Bray y Kurtz N°1, presentando una mayor variabilidad de los resultados. A su vez, detectaron que cuando el valor de P Bray es  $<10 \mu\text{g g}^{-1}$ , Olsen estimó entre 4 y  $5 \mu\text{g g}^{-1}$  más de P disponible. Los datos del presente estudio, muestran que P Olsen presenta mayor valor de P extraíble, sobre todo a medida que los valores de P Bray se reducen. Esto se evidencia por la mayor cantidad de puntos por debajo de la línea  $X=Y$ , representada con línea punteada. Esta misma tendencia fue confirmada por Zalba y Galantini (2007) para distintos suelos de la región.

#### 4.1.2.3 Fósforo orgánico e inorgánico

La interacción entre los factores manejo y suelo fue significativa para  $P_o$  en la profundidad 0-10 y no significativa para  $P_i$ . En cambio, en la capa 10-20 la interacción fue no significativa, aunque las características particulares de  $T_o$ , obligaron a realizar el análisis para cada suelo por separado. Todos los suelos mostraron mayor contenido de  $P_i$  que  $T_o$ , mientras que en el factor manejo se repitió la tendencia de P extraíble, donde los valores registrados en I superaron a M y A, en todos los suelos. Sin embargo, en la capa subsuperficial,  $T_o$  no mostró diferencias entre manejos (Tabla 15).



**Fig. 8.** Relación entre métodos de determinación de P extraíble ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Se incluyeron datos de los distintos suelos, manejos y profundidades. a) Valores de  $\text{pH} < 7,5$ ; b) Valores de  $\text{pH} > 7,5$ .

El contenido de  $P_o$  en la capa 0-10 cm, no mostró diferencias entre suelos. En la capa 10-20 cm se observaron diferencias, donde Ca presentó el menor valor relativo.

Desde el punto de vista del manejo, en la capa 0-10 se detectaron diferencias en el contenido de  $P_o$  en Ca, con valores mayores en I con respecto al manejo A, con M en posición intermedia, coincidiendo con la tendencia encontrada por Lobartini et al. (1998) en suelos similares. Sin embargo, las cantidades reportadas son menores que las halladas en este trabajo.

En la profundidad 10-20, los valores de  $P_o$  fueron inferiores en I con respecto a M y A en SG, CS y Ca. Esto es opuesto a los resultados encontrados por varios autores, que reportan una disminución del  $P_o$  inducida por la agricultura (Charter y Mattingly, 1980; Tiessen et al., 1982, Tate, 1984). Los valores hallados coinciden con los obtenidos por Minoldo et al. (2011), en *Haplustoles* del área de Bordenave, que registran valores de  $162 \mu\text{g g}^{-1}$  para lotes con alternancia Trigo-vicia y  $194 \mu\text{g g}^{-1}$  para Trigo-Pastura.

Urioste et al. (2002) encontraron mayores pérdidas de Po debidas a la actividad agropecuaria en suelos de textura gruesa con respecto a texturas más finas. Esto coincide con los resultados encontrados en Ca, aunque no ocurre lo mismo en To, posiblemente por los bajos contenidos originales de estos materiales.

**Tabla 15.** Concentración de P orgánico (Po) y P inorgánico (Pi) para distintos suelos, manejos y profundidades de muestreo.

Suelo	Manejo	Po	Pi	Po	Pi
		$\mu\text{g g}^{-1}$			
		0-10 cm	10-20 cm		
SG	A	219 ns	355	192 a	391 b
	M	213 ns	395	270 a	374 b
	I	209 ns	410	132 b	421 a
CS	A	138 ns	376	205 a	333 b
	M	318 ns	353	270 a	287 b
	I	171 ns	541	155 b	471 a
Ca	A	120 b	382	168,3 a	368 b
	M	162 ab	323	124 a	303 b
	I	242 a	433	73,3 b	561,3 a
To	A	172 ns	167	173 ns	150,7 ns
	M	204 ns	186	205,7 ns	181,7 ns
	I	189 ns	205	187,7 ns	176 ns
<b>Valor p S*M</b>		0,1398	0,6312	0,5487	0,483
<b>Medias Manejo</b>	A		320 b		
	M		314 b		
	I		397 a		
<b>Valor p Manejos</b>			0,061		
<b>Medias Suelo</b>	SG	213 NS	387 A	198 A	395 A
	CS	209 NS	423 A	210 A	364 A
	Ca	175 NS	379 A	122 B	411 A
	To	188 NS	186 B	189 A	169 B
<b>Valor p Suelos</b>		0,7425	<0,0001	0,0118	<0,0001

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos.

La fracción del P más disponible para el cultivo es generalmente la inorgánica (Pi), aunque la orgánica (Po) tiene un efecto indirecto ya que debe mineralizarse desde sus formas más

protegidas, hasta estar disponible para la nutrición vegetal (Stewart y Tiessen, 1987). Sin embargo, el  $P_o$  constituye una forma importante desde el punto de vista del reservorio, ya que una gran parte de la pérdida durante el cultivo proviene de la fracción orgánica (Tiessen et al., 1982; Bowman et al., 1991).

#### 4.1.2.4 Cantidad de $P_o$ y $P_i$

Cuando se consideran las cantidades de P ajustadas a MSE, se observa que las diferencias halladas en cada una de las capas, desaparecen en el caso de  $P_o$  y se acentúan en el caso de  $P_i$ , que muestra una disminución debida al uso agropecuario, ya que I contiene mayores cantidades que M y A, sin diferenciación estadística entre ellos (Tabla 16). En cuanto a  $P_i$ , tanto la concentración en ambas capas, como la cantidad calculada para MSE a la profundidad 0-20 cm, presenta menores valores en To con respecto a los demás suelos.

La correlación entre  $P_o$  y COT, como así también entre sus fracciones, no resultó significativa ( $p > 0,25$ ).

Suñer et al. (2008) encontraron dificultades en la determinación de  $P_o$  debidas, principalmente a la variabilidad espacial de las muestras y al procedimiento utilizado para su extracción. Por su parte, Frieser y Blaier (1988), encontraron que los cambios en el reservorio de  $P_o$  debidos a las actividades agropecuarias son pequeños en relación al tamaño total de la fuente y por ello recomiendan varios años de observaciones para detectarlos.

La suma de  $P_o + P_i$  puede considerarse una medida del reservorio de este nutriente en el suelo, aunque se ha probado la existencia de un pool que no logra ser detectado en los análisis comúnmente utilizados, llamado P ocluído. Los resultados del presente estudio muestran que existe interacción entre los factores suelo y manejo. El análisis del contenido medio de los suelos, posiciona a To con los menores valores relativos. En cuanto al manejo, sólo en Ca fue posible diferencias a favor del manejo I, con mayor reservorio de P que M y A.

**Tabla 16.** Cantidad de Po y Pi, para la capa 0-20 cm y ajustado a MSE, para distintos suelos y manejos.

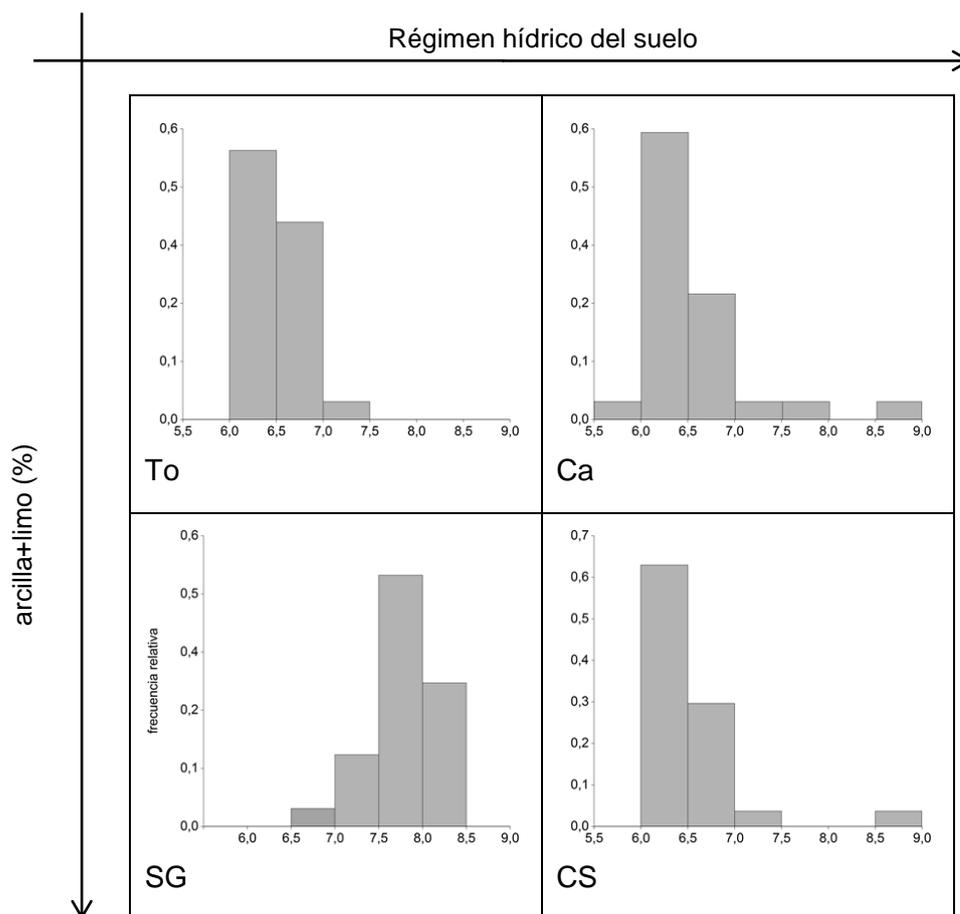
Suelo	Manejo	Po		Pi		Po+Pi
		0-20 cm	MSE	0-20 cm	MSE	MSE
kg ha <sup>-1</sup>						
SG	A	495	447	890	805	1252 ns
	M	598	514	949	833	1347 ns
	I	365	364	905	898	1262 ns
CS	A	399	367	812	770	1137 ns
	M	675	635	728	690	1325 ns
	I	347	348	1086	1088	1436 ns
Ca	A	391	299	1015	813	1112 b
	M	373	317	816	678	995 b
	I	360	348	1200	1060	1408 a
To	A	462	367	427	347	714 ns
	M	535	441	477	399	840 ns
	I	492	407	499	417	824 ns
<b>Valor p S*M</b>		0,3912	0,3802	0,5167	0,5605	0,1382
<b>Medias Manejo</b>	A	437 ab	370 ns	786 ns	684 b	
	M	545 a	477 ns	742 ns	650 b	
	I	391 b	367 ns	922 ns	866 a	
<b>Valor p Manejos</b>		0,0614	0,104	0,1142	0,0281	
<b>Medias Suelo</b>	SG	486 NS	441 NS	915 A	845 A	1287 A
	CS	473 NS	450 NS	875 A	849 A	1299 A
	Ca	375 NS	321 NS	1010 A	850 A	1172 A
	To	497 NS	405 NS	468 B	388 B	793 B
<b>Valor p Suelos</b>		0,142	0,0832	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). MSE: cantidad de COT ajustado a masa de suelo equivalente, 2160 Tn para SG y CS y 2400 Tn para Ca y To. Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos ( $\alpha=0,05$ ).

En resumen, para los suelos y manejos evaluados en el presente trabajo, Po ajustado a MSE no resultaría de utilidad para diferenciar manejos, mientras que la cantidad de Pi ajustado a MSE mostraría un efecto negativo del manejo agropecuario.

### 4.1.3 Reacción del suelo: pH

Se observaron diferencias en la distribución de los valores de pH, según la escala propuesta por Darwich (1989) (Fig. 9). Los rangos de mayor frecuencia en SG corresponden a suelos moderadamente a medianamente alcalinos (pH 7,5-8,5), mientras que CS, Ca y To presentan suelos ligera a moderadamente ácidos (pH 6-7).



**Fig. 9.** Histogramas de frecuencia relativa de pH para caracterización de suelos, incluyendo la totalidad de las muestras evaluadas. Tornquist (To), Carhué (Ca), San Germán (SG), Coronel Suárez (CS).

La Tabla 17, indica que este comportamiento se verificó en las tres capas analizadas (0-10, 10-20 y 40-50 cm).

**Tabla 17.** Resultados de pH del suelo en tres profundidades de muestreo.

Suelo	Manejo	pH		
		0-10 cm.	10-20 cm.	40-50 cm.
SG	A	7,51 ab	7,71 ns	8,04 ns
	M	7,81 b	7,96 ns	8,12 ns
	I	7,23 a	7,68 ns	8,10 ns
CS	A	6,39 ns	6,39 ns	6,66 ns
	M	6,35 ns	6,35 ns	6,81 ns
	I	6,24 ns	6,45 ns	7,31 ns
Ca	A	6,33 ns	6,29 ns	6,52 a
	M	6,31 ns	6,31 ns	6,49 a
	I	6,29 ns	6,52 ns	7,92 b
To	A	6,50 ns	6,52 ns	6,68 ns
	M	6,31 ns	6,41 ns	6,62 ns
	I	6,31 ns	6,69 ns	6,90 ns
<b>Valor p S*M</b>		0,136	0,146	0,152
<b>Medias Manejo</b>	A			
	M			
	I			
<b>Valor p Manejos</b>		0,2795		
<b>Medias Suelo</b>	SG	7,51 B	7,78 B	8,09 B
	CS	6,33 A	6,4 A	6,92 A
	Ca	6,31 A	6,37 A	6,98 A
	To	6,37 A	6,54 A	6,73 A
<b>Valor p Suelos</b>		<0,0001	<0,0001	<0,0001

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos.

Posiblemente la escasa profundidad del perfil en SG, limitado por el horizonte petrocálcico a 0,5 m, y el régimen hídrico ústico, han impedido el lavado de los carbonatos hacia capas más profundas del suelo. Buckman y Brady (1966), afirman que la profundidad de la capa petrocálcica será menor, cuanto menores sean las precipitaciones anuales. Como consecuencia, la superficie de estos suelos será alcalina o neutra y sus subsuelos, alcalinos. De los cuatro tipos de suelos evaluados, SG corresponde a la localidad con

menor precipitación anual, mientras que To se encuentra en una zona transicional a un régimen subhúmedo.

En cuanto al factor manejo, no se detectaron efectos consistentes. En la capa superficial de SG, el manejo I mostró valores menores que M, con A en posición intermedia. En la capa inferior de Ca (40-50 cm), I tuvo mayores valores que M y A.

Si se atiende a las tendencias observadas en los valores de pH de los diferentes suelos, se observa que en CS, Ca y To estos disminuyen en los manejos M y A respecto de I, dando pie a la hipótesis de acidificación por agricultura. Otra hipótesis válida para este fenómeno es la descalcificación registrada en lotes agrícolas, causada por los excesos hídricos que se producen en los períodos de barbecho y el consecuente lavado de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  hacia capas más profundas. El suelo de SG constituye un caso especial, donde el clima, sus características genéticas y las condiciones de manejo con escasa a nula fertilización, difícilmente posibiliten este fenómeno. A su vez, en dicha localidad, las escasas lluvias lavan ligeramente la capa superficial de I, mientras que en M y A las labores efectúan el mezclado de la capa superficial con la subsuperficial que presenta un mayor contenido de carbonatos, elevando el pH.

La bibliografía acerca del uso pH como indicador es variada, ya que algunos autores verifican acidificación debida al uso agrícola (Miglierina et al., 1995, 2000; Sanzano et al., 2005) y otros comprueban la falta de sensibilidad del mismo a las prácticas de manejo, incluyendo tipos de labranza (Krüger, 1996) e intensidad de cultivos (Bravo et al., 2010).

## 4.2 Parámetros físicos

### 4.2.1 Densidad aparente

En la Tabla 18 se detallan los resultados obtenidos para cada factor, en la capa 0-20 cm y su desagregación en capas con incrementos de 5 cm hasta los 20 cm de profundidad.

**Tabla 18.** Densidad aparente (Dap) por suelo y por manejo, para 4 profundidades.

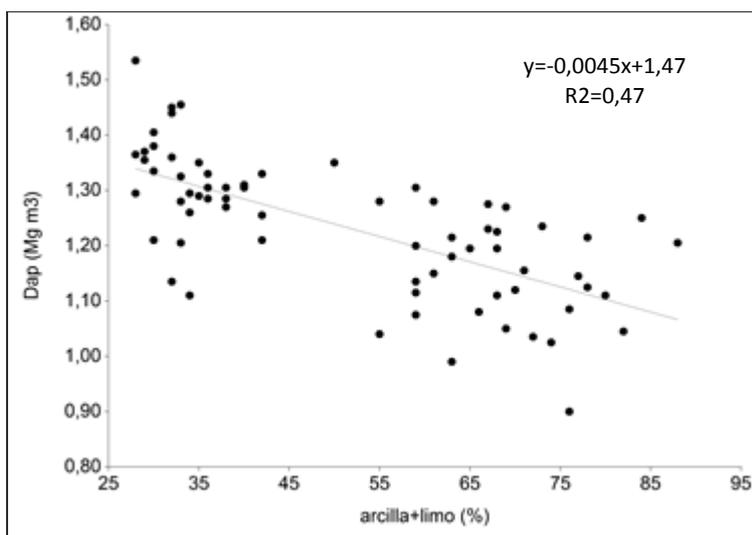
Suelo	Manejo	Dap				
		Mg m <sup>-3</sup>				
		0-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	15-20 cm
SG	A	1,20 b	1,08 b	1,18 ns	1,29 ab	1,23 b
	M	1,24 b	1,14 b	1,22 ns	1,31 b	1,26 b
	I	1,09 a	0,91 a	1,16 ns	1,18 a	1,11 a
CS	A	1,15 ns	1,04 ns	1,13 ns	1,19 ns	1,23 ns
	M	1,15 ns	1,02 ns	1,14 ns	1,22 ns	1,21 ns
	I	1,08 ns	0,91 ns	1,09 ns	1,12 ns	1,19 ns
Ca	A	1,35 b	1,25 b	1,37 b	1,40 b	1,40 ns
	M	1,31 b	1,23 b	1,29 b	1,33 b	1,38 ns
	I	1,20 a	0,99 a	1,17 a	1,28 a	1,33 ns
To	A	1,36 ns	1,28 ns	1,32 ns	1,39 ns	1,44 ns
	M	1,31 ns	1,22 ns	1,33 ns	1,32 ns	1,35 ns
	I	1,31 ns	1,20 ns	1,34 ns	1,33 ns	1,37 ns
Valor p S*M		0,2463	0,1959	0,3131	0,6677	0,3021
Medias Manejo	A					
	M					
	I					
Valor p Manejos						
Medias Suelo	SG	1,17 A	1,05 A	1,19 A	1,26 B	1,2 A
	CS	1,13 A	0,99 A	1,12 A	1,18 A	1,21 A
	Ca	1,29 B	1,16 B	1,28 B	1,34 C	1,37 B
	To	1,32 B	1,23 C	1,33 B	1,35 C	1,39 B
Valor p Suelos		<0,0001	0,0012	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos.

Los valores medios oscilan entre 0,91 y 1,44 Mg m<sup>-3</sup>, con coeficientes de variación menores al 10%. En todos los sitios y profundidades evaluadas, la Dap no sería limitante para el crecimiento radical, si se toman como referencia los límites críticos obtenidos por Veihmeyer y Hendrickson (1948), Zimmermam y Kardos (1961) y Griffith et al. (1986). Estos corresponden a valores de 1,75 a 1,80 Mg m<sup>-3</sup> para suelos arenosos y 1,40 a 1,50 Mg m<sup>-3</sup> para suelos arcillosos.

La interacción entre factores resultó significativa en todas las capas evaluadas, excepto en 10-15 cm. Para facilitar la interpretación, en todas las capas se realizó el análisis segregando por localidad. Los valores medios de la capa 0-20 cm, muestran diferencias entre suelos de textura contrastante, correspondiendo los mayores niveles de Dap a los suelos de textura más arenosa (Ca y To > SG y CS). Con ligeras diferencias en cuanto a significancia estadística, esta relación se mantiene en las capas individuales hasta los 20 cm de profundidad. Existe una relación negativa lineal y significativa entre Dap y contenido de arcilla+limo ( $p < 0,0001$ ;  $R^2 = 0,47$ ), que justifica estos resultados (Fig.10). Las variaciones en la Dap coinciden con la bibliografía que muestra menores valores para suelos arcillosos, en relación con los arenosos (Tam, 1996).

El manejo produjo efectos sobre la Dap de los suelos en SG y Ca, pero no en CS y To. En los primeros, I mostró menor Dap respecto de M y A, sin diferencias entre estos últimos. En SG los efectos se observaron en los valores medios de la capa 0-20 cm y en todas las subcapas excepto la de 5-10 cm. En Ca los efectos dejaron de ser significativos a los 15 cm de profundidad aunque se mantuvo una tendencia similar en 15 – 20 cm. CS no mostró efectos del manejo, pero sí tendencia a menores valores en I respecto de M y A, mientras que To mostró tendencia a menores valores en I y M respecto de A, excepto en la capa 5-10cm.



**Fig. 10.** Relación entre Dap ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) y contenido de arcilla+limo (%), para todos los suelos manejos y profundidades.

Alvarez et al. (2006), trabajando sobre *Argiudoles* de la Pampa Ondulada, encontraron menores Dap en suelos inalterados que en aquellos bajo cultivo, ya sea bajo SD o LC, sin diferencias entre ellos. La menor Dap de I, puede explicarse por escaso o nulo tránsito agrícola y/o pisoteo animal. La presencia de vegetación espontánea, la ausencia de labranzas y altos niveles de CO aseguran una estructura bien desarrollada y un abundante crecimiento de raíces que explican los bajos valores de Dap. Sin embargo, los escasos datos de historia de manejo disponibles (Anexo, Tabla 22) permiten deducir la presencia de animales sobre suelos identificados como I, hecho que puede justificar la falta de diferencias en la capa 5-10 cm de los suelos (SG, CS, To). El pisoteo animal ha sido relacionado con incrementos de la resistencia a la penetración en las capas 5-7,5 cm (Hamza y Anderson, 2005) y 2,5-7,5 cm (Krüger et al., 2008).

Pilatti y Orellana (2000) proponen el cálculo de una Dap crítica para el crecimiento de los cultivos en los suelos pampeanos, a partir del contenido de arcilla (Pág. 25). La estimación de este valor crítico permitió calcular la diferencia respecto del valor observado, que se

denominó Margen Dap ( $\text{Mg m}^{-3}$ ). Cuanto mayor el valor, el suelo está menos compactado y más lejos de su límite crítico.

Los resultados indican que en las capas 0-5 y 5-10 cm, los suelos de To se encuentran más cercanos a su límite de compactación (Tabla 19). En este sentido se observó una tendencia a que suelos de texturas más arenosas, tengan menores márgenes de Dap, es decir que se encuentran en un estado de mayor compactación que los suelos de textura más franca.

Entre los 10-15 cm no se observaron efectos de suelo. En la capa subsiguiente (15-20 cm) varía ligeramente el orden entre los suelos, con el siguiente orden decreciente  $\text{SG} \geq \text{CS} \geq \text{Ca} \geq \text{To}$ . De la observación directa de los datos, se denota un aumento de la compactación con la profundidad, evidenciada por la disminución de los valores de Margen Dap en todos los suelos y manejos. El aumento de la Dap con la profundidad es una característica presente en todos los suelos y una de las principales causas, es el peso de las capas superiores (Buckman y Brady, 1966).

En todos los suelos y profundidades (excepto To) se observa que los valores de Margen Dap son mayores en el manejo I con respecto a M y A, es decir que se encuentra menos compactado.

En algunos casos la Dap actual resultó mayor que el valor crítico, correspondiendo principalmente a las capas 5-10 y 10-15 cm, con predominio de manejos M y A. Este margen pareciera ser independiente del sistema de labranza, ya que contempla lotes bajo SD y LC en proporciones similares. La mayoría de los casos cuya Dap actual es superior a la Dap crítica (especialmente en la capa 5-10 cm.), corresponden a lotes con largas historias de pastoreo y con escasas labores mecánicas (considerados campos naturales o bien a lotes con historia de labranzas actuales o antiguas). Esta capa suele ser la más afectada por pisos de labranza correspondientes a herramientas de discos (arado-rastra y rastra de discos pesada), muy comunes en la región previo a la difusión creciente del sistema de siembra directa.

**Tabla 19.** Valores de Margen Dap ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) para distintos suelos, manejos y profundidades de muestreo.

Suelo	Manejo	Margen DAP			
		$\text{Mg m}^{-3}$			
		0-5 cm.	5-10 cm.	10-15 cm	15-20 cm.
SG	A	0,24 b	0,14 b	0,01 b	0,07 b
	M	0,18 b	0,10 b	0,00 b	0,05 b
	I	0,44 a	0,19 a	0,15 a	0,22 a
CS	A	0,28 b	0,18 b	0,08 b	0,04 b
	M	0,29 b	0,17 b	0,04 b	0,05 b
	I	0,43 a	0,24 a	0,18 a	0,11 a
Ca	A	0,15 b	0,03 b	0,00 b	0,00 b
	M	0,18 b	0,11 b	0,08 b	0,02 b
	I	0,43 a	0,24 a	0,12 a	0,07 a
To	A	0,10 ns	0,06 ns	-0,02 ns	-0,07 ns
	M	0,15 ns	0,04 ns	0,06 ns	0,02 ns
	I	0,17 ns	0,03 ns	0,04 ns	0,01 ns
<b>Valor p S*M</b>		0,3797	0,1563	0,2488	0,1275
<b>Medias Manejo</b>	A				
	M				
	I				
<b>Valor p Manejos</b>					
<b>Medias Suelo</b>	SG	0,28 A	0,14 A	0,05 NS	0,12 A
	CS	0,33 A	0,20 A	0,10 NS	0,07 AB
	Ca	0,25 AB	0,13 A	0,07 NS	0,03 BC
	To	0,14 B	0,04 B	0,03 NS	-0,02 C
<b>Valor p Suelos</b>		0,0256	0,0033	0,3178	0,002

Margen Dap ( $\text{Mg m}^{-3}$ ): Dap crítica ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) -Dap actual ( $\text{Mg m}^{-3}$ ). Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos.

#### 4.2.2 Test Proctor

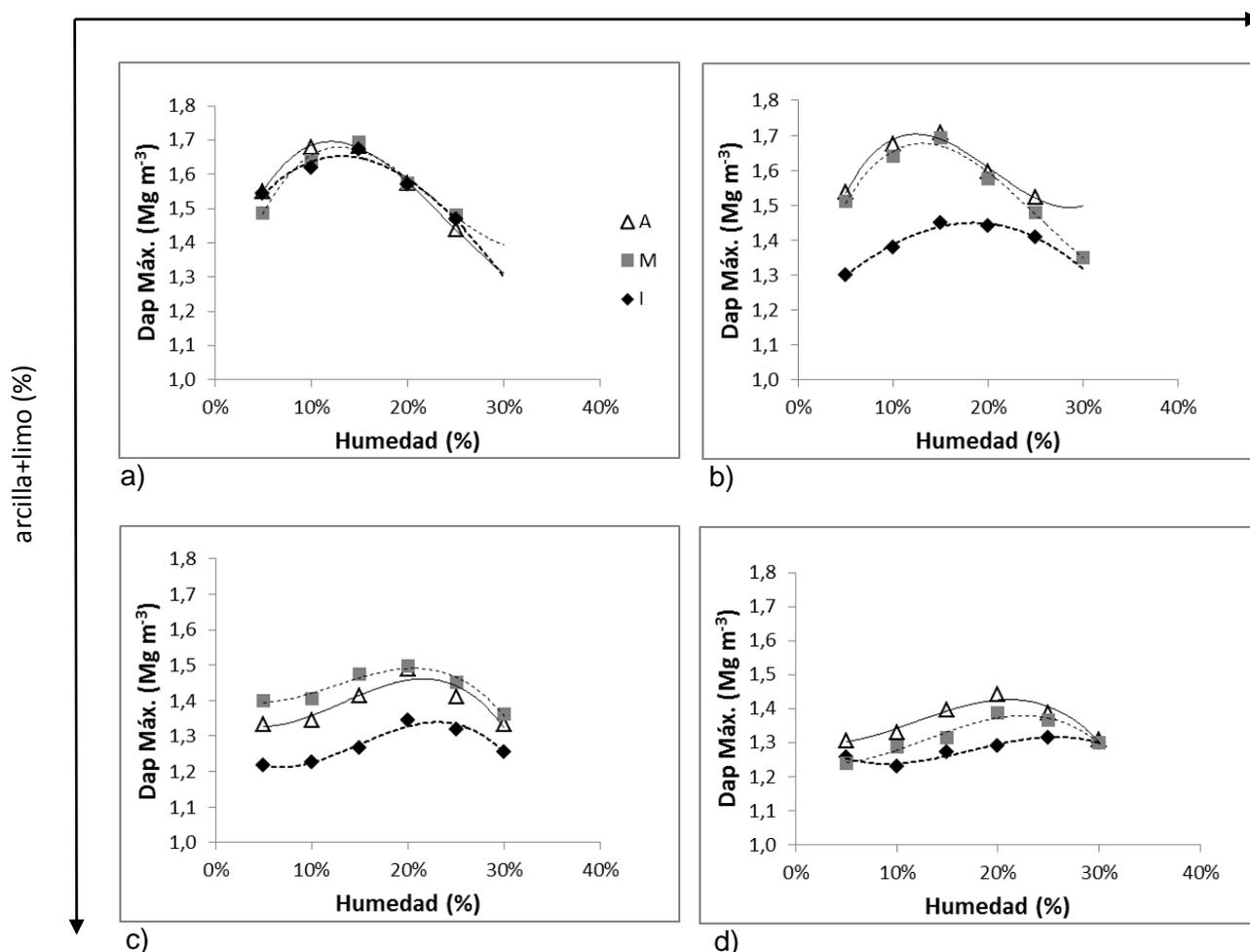
En la Tabla 20 se muestran los valores de Densidad aparente máxima (Dap Máx.) obtenidos mediante el Test Proctor. Siguiendo la misma relación con la composición granulométrica discutida para Dap, los valores de Dap Máx. diferenciaron los suelos en función de su

textura. Los mayores valores correspondieron a los suelos arenosos (Ca y To), en contraposición con los de mayor contenido de arcilla (SG y CS). Daddow y Warrington (1983) comprobaron una relación negativa entre el contenido de arcilla+limo y la Dap crítica para el crecimiento de un cultivo. El factor manejo presentó resultados variables, debido a la interacción significativa con el factor suelo. Los suelos de régimen údico mostraron menor Dap Máxima en I, que en M y A. En el caso de CS, se diferenció I de A, con M en posición intermedia (Fig. 11). Ca sólo diferenció I de M y A. En los suelos de régimen ústico las tendencias fueron similares, con menores valores en I, pero sin efectos significativos.

El Test Proctor ha sido utilizado como indicador de la susceptibilidad y el estado de compactación de los horizontes edáficos (Andriulo et al., 1990b). Krüger (1996) observó menores Dap Máx. en SD respecto de otros sistemas con labranza. Thomas (1996) relacionó este comportamiento con un mayor contenido de COT. Se observaron correlaciones entre Dap Máx. y arcilla+limo ( $p < 0,0001$ ;  $R^2 = 0,75$ ) y entre Dap Máx. y COT ( $p < 0,0001$ ;  $R^2 = 0,82$ ). Quiroga et al. (1999) determinaron que es necesario aumentar 2,9 g [Aquí debería decir 2,9 g kg<sup>-1</sup> suelo el CO del suelo](#) [Quiroga et al. 1999a](#)  $\text{kg}^{-1}$  suelo la MO del suelo para disminuir en 0,06 la Dap Máx.

Esta sensibilidad de la Dap Máx. a cambios en contenidos de COT también fue registrada por Davidson et al. (1967). Esta relación se explica porque las partículas finas del suelo favorecen la formación de complejos órgano-minerales y de poros de menor tamaño, que son inaccesibles para los microorganismos, reduciendo las tasas de mineralización. A su vez, los suelos de textura fina, tienen mayor capacidad de retención hídrica en el perfil que los suelos con mayor contenido de arena, por lo cual, las probabilidades de obtener mayores rendimientos son mayores y el aporte de biomasa, vía raíces o residuos, sería también mayor (Hassink, 1997). Así, el mayor contenido de COT en suelos con mayor contenido de arcilla+limo, resulta de un balance más positivo entre las entradas y las salidas y ello repercute en un mejor estado de agregación del suelo, que se traduce en menores valores Dap Máx.

## Régimen hídrico del suelo



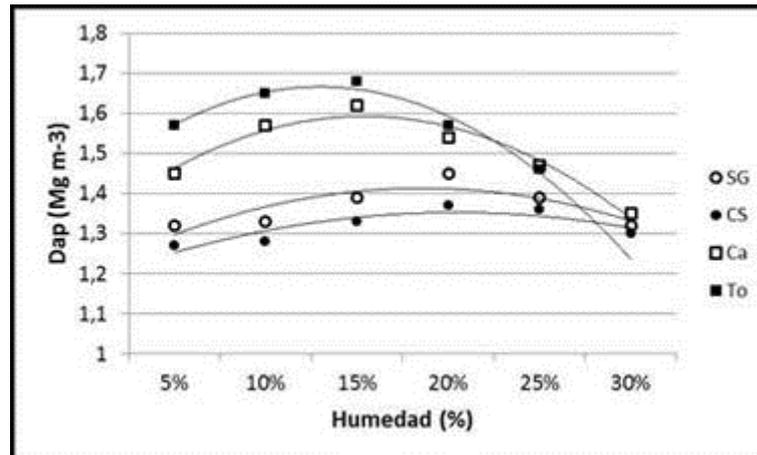
**Fig. 11.** Curvas Proctor para los distintos suelos evaluados, bajo tres manejos diferentes: Agresivo (A), Moderado (M) e Inalterado (I). a) Tornquist; b) Carhué, c) San Germán, d) Coronel Suárez. Cada punto de la curva es el promedio de tres repeticiones.

Otro dato emergente del Test Proctor es el Contenido Hídrico Crítico (CHC), que se define como el contenido de humedad del suelo al cual se alcanza la Dap Máx. El análisis estadístico de esta variable, mostró que para SG, CS y Ca, el manejo I presentó mayores valores de CHC que M y A ( $p < 0,01$ ). En contrapartida y acorde a los resultados de Dap Máx., el efecto del manejo en To no resultó significativo ( $p = 0,79$ ). En la Fig. 12, se pueden observar las curvas obtenidas para los distintos suelos evaluados.

El hecho que I tenga mayores valores de CHC, se relaciona con su mayor contenido de COT, con los beneficios que ello implica, principalmente la mayor retención de humedad y la

mejora en la estructura. Efectos similares del COT sobre la susceptibilidad a la compactación fueron encontrados por Grosso y Díaz Zorita (2000), trabajando sobre suelos de una amplia zona, incluyendo diversas texturas y condiciones ambientales.

Estos resultados coinciden con los hallados por Krüger (1996), quien encontró en *Haplustoles* de la zona semiárida bonaerense, valores de Dap. Máx. de 1,73 a 1,75 Mg m<sup>-3</sup>.



**Fig. 12.** Curvas correspondientes al ensayo Proctor, presentado como promedio de los manejos para cada uno de los suelos. San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca) y Tornquist (To).

**Tabla 20.** Resultados determinaciones físicas: Estabilidad Estructural por el Método de Le Bissonnais (DMP<sub>LB</sub>) y por el Método de De Boodt y De Leenher (CDMP), Fracción Erodable (FE), Dap Máxima (Dap Máx.) y Contenido Hídrico Crítico (CHC), para distintos suelos y manejos.

Suelo	Manejo	DMP <sub>LB</sub>	DMP <sub>LB1</sub>	DMP <sub>LB2</sub>	DMP <sub>LB3</sub>	CDMP	FE	Dap Máx.	CHC
		-----mm-----					%	Mg m <sup>-3</sup>	%
SG	A	1,7	0,69	2,88	1,53 c	0,82	49,9	1,46 ns	21,6 a
	M	2,06	1,04	2,95	2,18 b	0,77	30,6	1,49 ns	20,6 a
	I	2,85	2,46	3,37	2,72 a	0,31	44,1	1,35 ns	23,3 b
CS	A	1,59	0,57	2,78	1,42 c	0,88	38,0	1,43 b	21 a
	M	1,92	0,89	2,88	2,00 b	0,63	28,5	1,38 ab	21,7 a
	I	2,6	1,97	3,35	2,48 a	0,39	26,2	1,33 a	28,1 b
Ca	A	1,04	0,72	1,55	0,83 b	0,92	78,7	1,71 b	12,8 a
	M	1,18	0,86	1,92	0,77 b	0,89	71,9	1,68 b	13,2 a
	I	2,07	1,97	2,67	1,58 a	0,54	68,1	1,46 a	19,6 b
To	A	1,03	0,52	2,07	0,52 b	1,17	58,5	1,71 ns	12,5 ns
	M	0,97	0,45	1,93	0,52 b	1,19	59,4	1,72 ns	13,4 ns
	I	1,65	1,29	2,47	1,18 a	0,61	51,4	1,66 ns	13,5 ns
<b>Valor p S*M</b>		0,5315	0,3689	0,7487	0,1298	0,9336	0,5535	0,1397	0,2763
<b>Medias Manejo</b>	A	1,34 b	0,63 b	2,32 b		0,95 b	56,3 ns		
	M	1,53 b	0,81 b	2,42 b		0,87 b	47,6 ns		
	I	2,29 a	1,92 a	2,96 a		0,46 a	47,5 ns		
<b>Valor p Manejos</b>		<0,0001	<0,0001	0,0008		0,0004	0,0632		0,0014
<b>Medias Suelo</b>	SG	2,2 A	1,4 A	3,07 A	2,14 A	0,63 B	41,54 B	1,43 A	21,8 B
	CS	2,04 A	1,14 A	3,01 A	1,97 A	0,63 B	30,89 A	1,38 A	23,6 B
	Ca	1,43 B	1,18 A	2,04 B	1,06 B	0,78 AB	72,91 D	1,62 B	15,2 A
	To	1,22 B	0,75 B	2,16 B	0,74 B	0,99 A	56,44 C	1,7 B	13,1 A
<b>Valor p Suelos</b>		<0,0001	0,0049	<0,0001	<0,0001	0,0315	<0,0001	<0,0001	<0,0001

LB1: humedecimiento rápido, LB2: humedecimiento lento, LB3: disgregación mecánica por agitación después de humedecimiento lento. Suelos: San Germán (SG), Coronel Suárez (CS), Carhué (Ca), Tornquist (To). Manejos: Agresivo (A), Moderado (M), Inalterado (I). Letras mayúsculas iguales en la misma columna, no evidencian diferencias significativas entre Suelos (promedios sobre los Manejos). Letras minúsculas iguales en la misma profundidad y suelo, no evidencian diferencias significativas entre Manejos.

### **4.2.3 Estabilidad estructural**

La Estabilidad Estructural (EE), evaluada tanto por el método de Le Bissonais en base al Diámetro Medio Ponderado ( $DMP_{LB}$ ) como por el índice desarrollado por De Leenheer y De Boodt, en base al Cambio del Diámetro Medio Ponderado (CDMP), diferenció los suelos en función de su composición granulométrica (Tabla 20): SG y CS, con mayores contenidos de arcilla+limo, presentaron mayor estabilidad estructural, es decir mayores valores de  $DMP_{LB}$  y menores valores de CDMP, que Ca y To ( $DMP_{LB}$ ) y que To (CDMP) con Ca en posición intermedia. De acuerdo con la clasificación propuesta por el método de Le Bissonais, en función del DMP medio para los tres pretratamientos, los suelos correspondientes a SG y CS serían muy estables ( $DMP > 2\text{mm}$ ), Ca estable (1,3 – 2 mm), y To medianamente estable (0,8 – 1,3 mm).

Según los resultados obtenidos para cada pretratamiento los suelos serían, en general, más vulnerables al humedecimiento rápido (Pretratamiento 1), que a los restantes mecanismos de desagregación, resultando todos los suelos más estables que To. Merece destacarse, sin embargo, que Ca y To resultaron igualmente afectados por la desagregación mecánica debida al impacto de las gotas de lluvia (Pretratamiento 3). Esto implica que, si se hace abstracción del efecto del humedecimiento repentino, Ca y To aún siguen siendo vulnerables al impacto de las gotas de lluvia por la menor cohesión entre sus elementos texturales (Le Bissonais & Le Souder, 1995; Le Bissonais, 1996). Es posible que la interacción entre su composición granulométrica y su contenido de CO explique parte de este comportamiento en relación con los suelos arcillosos (CS y SG). Amézketa (1999) encontró que los resultados de los tres pretratamientos de la técnica de Le Bissonais dan resultados muy similares cuando se trata de suelos muy estables o muy inestables, concluyendo que su comportamiento es casi independiente de las condiciones externas.

Existen reportes de la gran influencia que ejerce el contenido de COT del suelo en la Estabilidad Estructural (Quiroga et al., 1998; Eiza et al. 2006), medida como CDMP. En el caso del presente trabajo, se obtuvieron relaciones logarítmicas significativas entre CDMP y

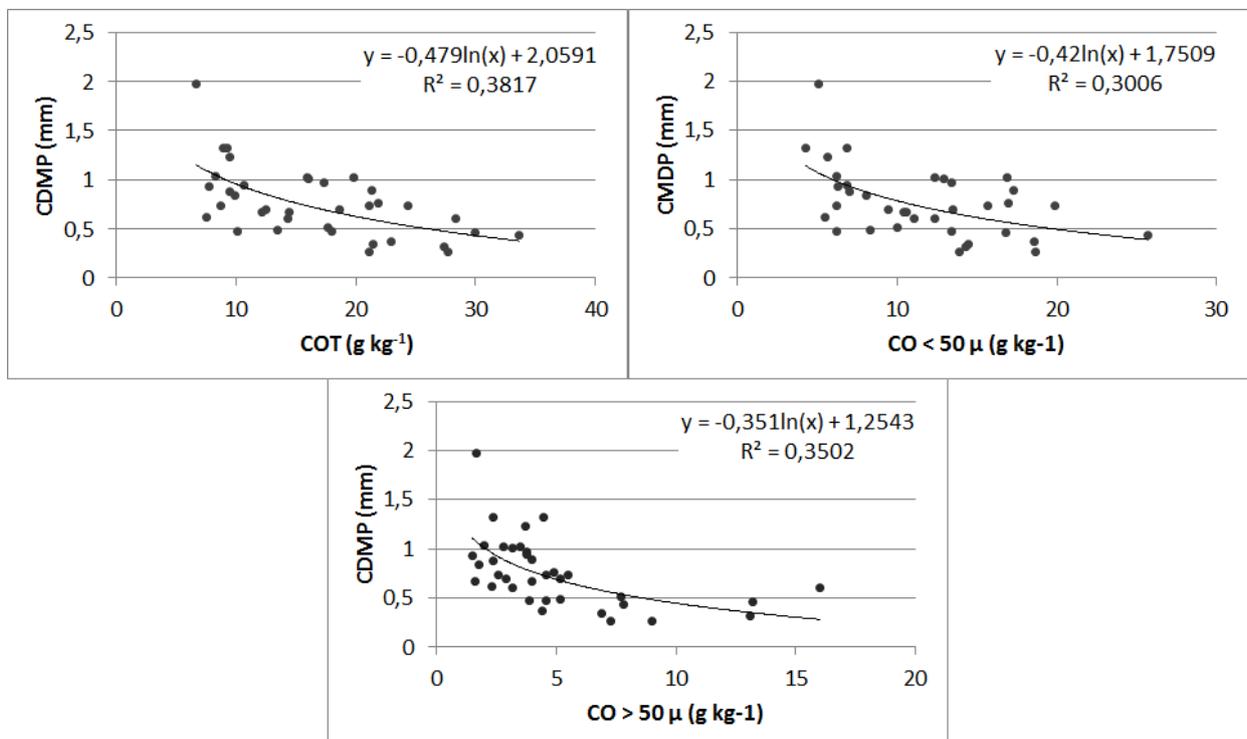
COT,  $CO_{>50 \mu m}$  (COP fino y grueso), y  $CO_{<50 \mu m}$  (COM). Estas relaciones fueron similares a las encontradas por Alvarez et al. (2006). La escasa diferenciación en el comportamiento de las fracciones del CO indicaría que ambas son importantes en los procesos de cementación de los agregados (Fig. 13).

Rudolph et al. (1997) observaron que el "slaking" debido al escape de aire y al rápido humedecimiento del suelo fue responsable de una menor estabilidad del microrelieve superficial en suelos inicialmente secos respecto de aquellos previamente hidratados. Según Chan y Mullins (1994), el slaking es un proceso de fragmentación que ocurre cuando agregados del suelo son súbitamente sumergidos o puestos en contacto con agua. Ocurre porque los agregados no son lo suficientemente fuertes como para resistir el estrés causado por la rápida absorción de agua. Este estrés puede ser producido por hinchamiento diferencial, compresión por el aire atrapado, liberación de calor de humedecimiento, y por la acción mecánica del agua en movimiento. El hinchamiento es más importante para suelos arcillosos, mientras que el aire atrapado lo es para los francos (Chan & Mullins, 1994).

El factor manejo, determinó que I siempre mostrara mayor estabilidad estructural que M y A. Sin embargo el Pretratamiento 3 de Le Bissonnais fue el indicador que separó los manejos M y A en los suelos correspondientes al régimen údico (SG y CS).

Disminuciones de la EE debidas al uso del suelo también fueron reportadas por varios autores (Krüger, 1991; Loewy y López, 1994). En investigaciones sobre *Calciustoles* de textura Franco Arenosa, Villamil et al. (1997) reportaron que la EE de lotes bajo producción ganadera fue menor que la hallada en lotes de referencia, como así también se registraron aumentos en la Dap y disminuciones en la Porosidad Total debidas al uso pecuario. Mon et al. (1986) hallaron que la EE de lotes bajo pastura no difirió de lotes bajo el manejo trigo-campo natural, pero que ambas fueron mayores que trigo continuo. Ello se debe a la disminución de la frecuencia de labranzas y a una menor oxidación de la MO remanente del cultivo.

Los valores de CDMP medidos en el presente estudio, resultan menores que los medidos por Silenzi et al. (1987), quienes en suelos de textura Arena Franca, observaron valores de 1,36 a 1,58 mm en suelos no disturbados. Dicha diferencia se explica por el menor contenido de CO de aquellos suelos y a la textura más gruesa de los mismos. Por otra parte, los valores hallados para los lotes Inalterados de SG y CS, coinciden con los publicados por Alvarez et al. (2006) para *Argiudoles* y *Hapludoles* de la Pampa ondulada, aunque el CDMP para los suelos laboreados resultó menor que los obtenidos en este estudio, siendo de 0,7 mm para suelos bajo LC y 0,5 mm para SD.



**Fig. 13.** Relación entre el cambio del diámetro medio ponderado (CDMP) y el contenido de COT y sus fracciones.  $CO > 50 \mu$  (COPg+COPf) y  $CO < 50 \mu$  (COM).

Si los datos de CDMP son referidos al CDMP del suelo inalterado se obtiene un Índice de Estabilidad Estructural (IEE, %). Cuanto más cercano a 100%, más conservada se encuentra la estructura del suelo con respecto a la situación de referencia.

Para los datos del presente estudio, tanto la interacción como el efecto de los factores suelo y manejo fueron no significativos ( $p=0,45$ ,  $p=0,37$  y  $p=0,60$ , respectivamente). En el manejo M el IEE% promedio fue de 57,2%, mientras que en A fue de 52,8%. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Sanzano et al. (2005), quienes encontraron relación entre el IEE y el manejo del suelo, con valores que oscilaron entre el 52 y 31% para monocultivo de soja bajo SD y LC, respectivamente. Sin embargo, coinciden con los hallados por Gudelj y Masiero (2000) en suelos de textura franco limosa de Marcos Juárez.

Este índice no muestra relaciones significativas con la concentración de COT, ni sus fracciones (COT  $p= 0,4733$ ; COPg  $p=0,3500$ ; COPf  $p= 0,8435$ ; COM  $p=0,5376$ ). Aparicio y Costa (2007), encontraron similares resultados en *Argiudoles* del SE de la Provincia de Buenos Aires, donde dicha relación fue no significativa, probablemente, debido al alto contenido de COT de los mismos, considerados como superiores al umbral necesario para una buena agregación.

Los valores de EE, obtenidos por Gabioud et al. (2011) utilizando la técnica Le Bissonnais sobre *Molisoles*, fueron similares a los registrados en SG y CS, pero superiores a los medidos en Ca y To. Ambos estudios coinciden en distinguir situaciones de manejo I de lotes con diferentes intensidades de uso agropecuario, aunque el índice no resulta adecuado para separar entre éstos últimos.

En base a los datos de CDMP, se particionó el análisis para tamaños de agregados de mayor y menor tamaño (Pág. 24): CDM> y CDM<.

En análisis correspondiente a CDM>, la interacción entre los factores Suelo y Manejo resultó no significativa ( $p=0,5377$ ). En cuanto al efecto del suelo, se detectó mayor cambio en los suelos con mayor contenido de arcilla y COT (SG y CS) respecto a los de mayor contenido de arena (Ca y To).

El efecto del manejo, se evidenció por un menor valor de  $CDM_{>}$  en I con respecto a M y A, indicando que en el manejo I, los agregados de mayor tamaño son más resistentes a la ruptura ante distintos disturbios.

En el caso del análisis correspondiente al  $CDM_{<}$ , se detectó interacción entre los factores evaluados ( $p=0,0016$ ). De esta forma se detectaron diferencias significativas por efecto de manejo en los suelos ústicos ( $p<0,002$ ), con menores valores de  $CDM_{<}$  para I con respecto a M y A.

En cuanto a los údicos, sólo en CS se detectó efecto de manejo, donde M y I, presentaron menores valores de  $CDM_{<}$  que A.

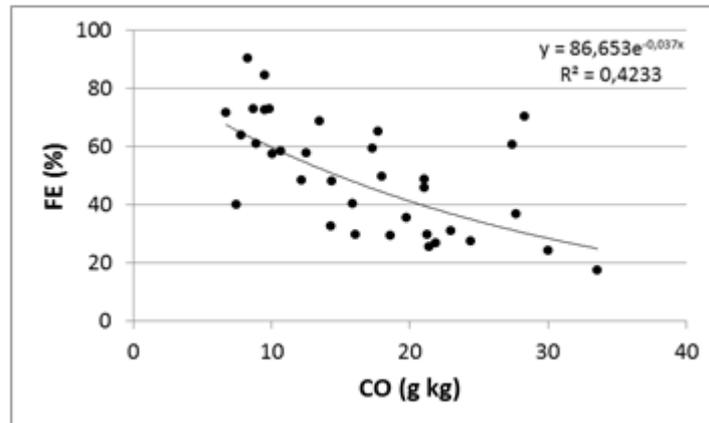
Por lo expuesto, se concluye que la EE, medida por ambos métodos, logró diferenciar los lotes con escaso disturbio, respecto a aquellos con manejo agropecuario. Estas diferencias están relacionadas principalmente al contenido de COT, ya que dentro de cada suelo evaluado, las diferencias granulométricas fueron pequeñas.

#### **4.2.4 Fracción Erodable**

La Fracción Erodable (FE) fue diferente en los cuatro suelos evaluados, en el siguiente orden creciente:  $CS<SG<To<Ca$  (Tabla 20). Este orden se explica por el diferente contenido de partículas finas en cada uno de los suelos evaluados. Se halló una relación negativa y significativa entre FE y el contenido de arcilla+limo ( $p<0,0001$ ;  $R^2= 0,68$ ), con un coeficiente de determinación mayor al hallado por Bravo y Silenzi (2000) en suelos de textura franco arenosa, en el partido de Coronel Dorrego. Colazo y Buschiazzo (2010), en estudios sobre *Haplustoles* del Este de La Pampa, también corroboraron la existencia de una estrecha relación entre FE y contenido de arcilla.

El manejo no produjo efectos significativos sobre la FE. Aun así, se puede apreciar que los valores de FE aumentan con la intensidad de uso de los suelos. En ese sentido, existe una relación negativa significativa ( $p=0,0001$ ) entre FE y el nivel de COT del suelo (Fig. 14). SG conforma una excepción, ya que M muestra tendencia a mostrar mayor valor promedio de

FE que I, aún con valores menores de COT, posiblemente porque en el presente muestreo, los manejos M consistieron en lotes con baja frecuencia de labores mecánicas, largos períodos de descanso y excelente cobertura de pajonales espontáneos, que pese a su baja calidad forrajera habrían colaborado en la formación de agregados estables y en la disminución del impacto del viento en la superficie edáfica.



**Fig. 14.** Relación entre la Fracción Erodable (FE) y el contenido de Carbono Orgánico Total (COT), para todos los suelos y manejos evaluados.

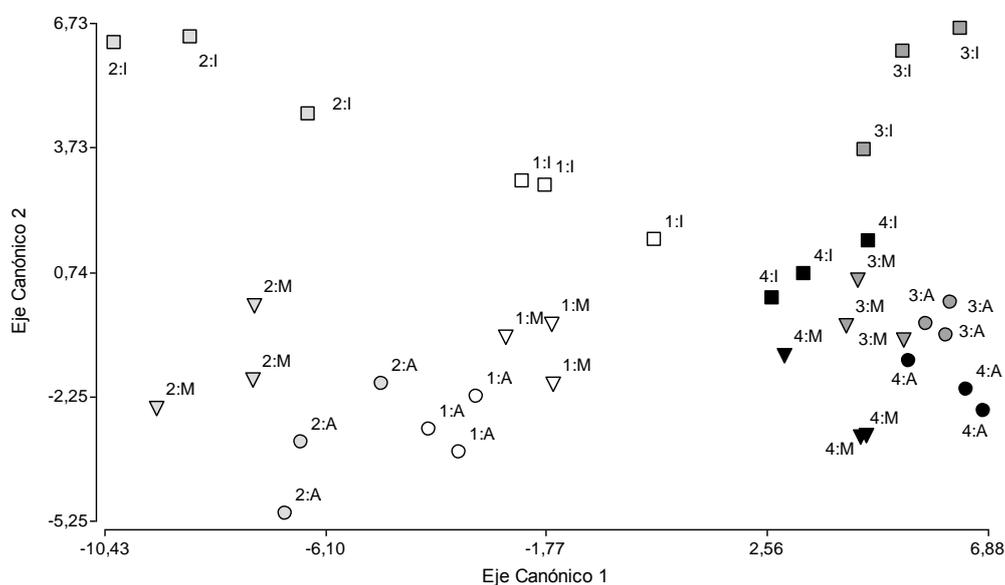
Estos resultados concuerdan con López et al. (2007), quienes trabajando sobre suelos de la Pampa Semiárida Central, encontraron que el contenido de materia orgánica del suelo y el cociente arena/arcilla, fueron las variables que explicaron más del 93% de la variabilidad de la FE ( $p < 0,001$ ). Colazo y Buschiazzo (2010) encontraron que FE es sensible al manejo solamente en suelos de texturas intermedias (entre 21,5 y 50% de arcilla+limo).

Bravo y Silenzi (2000), sobre *Paleustoles petrocálcicos*, hallaron valores de FE entre 26 y 35%, para un lote inalterado y trigo continuo bajo labranza convencional de 15 años de antigüedad. Sin embargo, Hevia et. al (2007) en *Haplustoles énticos* de La Pampa, encontraron una mayor variabilidad en FE, hallando valores contrastantes entre lotes bajo SD (20,4%) y bajo LC (49,2%).

En vista de los resultados obtenidos y bajo las condiciones del presente estudio, la FE no sería un indicador válido de calidad de suelo, aunque la tendencia de mayores valores en el manejo A, podría alentar un muestreo con mayor número de repeticiones en cada tipo de suelo en particular.

### 4.3 Análisis Multivariado: asociación de tratamientos y relación entre variables

El análisis discriminante lineal que se muestra (Fig. 15) para las determinaciones realizadas en la primera profundidad (0-10 cm), reagrupó la variabilidad de la información y calificó a los parámetros evaluados según su capacidad para agrupar tratamientos de acuerdo a los factores suelo y manejo. Diferenció los suelos de SG y CS, respecto de Ca y To por medio del índice estructural (IE) calculado para COM, COPg y COT (el 1<sup>er</sup> eje representa la primera función discriminante y reunió el 59 % de la variabilidad) y en menor grado por el contenido de COT y el IE para COPg y COT que permitieron segregar los manejos I respecto a los M y A (el 2<sup>do</sup> eje representa la segunda función discriminante y reunió el 18 % de la variabilidad).



**Fig. 15.** Análisis discriminante canónico de los tratamientos para la profundidad 0-10 cm. n=3. Suelos: San Germán (1, color blanco), Coronel Suárez (2, color gris claro), Carhué (3, color gris oscuro), Tornquist (4, color negro). Manejos: Agresivo (A y círculos), Moderado (M y triángulos), Inalterado (I y cuadrados).

El mismo análisis se realizó para la capa subsuperficial (10-20 cm) con un menor grupo de determinaciones existentes, observándose igual tendencia, aunque con menor potencia para segregar los suelos de Ca y To, y los manejos respectivos en cada caso. Las determinaciones que mostraron mayor capacidad de reagrupamiento fueron el contenido de COT, COM y el IE calculado para COT (IE COT). Para esta profundidad el 1<sup>er</sup> y 2<sup>do</sup> eje reunieron el 86 y el 7 % de la variabilidad existente, respectivamente.

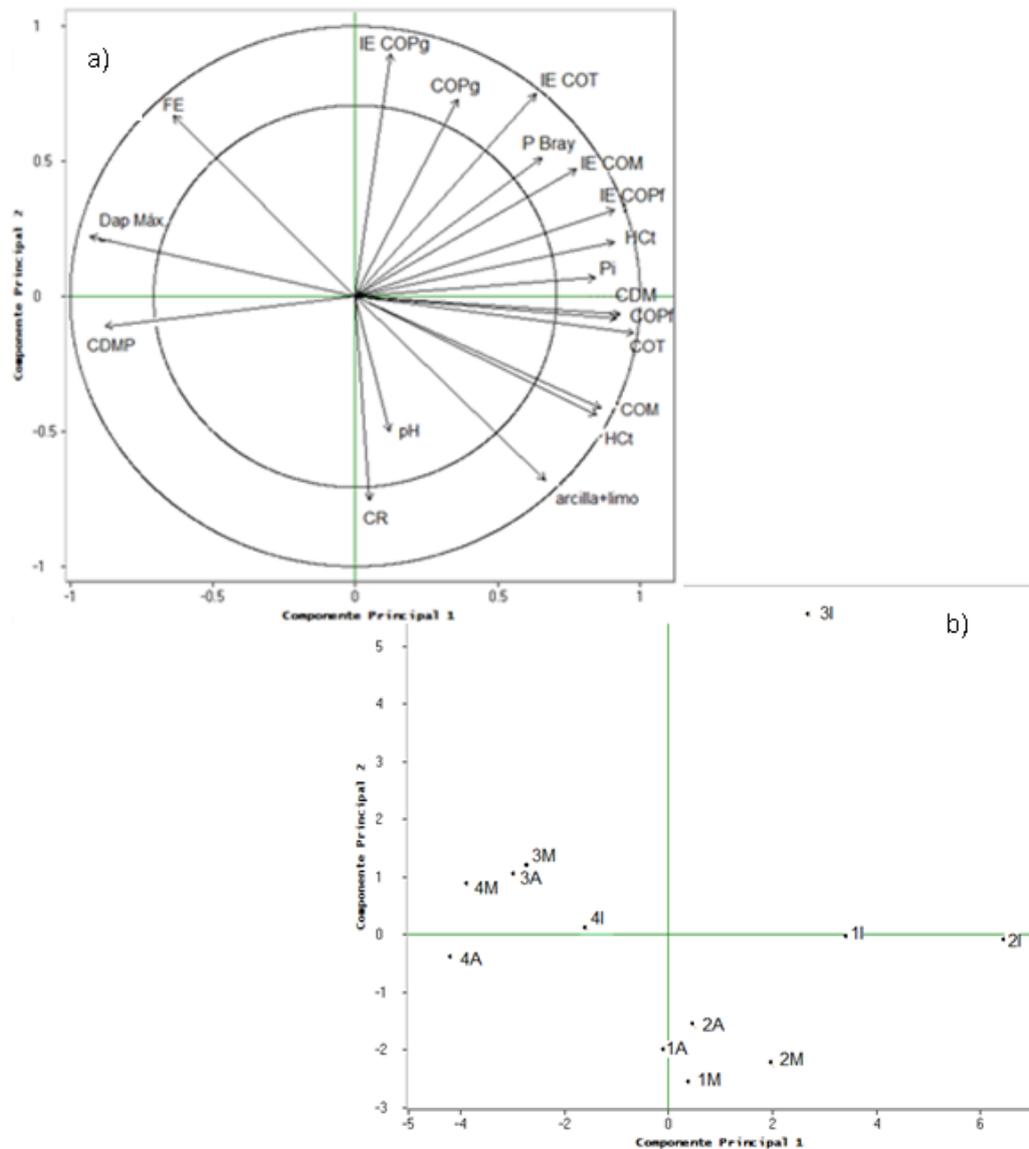
En la Tabla 21 se presentan para ambas profundidades los valores estandarizados de acuerdo a su variabilidad que permiten formular las funciones discriminantes canónicas, calificando la importancia relativa de cada parámetro en la segregación de grupos.

**Tabla 21.** Funciones discriminantes en base a valores estandarizados de acuerdo a su variabilidad para las determinaciones en dos profundidades (0-10 y 10-20 cm).

Variable	Abreviatura	Profundidad 0 - 10 cm		Profundidad 10-20 cm	
		Eje 1	Eje 2	Eje 1	Eje 2
Contenido de arcilla + limo (%)	arcilla+limo	-0,55	-1,19	-4.7E <sup>-03</sup>	0.67
Carbono Orgánico Total	COT	1,28	<b>22,02</b>	<b>147.50</b>	<b>86.41</b>
Índice estructural para COM	IE COM	<b>11,60</b>	12,06	94.05	56.00
Índice estructural para COPg	IE COPg	<b>11,12</b>	<b>18,79</b>	44.83	26,51
Índice estructural para COPf	IE COPf	4,38	7,31	24.74	20.01
Índice estructural para COT	IE COT	<b>-21,90</b>	<b>-27,52</b>	<b>-133.55</b>	<b>-79.12</b>
CO asociado a fracción mineral (CO<50µm)	COM	-2,48	-13,28	<b>-122.30</b>	<b>-72.17</b>
Carbono Orgánico Particulado grueso (COPg: 100-2000 µm)	COPg	2,35	-13,98	-43.66	-26.30
Carbono Orgánico Particulado fino (COPf: 50-100 µm)	COPf	-1,00	-10,18	-37.16	-27.30
Fósforo disponible método de Bray y Kurtz N°1	P Bray	0,90	0,28	-0.08	-0.56
Estabilidad estructural (Le Bissonnais): Diámetro medio ponderado	DMP	0,04	0,79	-	-
Densidad aparente máxima	DAP Máx.	-0,10	0,27	-	-
Índice de inestabilidad estructural (De Boodt & de Leenher): Cambio del diámetro medio ponderado (CDMP)	CDMP	0,12	-0,22	-	-
Fósforo Orgánico+ P inorgánico	Po+Pi	-0,17	0,23	-	-

Mediante un análisis de componentes principales se asociaron las variables, mostrando para la primera profundidad (Fig. 17) estrecha relación positiva de las determinaciones que describen el estado físico del suelo (Dap Máx., FE y CDMP) con los de textura más arenosa (Ca y To), mientras que los suelos SG y CS con alto contenido de arcilla+limo, se vincularon a los contenidos de HCs y COM. En cuanto al manejo, los suelos con manejo I, presentaron asociaciones positivas con la totalidad de las determinaciones de fósforo, carbono, los IE calculados a partir de las diversas fracciones de carbono, los carbohidratos estructurales totales y la estabilidad estructural media (DMP), en contraposición a los manejos M y A, con los cuales se vincularon negativamente y de manera semejante entre ellos. El plano de las

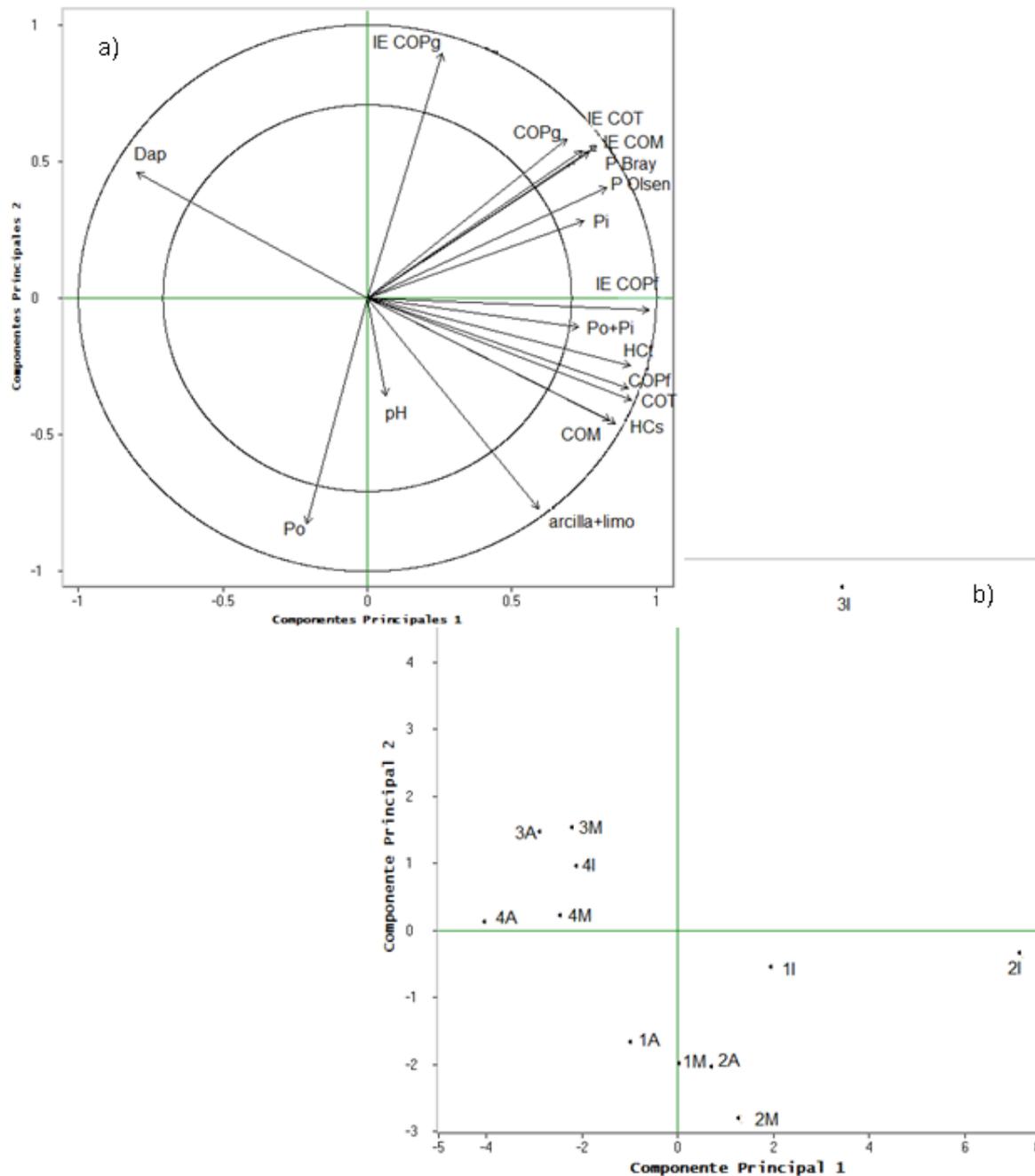
primeras dos componentes agrupo el 80% de la varianza total y a excepción de CR y pH, la totalidad de las variables e individuos presentaron reconstrucciones mayores al 90%.



**Fig. 16.** Análisis de componentes principales para variables, tipo de suelo y manejo, de la profundidad 0-10 cm en el plano de las primeras dos componentes. a) G-plot para las determinaciones. Círculo interno límite de reconstrucción del 70% en el plano de las componentes. b) H-plot para tipo de suelo y manejo. n=3. Notación ver Tabla 21 y Fig. 15.

Con menor número de variables, un análisis semejante para la segunda profundidad presentó relaciones similares entre las determinaciones (Fig. 18). En particular para esta profundidad, el fósforo orgánico presenta una relación negativa con los suelos I, en tanto que es poco clara la relación de los carbohidratos con el resto de las variables. El plano de

las primeras dos componentes agrupo el 81% de la varianza total y a excepción de las determinaciones que incluyeron Pi y pH, la totalidad de las variables e individuos presentaron reconstrucciones mayores al 90%.



**Fig. 17.** Análisis de componentes principales para variables, tipo de suelo y manejo de la profundidad 10-20 cm en el plano de las primeras dos componentes. a) G-plot para las determinaciones. Círculo interno límite de reconstrucción del 70% en el plano de las componentes. b) H-plot para tipo de suelo y manejo. n=3. Notación ver Tabla 21 y Fig. 15.

## 5 CONCLUSIONES

- Los resultados del presente estudio indican que las actividades agropecuarias tradicionales impactaron en forma negativa sobre la calidad de suelos, determinando pérdidas de: COT, COPg y COM, hidratos de carbono totales y solubles, disminuciones en el IE calculado para COT y COM, y en la EE.
- La magnitud del impacto se relacionó principalmente con las características de los suelos (composición granulométrica) y ambientales (clima y régimen de humedad del suelo). En menor medida con la intensidad del uso.
- Suelos de baja capacidad de uso en ambientes marginales generalmente presentaron diferencias de menor magnitud entre los distintos manejos que aquellos ambientes de alto potencial productivo, rechazando una de las hipótesis planteadas.
- Numerosos indicadores fueron útiles para determinar la magnitud del impacto sobre la calidad del suelo, aunque no todos se comportaron de la misma forma para los suelos y manejos estudiados. En general, la mayor parte de los indicadores permitieron detectar diferencias entre el manejo agropecuario (tratamientos A y M), y el suelo inalterado (I). Algunos indicadores mostraron efectos significativos en los ambientes údicos pero no en los ústicos, aunque las tendencias resultaran similares.
  - ✓ Los indicadores capaces de diferenciar situaciones de referencia de aquellas bajo manejo agropecuario en todos los suelos evaluados fueron: COT capas 0-10 y 10-20 cm, COPg capa 10-20 cm, COM capa 0-10 cm y 10-20 cm, IE COT capas 0-10 y 10-20 cm, IE calculado para COM capas 0-10 y 10-20 cm, HCt capa 0-10 cm y HCs estimado sobre MSE, HCs capa 0-20 cm, Pi capa 0-10 cm, CDMP, DMP<sub>LB</sub> y CDM>.
  - ✓ Los índices IE estimados sobre COPf y el CHC, fueron útiles para diferenciar efectos de manejo en todos los suelos, excepto en To.

- ✓ Los indicadores útiles para detectar efectos de manejo en los suelos de régimen údico fueron: COPf, HCt sin ajustar y ajustado por MSE, P disponible, Dap Máx. Los suelos ústicos mostraron un comportamiento similar ante estas variables, pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas.
- ✓ En los suelos bajo régimen ústico, el CDM< logró diferenciar situaciones de referencia de aquellas con cierto nivel de manejo agropecuario, representadas por los manejos M y A.
- La magnitud del impacto sobre la calidad de los suelos se relacionó con la intensidad del uso en los siguientes indicadores: cantidad de COT perdida con respecto a I, IE calculado para COM capa 10-20 cm y  $DMP_{LB3}$  (sólo en los suelos con mayor contenido de arcilla+limo, SG y CS). La deficiencia generalizada de los indicadores para diferenciar entre los manejos M y A podría ser adjudicada al modo de selección de lotes, que priorizó la homogeneidad de suelos por sobre el contraste de manejos, a escasas diferencias reales de manejo en los ambientes correspondientes a cada suelo y al momento de muestreo respecto a la secuencia de cultivos. El momento del muestreo, en relación con la secuencia de cultivos y sus fases de implementación, puede determinar variaciones importantes en los valores relativos de carbono orgánico y otros indicadores. En algunos sitios esto implicó comparar suelos que se encontraban en barbecho (laboreado o sucio), con suelos bajo diferentes cultivos (forrajeros bajo pastoreo o de cosecha). La calidad de los residuos incorporados al suelo durante estas diferentes secuencias puede influir sobre algunas determinaciones.
- Los resultados del análisis multivariado mostraron que los indicadores que más discriminaron los manejos agropecuarios de las situaciones de referencia fueron: contenido de COT, IE COT e IE COPg.
- El análisis multivariado mostró una estrecha relación entre los suelos con mayor contenido de arcilla+limo (SG y CS) y las variables relacionadas a COT, HCs y COM, mientras que los suelos de Ca y To, se vincularon más estrechamente a variables

relacionadas a la degradación física (Dap Máx., FE y CDMP). En cuanto al manejo inalterado, manifestó estrecha relación con las distintas formas de P, carbono, IE a partir de las distintas fracciones, HCt y DMP, en contraposición con M y A, que mostraron una vinculación negativa con estas variables.

- Los parámetros evaluados que no registraron cambios debidos al manejo fueron: pH, CR (%), IEE (%) y FE (%).
- Los resultados obtenidos coinciden con trabajos realizados en otras zonas agroecológicas y con trabajos de pequeña escala zonales, y afirman la necesidad de elegir y ajustar los indicadores adecuados para cada zona, con características climáticas, edáficas y productivas diferentes.
- Sería aconsejable la realización de nuevos estudios con muestreos acotados a cada zona agroecológica, sobre manejos más contrastantes y con mayor número de repeticiones, con el objetivo de identificar indicadores de calidad de suelo sensibles a la intensidad de manejo. Aun así, fue posible la obtención de valores de referencia zonales para diversos parámetros, en diferentes suelos, ambientes y bajo distintas situaciones de manejo.
- A partir de la evidencia obtenida en el trabajo de Tesis, y desde el punto de vista práctico surge la dificultad de compatibilizar los criterios de homogeneidad de suelos e historia de manejo, en la región estudiada. Posiblemente una próxima etapa de estudio debería explotar el valor del Índice Estructural para la comparación de contenidos de carbono entre diferentes clases texturales. De ese modo se debería fundar la selección de explotaciones sobre la disponibilidad de elementos objetivos para la clasificación en categorías Agresivo y Moderado, más que sobre la homogeneidad de suelos.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Albanesi, A; A Anriquez & AP Sánchez. 2001. Efectos de la agricultura convencional en algunas formas del N en una toposecuencia de la Región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia*, 18.
- Alvarez CR; MA Taboada; FH Gutiérrez Boem, PL Fernández & P Prystupa. 2006. Distintos manejos en la Pampa Ondulada: I. Efecto sobre las propiedades edáficas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta, Argentina.
- Amelung W; KW Flach & W Zech. 1997. Climate effects on soil organic matter composition in the Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 115-123.
- Amézketa E. 1999. Soil aggregate stability: A review. *J. Sustain. Agr.* 14: 83-150
- Andriulo AE; JA Galantini; C Pecorari & E Torioni. 1990a. Materia orgánica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica XXXIV* (5-6) 475-489.
- Andriulo, AE; JA Galantini; JO Iglesias; E Torioni; RA Rosell & A Glave. 1990b. Sistemas de producción con trigo en el Sudoeste bonaerense. I. Propiedades fisicomecánicas del suelo. II Congreso Nacional de Trigo, Pergamino, Argentina.
- Andriulo, AE & AB Irizar. 2012. La materia orgánica como indicador base de calidad del suelo. XXIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina.
- Angers DA & GR Mehuys. 1989. Effects of cropping on carbohydrate content and water-stable aggregation of a clay soil. *Can. J. Soil Sci.* 69, 373-380.
- Angers DA; A N'dayegamine & HD Cote. 1993. Tillage-induced differences in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 512-516.
- Aoki, AM; P Campitelli; O Gudelj; CI Vettorello; G Esmoriz & R Sereno. 2008. Efectos de diferentes sistemas de cultivos y labranzas sobre propiedades indicadoras de calidad de suelo. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96: 155-165.
- Apezteguía, HP; P Campitelli; O Bachmeier & R Sereno. 2006. La fracción liviana de la Materia orgánica en bosque nativo y suelos cultivados. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, Argentina.
- Armida-Alcudia, L; D Espinosa-Victoria; DJ Palma-López; A Galvis-Spinola, & S Salgado-García. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores

de calidad de Vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra Latinoamericana*, 23(4) 545-551. En:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311146013>

- Benitende, SM; MC Benitende; MA Sterren; MF Saluzzio & P Barbagelata. 2014. Niveles críticos de indicadores biológicos y bioquímicos. Utilización en la construcción de índices. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Bahía Blanca, Argentina.
- Bidart, S. 1992. Clasificación de los sedimentos eólicos del Pleistoceno tardío-Holoceno del Sur de la Provincia de Buenos Aires. Una propuesta. IV Reunión Argentina de Sedimentología. Actas, Tomo II: 159-166.
- Biederbeck, VO; CA Campbell; V; RP Zentner & G Wen. 1998. Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure. *Soil Biol. Biochem.* 30 (8-9), 1177-1185.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk Density. En: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph No. 9 (2nd edn)*, pp. 363-375.
- Bongiovanni MD & JC Lobartini. 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, humic and acid contents in soil macro- and microaggregates as affected by cultivation. *Geoderma* 136: 660-665.
- Bouyoucos, GJ. 1965. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
- Bowman RA; WD Guenzi & DJ Savory. 1991. Spectroscopic method for estimation of soil organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:563-566.
- Bravo O & JC Silenzi. 2000. Uso del índice de estabilidad mecánica para evaluar la resistencia a la erosión eólica en suelos de la región semiárida bonaerense. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina.
- Bravo O; A Piñeiro; N Amiotti & P Zalba. 2010. Indicadores de calidad en suelos agrícolas de la Pampa Austral: influencia de la granulometría. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Argentina.
- Bravo O. 2013. Factores y procesos pedogenéticos que regulan el almacenamiento de carbono orgánico en suelos de la Pampa Austral. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Brink, RH; JP. Dubach & DL Lynch. 1960. Measurement of carbohydrates in soil hydrolizates with antrone. *Soil Sci.* 89: 157-166.
- Buckman, HO & NC Brady. 1966. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Ed. Montaner y Simón. Barcelona, España.

- Buschiazzo, DE & V Taylor. 1992-1993. Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelo de la Región Pampeana Central. *Ci. Suelo* 10-11: 45-53.
- Buschiazzo, DE; J Panigatti; P Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49, 105-116.
- Buschiazzo, DE; GG Hevia; EN Hepper; A Urioste; AA Bono, & F Babinec. 2001. Organic C, N and P in size fractions of virgin and cultivated soils of the semi-arid pampa of Argentina. *J.Arid Environ.* 48(4), 501-508.
- Cambardella CA & ET Elliott. 1993. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma* 56: 449-457.
- Campbell, CA; EA Paul. & WB Mc. Gill. 1976. Effect of cultivation and cropping on the amounts and forms of soil N. En: WA Rice (ed.). *Proc. Western Can. Nitrogen Symp.* Alberta, Canada. p 9-101.
- Campitelli P; A Aoki; O Gudelj; A Rubenacker & R Sereno. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo en determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ci. Suelo* 28 (2): 223-231.
- Cantú, MP; AM Becker; JC Bedano & Schiavo, H. F. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ci. Suelo* 25(2), 173-178.
- Cappannini, DA.; CO Scoppa & JR Vargas Gil. 1978. Capítulo 1: Fisiografía, estratigrafía y geomorfología. En: F Spinelli Zinni (ed.). *Estudio de situación del partido de Coronel Pringles, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.* P.imprenta: INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Cardozo, MS; JL Arzeno; J León; C Sánchez, J Huidobro. 2006. Estudio de suelos desmontados de uso agrícola, a través de indicadores de calidad de suelo. *Anta-Salta. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, Argentina.*
- Carrasco, N. 2009. Evaluación de la calidad de suelo según intensidad de uso y labranza en el centro sur bonaerense. *Tesis Magister Scientiae, UNMdP. Mar del Plata, Argentina.*
- Carter MR. 1990. Relative measure of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies of fine sandy loams. *Can. J. Soil Sci.* 70:425-433.
- Carter, MR; EG Gregorich; DW Anderson; JW Doran; HH Janzen & FJ Pierce. 1997. Chapter 1: Concepts of soil quality and their significance. *Developments in Soil Sci.*, 25, 1-19.
- Casanovas, EM; GA Studdert & HE Echeverría. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. II. Efecto de los ciclos de agricultura y pastura. *Ci. Suelo* 13: 21-27.

- Chan, KY & CE Mullins. 1994. Slaking characteristics of some Australian and British soils. *Eur. J. Soil Sci.* 45: 273–283.
- Charter, M & GEG Mattingly. 1980. Changes in organic phosphorus contents of soil forms long-continued experiments at Rothamsted and Saxmundham. Rothamsted Experiment Station Report for 1979, Part 2, pp 41-61.
- Ciarlo E; D Cosentino; OS Heredia & ME 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. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Colazo JC & DE Buschiazzo. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma*, 159(1), 228-236.
- Cortés, MP; V Gómez Hermida & C Saenz. 2006. Indicadores de calidad de suelo asociados a distintos usos de la tierra en la Región Semiárida. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina.
- Daddow, RL & GE Warrington. 1983. Growth-limiting soil bulk densities as influenced by soil texture. WSDG Report. Fort Collins, Colorado.
- Dalal RC & RJ Mayer. 1987. Long-term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. VI. Loss of total nitrogen from different particle-size and density fractions. *Aust. J. Soil Res.* 25: 83-93.
- Dalal, RC & RJ Henry. 1988. Cultivation effects on carbohydrate contents of soil and soil fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52(5), 1361-1365.
- Darwich NA. 1989. Manual de fertilidad de suelos. Balcarce. Argentina.
- Davidson J; F Gray & D Pinson. 1967. Changes in organic matter and bulk density with depth under two cropping systems. *Agron. J.* 59: 375-378.
- Debelis, S. 2003. Evaluación de tierras. FCA-UNLZ. [http://www.produccion-animal.com.ar/suelos\\_ganaderos/15-evaluacion\\_de\\_tierras.htm](http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/15-evaluacion_de_tierras.htm). Último acceso 03/2011.
- De Leenheer, L & De Boodt, M. 1959. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. En: Proceedings of the International Symposium on Soil Structure. Medelingen van de Landbouhogeschool, Ghent. pp. 290-300.
- Díaz-Zorita, M. 1996. Labranzas en la Región Semiárida y Subhúmeda Bonaerense Noroeste. En: Buschiazzo, DE; JL Panigatti; F Babinec (Eds.) Labranzas en la Región Semiárida Argentina. INTA y SAPyA, Santa Rosa, Argentina, pp. 39–48.
- Díaz Zorita M & GA Grosso. 2000. Effect of soil texture, organic carbon and water retention on the compactability of soils from the Argentinean pampas. *Soil Till. Res.* 54:121-126.

- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Diovisalvi NV; GA Studdert; NI Reussi Calvo & GF Dominguez. 2010. Relación entre el contenido de Carbono Orgánico Particulado y Total en suelos con diferente textura. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina.
- Doran, JW & M Safley. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. En: Pankhurst C; Double BM & V.V.S.R. Gupta (Eds.). Biological indicators of soil health. CAB International. 28 pp. E-book: [http://www.isprambiente.gov.it/files/biodiversita/Pankhurst\\_1997\\_Biological\\_indicator\\_s.pdf](http://www.isprambiente.gov.it/files/biodiversita/Pankhurst_1997_Biological_indicator_s.pdf) . Última consulta Julio 2014.
- Druille M; M Castiglioni; JM Massobrio. 2013. Fracción erosionable del suelo en el oeste bonaerense bajo sistemas de uso de tierra contrastantes. Ci. Suelo 31 (1): 125-132
- Duval, ME.; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martínez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. Soil Till. Res. 131: 11-19.
- Duval, ME; E De Sá Pereira; JO Iglesias & JA Galantini. 2014. Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un argiudol. Ci. Suelo 32(1), 105-115.
- Echeverría, NE; G Blanco; JC Silenzi, AG Vallejos, R Jersonsky & M De Lucía. 2008. Efecto del uso y manejo sobre la degradación física de un Hapludol éntico. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, Argentina.
- Eiza, MJ; GA Studdert; N Fioriti; GF Domínguez. 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en molisoles de Balcarce. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina.
- Fabrizzi, KP; L Picone; A Berardo & FO García. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en las propiedades químicas de un Argiudol Típico. Ci. Suelo 16: 71-76.
- Felt, EJ. 1965. Compactibility. En: Black, CA (ed). Methods of soil analysis. Part. 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Am. Soc. Agron. Inc. Madison, Wisconsin, USA. 770 pp.
- Ferreras, LA; S Toresani; B Bonel; E Fernández; S Bacigaluppo, V Faggioli & C Beltrán. 2009. Parámetros químicos y biológicos como Indicadores de Calidad del suelo en diferentes manejos. Ci. Suelo 27(1): 103-114.
- Ferreras, LA; MC Ferrarri; GC Magra; FE Solá Brignone & LA Rivoltella. 2014. Evaluación de la calidad del suelo bajo distintos sistemas de cultivo. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Argentina.

- Flores, CC & SJ Sarandón. 2002. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 105 (1). UNLP. La Plata, Argentina.
- Fontana F; M Partulane; M Sacks & A Quiroga. 2006. Efecto del espesor de suelo sobre propiedades edáficas y rendimiento de trigo en la Región Semiárida Pampeana. En: Aspectos de la evaluación y manejo de los suelos en la región semiárida pampeana-Física de Suelos. Publicación técnica N°66. Ediciones INTA. 51 pp.
- Frieser DK; Blaier GJ. 1988. A dual radiotracer study of transformation of organic, inorganic and plant residue phosphorus in soil in presence and absence of plants. *Aust. J. Soil Res.* 26, 355-366.
- Froni, L; M Sicardi & C Pereyra. 2003. Indicadores biológicos de la calidad del suelo sensibles a diferentes prácticas de manejo. En: Albanesi, A; Anriquez A; Luna S; Kunst C & R Ledesma (Eds). *Microbiología Agrícola: Un aporte de la investigación argentina*. UNSE. 275 pp.
- Gabioud EA; MG Wilson & MC Sasal. 2011. Análisis de la estabilidad de agregados por el método de Le Bissonnais en tres órdenes de suelo. *Ci. Suelo* 29 (2): 129-139.
- Galantini JA. 1994. Modelos de simulación de la dinámica de la Materia Orgánica en suelos de la región semiárida bonaerense. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, UNS. Bahía Blanca, Argentina. 72 pp.
- Galantini JA & RA Rosell. 1997. Organic fractions, N, P and S changes in an Argentine semiarid Haplustoll under different crop sequences. *Soil Till. Res.* 42: 221-228.
- Galantini JA; RA Rosell; G Brunetti & N Senesi. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ci. Suelo* 20(1): 17-26.
- Galantini, JA; JO Iglesias, L Cutini, H Krüger & S Venanzi. 2004. Sistemas de labranza: efectos sobre las fracciones orgánicas. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Galantini, JA. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: *Manual Tecnología en Análisis de Suelos: alcances a laboratorios agropecuarios*. Marban y L & S. Ratto (Eds.) 1º edn. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. - Buenos Aires, pág. 215.
- Galantini, JA; RA Rosell. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil and Tillage Research*, 87(1), 72-79.
- Galantini, JA & L Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 45: 41-55.

- García C; T Hernández y F Costa. 1997. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils. *Communications in Soil Sci. Plant Analysis* 28: 123-134.
- García FO. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur INPOFOS N°9*: 1-3.
- García, FO; LI Piccone; A Berardo. 2005. Capítulo 5: Fósforo. En: Echeverría HE. y F García (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de cultivos*. Ediciones INTA, 524 pp.
- Glave, AE. 1984. Manejo de suelos y agua en zonas semiáridas. Informe técnico N°39. EEA INTA Bordenave. 48 pp.
- Griffith D; J Mannering & E Box. 1986. Soil and moisture management with reduce tillage. En: Sprague M & G Triplett (Eds.). *No tillage and surface-tillage agriculture*. J. Wiley Sons. New York. 467 pp.
- Gudelj, O & B Masiero. 2000. Efecto del manejo del suelo sobre su densidad aparente. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Guggenberger, G; W Zech & RJ Thomas. 1995. Lignin and carbohydrate alteration in particle-size separates of an oxisol under tropical pasture following native Savanna. *Soil Biol. Biochem.* 27, 1629–1638.
- Gutiérrez Boem, FH; CA Alvarez; MJ Cabello; PL Fernández; P Prystupa & MA Taboada. 2008. Phosphorus retention on soil surface of tilled and no-tilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 1158-1162.
- Hamza, MA & W Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82: 121-145.
- Hassink J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191:77–87.
- Havlin, JL; JD Beaton; SL Tisdale, WL Nelson. 1999. *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management*. 6 th edition. Prentice Hall. New Jersey.
- Haynes, RJ & MH Beare. 1996. Aggregation and organic matter storage in mesothermal, humid soils. En: Carter, MR & BA Stewart (Eds.). *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. CRC Press, Boca Raton, FL, 496 pp.
- Haynes, RJ. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zeland. *Soil Biol. Biochem.* 32: 211-219.
- Heredia, OS. 2008. Cambios en el uso de la tierra y el clima sobre las propiedades químicas de los suelos de Gral. Viamonte, Buenos Aires, Argentina. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, Argentina.
- Hevia, GG; M Méndez & DE Buschiazzo. 2007. Tillage effects soil aggregation parameters linked with wind erosion. *Geoderma* 140: 90-96.

- Hevia, GG; DE Buschiazzo & M Díaz Raviña. 2008. Variación estacional de compuestos orgánicos del suelo en diferentes sistemas de labranza. En: Galantini JA (ed.) Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. EdiUNS. 308 pp.
- Iglesias JO; A Vallejos; JA Galantini; P Bondia & C Kleine. 2014. Efecto del tránsito sobre algunas propiedades edáficas en dos sistemas de labranza. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Argentina.
- Jha DK; GD Sharma & RR Mishra. 1992. Soil microbial populations numbers and enzyme activities in relation to altitude and forest degradation. *Soil Biol. Biochem.* 24: 761-767.
- Karlen, DL; MJ Mausbach; JW Doran; RG Cline; RF Harris & GE Schuman. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Of Am. J.* 61:4-10.
- Klingebiel A & P Montgomery. 1962. Clasificación por capacidad de uso de las tierras. Trad. Manual N°210 Servicio de Conservación de Suelos del USDA. Centro Regional de Ayuda Técnica. Mexico.
- Krüger, HR. 1992. Informe anual interno 1991. Plan N° 08 625018 PAR. IPP CERBAS 2. Sistemas de labranzas y siembra en módulos de producción de cosecha verano/trigo. 10 pp.
- Krüger HR. 1996a. Compactación en Haplustoles del Sudoeste Bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. *Ci. Suelo* 14: 104-106.
- Krüger HR. 1996b. Sistemas de labranza y variación de propiedades químicas en un Haplustol éntico. *Ci. Suelo* 14 (1):53-55.
- Krüger, HR; S Venanzi; JA Galantini. 2004. Rotación y cambios en las propiedades químicas de un Hapludol típico del sudoeste bonaerense bajo labranza. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Krüger, HR; Vergara, MF; Venanzi, S & MF Marini 2006. Variación espacial y temporal de propiedades químicas en suelos del sudoeste bonaerense. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina.
- Krüger HR; S Venanzi & E de Sá Pereira. 2008. Pastoreo y resistencia mecánica del suelo en sistemas de producción bajo siembra directa continua. *Ci. Suelo* 26(2): 211-217.
- Lal, R. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environ Pollut* 116 (3): 353-362.
- Larson, W & F Pierce. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 677: 37-51.
- Le Bissonnais, Y & C Le Souder, C. 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etude et gestion des sols*, 2(1), 43-56.

- Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assesment of soil crustability and erodibility : I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* 47: 425-437.
- Le Bissonnais, Y; O Duval & H Gaillard. 2002. Fiche de protocole: Mesure de la stabilité d'agrégats de sols. INRA Orléans, Inuté de Science du Sol.
- Liebig, MA; GE Varvel; JW Doran & B J Wienhold. 2002. Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 596-601.
- Lobartini JC; C Puricelli; HR Krüger & R Rodríguez. 1998. Relación entre el uso y la degradación química en cuatro Molisoles de la Región Pampeana Subhúmeda/Semiárida. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Córdoba, Argentina.
- Loewy T & R López. 1994. Efecto de pradera mixta y cultivos anuales sobre las propiedades de un Haplustol éntico. *Ci. Suelo* 12: 7-10.
- López Fourcade R ; C Clérici, JM Cisneros & C Cholaky. 2008. Evaluación de la degradación de los suelos de la pampa medanosa frente a los cambios de uso actuales. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
- López, MV; JM de Dios Herrero; GG Hevia; R Gracia & DE Buschiazzo. 2007. Determination of the wind-erodible fraction of soils using different methodologies. *Geoderma*, 139(3), 407-411.
- Lyles, L; JD Dickerson & LA Disrud. 1970. Modified rotary sieve for improved accuracy. *Soil Sci.* 109(3), 207.
- Lyman, O. 1993. An introduction to statistical methods and data analysis. Wadsworth Publishing Company. California. Pp 1051.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutricion of Higher Plants. Academic Press, London. UK. En: Echeverría HE & F García. (Eds.). 2005. Fertilidad de Suelos y Fertilización de cultivos. Ediciones INTA. 525 pp.
- Miglierina, AM; JO Iglesia; MR Landriscini; JA Galantinin & RA Rosell. 2000. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. *Soil Till. Res.* 53(2), 129-135.
- Minoldo G. 2010. Efectos de largo plazo de diferentes secuencias de cultivos sobre algunas propiedades químicas del suelo y la productividad del trigo en la región semiárida. Tesis Magister en Ciencias Agrarias, UNS. Bahía Blanca, Argentina. 153 pág.
- Mon, R; OJ Santanatoglia & MED Sardi. 1986. Variaciones de las propiedades físicas de los suelos de Bordenave. XI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Neuquén, Argentina.

- Moscatelli, G & MS Pazos. 2000. Soils of Argentina: nature and use. Presentación oral en: International Symposium in Soil Science: Accomplishments and Changing Paradigm towards the 21th Century and IUSS Extraordinary Council Meeting, Bangkok, Tailandia. En: I. Kheoruenromne & S. Theerawong (eds.) 2000. Proceedings of International Symposium in Soil Science: Accomplishments and Changing Paradigm towards the 21th Century, 81-92. ISBN 974-87749-4-5. [http://www.suelos.org.ar/adjuntos/soils\\_of\\_argentina\\_moscatelli\\_pazos.pdf](http://www.suelos.org.ar/adjuntos/soils_of_argentina_moscatelli_pazos.pdf). Consultado en la web en Febrero de 2011.
- Moscatelli, MC; A Di Tizio; S Marinari & S Grego. 2007. Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems. *Soil Till. Res.* 97(1), 51-59.
- Musso, TB; MP Cantú & AM Becker. 2006. Indicadores químicos de calidad de suelos. Un set mínimo para Hapludoles de la Cuenca del Aº La Colacha. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En: Page, AL; RH Miller & DR Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, Wiscosin. pp 539-579.
- Olsen, SR; CV Cole; FS Watanabe & LA Dean. 1954. Estimation of available P in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circ.* 939. USDA, USA.
- Osinaga N; JE Castro; CR Alvarez & MA Taboada. 2014 ¿Cómo influye la agriculturización sobre la calidad edáfica en el Chaco Subhúmedo? XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Argentina.
- Pecorari C; AE Andriulo & A Ausilio. 1993. Aptitud físico-mecánica de los suelos para el laboreo. II: Efectos de la textura y de la Materia Orgánica sobre la densidad aparente máxima de algunos suelos de la región pampeana argentina. Informe técnico N°281. INTA Pergamino. Argentina.
- Pengue, W. 2001. Impactos de la expansión de la soja en la Argentina. *Globalización, desarrollo agropecuario e ingeniería genética: Un modelo para armar.* Biodiversidad 29: 7-14.
- Picone L. 2005. Capítulo 1: Propiedades del suelo relacionadas con la fertilidad. En: *Fertilidad de Suelos y Fertilización de cultivos.* H. Echeverría & F. García (eds.). Ediciones INTA. 525 pp
- Pieri, C. 1995. Long-term soil management experiments in semi-arid Francophone Africa. En: Lal, R. y B. Steward (Eds.). *Soil Management: experimental basis for sustainability and environmental quality.* Lewis Publishers-CRC. FL, USA. 266 pp.
- Pilatti, MA & JA Orellana. 2000. The Ideal Soil. II: Critical Values of the Ideal Soil, for Mollisols in the North of the Pampean Region (In Argentina). *J. of Sustain. Agric.* 17 (1): 89-111

- Piquín EJ; JL Arzeno; MP Cabrera & C Sánchez. 2006. Evaluación de la calidad de suelo mediante la biomasa y la actividad respiratoria (In vitro). XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina.
- Porta Casanella J; M López-Acevedo Reguerín & C Roquero de Laburu. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Pp 217-236.
- Post, WM; WR Emanuel; PJ Zinke & AG Stangenberger. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298, 156-159.
- Puget P; DA Angers & C Cheng. 1999. Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. *Soil Biol. Biochem.* 31: 55-63.
- Puricelli, C. 1992. Pronósticos de degradación en el sudoeste de Buenos Aires. Boletín técnico N°3. EEA INTA Bordenave. 16 pp.
- Quiroga AR. 1994. Influencia del manejo sobre las propiedades físicas de los suelos. Su relación con la granulometría y contenidos de materia orgánica. Tesis Magister Scientiae, UNS. Bahía Blanca, Argentina.
- Quiroga, AR. 2002. Indicadores de calidad de suelos en Molisoles de la región semiárida pampeana. Relación con el manejo y productividad de los cultivos. Tesis Doctoral, UNS. Bahía Blanca, Argentina.
- Quiroga, AR; M Monsalvo; DE Buschiazzo & E. Adema. 1996. Labranzas en la región semiárida Pampeana central. En: Buschiazzo, DE; JL Panigatti & F Babinec (Eds.) *Labranzas en la Región Semiárida Argentina*. INTA y SAPyA. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. 126 pp.
- Quiroga, AR, DE Buschiazzo & N Peinemann. 1999a. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. *Soil Till. Res.* 52:21-28
- Quiroga, AR; D Fernández; O Ormeño & J Ventura. 1999b. Efectos del manejo (rotación-agricultura) sobre los contenidos de Materia Orgánica, Nitrógeno y Fósforo en suelos de la región semiárida pampeana. *Boletín de Divulgación Técnica* N°61. EEA INTA Anguil. 13 pp.
- Quiroga, AR; O Ormeño & N Peineman. 2001. Materia orgánica: un indicador de calidad de suelos relacionado con la productividad de los cultivos. *Boletín Divulgación técnica* 70 EEA INTA Anguil, 28 pp.
- Quiroga, AR; D Funaro; E Noellemeyer & N Peinemann. 2005. Barley yield response to soil organic matter and texture in Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 90:63-68
- Quiroga, AR; R Fernández; D Riestra; E Noellemeyer & N Peinemann. 2008. Influencia del manejo sobre la distribución del tamaño y estabilidad de agregados de suelos influenciados por variaciones en la granulometría y contenidos de materia orgánica. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.

- Reeves, DW. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43: 131-167.
- Riquier, J; DL Bramao & IL Cornet. 1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. *FAO AGLTERS* 70 (6).
- Rudolph A; K Helming; H Diestel. 1997. Effect of antecedent soil water content and rainfall regime on microrelief changes. *Soil Technol.* 10 (1997) 69-81.
- SAGyP-INTA, 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. Proyecto PNUD / ARG / 85 / 019.
- Sanzano GA; RD Corbella; JR García & GS Fadda. 2005. Degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. *Ci. Suelo* 23 (1): 93-100.
- Satterthwaite FR. 1946. An approximate distribution of estimates of variance components. *Biometrics Bull.* 2:110-112. En: Ott LR. 1993. *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*. 4<sup>th</sup> ed Duxbury Press. Wadsworth, Belmont, California. 1051 pp.
- Saunders WMH & EG Williams. 1955. Observation on the determination of total organic phosphorus in soil. *J. Soil Sci.* 6: 254-267
- Schloter, M; O Dilly & JC Munch. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agr. Ecosyst. Environ.* 98(1), 255-262.
- Silenzi, JC; A Moreno & JC Lucero. 1987. Variaciones temporales de la estabilidad estructural de un suelo no disturbado. *Ci. Suelo* 5: 1-7.
- Silenzi JC; GR Marrón & C Puricelli. 1990. Modelo simplificado de tamiz rotatorio para determinar el índice de erosionabilidad eólica de suelos. *Ci Suelo* (8), N°1.
- Silenzi JC; NE Echeverría; AG Vallejos; M Bouza & M. De Lucía. 2010. Evaluación de la densidad aparente y penetrometría en un suelo abonado con cáscara de girasol y/o barro de maltería en condiciones de campo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina.
- Six, J; P Callewaer; S Lenders; S De Gryze; SJ Morris; EG. Gregorich; EA Paul & K Paustian. 2002. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1981-1987.
- Soane BD; PS Blackwell; JW Dickson & DJ Painter. 1981. Compaction by agricultural vehicles: A review I. Soil and Wheel characteristics. *Soil Till. Res.* 1: 207-237.
- Stewart, JWB & H Tiessen. 1987. Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry* 4: 41-60.
- Suñer, LG; JA Galantini & RA Rosell. 2005. Cambios del fósforo en suelos bajo diferentes rotaciones de cultivos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur INPOFOS* N°25.
- Taboada MA & S Micucci. 2009. Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la Pampa Deprimida al pastoreo rotativo. *Ci. Suelo* 27(2):147-157.

- Tan, Kim H. 1996. Soil sampling, preparation and analysis. Marcel Dekker Inc. (Ed.). New York (407pp).
- Tate, KR. 1984. The biological transformation of phosphorus in soil. *Plant Soil* 76: 245-256.
- Thomas, GW; GR Haszler & RL Blevins. 1996. The effects of organic matter and tillage on maximum compactability. *Soil Sci.* 161: 502-508.
- Tiessen, H; JWB Stewart & JR Bettany. 1982. Cultivation effects on the amounts and concentration of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in grassland soils. *Agron. J.* 74: 831-835.
- Tiessen, H; JWB Stewart & A Oberson. 1994. Innovative phosphorus availability indices: assessing organic phosphorus. En: Havlin J & J Jacobsen (Eds.). *Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendations*, SSSA Special Publication 40, Madison, WI, USA. Pp. 141-162.
- Ullé, J; AE Andriulo; V Faggioli; C Scianca; A Castro; F Rimatori; D Colombini; F Villalba; J Dalpiaz; L García; L Darder. 2012. Análisis e interpretación de indicadores de calidad de suelos en sistemas orgánicos agrícolas ganaderos. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Urioste A; DE Buschiazzo; GG Hevia; EN Hepper; L Ferramolas & A Bono. 2002. Distribución de carbono orgánico, nitrógeno total y fracciones de fósforo en la capa arable de suelos de la región semiárida pampeana central. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Argentina.
- Urricariet, AS & RS Lavado. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ci. Suelo* 17:37-44.
- Veihmeyer, FJ & AH Hendrickson. 1948. Soil density and root penetration. *Soil Sci.* 65: 487-493. En: Gavande SA. 1976. *Física de suelos. Principios y aplicaciones*. Ed. Limusa S. A. México. 351 pp.
- Venanzi, S; JA Galantini & HR Krüger. 2004. Pastoreo en siembra directa y crecimiento de soja. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos.
- Vicentín, J; D Misrorigo; S Benitende & M Sterren. 2008. Efecto de los años de pastura sobre algunas propiedades químicas y biológicas del suelo. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
- Vidal, C & V Aparicio. 2008. Evaluación de algunas propiedades físicas y químicas de suelos desmontados en el Norte de Santa Fe. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
- Viglizzo, EF; AJ Pordomingo; MG Castro & FA Lértora. 2002. La sustentabilidad ambiental del agro pampeano. Programa Nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria, INTA.
- Viglizzo, EF; A Pordomingo; M Castro & F Lértora, 2004. La sustentabilidad ambiental del Agro Pampeano. URL:

[http://www2.medioambiente.gov.ar/documentos/agenda\\_ambiental/acciones/indicadores\\_de\\_sarrollo\\_sostenible/inta\\_1taller\\_nacional\\_ids.pdf](http://www2.medioambiente.gov.ar/documentos/agenda_ambiental/acciones/indicadores_de_sarrollo_sostenible/inta_1taller_nacional_ids.pdf). Última consulta 01/2011.

Viglizzo EF & E Jobbágy. 2010. Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental. Ediciones INTA. 99 pp.

Villamil MB; NM Amiotti & N Peinemann. 1997. Pérdida de fertilidad física en suelos del sur del cardenal (Argentina) por sobrepastoreo. *Ci. Suelo* 15:102-104.

Watanabe, FS & SR Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 29(6), 677-678.

Winzer N & R Camina, 2010. Cuadernillo de Clase de la materia de Posgrado Análisis de Regresión. UNS.

WRI. 2009. World Research Institute.

[http://www.wri.org/sites/default/files/wri\\_annual\\_report\\_2009.pdf](http://www.wri.org/sites/default/files/wri_annual_report_2009.pdf). Última consulta 04/2011.

Zalba P; O Bravo; N Amiotti, & N Peinemann. 2002. Métodos alternativos para determinar las disponibilidades de fósforo en suelos agrícolas. *Ci. Suelo* 20(1):50-53.

Zalba P & JA Galantini. 2007. Modified soil test methods for extractable phosphorus in acidic, neutral and alkaline soils. *Communications in Soil Sci.& Plant Analysis* 38: 1579–1587.

Zhang J; ML Thompson & JA Sandor. 1988. Compositional differences in organic matter among cultivated and uncultivated argiudolls and hapludalfs derived from loess. *Soil Sci. Am. J.* 52: 216-222.

Zimmerman R & L Kardos. 1961. Effect of bulk density on root growth. *Soil Sci.* 91 280-288.

## 7 ANEXO

**Tabla 22.** Descripción del manejo agropecuario en cada uno de los sitios de muestreo.

Sitio	Manejo	Pasturas		Última pastura	Labranza		Mixto		Últimos 10 años		Secuencia	Descansos	Fertilización
		Si	No		SD	LC	Campo	Lote	Anuales	Cosecha			
SG 1	A		X		X 4 años		No	No	4	4	Trigo continuo	6 meses (entre trigo y trigo)	Si
SG 2	A		X	>10 años		X	No	No	4	0	VV-natural- VV	Depende del clima	No
SG 3	A		X	>10 años		X	Si	Si	4	0	Avena pastoreo	1 año entre Vi y VI	No
SG 4	M		X	>15 años		X	No	No	2	0	Campo Natural continuo- Pastoreo	Variable	No
SG 5	M		X	>15 años		X	No	No	2	0	Campo Natural continuo- Pastoreo	Variable	No
SG 6	M		X	>10 años		X	Si	Si	2	0	5 potrero-1 avena-descanso-avena	Si	No
CS 1	A		X	>10 años	X 10 años		Si	No	10	10	Trigo-barbecho-Soja 1°/Trigo	Si. Entre fina y Soja	Frecuente
CS 2	A		X	20 años	X 3 años		No	No	10	10	Trigo-barbecho-Soja 1°/Trigo	270 días entre fina y soja.	Siempre
CS 3	A		X	nunca	X 4 años		No	No	10	10	Trigo-barbecho-Soja 1°/Trigo	Entre fina y soja	Siempre
CS 4	M		X	>10 años	X 10 años		Si	Si	12	8	Trigo-barbecho-Soja 1°- VI- VV	Si, entre fina y VI	Frecuente
CS 5	M		X	>10 años	X 5 años		Si	Si	10	9	Maíz- Trigo ó Cebada- Soja	270 días entre fina y soja.	Siempre
CS 6	M		X	>10 años	X 14 años		Si	Si	10	9	Trigo-maíz (1ros 6 años)+ Soja- Trigo- Maíz (8 años)	270 días entre fina y soja.	Siempre
Ca 1	A		X		X		Si	No	8	8	Sorgo-Girasol-(todo gruesa)	Largos	No
Ca 2	A		X	10 años	X 15 años		No	No	10	10	Maíz-Soja-Girasol-Trigo/Cebada-Maíz-Soja-Girasol-Maíz	Barbecho químico	Siempre
Ca 3	A		X		X		Si	Si	7	5	Maíz-Centeno-Sorgo	Variable	Nunca
Ca 4	M	X (*)			X		Si	Si	5	2	Av Pastoreo-Maíz-Sorgo-Pastura Alfalfa (en LC)	30-60 días	Sólo pastura
Ca 5	M	X (*)			X		Si	Si	5	2	Av Pastoreo-Maíz-Sorgo-Pastura Alfalfa (en LC)	30-60 días	Sólo pastura
Ca 6	A		X	nunca		X	Si	Si	3	1	SF-descanso-VI- descanso ó SF- D- SF-D- Vi-Vi	Si	Nunca
To 1	A		X	nunca		X	Si	Si	3	1	Av- D (5 años)- 2 sorgos- D-Trigo	>5 años	Nunca
To 2	A		X	nunca		X	Si	Si	1	1	Natural-Sorgo pastoreo	No	Eventual
To 3	A		X	22 años		X	Si	Si	10	1	Av- SF-SF- Av- Centeno- Av- Av	no	Frecuente
To 4	M		X	nunca		X	Si	Si	4	2	VI-D-Sorgo- D-D- Fina- D- VI	>2 años	Eventual
To 5	M		X	nunca	X 4 años		Si	Si	10	8	Av-Av-D- Av-Av- Trigo-Trigo- Cebada-Trigo-Cebada	Poco. Pastoreo de rastrojos	Frecuente
To 6	M	X (**)			Variable		Si	Si	4	2	Av Pastoreo- Maíz- Sorgo- Pasturas	30-60 días	Sólo alfalfa

VV: verdeo de verano; VI: verdeo de Invierno; SF: sorgo forrajero; Av: avena; D: descanso. (\*) Duración de la pastura: 3-4 años. (\*\*) Duración de la pastura: 5-6 años.