



## **Evolución del Carbono en suelos provenientes de monte bajo Siembra Directa del área subhúmeda templada y subtropical de Argentina**

### **RESUMEN**

Se desconocen los efectos de la Siembra directa (SD) sobre la calidad del suelo en zonas de expansión agropecuaria como ocurre en la región subhúmeda subtropical y templada de Argentina. Se traslada una práctica que hasta el momento funciona en determinadas zonas a otras, donde no se hizo anteriormente agricultura ni se conoce el comportamiento del recurso suelo. El clima influye sobre el Carbono orgánico (CO) y por consiguiente sobre el comportamiento general del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar la evolución del CO en suelos provenientes de monte natural (prístino, en recuperación y degradado) y su relación con las variables densidad aparente, estabilidad estructural humedad, pH, arcilla, nitrógeno total y fósforo extraíble para determinar si la SD puede ser una práctica sostenible en el tiempo. Las pérdidas ocurrieron en las dos profundidades estudiadas (0 - 0,20 y 0,20 - 0,50 m). Se perdieron anualmente tomando como referencia monte prístino ( $90,67 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) entre  $6,63$  y  $18,71 \text{ Mg ha}^{-1}$  de CO en la profundidad de 0 - 0,50 m. En la zona templada subhúmeda las pérdidas de CO en suelos que poseen como situación inicial monte degradado ( $86,92 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) fueron de  $0,901$  y  $0,916 \text{ Mg ha}^{-1}$  de CO en la profundidad de 0 - 0,50 m. Los suelos que poseen como situación inicial pastura comparados con monte en recuperación (CO  $66,15 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) presentaron ganancias de CO en la profundidad de 0 - 0,50 m. La interacción entre variables condiciona el comportamiento del suelo. La estabilidad estructural interviene como variable para predecir el comportamiento del CO de suelo en las dos zonas climáticas estudiadas. El beneficio “demostrado” de la SD sobre el secuestro de C esta supeditado a las condiciones agroecológicas y de manejo como así también a las interacciones entre las propiedades físicas y químicas de cada suelo.

Palabras clave: carbono orgánico, siembra directa, monte, estabilidad estructural, pastura, soja.

## **Evolution of carbon in soils representative of the woodland in the sub-humid subtropical and temperate regions in Argentina under no-till.**

### **ABSTRACT**

The effects of no-till farming on the soil quality in areas where agriculture is growing, such as the subtropical and the temperate sub-humid regions in Argentina, are unknown. A practice that works in certain areas is introduced in others in which agriculture has never been practised and where the soil behavior is unknown. The weather has an influence on the organic carbon (OC) and, therefore, on the general soil behavior. The aim of this study was to evaluate the OC evolution in natural woodland soils (pristine, in the process of recovery or degraded) and its relationship with bulk density, structural stability, humidity, pH, clay, total nitrogen, and extractable phosphorus variables in order to determine whether no-till farming can be a sustainable practice along time. The losses took place in the two studied depths (0 - 0,20 y 0,20 - 0,50 m). Between 6,63 y 18,71 Mg ha<sup>-1</sup> of OC were lost annually in 0- 0,50m depth, taking the pristine woodland (90,67 Mg ha<sup>-1</sup>) as a reference. In the temperate sub-humid area, the OC losses in soils which have degraded woodland as initial situation (86,92 Mg ha<sup>-1</sup>) were those of 0,901 y 0,916 Mg ha<sup>-1</sup> of OC in the 0-0,50 m depth. The soils which have grazing land as initial situation showed OC gains in the 0-0,50 m depth in comparison with woodlands in the process of recovery (OC 66,15 Mg ha<sup>-1</sup>). Interaction between variables affects the behavior of soil. The structural stability acts as a variable to predict the OC behavior in the two studied areas. The "demonstrated" benefit of no-till farming on the sequestration of C depends on the agroecological conditions, the management conditions and the physical and chemical properties interactions of each soil.

Key words: organic carbon, no-till farming, woodland, structural stability, grazing land, soybean.

**Evolución del Carbono en suelos provenientes de monte bajo Siembra Directa del  
área subhúmeda templada y subtropical de Argentina**

María Florencia Barbero  
2010

Doctora en Ciencias Agropecuarias

Director de Tesis  
Bahill Jarsun

Comité de Tesis Doctoral  
Juan Gorgas  
Miguel Pilatti  
Miguel Taboada



## DEDICATORIAS

Al Padre Rafael P. Orona S.J.

A todos los productores agropecuarios

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer antes que nada a Dios que es el dueño de todas las cosas.

A las empresas de las familias Salcedo, Bottaro y Buteler que permitieron la realización de este trabajo ofreciendo sus establecimientos, financiando la totalidad de los análisis y brindándome su confianza.

A la Universidad Católica de Córdoba donde me formé y realicé mi trabajo doctoral.

A la Compañía de Jesús que a través de los jesuitas que conozco me contiene y ayuda a seguir el camino de Jesús.

A mi director el Dr. Bahill Jarsun por su acompañamiento y apoyo.

Al Comité de Tesis, Doctores Miguel Pilatti, Miguel Taboada y Juan Gorgas por su incondicional apoyo en las correcciones.

A los Doctores Susana Hang, César Izaurralde y Hernán Apezteguía por su acompañamiento en las primeras etapas.

Al Ingeniero Oscar Melo "Cachi" por su apoyo incondicional y por su entrega como docente durante toda mi carrera en la Universidad Católica de Córdoba.

A todas las personas que me acompañaron y acompañan en la realización de este trabajo: mis hijos, mi hermana, mis colaboradores María Teresa Rocca, Miryam Galleguillo, Carolina Ambrosino, Paola Quinteros, Florencia Delgado, Emilio Ceballos, Lucrecia Bauk, Lutezia Seppi.

A las Ingenieras Agrónomas Ana M. Gómez Demmel y Catalina Boetto por la preparación del manuscrito final y el acompañamiento.

A la MSc Gabriela Molina quien me ayudó especialmente con el análisis estadístico.

Al Estudio Scolari Romero y al Ing. Gustavo Ovando por las imágenes satelitales.

Quiero expresar un agradecimiento especial al Doctor Eduardo Frank por la transmisión de sus conocimientos y corrección final de la presentación de este trabajo.

Finalmente a los directivos y personas encargadas del Posgrado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Córdoba por su incondicional apoyo y calidad humana.

## INDICE GENERAL

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCION GENERAL.....	1
1.1.    Introducción.....	1
1.2.    Historia de los sistemas de labranza .....	2
1.3.    Labranzas y Sistemas de Producción en la Argentina.....	3
1.4.    Antecedentes bibliográficos.....	3
1.5.    Necesidad del estudio .....	7
1.6.    Originalidad del trabajo.....	7
1.7.    Hipótesis Principal.....	8
1.8.    Objetivo general .....	9
CAPITULO II.....	11
MATERIALES Y METODOS.....	11
2.1.    Materiales y Métodos .....	11
2.2.    Sitios de estudio.....	11
2.3.    Caracterización de los Establecimientos .....	12
2.4.    Recolección de muestras y determinaciones de suelo .....	17
2.5.    Historia de los lotes .....	18
2.6.    Análisis estadístico.....	21
CAPITULO III.....	24
EVOLUCION DEL CARBONO ORGANICO, RELACION CON LAS VARIABLES NITROGENO TOTAL, FOSFORO EXTRAIBLE, pH, HUMEDAD, DENSIDAD APARENTE, ESTABILIDAD ESTRUCTURAL y ARCILLA.....	24
3.1    Introducción.....	24
3.2    Materiales y métodos .....	26
3.3    Análisis estadístico.....	46
3.4    Contenido de Carbono orgánico (Mg ha <sup>1</sup> ) en el monte y en los tratamientos, relación con las variables químicas y físicas.....	56
3.5    Dinámica del CO en relación con los aportes de Carbono.....	66
3.6    Discusión.....	70
3.7    Conclusiones.....	74
CAPITULO IV .....	76
EVOLUCION DE LA DENSIDAD APARENTE Y ESTABILIDAD ESTRUCTURAL, RELACION CON LAS VARIABLES: CARBONO ORGANICO, HUMEDAD, pH y CONTENIDO DE ARCILLA.....	76
4.1    Introducción.....	76
4.2    Materiales y Métodos .....	77

4.3	Análisis estadístico .....	78
4.4	Resultados .....	78
4.5	Discusión.....	83
4.6	Conclusiones.....	86
CAPITULO V .....		87
INTEGRACION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....		87
5.1	Carbono orgánico.....	87
5.2	Relación del CO con el Nitrógeno total y Fósforo extraíble.....	91
5.3	Densidad aparente y Estabilidad Estructural en agua.....	92
5.4	Relación entre rendimientos y años de SD.....	93
5.5	Conclusión General.....	96
CAPITULO VI .....		103
BIBLIOGRAFIA.....		103
CAPITULO VII .....		110
ANEXO.....		110

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenidos de arena, limo y arcilla y clasificación textural de los horizontes ubicados a 0 - 0,20 y 0,20 - 0,50 m de profundidad del Haplustol Típico Los Jurías, en monte y en lotes con distintos años de siembra directa (SD) en el noreste de Santiago del Estero.....	13
Tabla 2. Contenidos de arena, limo y arcilla y clasificación textural de los horizontes ubicados a 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m de profundidad del Haplustol Típico Las Macitas, en monte y en lotes con distintos años de siembra directa (SD) en el centro – norte de Córdoba.....	14
Tabla 3. Contenidos de arena, limo y arcilla y clasificación textural de los horizontes ubicados a 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m de profundidad del Haplustol Típico Olaen, en monte y en lotes con distintos años de siembra directa (SD) en el centro de Córdoba.....	16
Tabla 4. Historia de los tratamientos en el establecimiento de Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero. Años 2000/01 a 2003/04. ....	18
Tabla 5. Historia de los tratamientos en el establecimiento de Totoral ubicado en el centro – norte de Córdoba. Años 1994/95 a 2003/04 .....	19
Tabla 6. Historia de los tratamientos del establecimiento en La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba. Años 1996/97 a 2003/04. ....	20
Tabla 7. Porcentaje de gramíneas y leguminosas de los distintos tratamientos en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, en el noreste de Santiago del Estero. ....	31
Tabla 8. Porcentaje de gramíneas y leguminosas de los distintos tratamientos en establecimiento ubicado en Totoral, en el centro-norte de Córdoba .....	32
Tabla 9. Porcentaje de gramíneas y leguminosas de los distintos tratamientos en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, en el centro de Córdoba.....	33
Tabla 10. Tratamientos, fechas de siembra, cultivos, fechas de cosecha y rendimientos en el año 2003-2004 del establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero .....	34
Tabla 11. Tratamientos, fertilización (producto y dosis), fechas de siembra, cultivos, fechas de cosecha y rendimientos año 2003-2004 del establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.....	34
Tabla 12. Tratamientos, carga animal de pastoreo, fertilización (producto y dosis), fechas de siembra, cultivos, fechas de cosecha y rendimientos año 2003-2004 del establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba. ....	36

Tabla 13. Precipitaciones (mm) en los distintos establecimientos. Período comprendido entre abril 2003 y marzo 2004. ....	37
Tabla 14. Temperaturas medias mensuales (°C) de cada uno de los establecimientos, período abril 2003 y marzo 2004. ....	37
Tabla 15. Aporte de Carbono kg ha <sup>-1</sup> al suelo por tratamiento teniendo en cuenta cultivo, años de cada cultivo, rendimiento promedio, índice de cosecha, relación raíz biomasa aérea, Carbono aportado por residuos aéreos, Carbono aportado por raíces profundidad 0-0,20 m y 0,20-0,50 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero. ....	39
Tabla 16. Aporte de Carbono kg ha <sup>-1</sup> al suelo proveniente de raíces por tratamiento en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero .....	40
Tabla 17. Aporte de Carbono kg ha <sup>-1</sup> al suelo por tratamiento teniendo en cuenta cultivo, años de cada cultivo, rendimiento promedio, índice de cosecha, relación raíz biomasa aérea, Carbono aportado por residuos aéreos, Carbono aportado por raíces profundidad 0-0,20 m y 0,20-0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.....	41
Tabla 18. Aporte de Carbono kg ha <sup>-1</sup> al suelo proveniente de raíces por tratamiento, profundidad 0-0,20 m, 0,20-0,50 m y 0-0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.....	42
Tabla 19. Aporte de Carbono kg ha <sup>-1</sup> al suelo por tratamiento teniendo en cuenta cultivo, años de cada cultivo, rendimiento promedio, índice de cosecha, relación raíz biomasa aérea, Carbono aportado por residuos aéreos, Carbono aportado por raíces profundidad 0 - 0,20 m y Carbono aportado por raíces 0,20 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba. ....	43
Tabla 20. Aporte de Carbono kg ha <sup>-1</sup> al suelo proveniente de raíces por tratamiento en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba. ....	44
Tabla 21. Carbono kg ha <sup>-1</sup> aportado por heces de animales en pastoreo en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba. ....	45
Tabla 22. Estimaciones de la varianza de las variables CO, pH, EE agua y Dap de suelos Haplustoles entre establecimientos ubicados en Las Vaquillas, Totoral y La Lagunilla y entre los tratamientos dentro de cada establecimiento. ....	46
Tabla 23. Carbono orgánico (CO, Mg ha <sup>-1</sup> ), Nitrógeno total (Nt, Mg ha <sup>-1</sup> ), Fósforo extraíble (P ext., kg ha <sup>-1</sup> ), pH, Densidad aparente (Dap, Mg m <sup>-3</sup> ), Estabilidad Estructural (EE agua, %), Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> ) y Arcilla (g kg <sup>-1</sup> ), en el monte y en los tratamientos, profundidad 0 – 0,20 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero .....	56
Tabla 24. Carbono orgánico (CO, Mg ha <sup>-1</sup> ), Nitrógeno total (Nt, Mg ha <sup>-1</sup> ), Fósforo extraíble (P ext., kg ha <sup>-1</sup> ), pH, Densidad aparente (Dap, Mg m <sup>-3</sup> ), Estabilidad Estructural (EE	

	agua, %), Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) y Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ ), profundidad 0,20-0,50 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero. ....	57
Tabla 25.	Carbono orgánico ( $\text{CO, Mg ha}^{-1}$ ), Nitrógeno total ( $\text{Nt, Mg ha}^{-1}$ ), Fósforo extraíble ( $\text{P ext., kg ha}^{-1}$ ), pH, Densidad aparente ( $\text{Dap, Mg m}^{-3}$ ), Estabilidad Estructural (EE agua, %), Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) y Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en el monte y en los tratamientos, profundidad 0 – 0,20 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.....	58
Tabla 26.	Carbono orgánico ( $\text{CO, Mg ha}^{-1}$ ), Nitrógeno total ( $\text{Nt, Mg ha}^{-1}$ ), Fósforo extraíble ( $\text{P ext., kg ha}^{-1}$ ), pH, Densidad aparente ( $\text{Dap, Mg m}^{-3}$ ), Estabilidad Estructural (EE agua, %), Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) y Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ ), en el monte y en los tratamientos, profundidad 0,20 – 0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.....	60
Tabla 27.	Carbono orgánico ( $\text{CO, Mg ha}^{-1}$ ), Nitrógeno total ( $\text{Nt, Mg ha}^{-1}$ ), Fósforo extraíble ( $\text{P ext., kg ha}^{-1}$ ), pH, Densidad aparente ( $\text{Dap, Mg m}^{-3}$ ), Estabilidad Estructural (EE agua, %), Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) y Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ ), en el monte y en los tratamientos, profundidad 0-0,20 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.....	62
Tabla 28.	Carbono orgánico ( $\text{CO, Mg ha}^{-1}$ ), Nitrógeno total ( $\text{Nt, Mg ha}^{-1}$ ), Fósforo extraíble ( $\text{P ext., kg ha}^{-1}$ ), pH, Densidad aparente ( $\text{Dap, Mg m}^{-3}$ ), Estabilidad Estructural (EE agua, %), Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) y Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ ), en el monte y en los tratamientos, profundidad 0,20 – 0,50 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.....	64
Tabla 29.	Carbono orgánico del suelo promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en los distintos tratamientos y el monte en diferentes profundidades (0 – 0,20 m, 0,20 – 0,50 m, 0 – 0,50 m) en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero. ....	66
Tabla 30.	Pérdidas de CO ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) totales y anuales en los tratamientos respecto a monte en la profundidad de 0 – 0,50 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.....	66
Tabla 31.	Pérdidas de Carbono ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) en el suelo respecto a monte y aportes de Carbono promedio ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) por residuos de cosecha en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.....	66
Tabla 32.	Porcentaje de Carbono orgánico de suelo perdido respecto a monte, en las profundidades de 0 – 0,20 m, 0,20 – 0,50 m y 0 – 0,50 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.....	67
Tabla 33.	Carbono orgánico promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en los distintos tratamientos y el monte en diferentes profundidades (0 – 0,20, 0,20 – 0,50, 0 – 0,50 m) en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba. ....	67

Tabla 34. Ganancias y pérdidas de CO (kg ha <sup>-1</sup> ) totales y anuales en los tratamientos respecto a monte en la profundidad de 0 – 0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.....	67
Tabla 35. Ganancias y pérdidas anuales de CO (kg ha <sup>-1</sup> ) de suelo, 0 – 0,50 m, comparadas con monte, aportes anuales de C (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) promedio por residuos de cosecha en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba. ...	68
Tabla 36. Ganancias y pérdidas de CO (%) de suelo respecto a monte, profundidad 0 – 0,20 m, 0,20 – 0,50 m y 0 – 0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.....	68
Tabla 37. Carbono orgánico del suelo promedio (kg ha <sup>-1</sup> ) en los distintos tratamientos y el monte en diferentes profundidades (0 – 0,20 m, 0,20 – 0,50 m, 0 – 0,50 m) en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba. ....	69
Tabla 38. Ganancias y pérdidas de CO (kg ha <sup>-1</sup> ) totales y anuales en los tratamientos respecto a monte, 0 – 0,50 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.....	69
Tabla 39. Ganancias y pérdidas anuales de CO (kg ha <sup>-1</sup> ) de suelo, 0 – 0,50 m, comparadas con monte, aportes anuales de C (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) promedio por residuos de cosecha en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.....	70
Tabla 40. Ganancias y pérdidas de CO (%) de suelo respecto a monte, en las profundidades de 0 – 0,20 m, 0,20 – 0,50 m y 0 – 0,50 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.....	70
Tabla 41. Carbono orgánico (Mg ha <sup>-1</sup> ), Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> ), Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> ), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla (g kg <sup>-1</sup> ), profundidad 0 – 0,20 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero. ..	78
Tabla 42. Carbono orgánico (Mg ha <sup>-1</sup> ), Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> ), Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> ), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla (g kg <sup>-1</sup> ), profundidad 0,20-0,50 en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero. ....	79
Tabla 43. Carbono orgánico (Mg ha <sup>-1</sup> ), Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> ), Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> ), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla (g kg <sup>-1</sup> ), profundidad 0 - 0,20 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba. ....	80
Tabla 44. Carbono orgánico (Mg ha <sup>-1</sup> ), Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> ), Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> ), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla (g kg <sup>-1</sup> ), profundidad 0,20 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba. ....	81
Tabla 45. Carbono orgánico (Mg ha <sup>-1</sup> ), Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> ), Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> ), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla (g kg <sup>-1</sup> ), profundidad 0 - 0,20 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.....	82

Tabla 46. Carbono orgánico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ ), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ ), profundidad 0,20 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.....	83
Tabla 47. Tratamientos, fechas de siembra, cultivos, fechas de cosecha, año 2003-2004 en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas en el noreste de Santiago del Estero.....	93
Tabla 48. Tratamientos, fechas de siembra, cultivos, fechas de cosecha, año 2003-2004 en el establecimiento ubicado en Totoral en el centro-norte de Córdoba.....	94
Tabla 49. Tratamientos, cultivos, fechas de siembra, fechas de cosecha, rendimientos y manejo, año 2003-2004 en el establecimiento ubicado en La Lagunilla en el centro de Córdoba.....	95

## INDICE DE GRAFICOS

- Gráfico 1. Biplot del análisis de componentes principales. Tratamientos Monte; 1 sd (1 año SD); 3 sd (3 años SD); 4 sd (4 años SD), C. orgánico (Carbono orgánico), Est.Estr. (Estabilidad estructural agua), Dens. Aparente (Densidad aparente), pH, Humedad y Arcilla del establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero. .... 47
- Gráfico 2. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla, en la profundidad 0 - 0,20 m del establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero. .... 48
- Gráfico 3. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla, en la profundidad 0,20 - 0,50 m del establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero ..... 49
- Gráfico 4. Biplot del análisis de componentes principales. Tratamientos Monte; 4 sd (4 años SD); 5 sd (5 años SD); 6 sd (6 años SD), 7 sd (7 años SD), 8 sd (8 años SD), 9 sd (9 años SD) C. orgánico (Carbono orgánico), Estab.Estruct. (Estabilidad estructural agua), Dens. Aparente (Densidad aparente), pH, Humedad y Arcilla del establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba ..... 50
- Gráfico 5. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla en la profundidad 0-0,20 m del establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba..... 51
- Gráfico 6. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla en la profundidad 0,20 - 0,50 m del establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba..... 52
- Gráfico 7. Biplot del análisis de componentes principales. Tratamientos Monte; 2 sd (2 años SD); 5 sd 20 C (5 años SD 20 C); 5 sd 20 D (5 años SD 20 D), 6 sd 11 A (6 años SD 11 A), 6 sd 22 (6 años SD 22), 7 sd 11B (7 años SD 11B) y 7 sd 17 (7 años SD 17), C. orgánico (Carbono orgánico), Estab.Estruct. (Estabilidad estructural agua), Dens. Aparente (Densidad aparente), pH, Humedad y Arcilla del establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba. .... 53
- Gráfico 8. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad

y Arcilla en la profundidad 0 - 0,20 m del establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.....	54
Gráfico 9. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla en la profundidad 0,20 - 0,50 m del establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.....	55

## INDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Fotografías de suelo 1SD, 3 SD y 4 SD en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas noreste de Santiago del Estero, fecha 23 de noviembre de 2004.....	89
Imagen 2. Imágenes satelitales de la evolución del desmonte en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero, años 2002, 2004,2005 y 2009.....	100

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de los Establecimientos ubicados en La Lagunilla, Totoral y Las Vaquillas en las Provincias de Córdoba y Santiago del Estero y en Argentina. ....	12
Figura 2. Perfil Típico del Haplustol Típico Los Juríes.....	13
Figura 3. Perfil Típico del Haplustol Típico Las Macitas. ....	14
Figura 4. Perfil Típico del Haplustol Típico Olaen .....	15

## INDICE DE ABREVIACIONES

ACP: Análisis de Componentes Principales  
A: Avena  
BA: Biomasa aérea  
C: Carbono  
CAH: Carbono aportado por heces hectárea  
Can: carga animal, animales hectárea  
CAR: Carbono aportado raíces hectárea  
CAT: Carbono aportado total hectárea  
CATP: Carbono total promedio aportado por año  
CPA: Carbono aportado parte aérea  
cm: centímetro  
cm<sup>3</sup>: centímetro cúbico  
CO: Carbono Orgánico  
CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono  
CMS: Consumo materia seca día<sup>-1</sup>  
CP: Componente Principal  
CP1: Primer Componente Principal  
CP2: Segundo Componente Principal  
CR(1): Carbono raíz 0 - 0,20 m  
CR(2): Carbono raíz 0,20 - 50 m  
CRT (1): Carbono total raíces años cultivo 0 - 0,20 m.  
CRT (2): Carbono total raíces años cultivo 0,20 - 0,50 m  
CRTC: Carbono raíces total cultivo años, 0 - 0,20 y 0,20 - 0,50 m.  
CRTT: Carbono raíces total tratamiento  
CRTTP: Carbono raíces total tratamiento promedio anual  
CTAC: Carbono total aportado por totalidad de años de cultivo  
CTAT: Carbono total aportado por tratamiento promedio anual  
CTATP: Carbono total aportado por tratamiento promedio anual  
CTC: Carbono total aportado cultivo año  
Dap.: Densidad Aparente  
DMS: Digestibilidad materia seca %.  
Est. Estr.: Estabilidad estructural agua  
EE agua: Estabilidad estructural agua  
G: girasol

g kg<sup>-1</sup>: gramo por kilogramo  
°C: Grado Centígrado  
Gram.: Gramíneas  
ha<sup>-1</sup>: por hectárea  
INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
kg: kilogramo  
kg ha<sup>-1</sup>: kilogramo por hectárea  
LC: Labranza Convencional  
Lat.: Latitud  
Long.: Longitud  
m: Metro  
M: maíz  
Mg ha<sup>-1</sup>: Megagramo por hectárea  
ml: Mililitro  
Mo: Molibdeno  
MST: materia seca total Kilogramo  
N: Nitrógeno  
NE: Noreste  
Nt: Nitrógeno Total  
P: Fósforo  
Pext: Fósforo Extraíble  
pH: Potencial de hidrógeno  
R: Raíz  
R/B: Relación raíces/biomasa aérea.  
S: soja  
SAMLA: Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelo y Agua.  
SD: Siembra Directa  
Sf: sorgo forrajero  
T: trigo  
Zn: Cinc

## INDICE DE ANEXOS

- Anexo 1. Contenido mensual de Carbono orgánico ( $\text{CO}, \text{Mg ha}^{-1}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004..... 111
- Anexo 2. Contenido mensual de Carbono orgánico ( $\text{CO}, \text{Mg ha}^{-1}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004..... 112
- Anexo 3. Contenido mensual de Nitrógeno total ( $\text{Nt}, \text{Mg ha}^{-1}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004..... 113
- Anexo 4. Contenido mensual de Nitrógeno total ( $\text{Nt}, \text{Mg ha}^{-1}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004..... 114
- Anexo 5. Contenido mensual de Fósforo extraíble ( $\text{Pext.}, \text{kg ha}^{-1}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004..... 115
- Anexo 6. Contenido mensual de Fósforo extraíble ( $\text{Pext.}, \text{kg ha}^{-1}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 – 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004. .... 116
- Anexo 7. Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004..... 117
- Anexo 8. Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004..... 118
- Anexo 9. Valores mensuales de Densidad aparente ( $\text{Dap}, \text{Mg m}^{-3}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en

	el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	119
Anexo 10.	Valores mensuales de Densidad aparente ( $D_{ap}$ , $Mg\ m^{-3}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	120
Anexo 11.	Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	121
Anexo 12.	Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	121
Anexo 13.	Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	122
Anexo 14.	Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	123
Anexo 15.	Contenido mensual de Carbono orgánico ( $CO$ , $Mg\ ha^{-1}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	124
Anexo 16.	Contenido mensual de Carbono orgánico ( $CO$ , $Mg\ ha^{-1}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	125
Anexo 17.	Contenido mensual de Nitrógeno total ( $Nt$ , $Mg\ ha^{-1}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	126
Anexo 18.	Contenido mensual de Nitrógeno total ( $Nt$ , $Mg\ ha^{-1}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	127

Anexo 19. Contenido mensual de Fósforo extraíble (Pext.,kg ha <sup>-1</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	128
Anexo 20. Contenido mensual de Fósforo extraíble (Pext.,kg ha <sup>-1</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	129
Anexo 21. Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	130
Anexo 22. Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	131
Anexo 23. Valores mensuales de Densidad aparente (Dap, Mg m <sup>-3</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	132
Anexo 24. Valores mensuales de Densidad aparente (Dap, Mg m <sup>-3</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	133
Anexo 25. Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	134
Anexo 26. Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	134
Anexo 27. Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	135
Anexo 28. Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el	

	establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	136
Anexo 29.	Contenido mensual de Carbono orgánico (CO,Mg ha <sup>-1</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	137
Anexo 30.	Contenido mensual de Carbono orgánico (CO,Mg ha <sup>-1</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	138
Anexo 31.	Contenido mensual de Nitrógeno total (Nt,Mg ha <sup>-1</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	139
Anexo 32.	Contenido mensual de Nitrógeno total (Nt,Mg ha <sup>-1</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	140
Anexo 33.	Contenido mensual de Fósforo extraíble (Pext.,kg ha <sup>-1</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	141
Anexo 34.	Contenido mensual de Fósforo extraíble (Pext.,kg ha <sup>-1</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	142
Anexo 35.	Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	143
Anexo 36.	Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	144
Anexo 37.	Valores mensuales de Densidad aparente (Dap, Mg m <sup>-3</sup> ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	145

Anexo 38. Valores mensuales de Densidad aparente ( $D_{ap}$ , $Mg\ m^{-3}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	146
Anexo 39. Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	147
Anexo 40. Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50m en el período abril 2003-marzo 2004.....	147
Anexo 41. Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004. ....	148
Anexo 42. Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.....	149

# CAPITULO I

## INTRODUCCION GENERAL

### 1.1. Introducción

El potencial de producción de las variedades vegetales mejoradas y el germoplasma de mayores rendimientos no se expresa actualmente en algunas regiones (África Sub-Sahara y Sur de Asia) debido a la degradación de los suelos. Muchos de los suelos degradados de los agro ecosistemas poseen menor contenido de Carbono orgánico que los suelos bajo ecosistemas naturales. (Lal, 2010)

La Materia Orgánica (MO) (58% C) es el indicador más importante de calidad de suelo debido a que es un factor determinante de todos los procesos que en él se desarrollan. En los procesos químicos es fuente de los principales nutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre, cinc, molibdeno), aumenta la capacidad de intercambio catiónico, es responsable del intercambio de iones, aumenta los niveles de nutrientes y la eficiencia del uso del agua debido a la reducción de las pérdidas por drenaje, la evaporación y la volatilización, actúa como amortiguador frente a fluctuaciones bruscas de la reacción del suelo (pH) debido a la aplicación de fertilizantes. En los procesos físicos promueve la agregación de suelo mejorando su capacidad de laboreo, incrementa la infiltración de agua disminuyendo las pérdidas por escorrentía, aumenta la estabilidad de los agregados del suelo conduciendo a la reducción de la susceptibilidad a la erosión y es moderador de la temperatura del suelo a través de su efecto en el color del suelo y el albedo. En los procesos biológicos actúa como sustrato y fuente de energía para la biota del suelo aumentando la biodiversidad microbiana (Lal, 2004).

Albrecht en el año 1938 refiriéndose a los suelos de Estados Unidos decía que la materia orgánica (CO) es uno de nuestros recursos nacionales más importantes, y su explotación irracional ha sido devastadora. Debe ser considerada como uno de los principales factores que afectan los niveles de producción de cultivos en el futuro.

El clima tiene un gran impacto sobre las pérdidas del CO del suelo. La conversión de ecosistemas naturales a agrícolas incrementa la temperatura máxima del suelo y disminuye la acumulación de humedad en la zona radicular, (Lal, 2004).

La labranza aumenta la mineralización del CO incorporando residuos de cultivos, favoreciendo la actividad de los microorganismos (Gregorich et al., 1998), físicamente rompe los agregados y expone el CO encapsulado a la descomposición (Lal, 2004).

## 1.2. Historia de los sistemas de labranza

La preparación del suelo para la implantación y cuidado de los cultivos ha sido considerado siempre como un componente fundamental de la agricultura. En su aspecto más fundamental, la preparación del suelo consiste en crear, por métodos físicos o químicos, las mejores condiciones físicas para la germinación de semillas, el crecimiento de las raíces, como así también para el abastecimiento de agua y nutrientes (Wild, 1992). En un contenido más amplio, las labranzas tienen como objetivo crear un buen lecho de siembra, eliminar malezas, disminuir la compactación causada por tráfico previo o por labores anteriores, aumentar la permeabilidad, mejorar la aireación favoreciendo la penetración de las raíces e incorporar residuos de cosecha (Wild, 1992).

Sin embargo, existen aspectos negativos de las labranzas no quizás por la labranza en sí, sino por el mal uso de la labranza como sistema, lo que ha llevado en muchos casos a la degradación de los recursos naturales. Entre los aspectos negativos de las labranzas se pueden mencionar el taponamiento de poros superficiales por partículas finas lo que facilita la ocurrencia de la erosión hídrica y eólica (Wild, 1992), disminución de la materia orgánica del suelo por mayor oxidación del carbono orgánico, menor infiltración de agua por formación de costras y pérdida de estructura (Six et al., 1998; Wild, 1992).

La evolución en el uso de distintos implementos para el trabajo del suelo se debe a que se fueron conociendo los impactos que cada uno de ellos ocasionaba sobre el suelo y el ambiente. La primera herramienta utilizada fue el arado de reja el cual, desde su invención en el período Neolítico hasta el presente, ha tenido numerosas modificaciones transformándolo desde un simple palo para hendir la tierra a un sofisticado instrumento de acero templado con gran eficiencia para invertir el pan de tierra y enterrar residuos. Sin embargo, el arado de reja y vertedera provoca una ruptura de la estructura natural del suelo al invertir totalmente el pan de tierra, dejando expuesto en la superficie suelo que posee escasa estructura, aumentando el riesgo de erosión hídrica y eólica (Wild, 1992). Al mismo tiempo, incorpora la materia orgánica contenida en los residuos superficiales, aumentando las condiciones de mineralización y la exacerbación de la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera y por ende contribuyendo al calentamiento global (Six et al., 1999; Olchin et al., 2008; Bono et al., 2008; White et al., 2009).

El reconocimiento de los problemas causados por el arado de reja y vertedera llevó a productores, investigadores y fabricantes de maquinarias al desarrollo del arado de disco, el cual presenta algunas ventajas sobre el de reja y vertedera en el sentido que la inversión del suelo no es total, sino que deja sobre la superficie cierta cantidad de residuos vegetales lo cual contribuye a disminuir la erosión. Con el tiempo se desarrollaron otros instrumentos de labranza tales como el arado cincel, el cual mueve el suelo en profundidad aumentando su

porosidad produciendo una incorporación parcial de los restos vegetales con rastra doble acción a menor profundidad que con el arado de discos.

Quizás como pináculo en el desarrollo del concepto de labranza está el desarrollo de la siembra directa (SD) a partir de los años 1970 en Estados Unidos e Inglaterra. Esta práctica consiste en crear condiciones para la siembra de cultivos con instrumentos que remueven mínimamente el suelo (sólo en la cama de siembra) y dejar, en consecuencia, el resto de la superficie del suelo cubierta con rastrojos de la cosecha anterior. Estos rastrojos en superficie ayudan a la infiltración del agua y dan protección al suelo contra la erosión hídrica y eólica.

### **1.3. Labranzas y Sistemas de Producción en la Argentina**

Desde un punto de vista histórico general la Argentina ha tenido un desarrollo similar a Estados Unidos y Canadá en cuanto a la adopción inicial de tecnologías agrícolas de origen europeo (basadas en el arado de reja y vertederas), seguido por problemas graves de erosión y degradación de suelos, y culminando con la adopción de sistemas de conservación para la producción agrícola.

En Argentina una expansión extraordinaria ha estado ocurriendo durante los últimos 15 años en respuesta a la globalización de mercados agropecuarios y la adopción de paquetes tecnológicos incluyendo fertilizantes, herbicidas, siembra directa, y cultivos transgénicos. Todos estos factores han influido en la expansión de la frontera agropecuaria a través de desmontes en zonas ganaderas y la producción de cultivos, principalmente soja (*Glycine max* [L.] Merr.), con sistemas de siembra directa.

Se considera entonces que para una aplicación exitosa de tecnología agrícola, se debe conocer más acerca del comportamiento de cada suelo, los procesos y las interacciones entre los constituyentes del mismo ya que es un sistema complejo y las reacciones que se producen dentro de él están estrechamente relacionadas y son interdependientes.

### **1.4. Antecedentes bibliográficos**

#### **1.4.1 Evolución de la Siembra Directa en el Mundo y en Latino América**

La evolución de los distintos sistemas de labranza se debió principalmente a evitar el empobrecimiento de los suelos por problemas de erosión y a disminuir los gastos de energía utilizada. La SD insume mucha menos energía que todas las herramientas descritas, permitiendo sembrar mucha mayor superficie en menos tiempo, resultando esto muy ventajoso en zonas con limitantes climáticas.

La necesidad de la siembra directa aparece en los Estados Unidos como una respuesta a la preocupación despertada por la erosión de los suelos, después de años de sucesivas labranzas y fundamentalmente luego de las tormentas de polvo que asolaron a las grandes llanuras norteamericanas (las llanuras entre el río Mississippi y las Montañas Rocosas) en el primer quinquenio de la década de los treinta. De esta manera se intentaron labranzas más conservacionistas a través del arado cincel y el mantenimiento de cierta cobertura de rastrojos (Derpsch, 2008).

En la década de los sesenta algunos agricultores comenzaron cultivos a escala comercial, lo que alentó a las empresas fabricantes de maquinaria agrícola a desarrollar las primeras sembradoras para siembra directa involucrándose en la red de investigación y difusión de la labranza cero. En el sector público se formaron centros de investigación (United States Department of Agriculture y universidades, entre otros). Después de los Estados Unidos, la siembra directa por influjo de Imperial Chemical Industries (ICI) se extendió en Gran Bretaña. Por su parte, las Universidades de Gran Bretaña hacían investigación en problemas de erosión de suelos (Derpsch, 2008).

La SD en Gran Bretaña se practicaba junto con la quema de rastrojos. Esta práctica produce efectos positivos a corto plazo ya que mineraliza la materia orgánica y con ello se aporta nitrógeno, fósforo y potasio, logrando una fertilización inmediata pero reduciendo la materia orgánica a mediano y largo plazo. Por tal motivo fue prohibida en Inglaterra a mediados de los años ochenta, reduciéndose la superficie bajo este sistema. (Derpsch, 2008).

Brasil fue el primer país sudamericano en introducir la SD, en el estado de Paraná. Los productores brasileños tenían las mismas preocupaciones que sus pares norteamericanos y las compañías de herbicidas comenzaron a percibir lo que significaba este nuevo tipo de labranza, estableciendo vínculos de investigación, promoción y desarrollo (Derpsch, 2008).

La siembra directa se inicia en Argentina alrededor de 1960, con trabajos realizados en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Surgió como una técnica conservacionista para solucionar el problema de erosión y degradación de suelos. La adopción por parte de los productores comenzó a partir de 1990.

La siembra directa se transformó en una práctica generalizada en Argentina en el año 2004 – 2005 ya que la superficie implantada bajo este sistema fue de 18.269.000 hectáreas (Derpsch, 2008).

#### **1.4.2 Información disponible sobre Siembra Directa**

Se desconocen los efectos de la SD sobre la calidad del suelo en zonas de expansión agropecuaria tales como ocurre en las regiones subhúmeda, subtropical y templada que bordean la zona tradicional de producción agrícola de Argentina. Se entiende

que cada suelo posee un comportamiento particular de acuerdo a la zona agroclimática donde se encuentra y en función de sus propiedades que varían con el tiempo (Lal, 2004). Sin embargo, se traslada una práctica que hasta el momento funciona en determinadas zonas a otras, donde no se hizo anteriormente agricultura ni se conoce el comportamiento del recurso suelo. Sumado a esto, se realiza monocultivo de soja debido a su rentabilidad sin atender al efecto sobre el CO del suelo.

Gran parte de la información existente de los efectos de la SD sobre el Carbono orgánico del suelo (CO) a nivel internacional se refiere a climas templados húmedos.

Pikul (2009), comparando suelos bajo 10 años de SD con labranza convencional encontró mayores niveles de materia orgánica y estabilidad de agregados en agua en SD. Diversos autores, comparando SD versus labranza convencional, concluyen que la SD presenta ventajas en el CO del suelo debido a que la labranza convencional incorpora materia orgánica contenida en los residuos superficiales aumentando las condiciones de mineralización y la exacerbación de la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera y por ende contribuyendo al calentamiento global (Six et al., 1999; Bono et al., 2008; White et al., 2009). Contrariamente Olchin (2008) y Murage (2007) sostienen que el uso de SD no afecta la acumulación de carbono orgánico. La ganancia de Carbono en SD comparada con labranza convencional es limitada solo a profundidades superiores. El efecto de la SD sobre el secuestro de Carbono en el perfil (0-60 cm) no es significativamente diferente a los de labranza convencional; en muchos casos es mayor en labranza convencional, (Blanco-Canqui et al. 2008).

A nivel nacional, la incorporación de carbono bajo siembra directa es un tema abordado por diversos autores y las conclusiones son contradictorias.

Fabrizzi (2005) trabajando con suelos de la Pampa húmeda de Argentina (Argiudol cálcico), comparando labranza convencional con siembra directa después de 8 años de SD, encontró que la estratificación del carbono orgánico total, nitrógeno total y la materia orgánica particulada fueron observadas en la profundidad de 0-0,075 m bajo SD en suelos degradados, no fertilizados con nitrógeno.

En Anguil, Región semiárida pampeana de Argentina, se encontró que trabajos realizados en parcelas arrojaron mayores niveles de Carbono orgánico bajo SD que las que poseían labranza convencional. En suelos con pendiente de 2 a 4 % la materia orgánica se incrementó en la profundidad de 0,025 m después de 4 años de SD comparado con labranza convencional (Bono et al., 2008).

Alvarez (2009), trabajando con suelos de la Pampa húmeda (Argiudol Típico) no encuentra diferencias en el contenido de Carbono orgánico del suelo comparando labranza convencional con SD.

El contenido de CO de suelo está interrelacionado con propiedades físicas como densidad aparente (menor densidad aparente se correlaciona con mayores valores de CO,

menor resistencia a la penetración) y estabilidad de agregados (aumentos en la estabilidad de agregados se correlacionan con mayores niveles de CO), y como consecuencia con la conservación de humedad (Orellana et al., 1994). Sobre estos aspectos existe diversidad de opiniones.

Fabrizzi (2005), trabajando en un Argiudol cálcico, encontró mayores valores de densidad aparente bajo SD que bajo mínima labranza a 0,03-0,08 m y 0,13-0,18 m. La resistencia a la penetración mostró diferencias entre SD y labranza mínima siendo mayor bajo SD en todas las profundidades muestreadas (0,03-0,08 y 0,13-0,18 m). Taboada et al. (1998) trabajando con dos suelos de diferente textura (franco arenoso y franco arcillo limoso) en la Pampa húmeda encontró incrementos de la resistencia a la penetración en la superficie del suelo después de 4 años de SD.

Ferreras (1996) no encontró diferencias en la densidad aparente entre labranza convencional y SD. Pikul (1995) enuncia que la densidad aparente fue menor bajo suelos con residuos en superficie. Álvarez (2006) dice que los suelos manejados con siembra directa presentan valores de resistencia a la penetración y de densidad aparente en superficie mayores que los suelos laboreados.

El aumento de la calidad de la estructura del horizonte superficial del suelo es esperado con SD, pero la literatura de las últimas 2 décadas ha demostrado que las propiedades físicas del suelo no siempre se comportan de manera positiva bajo SD continua en suelos de la Pampa húmeda. Después de varios años de SD muchos suelos desarrollan compactación superficial manifestándose en aumentos de la densidad aparente, resistencia mecánica a la penetración y disminución de la macroporosidad influenciado por la textura del suelo. (Alvarez et al., 2009)

Las prácticas de manejo con un alto retorno de residuos de carbono producen un incremento de la estabilidad de agregados, con niveles de acumulación de Carbono similares a los naturales, (Singh et al., 2009).

Bajo SD hay una tendencia de los macroporos a orientarse paralelos a la superficie del suelo. La susceptibilidad a la estratificación de la estructura en los primeros centímetros de suelo bajo SD se atribuye a la predominancia de soja en la secuencia de cultivos (Sasal et al., 2005).

La conservación de la humedad es uno de los principales atributos de la siembra directa, ya que se evita la evaporación por efecto de no mover el suelo y por la cobertura sobre la superficie (Ferreras et al., 1999; Sanzano et al., 2005; Díaz Zorita et al., 2004). La compactación superficial en suelos de textura franco limosa se traduce en una restricción a la entrada de agua en el suelo disminuyendo el nivel de infiltración (Alvarez et al., 2009)

Los trabajos sobre carbono orgánico y las propiedades físicas en siembra directa se refieren a la estratificación de las mismas y sostienen que los mayores valores de estas variables, comparando con labranza convencional, se dan en los primeros centímetros de

suelo. Se hace referencia a la SD pero sin distinguir variaciones en el manejo: no es lo mismo sembrar directamente sin aplicar abonos o con distintas secuencias de cultivos.

### **1.5. Necesidad del estudio**

Existe muy poca información sobre el comportamiento de los suelos en las zonas subhúmedas, subtropical y templada. Las condiciones de suelo y clima donde se desarrollan la mayor parte de los trabajos publicados corresponden a la zona pampeana húmeda con precipitaciones de 1.000 mm y suelos con altos porcentajes de arcilla y limo, con presencia de horizonte B<sub>t</sub>.

La mayor parte de la población se concentra en las áreas tropicales y subtropicales con una demanda creciente de alimentos, lo que implica aumentar la producción agropecuaria (Hartemink, 2002). Es prioritario conocer el comportamiento de las variables que indican con mayor precisión el comportamiento del suelo, Carbono orgánico y Estabilidad de agregados en la zona subhúmeda.

Es necesario investigar qué sucede con el secuestro de Carbono en el total del perfil del suelo. La información limitada sobre la distribución del Carbono orgánico en el suelo impide concluir sobre los efectos benéficos de la SD sobre el secuestro de Carbono orgánico en profundidad.

Para poder afirmar y generalizar los beneficios de los sistemas de SD se requiere del conocimiento de un gran número de suelos en distintas condiciones de clima. La mayoría de la información disponible sobre el secuestro de Carbono en SD fue recogida de parcelas de investigación donde las condiciones están controladas (labranza, sistemas de cultivo, niveles de retorno de residuos, control de malezas e insectos). El secuestro de Carbono en Vertisoles en condiciones de campo es menor o nulo respecto al encontrado en parcelas (Micucci et al., 2006), particularmente sobre la distribución del Carbono en la profundidad del perfil (Blanco-Canqui et al., 2008) en suelos de diferentes climas y texturas franco, franco arcilloso, franco arcillo limoso.

### **1.6. Originalidad del trabajo**

La originalidad de este trabajo consiste en generar datos para Haplustoles de las zonas subhúmedas, subtropical y templada donde ha avanzando el desmonte, con condiciones climáticas y de suelo distintas a las de la pampa húmeda, evaluando en qué medida cambia el C en superficie (0 - 0,20 m) y en profundidad (0,20 - 0,50 m) en suelos vírgenes bajo SD y en suelos con distinta antigüedad de SD.

No se conocen en el país trabajos publicados que estudien la evolución del CO en profundidad. La mayoría de ellos se refiere a la estratificación en los primeros centímetros de suelo. Al provenir de monte puede existir una lixiviación de CO hacia profundidades mayores a 0,20 m, lo que trae como consecuencia un comportamiento distinto del suelo.

Tampoco se conocen en el país, trabajos publicados que muestren la evolución del CO bajo SD a partir de monte y entre años de SD. La mayoría de estos trabajos comparan situaciones bajo Labranza convencional versus SD. La SD ya es una práctica generalizada en la zona subtropical y templada subhúmeda por lo que es importante trabajar con una secuencia en años de SD para ver la evolución de las distintas variables y en distintas condiciones de clima (subhúmedo subtropical y templado) tendiendo a lograr mejores conclusiones.

Se intenta encontrar el manejo (porcentaje de gramíneas y leguminosas, cultivos durante todo el año, pastoreo) más adecuado para los suelos de estas regiones evitando extrapolar normas de manejo de otras regiones con características agroclimáticas y suelos muy distintos (pampa húmeda).

## **1.7. Hipótesis Principal**

El beneficio “demostrado” de la SD referido al secuestro de Carbono en el suelo está supeditado a las condiciones agroecológicas y de manejo como también a las interacciones entre las propiedades físicas y químicas de cada suelo.

### **1.7.1 Hipótesis secundarias**

1.7.1.1- La temperatura afecta las pérdidas de CO del suelo provocando su disminución en la profundidad de 0 - 0,20 m en Haplustoles.

1.7.1.2- Mayores temperaturas (clima subtropical) provocan disminuciones de CO de suelo en la profundidad de 0,20 - 0,50 m en Haplustoles.

1.7.1.3- Los suelos provenientes de monte presentan mayores pérdidas de CO que aquellos que presentan como condición inicial pasturas.

1.7.1.4- Mayor porcentaje de gramíneas en la historia agrícola del suelo y la presencia de cultivos invernales provoca mayores niveles de CO que los suelos con mayor porcentaje de soja.

1.7.1.5- La SD aumenta la conservación de humedad como consecuencia de no mover el suelo. Más años de SD se relaciona con mayor contenido de agua en el perfil.

1.7.1.6- Mayores niveles de CO provocan menores valores de Dap.

1.7.1.7- Las pérdidas de CO de suelo son menores en suelos con mayor contenido de arcilla.

- 1.7.1.8- La Dap aumenta con los años de SD por compactación.
- 1.7.1.9- La Estabilidad de agregados aumenta con los años de SD.
- 1.7.1.10- Mayores niveles de CO total provocan una mayor estabilidad de agregados en agua.
- 1.7.1.11- Las variables físicas y químicas de suelo interactúan entre sí condicionando el comportamiento de cada una de ellas.
- 1.7.1.12- El balance de Carbono permite predecir el comportamiento del CO de suelo.

## **1.8. Objetivo general**

Estudiar la evolución del carbono orgánico (CO) y su relación con nitrógeno total (Nt), fósforo extraíble (Pext.), estabilidad estructural en agua (EE agua), densidad aparente (Dap), humedad, pH y contenido de arcilla de suelo en Haplustoles bajo monte y en una secuencia de años bajo SD ubicados en la zona subtropical y templada subhúmeda de Argentina para intentar determinar si la siembra directa puede ser una práctica que haga sustentable al recurso suelo a través del tiempo. Las condiciones de manejo son: distintos porcentajes de gramíneas y leguminosas en la historia agrícola de los tratamientos, suelos descubiertos durante el invierno y con cultivo durante todo el año, pastoreo.

### **1.8.1 Objetivos específicos**

1.8.1.1- Cuantificar el efecto de la SD sobre el contenido de carbono orgánico de suelo en las zonas subhúmedas, subtropical y templada, tomando como referencia al monte, en distintas profundidades 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m.

1.8.1.2- Cuantificar el efecto de distintos manejos (distinto porcentaje de gramíneas-soja en la historia agrícola de los tratamientos, suelo descubierto durante el invierno, suelo con cultivos durante todo el año, pastoreo) bajo SD sobre el contenido de carbono orgánico y su relación con las variables físicas como densidad aparente, estabilidad estructural agua y contenido de arcilla tomando como referencia al monte en las profundidades de 0-0,20 m y 0,20-0,50 m.

1.8.1.3- Cuantificar el efecto de distintos climas y manejos en suelos bajo SD sobre el contenido de carbono orgánico y su relación con las variables nitrógeno total, fósforo extraíble y pH tomando como referencia al monte en las profundidades de 0-0,20 m y 0,20-0,50 m.

1.8.1.4- Cuantificar la densidad aparente y estabilidad de agregados por efecto del número de años bajo Siembra Directa en las profundidades de 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m.

1.8.1.5- Establecer relaciones entre los años de Siembra Directa y el carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo extraíble, estabilidad estructural en agua, densidad aparente, pH, humedad y arcilla en las profundidades de 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m.

1.8.1.6- Establecer relaciones entre el rendimiento de cultivos con el sistema de Siembra Directa en la zona subhúmeda subtropical y templada bajo diferentes manejos.

1.8.1.7- Realizar el balance de Carbono en base a los rendimientos de los cultivos implantados bajo SD para evaluar su concordancia con los niveles de Carbono en el suelo.

## **CAPITULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1. Materiales y Métodos**

La elección de los sitios de trabajo se realizó considerando que los establecimientos estudiados poseen condiciones agroclimáticas diferentes: Totoral y La Lagunilla poseen clima templado subhúmedo, pertenecen a la Pampa Loessica Alta y Las Vaquillas posee clima subtropical subhúmedo, pertenece al Chaco semiárido.

#### **2.2. Sitios de estudio**

El trabajo se realizó en tres establecimientos con distintas situaciones de clima, suelo, manejo y condición inicial de SD ubicados en:

- Las Vaquillas, (S 27° 17'09" W 61° 57' 21.4"), en el noreste de la Provincia de Santiago del Estero ubicado a 900 km de Córdoba Capital
- Totoral, (S 30° 39' 39.9" W 63° 56'35.9") en el centro - norte de Córdoba ubicado a 80 km de Córdoba Capital
- La Lagunilla, (S 31° 31' 35.8" W 64° 21' 46.1"), en el centro de la Provincia de Córdoba ubicado a 25 km de Córdoba Capital

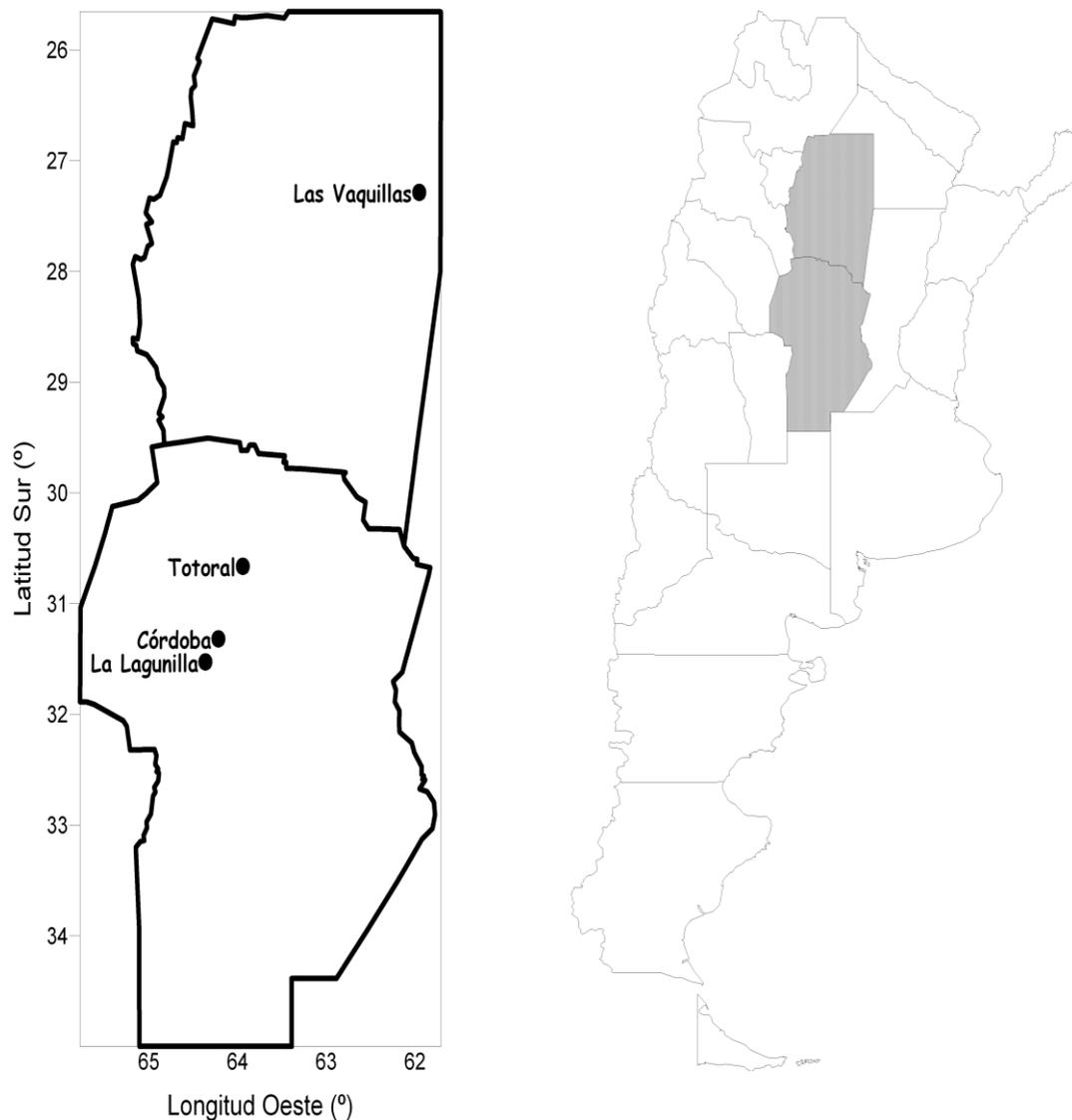


Figura 1. Ubicación geográfica de los Establecimientos ubicados en La Lagunilla, Totoral y Las Vaquillas en las Provincias de Córdoba y Santiago del Estero y en Argentina.

### 2.3. Caracterización de los Establecimientos

#### 2.3.1 Características de suelo

##### 2.3.1.1 Las Vaquillas

Se encuentra en la llanura estabilizada chaqueña en situación de explanadas. Los suelos se clasifican como Haplustoles Típicos. (Soil Taxonomy), Serie Los Jurés (Angueira C. et al., 2006). El material originario es loess coincidente con un área de derrame fluvial (Jarsun com. pers).

La textura es variada de acuerdo al lote de que se trata. El monte es arcilloso en la profundidad de 0 - 0,20 m y franco arcilloso en la profundidad de 0,20 - 0,50 m. El tratamiento de 1 año de SD es arcilloso en la profundidad de 0 - 0,20 m y franco arcilloso

limoso de 0,20-0,50 m. El tratamiento de 3 años de SD es arcilloso en la profundidad de 0 - 0,20 m y franco arcilloso en la profundidad de 0,20 - 0,50 m y el tratamiento de 4 años de SD es franco arcilloso en las dos profundidades analizadas.

A	25cm
B1	50cm
B2	70cm
BCca	90cm
Cca	

Figura 2. Perfil Típico del Haplustol Típico Los Juríes.

Tabla 1. Contenidos de arena, limo y arcilla y clasificación textural de los horizontes ubicados a 0 - 0,20 y 0,20 - 0,50 m de profundidad del Haplustol Típico Los Juríes, en monte y en lotes con distintos años de siembra directa (SD) en el noreste de Santiago del Estero.

Tratamiento	Profundidad (m)	Arena (g kg <sup>-1</sup> )	Limo (g kg <sup>-1</sup> )	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )	Clasificación Textural
Monte	0 - 0,20	223	358	419	Arcilla
	0,20 - 0,50	233	419	348	Franco Arcilloso
1SD	0 - 0,20	237	356	407	Arcilla
	0,20 - 0,50	134	471	395	Franco Arcillo Limoso
3SD	0 - 0,20	213	380	407	Arcilla
	0,20 - 0,50	288	321	391	Franco Arcilloso
4SD	0 - 0,20	276	353	371	Franco Arcilloso
	0,20 - 0,50	298	399	303	Franco Arcilloso

### 2.3.1.2 Totoral

El suelo es un Haplustol Típico (Soil taxonomy) corresponde a lomas planas extendidas, bien drenado, profundo, más de 100 cm. Serie Las Macitas (Gorgas et al., 2003). La textura es franco en superficie y en el subsuelo. El material original es loess (Jarsun com. pers).

A	23cm 43cm 67cm
B	
BC	
Cca	

Figura 3. Perfil Típico del Haplustol Típico Las Macitas.

Tabla 2. Contenidos de arena, limo y arcilla y clasificación textural de los horizontes ubicados a 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m de profundidad del Haplustol Típico Las Macitas, en monte y en lotes con distintos años de siembra directa (SD) en el centro – norte de Córdoba.

Tratamiento	Profundidad (m)	Arena (g kg <sup>-1</sup> )	Limo (g kg <sup>-1</sup> )	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )	Clasificación Textural
Monte	0 - 0,20	492	290	218	Franco
	0,20 - 0,50	438	391	171	Franco
4SD	0 - 0,20	323	415	262	Franco
	0,20 - 0,50	357	407	236	Franco
5SD	0 - 0,20	462	299	239	Franco
	0,20 - 0,50	464	329	207	Franco
6SD	0 - 0,20	450	339	211	Franco
	0,20 - 0,50	500	294	206	Franco
7SD	0 - 0,20	434	295	271	Franco
	0,20 - 0,50	360	433	207	Franco
8SD	0 - 0,20	380	389	231	Franco
	0,20 - 0,50	412	380	208	Franco
9SD	0 - 0,20	494	259	247	Franco Arcillo Arenoso
	0,20 - 0,50	442	358	200	Franco

### 2.3.1.3 La Lagunilla

Son suelos bien drenados, profundos más de 100 cm. La textura de los suelos es Franco para los tratamientos Monte y 2 Años SD y Franco arcilloso para el resto de los tratamientos. Poseen buenos niveles de materia orgánica, alta capacidad de intercambio, ligeramente inclinados y ligera erosión hídrica. Se definen como Haplustoles Típicos (Soil Taxonomy). Serie Olaen (Gorgas et al.,2003). El material original es loess (Jarsun com. pers).

A	23cm
BA	43cm
B	67cm
Cca	

Figura 4. Perfil Típico del Haplustol Típico Olaen

Tabla 3. Contenidos de arena, limo y arcilla y clasificación textural de los horizontes ubicados a 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m de profundidad del Haplustol Típico Olaen, en monte y en lotes con distintos años de siembra directa (SD) en el centro de Córdoba.

Tratamiento	Lote	Profundidad (m)	Arena (g kg <sup>-1</sup> )	Limo (g kg <sup>-1</sup> )	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )	Clasificación Textural
Monte	11 A	0 - 0,20	380	370	250	Franco
		0,20 - 0,50	415	331	254	Franco
2 Años SD	29 A	0 - 0,20	459	294	247	Franco
		0,20 - 0,50	304	487	209	Franco
5 Años SD	20 C	0-0,20	355	399	246	Franco
		0,20 - 0,50	480	311	209	Franco
	20 D	0 - 0,20	456	251	293	Franco Arcilloso
		0,20 - 0,50	393	323	284	Franco Arcilloso
6 Años SD	22	0 - 0,20	374	340	286	Franco Arcilloso
		0,20 - 0,50	445	259	296	Franco Arcilloso
	11 A	0 - 0,20	307	396	297	Franco Arcilloso
		0,20 - 0,50	430	310	260	Franco
7 Años SD	11 B	0 - 0,20	364	360	276	Franco Arcilloso
		0,20 - 0,50	360	348	292	Franco Arcilloso
	17	0 - 0,20	309	409	282	Franco Arcilloso
		0,20 - 0,50	274	419	307	Franco Arcilloso

## 2.3.2 Clima y vegetación natural

### 2.3.2.1 Las Vaquillas

Pertenece al Chaco semiárido. El clima es subtropical subhúmedo. Es una extensa llanura ubicada en la porción central del Chaco sudamericano. Se extiende y prolonga por el sur en forma discontinua desde el norte de Córdoba hasta la parte sur del departamento de Santa Cruz.

En esta región las precipitaciones son del orden de los 650 mm anuales, abarcando las isohietas entre 600 y 700 mm. Las temperaturas máximas extremas son de las más altas registradas en el subcontinente: 48.9 °C. La temperatura media del mes más cálido es de 28.8 °C y 16.6°C para el más frío. (Angueira C.et al.,2006). La temperatura media es 22.7°C.

La vegetación está representada por especies del Dominio Chaqueño: *Schinopsis lorentzii*, *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Caesalpinia paraguarienses* y *Ziziphus mistol* para las áreas estabilizadas. (Angueira C.et al.,2006)

El estrato herbáceo está dominado por *Bromelia sp.*, *Deinacanthon sp.* *Pennisetum sp.* y *Ellionurus sp.* (Birdlife)

### 2.3.2.2 Totoral y La Lagunilla

La Lagunilla y Totoral se encuentran en la Pampa Loessica Alta. Se extiende desde los 31° a los 33°20' de Lat. Sur y desde los 63° 30' hasta los 64° 45' de Long. Oeste.

Para Koeppen (1931) se trata de un clima templado subhúmedo, con estación seca en invierno (Cw) y para Thornthwaite y Hare (1955), se trata de un clima de pradera baja con una eficiencia térmica de 1050 mm y un índice hídrico de -15. En esta región se destacan las amplitudes térmicas elevadas considerando las máximas 45 °C y mínimas -8 °C absolutas observadas. El período lluvioso se extiende de octubre a marzo (580 mm), el cual representa el 80% de las precipitaciones anuales. La evapotranspiración potencial supera los 850 mm anuales, causando la existencia de períodos con deficiencia de agua edáfica cuyos valores se incrementan hacia occidente. La temperatura media anual es de 17.3 °C. Se encuentran entre las isolíneas de 600 y 700 mm.

Las heladas ocurren entre los meses de mayo a septiembre. (Cabido D. et al., 1999).

La vegetación natural de ambos corresponde a la del Espinal (Luti, 1979) Ragonese, 1967; Parodi, 1964) que es un gran ecotono entre las provincias chaqueña y pampeana.

Los relictos de la vegetación original están formados por bosques bajos, de *Prosopis alba* y *Prosopis nigra* como especies dominantes. Suelen estar acompañadas por *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Ziziphus mistol*, *Prosopis kuntzei* y *Geoffroea decorticans*.

En el estrato herbáceo se presentan especies de la región pampeana. (Cabido D. et al., 1999). Entre ellas podemos nombrar *Bowlesia lobata*, *Bromus*, *Trichloris*, *Chloris*, *Paspalum*, *Digitaria*, *Setaria*, Dr. Marcelo Cabido (com. pers.)

## 2.4. Recolección de muestras y determinaciones de suelo

La extracción de las muestras se realizó trazando una diagonal en cada uno de los lotes a muestrear, sacando las muestras a dos profundidades 0-0,20 m y 0,20-0,50 m. Se trabajó con 30 submuestras de cada profundidad, se mezclaron, constituyendo una muestra por profundidad para cada tratamiento incluido monte. Esto se realizó por duplicado para cada tratamiento.

El rendimiento de los cultivos se evaluó entre Abril de 2003 y Mayo de 2004. Se consideró el rendimiento promedio de cada uno de los lotes. Se trabajó con lotes, variando la superficie entre 40 y 70 hectáreas según el tratamiento.

Las muestras de suelo se tomaron mensualmente entre Abril y Marzo del año 2003 y 2004. Esto se realizó para poder trabajar estadísticamente tomando las medidas como pseudo-réplicas debido a que no existen repeticiones de tratamientos.

Las muestras fueron tamizadas por tamiz malla 2 mm, secadas al aire 30 °C. Los análisis de suelo fueron realizados mensualmente determinándose Carbono orgánico (CO) por el método de combustión húmeda, (Walkley – Black, 1945, factor de recuperación 1,724); humedad gravimétrica por secado en estufa a 105 °C durante 24 horas (SAMLA , 2004), nitrógeno total (Nt) (Kjeldahl, SAMLA, 2004), Fósforo extraíble (Pext) (Bray 1, SAMLA, 2004), pH (potenciometría, relac. 1:2.5, SAMLA, 2004).

Se determinó densidad aparente (Burke et al, 1986), textura (método de la pipeta, SAMLA, 2004) y estabilidad estructural en agua (Henin, 1972).

## 2.5. Historia de los lotes

### 2.5.1. Las Vaquillas

En Las Vaquillas se hace solo agricultura con cultivos estivales y suelo descubierto en invierno. La situación inicial es monte prístino, 2 años labranza convencional y luego SD.

Tabla 4. Historia de los tratamientos en el establecimiento de Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero. Años 2000/01 a 2003/04.

Tratamiento	Año 2000/ 01	Año 2001/ 02	Año 2002/ 03	Año 2003/ 04
Monte	Monte	Monte	Monte	Monte
1SD	Monte	Monte	Maíz	Soja
3SD	Monte	Maíz	Girasol - Soja	Maíz
4SD	Maíz	Soja	Soja	Soja

*Monte prístino*

## 2.5.2 Totoral

Tabla 5. Historia de los tratamientos en el establecimiento de Totoral ubicado en el centro – norte de Córdoba. Años 1994/95 a 2003/04

Tratamiento	Año 1994/95	Año 1995/96	Año 1996/97	Año 1997/98	Año 1998/99	Año 1999/00	Año 2000/01	Año 2001/02	Año 2002/03	Año 2003/04
Monte	Monte	Monte	Monte							
4 SD	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Soja LC	Maíz	Soja	Soja	Trigo - Soja
5SD	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Soja LC	Soja	Maíz	Soja	Soja	Maíz
6SD	Pastura	Pastura	Pastura	Maíz LC	Soja	Soja	Maíz	Soja	Soja	Trigo - Soja
7SD	Pastura	Pastura	Soja LC	Soja	Maíz	Soja	Trigo - Soja	Maíz	Soja	Trigo - Soja
8SD	Pastura	Soja LC	Soja	Maíz	Soja	Maíz	Soja	Soja	Trigo - Soja	Maíz
9SD	Soja LC	Soja	Maíz	Soja	Soja	Maíz	Soja	Soja	Maíz	Trigo - Soja

*LC: Labranza convencional*

*Monte: en recuperación*

### 2.5.3 La Lagunilla

Tabla 6. Historia de los tratamientos del establecimiento en La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba. Años 1996/97 a 2003/04.

Lote	Año 1996/97	Año 1997/98	Año 1998/99	Año 1999/00	Año 2000/01	Año 2001/02	Año 2002/03	Año 2003/04
Monte	Monte	Monte	Monte	Monte	Monte	Monte	Monte	Monte
2SD	Monte	Monte	Monte	Monte	Monte	Sorgo forrajero LC	Avena - Sorgo forrajero	Soja
5SD 20 C	Monte	Monte	Sorgo forrajero LC	Sorgo forrajero	Soja	Maíz	Soja	Avena - Soja
5SD 20 D	Monte	Monte	Moha LC	Sorgo forrajero	Soja	Maíz	Soja	Maíz - Soja
6SD 11 A	LC	Soja LC	Soja	Maíz	Soja	Soja	Trigo - Soja	Maíz - Soja
6SD 22	Pasto Ilorón	Soja LC	Maíz	Soja	Soja	Maíz	Soja	Maíz - Soja
7SD 11 B	Maíz LC	Soja	Soja	Maíz	Soja	Soja	Trigo - Soja	Maíz - Soja
7SD 17	Soja 1 LC	Maíz	Soja	Soja	Maíz	Soja	Trigo - Soja	Maíz - Soja

*LC: Labranza convencional*

*Monte degradado*

## 2.6. Análisis estadístico

Para determinar si los establecimientos podían ser analizados en forma conjunta se realizó análisis de varianza (Infostat, 2009).

Se realizó estadística descriptiva para cada una de las variables en los distintos meses (período comprendido entre abril 2003- y marzo 2004) pero como a través de este método no se puede inferir se trabajó con análisis multivariado (Infostat, 2009) y el modelo unifactorial ancova (SAS, 2005).

El suelo presenta una gran complejidad y variabilidad. Su funcionamiento dependerá de sus componentes físicos, químicos y biológicos. Respondiendo a la complejidad y dinámica y teniendo en cuenta que es un sistema donde sus elementos están interrelacionados se optó por realizar el análisis multivariado.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) (Infostat, 2009) permite reducir un gran número de variables a unos pocos factores independientes entre sí, los cuales sintetizan la mayor parte de la información contenida en las variables originales, con el fin de facilitar la interpretación, la visualización y la comprensión de las relaciones entre variables o entre observaciones. Mediante esta técnica multivariada se pretende observar los agrupamientos naturales que pueden surgir de estos conjuntos de datos. Para cada establecimiento, se procedió a realizar Análisis de Componentes Principales en dos profundidades, para las variables Carbono Orgánico (CO), Estabilidad Estructural (EE), Densidad aparente, Humedad, Arcilla y pH.

Este método calcula variables sintéticas denominadas Componentes Principales (CP). Cada una de las CP es una combinación lineal de las variables originales. El modelo es el siguiente:

$$CP = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$$

donde:

CP : Componente principal

$a_j$  : Coeficiente que corresponde a la variable  $X_j$  ( $j=1\dots n$ )

$X_j$  : Variable

Para analizar las variables Carbono orgánico (CO), Nitrógeno Total (Nt), Fósforo extraíble (Pext.), Humedad, pH, Estabilidad Estructural (EE) y Densidad Aparente (Dap); se procederá a aplicar para cada una de ellas, el modelo unifactorial ancova. Las covariables fueron Carbono Orgánico, Estabilidad Estructural, Densidad aparente, pH, Humedad y Arcilla.

Estos análisis fueron realizados para cada Establecimiento por separado dadas las características propias de cada localidad y para cada profundidad de extracción (0-0,20 m y 0,20-0,50 m).

Dado que las muestras fueron extraídas del mismo lote mensualmente, se considera modelar estas pseudo réplicas asignando como efecto aleatorio “lote” anidando el efecto mes. La matriz de varianzas y covarianzas para este efecto fue la de Simetría Compuesta. (SAS, 2005).

El modelo de ANCOVA se aplicó en dos profundidades (0-0,20 m. y 0,20-0,50 m) se representa:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \sum (\beta x_{ij} - x..) + \text{lote}(\text{mes}) + e_{ij}$$

donde:

$y_{ij}$ = observación i-ésima del j-ésimo tratamiento

$\mu$ = media poblacional,

$\tau_i$  = efecto de los tratamientos (i=1 ...n),

$\beta(x_{ij} - x)$ = efectos de las covariables,

$\text{lote}(\text{mes})$ = efecto aleatorio lote

$e_{ij}$ = términos del error independiente e idénticamente distribuido

Para estudiar mejor la relación entre las variables y los tratamientos bajo los cuales se encontraban se realizaron regresiones lineales múltiples donde los tratamientos se introducen en forma de variables indicadoras o ficticias (Dummy). El objetivo fue poder predecir qué variable fue la determinante en el comportamiento del CO de suelo. Estas variables se construyeron tomando como categoría de referencia al “Monte”. Debido a la interrelación que existe entre las variables se las seleccionó por exclusión secuencial (bakward), recomendada por la presencia de multicolinealidad, donde la exclusión de la variable independiente suponía un aumento significativo en la explicación de la varianza, tomando como criterio aquellas variables cuyo  $p > 0.10$ . Se incluyeron las interacciones entre las variables predictoras y los tratamientos (Infostat, 2009).

El modelo empleado es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \dots + \beta_p * X_p + e$$

Donde:

Y= Variable respuesta

$\beta_0$ = Intercepto

$\beta_1$  = Pendiente del predictor X1

$\beta_2$  =Pendiente del predictor X2

$\beta_p$  = Pendiente del predictor  $X_p$

$e$  = Parte de la variabilidad de la respuesta correspondiente a un perfil dado de los predictores no explicada por el conjunto de los distintos predictores;

o bien

$e$  = Parte aleatoria del modelo de regresión

### **CAPITULO III**

## **EVOLUCION DEL CARBONO ORGANICO, RELACION CON LAS VARIABLES NITROGENO TOTAL, FOSFORO EXTRAIBLE, pH, HUMEDAD, DENSIDAD APARENTE, ESTABILIDAD ESTRUCTURAL y ARCILLA.**

### **3.1 Introducción**

La necesidad de la conservación de suelos y mejora de la productividad de los mismos adquiere más importancia en las necesidades futuras tanto ambientales como humanas. Debido al incremento de la población, se anticipa que la producción de cereales deberá incrementarse aproximadamente en 50% para el año 2050 respecto a la actual. Esto tendrá que lograrse con sistemas de producción agrícola que conserven el suelo debido a que el potencial de producción de variedades mejoradas y germoplasmas de elite no se expresan a causa de la degradación de los mismos.

Muchos de los suelos degradados y empobrecidos de los agroecosistemas contienen menor Carbono orgánico que los suelos en ecosistemas naturales. (Lal, 2010)

El cambio en el uso de la tierra incluye: la deforestación, la quema de biomasa, la conversión de ecosistemas naturales a agrícolas, el drenaje de tierras húmedas y el cultivo del suelo (Lal, 2007). Esta situación puede revertirse si se utilizan prácticas de manejo que conserven o, mejor aún, secuestren carbono en el suelo.

Estas pérdidas pueden mitigarse mediante el uso de sistemas conservacionistas tendientes a mantener e incrementar el Carbono orgánico del suelo.

El Carbono orgánico del suelo cumple las siguientes funciones: fuente de nutrientes (N, P, S, Zn, Mo), aumento de la Capacidad de intercambio catiónico, retención de agua, favorece la agregación del suelo, fuente de energía para los microorganismos, regulador de temperatura, buffer regulando los cambios bruscos de pH. (Lal, 2004)

Muchas de las oportunidades para aumentar el secuestro de Carbono en el suelo utilizan tecnologías activas y pueden ser implementadas de manera inmediata. Entre ellas se mencionan el manejo de cultivos: incrementando las producciones y mayores entradas de Carbono, el uso de variedades mejoradas, la rotación de cultivos, la implantación de cultivos perennes, la presencia de cultivos durante todo el año y el control de la erosión (Smith et al., 2007; Cole et al., 1997; Lal, 2004)

Trabajos realizados en Australia muestran que la producción de trigo disminuyó con la reducción del CO de suelo y aumentó cuando se incrementó el CO. El CO posee mayor influencia sobre los rendimientos que la fertilización nitrogenada (Lal, 2010).

Aunque está probada la superioridad de los sistemas conservacionistas sobre los convencionales en la mejora de la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas

(Pilatti et al., 1998; Angers et al., 1993; Lal et al., 1994), esta mejora está asociada a las condiciones climáticas y de suelo (Buschiazzo, 1998)

La expansión de la frontera agrícola genera la necesidad de mejorar cualitativa y cuantitativamente el entendimiento de los aportes de C y su retención en el suelo bajo diversas situaciones de clima. Este entendimiento es requerido para el manejo de prácticas que mejoran la calidad del suelo y la medición del secuestro de carbono (Izaurre et al., 2001).

La incorporación de agricultura con predominancia del cultivo de soja (*Glycine max* L.) en suelos vírgenes mediante la deforestación de montes prístinos (Las Vaquillas) y en zonas tradicionalmente ganaderas (Totoral y La Lagunilla) y la falta de información sobre lo que sucede en suelos vírgenes y suelos con una secuencia de años de SD provenientes de monte motivan este trabajo. Los trabajos publicados sobre SD se refieren a la zona pampeana húmeda con distintas características de clima y suelo de las zonas estudiadas. Comparan SD versus Labranza convencional y solo en la profundidad de 0-0,20 m. Es necesario conocer lo que sucede a mayor profundidad ya que es una zona explorada por raíces y afecta el comportamiento de nutrientes y agua del suelo. Se intenta evaluar la práctica de SD teniendo en cuenta las características de los suelos en distintas condiciones agroecológicas, clima y suelo. Es importante, por lo tanto, estudiar la evolución del CO no en forma aislada, sino relacionándolos con otros parámetros del suelo que influyen sobre los mismos (densidad aparente, estabilidad estructural en agua, pH, humedad y porcentaje de arcilla), para intentar determinar en las zonas estudiadas si la siembra directa puede ser una práctica que haga sustentable al recurso suelo a través del tiempo.

El objetivo de este capítulo es estudiar la evolución de la variable carbono orgánico y su relación con nitrógeno total, fósforo extraíble, estabilidad estructural en agua, densidad aparente, humedad, pH y contenido de arcilla de suelo en suelos vírgenes y en una secuencia de años bajo SD ubicados en la zona subtropical y templada subhúmeda de Argentina en las profundidades de 0 - 0,20 y 0,20 - 0,50 m.

Las hipótesis planteadas son:

1. El CO disminuye en la profundidad de 0-0,20 m bajo SD en suelos provenientes de monte.
2. El CO se mantiene en la profundidad de 0,20-0,50 m en suelos bajo SD provenientes de monte.
3. El CO aumenta con los años de SD en las profundidades de 0 - 0,50 m en suelos provenientes de monte.

4. Las pérdidas de CO de suelo bajo SD son menores cuanto mayor es el contenido de arcilla.
5. Mayor temperatura provoca mayores pérdidas de CO de suelo.
6. Las pérdidas de CO de suelo son mayores en suelos que poseen como situación inicial monte que los provenientes de pasturas.
7. Los suelos que poseen cultivos en crecimiento durante todo el año presentan mayor contenido de CO de suelo que aquellos que permanecen en barbecho durante el invierno.
8. El CO influye sobre el contenido de Nitrógeno, Fósforo y pH del suelo en la profundidad de 0-0,20 m y 0,20-0,50 m.
9. El contenido de CO se relaciona con las variables Densidad aparente, Estabilidad de agregados, Humedad, pH y arcilla del suelo.
10. El balance de Carbono permite predecir el comportamiento del mismo en el suelo.

## **3.2 Materiales y métodos**

### **3.2.1 Sitios de estudio**

El trabajo se realizó en tres establecimientos con distintas situaciones de clima, suelo, manejo y condición inicial de SD ubicados en:

- Las Vaquillas, (S 27° 17'09" W 61° 57' 21.4"), en el noreste de la Provincia de Santiago del Estero ubicado a 900 Km de Córdoba Capital
- Totoral, (S 30° 39' 39.9" W 63° 56'35.9") en el centro - norte de Córdoba ubicado a 80 Km de Córdoba Capital
- La Lagunilla, (S 31° 31' 35.8" W 64° 21' 46.1"), en el centro de la Provincia de Córdoba ubicado a 25 km de Córdoba Capital

Los tratamientos proyectados en Las Vaquillas son:

- a) Monte: Lote 3-7
- b) 1 año de siembra directa: Lote 4-7
- c) 3 años de siembra directa: Lote 3-4
- d) 4 años de siembra directa: Lote 3-7

Los tratamientos proyectados en Totoral son:

- a) Monte: Lote 30 SJ
- b) 4 años de siembra directa: Lote 3 LL
- c) 5 años de siembra directa: Lote 42 SJ
- d) 6 años de siembra directa: Lote 26 SJ

- c) 7 años de siembra directa: Lote 41 SJ
- d) 8 años de siembra directa: Lote 6 LM
- e) 9 años de siembra directa: Lote 2 LL

Los tratamientos proyectados en La Lagunilla son:

- a) Monte : Lote 11 A2
- b) 2 Años de siembra directa, Lote 29 A2
- c) 5 Años de siembra directa: Lote 20 C y Lote 20 D
- d) 6 Años de directa, antes 28 años de pasto llorón, Lote 22 y Lote 11 A siembra convencional 24 años.
- e) 7 Años de siembra directa, antes siembra convencional durante 20/25 años: Lote 11B, Lote 17.

### 3.2.2 Áreas de Estudio

La elección de los sitios de estudio responde a la necesidad de conocer la evolución de la calidad de suelo en distintas zonas de Argentina, con distintas condiciones de temperatura.

El trabajo se desarrolló en campos de productores interesados en conocer el estado de sus suelos. Fue realizado en lotes y no a nivel de parcelas, con la rotación y manejo como lo realiza el productor en cada establecimiento. Se estableció dentro de cada establecimiento una secuencia de acuerdo a los años de SD que existían en cada uno de ellos.

Las Vaquillas está ubicada en la región Chaco semiárido. Es una extensa llanura ubicada en la porción central del Chaco sudamericano (Angueira C. et al. 2006), con una precipitación anual media de 679 mm concentrada en primavera-verano (INTA Santiago del Estero, com pers.). El clima es subtropical subhúmedo. La temperatura media anual es de 22,7 °C, la máxima media anual es de 35.8 °C y la mínima media anual es de 8,4 °C. Los suelos de esta región son Haplustoles Típicos (Soil Taxonomy). La textura es arcillosa – franco arcillosa en la profundidad de 0-0,20 m y franco arcillo limoso de 0,20-0,50 m. El monte posee especies del Dominio Chaqueño: *Schinopsis lorentzii*, *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Caesalpinia paraguarienses* y *Ziziphus mistol* para las áreas estabilizadas. (SigSE: Angueira C.; D. Prieto, J López y G. Barrasa- INTA EEASE). El estrato herbáceo está dominado por *Bromelia spp.*, *Deinacanthon spp.* *Pennisetum spp.* y *Ellionurus spp.* (Birdlife).

Totoral y La Lagunilla están ubicados en la zona Pampa Loessica Alta (Regiones naturales de la Provincia de Córdoba), con una precipitación media de 841 mm para Totoral (INTA Jesús María, 2009) y de 795 mm para La Lagunilla (Caamaño Nelli et al., 2006) concentrados en primavera verano. El clima es templado subhúmedo. La temperatura

máxima media anual es 45 °C y la mínima -8 °C. La temperatura media anual es de 17,3 °C. Los suelos de esta región son Haplustoles Típicos. La textura de Totoral es franco para la profundidad de 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m. La Lagunilla posee una textura franco para la profundidad de 0 - 0,20 m y franco arcillosa para 0,20 - 0,50 m.

La vegetación natural de ambos corresponde a la del Espinal (Luti, 1979) Ragonese, 1967; Parodi, 1964) que es un gran ecotono entre las provincias chaqueña y pampeana. Los relictos de la vegetación original están formados por bosques bajos, de *Prosopis alba* y *Prosopis nigra* como especies dominantes. Suelen estar acompañadas por *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Ziziphus mistol*, *Prosopis kuntzei* y *Geoffroea decorticans*. En el estrato herbáceo se presentan especies de la región pampeana. (Cabido D. et al., 2004). Entre ellas podemos nombrar *Bowlesia lobata*, *Bromus spp*, *Trichloris spp*, *Chloris spp*, *Paspalum spp*, *Digitaria spp*, *Setaria spp*, Dr. Marcelo Cabido (com.pers.).

### 3.2.3 Sitios y Tratamientos

Las Vaquillas es una zona recientemente incorporada a la explotación agrícola. El monte es prístino. Las labores realizadas son desmonte, dos años de labranza convencional con rastra de discos pesada a 0,35 m de profundidad y luego se entró en siembra directa. Los cultivos fueron manejados y cosechados mecánicamente. No se realizó fertilización en ningún cultivo durante la época de estudio (año 2003-2004). Las malezas fueron controladas químicamente durante la época de barbecho y cultivo. Los herbicidas utilizados fueron glifosato ( $[N - (\textit{phosphonomethyl}) \textit{glycine}]$ ) y atrazina

( $[6 - \textit{chloro} - N - \textit{ethyl} - N^t - (1 - \textit{methylethyl}) - 1,3,5 - \textit{triazine} - 2,4 - \textit{dia min e}]$ ). Se aplicaron insecticidas cuando el umbral de daño lo hizo necesario.

La rotación de cultivos es 1SD Maíz (M. *Zea mays L.*) –Soja (S. *Glycine max L.*), 3SD M-Girasol (G, *Helianthus annuus L.*) /S-M y 4 SD M-S-S-S.

Totoral presenta como condición inicial pasturas, de Grama Rhodes (*Chloris gayana K.*) y Gatton Panic (*Panicum maximum Jacq.*). Estos lotes tuvieron cargas animales que no causaron compactación por pisoteo. El período de pasturas fue de 7-10 años, a partir de monte y la labor realizada antes de entrar en SD fue rastra de discos a una profundidad de 0,30 m.

Los cultivos fueron manejados y cosechados mecánicamente. Fueron fertilizados (año 2003-2004) con fosfato diamónico para trigo (T, *Triticum aestivum L.*) como cultivo invernal en una dosis de 50 kg ha<sup>-1</sup> (aplicado al voleo para trigo y enterrado para maíz) y en el caso de maíz se utilizó urea en una dosis de 70 a 127 kg ha<sup>-1</sup> enterrada. Las malezas fueron controladas químicamente durante la época de barbecho y cultivo. Los herbicidas utilizados fueron glifosato ( $[N - (\textit{phosphonomethyl}) \textit{glycine}]$ ) y atrazina

([6-chloro-N-ethyl-N<sup>t</sup>-(1-methylethyl)-1,3,5-triazine-2,4-diamine]). Se aplicaron insecticidas cuando el umbral de daño lo hizo necesario.

La rotación de cultivos de los lotes en estudio es 4SD S-M-S-S-T(Trigo)/S, 5SD S-S-M-S-S-M, 6SD M-S-S-M-S-S-T/S, 7SD S-S-M-S-T/S-M-S-T/S, 8SD S-S-M-S-M-S-S-T/S-M, 9SD S-S-M-S-S-M-S-S-M-T/S. El monte está en recuperación. Posee desde hace 10 años clausura de animales.

La Lagunilla se maneja como una explotación agrícola ganadera. La condición inicial es monte para los tratamientos 2 y 5 SD. Se realizó el desmonte y luego rastra de disco liviana a 0,30 m de profundidad. El manejo posterior fue bajo SD. Los tratamientos 2 y 5 SD fueron pastoreados durante el tiempo del ensayo. 2SD con sorgo forrajero fue pastoreado en marzo con 2,74 animales ha<sup>-1</sup>, durante 30 días y en noviembre (rebrote del sorgo forrajero) con 3 animales ha<sup>-1</sup>, durante 25 días. 5SD 20 C tuvo avena (*Avena sativa*), fertilizada en el momento de la siembra con 50 kg ha<sup>-1</sup> de Nitrato de Amonio calcáreo (voleo) y recibió pastoreo desde julio hasta octubre del año 2003 con 3,4 animales ha<sup>-1</sup>, se sembró sorgo forrajero en diciembre del año 2003, fertilizado con 100 kg ha<sup>-1</sup> de Nitrato de Amonio (voleo) pastoreado en febrero de 2004 con 3,4 animales ha<sup>-1</sup>, durante 30 días.

Los tratamientos 6SD 11 A, 7 SD 11B y 17, provienen de agricultura convencional (LC) durante 20-25 años y luego entraron en directa. 7SD 17 tuvo pastoreo de rastrojo de soja en el mes de abril 2003, 3,85 animales ha<sup>-1</sup>, durante 40 días. Los animales fueron sacados del lote cuando ocurrieron precipitaciones. 6SD 22 proviene de 28 años de pasto llorón, previamente tuvo monte, se trabajó con rastra liviana a 0,25 m de profundidad y entró en SD. Los cultivos fueron manejados y cosechados mecánicamente. Las fertilizaciones realizadas fueron para maíz con mezclas de Fosfato Diamónico más Nitrato de Amonio calcáreo con distintos porcentajes, según requerimientos, en dosis de 220 a 280 kg ha<sup>-1</sup>.

Las malezas fueron controladas químicamente durante la época de barbecho y cultivo. Los herbicidas utilizados fueron glifosato ( $[N-(phosphonomethyl)glycine]$ ) y atrazina ( $[6-chloro-N-ethyl-N^t-(1-methylethyl)-1,3,5-triazine-2,4-diamine]$ ). Se aplicaron insecticidas cuando el umbral de daño lo hizo necesario.

Las rotaciones para los distintos tratamientos son: 2SD Sorgo forrajero(Sf)-Avena(A)-Sf-S, 5SD 20C Sf-Sf-S-M-S-A/Sf, 5SD 20D Moha-Moha-Sf-S-M-S-M, 6SD 11 A S-S-M-S-S-T/S-M, 6SD 22 S-M-S-S-M-S-M, 7SD 11B M-S-S-M-S-S-T/S-M, 7SD 17 S-M-S-S-M-S-T/S-M.

### 3.2.4 Metodología de muestreo y análisis de suelos

La extracción de las muestras se realizó trazando una diagonal en cada uno de los lotes a muestrear, sacando las muestras a dos profundidades 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m. La profundidad de muestreo responde al desarrollo de raíces. En los primeros 0,20 m está la

mayoría de raíces que extraen nutrientes y en los 0,30 m siguientes las que extraen agua hasta 1,50 – 2 m.

La extracción se realizó con barreno de 0,025 m de diámetro.

Se trabajó con 30 submuestras de cada profundidad, se mezclaron, constituyendo dos muestras por profundidad para cada lote. Esto se realizó por duplicado para cada tratamiento, obteniéndose 2 muestras compuestas por 30 submuestras para cada profundidad. Se hizo mensualmente durante un año.

En cada situación se realizaron muestreos de suelo mensuales durante un año con dos repeticiones por tratamiento.

Obtenidas las muestras se trasladaron en heladera inmediatamente al laboratorio donde comenzó el procesamiento de las mismas. Se tamizaron por malla 2 mm y se colocaron en bandejas para el secado al aire.

Se determinó: Carbono orgánico (CO) por combustión húmeda (Walkley Black, factor de recuperación 1,724, SAMLA, 2004), Nitrógeno total (Nt) (Kjeldahl, SAMLA, 2004), Fósforo extraíble (Pext.) (Bray 1, SAMLA, 2004), pH (potenciometría, relac. 1:2,5, SAMLA, 2004), Humedad (gravimetría, SAMLA, 2004)

Se determinaron los índices de mineralización para cada tratamiento mediante actividad respiratoria global en condiciones controladas en la profundidad de 0 - 0,20 m, midiéndose así la variación de CO<sub>2</sub> en sistemas cerrados, Frioni (1990). Se determinó densidad aparente (Burke et al, 1986), textura (método de la pipeta, SAMLA, 2004) y estabilidad estructural en agua (Henin, 1972).

Para el análisis físico se determinó Densidad aparente (Burke et al, 1986) para la profundidad de 0 - 0,20 m se utilizó un cilindro de 0,20 m de largo por 0,055 m de ancho, volumen 474,92 cm<sup>3</sup> y para la profundidad de 0,20 - 0,50 m el largo es de 0,30 m, el diámetro 0,055 m, volumen 712,38 cm<sup>3</sup>.

Se determinó granulometría por el método de la pipeta (SAMLA, 2004).

Se evaluó la estabilidad de la estructura en agua, por el método de Henin (Henin, 1972).

Se hicieron dos repeticiones de cada tratamiento, integrada cada una de ellas por 30 submuestras para el análisis químico. El análisis de textura se realizó con 2 extracciones para cada tratamiento y profundidad. Se hizo una sola vez a lo largo del ensayo debido a que la textura no es un parámetro que varíe en el corto plazo.

El CO y nitrógeno total (Nt) se expresan en masa equivalente Mg ha<sup>-1</sup>, (Apezteguía, 2005). Los nutrientes se expresan en kg ha<sup>-1</sup> masa equivalente.

### 3.2.5 Datos complementarios

Se tuvo en cuenta el porcentaje de gramíneas y soja que tuvo cada tratamiento desde que fueron desmontados para evaluar el aporte de Carbono al suelo de los diferentes cultivos.

Se consideró el manejo de los lotes desde abril de 2003 a marzo de 2004.

Se llevó un registro de precipitaciones en cada uno de los establecimientos.

Se tomaron los datos de rendimiento de cosecha para cada tratamiento en cada uno de los establecimientos desde que entraron en SD para realizar el balance de Carbono (Izaurre et al., 2001). Se estimó el Carbono aportado por biomasa aérea y raíces a partir de los índices de cosecha.

#### 3.2.5.1 Porcentaje de gramíneas y leguminosas en la historia agrícola de los tratamientos en los distintos establecimientos

Tabla 7. Porcentaje de gramíneas y leguminosas de los distintos tratamientos en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, en el noreste de Santiago del Estero.

Tratamiento	Año 2000/ 1	Año 2001/ 2	Año 2002/ 3	Año 2003/ 4	Gram. (%)	Soja (%)
Monte	Monte	Monte	Monte	Monte		
1SD	Monte	Monte	Maíz	Soja	50	50
3SD	Monte	Maíz	Girasol - Soja	Maíz	67	33
4SD	Maíz	Soja	Soja	Soja	25	75

Tabla 8. Porcentaje de gramíneas y leguminosas de los distintos tratamientos en establecimiento ubicado en Totoral, en el centro-norte de Córdoba

Tratamiento	Año 1994/95	Año 1995/96	Año 1996/97	Año 1997/98	Año 1998/99	Año 1999/00	Año 2000/01	Año 2001/ 02	Año 2002/03	Año 2003/04	Gram. (%)	Soja (%)
Monte	Monte	Monte	Monte									
4 SD	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Soja LC	Maíz	Soja	Soja	Trigo - Soja	40	80
5SD	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Soja LC	Soja	Maíz	Soja	Soja	Maíz	33	67
6SD	Pastura	Pastura	Pastura	Maíz LC	Soja	Soja	Maíz	Soja	Soja	Trigo - Soja	43	71
7SD	Pastura	Pastura	Soja LC	Soja	Maíz	Soja	Trigo - Soja	Maíz	Soja	Trigo - Soja	50	75
8SD	Pastura	Soja LC	Soja	Maíz	Soja	Maíz	Soja	Soja	Trigo - Soja	Maíz	44	67
9SD	Soja LC	Soja	Maíz	Soja	Soja	Maíz	Soja	Soja	Maíz	Trigo - Soja	40	70

LC: Labranza convencional

Tabla 9. Porcentaje de gramíneas y leguminosas de los distintos tratamientos en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, en el centro de Córdoba

Lote	Año 1996/97	Año 1997/98	Año 1998/99	Año 1999/00	Año 2000/01	Año 2001/02	Año 2002/03	Año 2003/04	Gram. (%)	Soja (%)
Monte	Monte	Monte	Monte	Monte	Monte	Monte	Monte	Monte		
2SD	Monte	Monte	Monte	Monte	Monte	Sorgo forrajero LC	Avena - Sorgo forrajero	Soja	100	33
5SD 20 C	Monte	Monte	Sorgo forrajero LC	Sorgo forrajero	Soja	Maíz	Soja	Avena - Soja	67	33
5SD 20 D	Monte	Monte	Moha LC	Sorgo forrajero	Soja	Maíz	Soja	Maíz - Soja	67	33
6SD 11 A	LC	Soja LC	Soja	Maíz	Soja	Soja	Trigo - Soja	Maíz - Soja	43	71
6SD 22	Pasto Ilorón	Soja LC	Maíz	Soja	Soja	Maíz	Soja	Maíz - Soja	43	57
7SD 11 B	Maíz LC	Soja	Soja	Maíz	Soja	Soja	Trigo - Soja	Maíz - Soja	50	62
7SD 17	Soja 1 LC	Maíz	Soja	Soja	Maíz	Soja	Trigo - Soja	Maíz - Soja	50	62

LC: Labranza convencional

### 3.2.5.2 Manejo de los lotes

Tabla 10. Tratamientos, fechas de siembra, cultivos, fechas de cosecha y rendimientos en el año 2003-2004 del establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero

Lote	Fecha de siembra	Cultivo	Fecha de cosecha	Rendimiento Grano seco (kg ha <sup>-1</sup> )
1 SD	28/12/2003	Soja	19/05/2004	950
3 SD	15/01/2003	Soja	27/05/2003	1.756
	07/10/2003	Maíz	25/03/2004	3.305
4SD	27/12/2003	Soja	27/05/2004	1.834

Tabla 11. Tratamientos, fertilización (producto y dosis), fechas de siembra, cultivos, fechas de cosecha y rendimientos año 2003-2004 del establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.

Lote	Fecha de Siembra	Cultivo	Fertilización	Fecha de cosecha	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
4 SD	20/05/2003	Trigo	50 kg ha <sup>-1</sup> DAP	10/11/2003	3.600
	16/12/2003	Soja		05/06/2004	2.610
5 SD	11/12/2002	Soja		10/06/2003	2.500
	02/11/2003	Maíz	50 kg ha <sup>-1</sup> DAP + 127 kg ha <sup>-1</sup> Urea	15/04/2004	8.420
6 SD	28/05/2003	Trigo	50 kg ha <sup>-1</sup> DAP	21/11/2003	2.700
	15/12/2003	Soja		10/05/2004	2.700
7 SD	03/06/2003	Trigo	50 kg ha <sup>-1</sup> DAP	18/11/2003	2.500
	11/12/2003	Soja		16/05/2004	2.600
8 SD	08/12/2003	Maíz	70 kg ha <sup>-1</sup> DAP + 70 kg ha <sup>-1</sup> Urea	16/06/2004	9.040
9 SD	12/05/2003	Trigo	50 kg ha <sup>-1</sup> DAP	09/11/2003	3.400
	17/12/2003	Soja		02/06/2004	2.460

En este establecimiento la condición inicial es pastura. Se hizo un año agricultura convencional y luego SD. En este establecimiento se hace solo agricultura. Algunos tratamientos poseen cultivo invernal (trigo) y otros tratamientos suelo descubierto (barbecho). El monte está en recuperación, con clausura de animales hace 10 años.

La fertilización que se realiza en este establecimiento es con dosis fijas para el Fósforo (50 Kg ha<sup>-1</sup> de Fosfato diamónico).

Tabla 12. Tratamientos, carga animal de pastoreo, fertilización (producto y dosis), fechas de siembra, cultivos, fechas de cosecha y rendimientos año 2003-2004 del establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Lote	Fecha de Siembra	Cultivo	Fertilización	Fecha de cosecha	Rendimiento Grano seco (kg ha <sup>-1</sup> )	Animales
2SD	04/12/2003	Soja		30/04/2004	2.064	Marzo 03: 30 días 110 vacas – Noviembre 03: 25 días 120 vacas
5SD	30/05/2003	Avena	<i>50 kg ha<sup>-1</sup> Nitrato de Amonio Calcáreo</i>		pastoreo	Julio 03: 120 días 130 vacas
20 C	05/12/2003	Sorgo	<i>100 kg ha<sup>-1</sup> Nitrato de Amonio Calcáreo</i>		pastoreo	Febrero 04: 30 días 130 vacas
5SD 20D	23/12/2003	Maíz	<i>280 kg ha<sup>-1</sup> Mezcla 10% DPA + 90% Nitrato de Amonio Calcáreo</i>	14/07/2004	6.020	
6SD 11A	31/12/2003	Maíz	<i>260 kg ha<sup>-1</sup> Mezcla 35% DPA + 75% Nitrato de Amonio Calcáreo</i>	24/07/2004	6.450	
6SD 22	05/11/2003	Maíz	<i>280 kg ha<sup>-1</sup> Nitrato de Amonio Calcáreo</i>	29/05/2004	5.590	
7SD 11B	30/12/2003	Maíz	<i>220 kg ha<sup>-1</sup> Mezcla 20% DPA + 80% Nitrato de Amonio Calcáreo</i>	20/07/2004	6.450	
7SD 17	03/11/2003	Maíz	<i>280 kg ha<sup>-1</sup> Mezcla 10% DPA + 90% Nitrato de Amonio Calcáreo</i>	27/05/2004	4.128	Abril 03: 40 días 300 vacas

### 3.2.5.3 Precipitaciones y Temperaturas medias en los distintos establecimientos (año 2003-2004)

Tabla 13. Precipitaciones (mm) en los distintos establecimientos. Período comprendido entre abril 2003 y marzo 2004.

Localidad	Mes											
	Abr 03	May 03	Jun 03	Jul 03	Ago 03	Sep 03	Oct 03	Nov 03	Dic 03	Ene 04	Feb 04	Mar 04
Las Vaquillas	91	3	8	4	3	24	77	57	93	109	143	97
Totoral	125	15	10	20	10	0	50	98	105	98	16	195
La Lagunilla	81	12	9	3	0	0	33	80	159	50	22	144

Tabla 14. Temperaturas medias mensuales (°C) de cada uno de los establecimientos, período abril 2003 y marzo 2004.

Localidad	Mes											
	Abr 03	May 03	Jun 03	Jul 03	Ago 03	Sep 03	Oct 03	Nov 03	Dic 03	Ene 04	Feb 04	Mar 04
Las Vaquillas	22,0	18,8	16,0	15,5	19,4	20,7	24,8	25,6	28,2	28,0	26,8	24,4
Totoral	17,1	14,2	10,9	9,6	12,6	15,2	18,1	20,3	23,0	23,1	21,7	20,7
La Lagunilla	17,1	14,2	10,9	9,6	12,6	15,2	18,1	20,3	23,0	23,1	21,7	20,7

### 3.2.5.4 Carbono aportado al suelo como residuo de cosecha

De acuerdo a los rendimientos en grano de los cultivos implantados, se puede calcular el aporte de C proveniente de residuos (tallos y raíces) que retorna al suelo. El cálculo se realiza según Izaurralde et al., (2001). Se tiene en cuenta el índice de cosecha y la relación raíz/biomasa aérea (tallos + grano). El Carbono aportado al suelo en SD proviene de tallos y raíces que quedan después de la cosecha. Los índices de cosecha considerados son 0,3 para soja, 0,5 para maíz, 0,4 para trigo (Izaurralde com. pers.) y para girasol 0,47 (Satorre et al., 2003).

Las relaciones raíces/biomasa aérea consideradas son para maíz 0,53 (Huggins et al., 2007), para soja 0,15 (Apezteguía, 2005), para girasol 0,10 (adaptado de Satorre et al., 2003) y trigo 0,12 (Izaurralde et al., 2001).

El aporte de materia seca de heces se realizó de acuerdo a Melo et al. (1993). La categoría animal considerada es novillos Bradford de un año medio de edad y 300 kg de peso vivo. El consumo estimado para avena es de 2,6 kg de materia seca día<sup>-1</sup> (ajustado a la disponibilidad forrajera de la pastura), con una digestibilidad del 65 % de la materia seca consumida. El bosteo es de 35 % (materia seca). Para sorgo forrajero se considera un consumo de 6,8 kg de materia seca día<sup>-1</sup>, con una digestibilidad del 58 %, el bosteo es 42%.

Para rastrojo de soja el consumo es 6 kg de materia seca día<sup>-1</sup>, la digestibilidad 50 %, bosteo 50 % de la materia seca consumida. El Carbono de las heces se determinó por calcinación en mufla (SAMLA, 2004) a 560 °C. El aporte de raíces se calcula de acuerdo a Izaurre et al., (2001).

Tabla 15. Aporte de Carbono ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) al suelo por tratamiento teniendo en cuenta cultivo, años de cada cultivo, rendimiento promedio, índice de cosecha, relación raíz biomasa aérea, Carbono aportado por residuos aéreos, Carbono aportado por raíces profundidad 0-0,20 m y 0,20-0,50 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.

Años Cultivo	Rdto promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Ind. Cosecha	Rel R/BA	CPA ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CR (1) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CR (2) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CTC ( $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ )	CTAC ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CTAT ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CATP ( $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ )
1	1.105	0,29	0,15	1.024	173	96	1.293	1.293	1.293	1.293
1	2.042	0,29	0,15	1.892	320	80	2.292	2.292		
2	1.860	0,50	0,53	704	597	149	1.450	2.900		
1	1.100	0,47	0,10	470	71	18	559	559	5.751	1.917
3	2.233	0,29	0,15	2.068	350	87	2.505	7.515		
1	1.200	0,50	0,53	454	385	96	935	935	8.450	2.113

R= Raíz, BA=Biomasa aérea, CPA= Carbono aportado parte aérea, CR(1)= Carbono raíz 0-0,20 m, CR(2)= Carbono raíz 0,200,-50 m, CTC = Carbono total aportado cultivo año, CTAP= Carbono total aportado por totalidad de años de cultivo, CTAP=Carbono total aportado por tratamiento promedio anual

Tabla 16. Aporte de Carbono ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) al suelo proveniente de raíces por tratamiento en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero

Tratamiento	Cultivo	Años Cultivo	CR (1) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CR (2) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CRT (1) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CRT (2) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CRTC ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CRTTP ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
1SD	Soja	1	173	96	173	96	269	269
3SD	Soja	1	320	80	320	80	400	
	Maíz	2	809	202	1.618	404	2.022	
	Girasol	1	71	18	71	18	89	2.511
4SD	Soja	3	350	87	1.050	261	1.311	
	Maíz	1	385	96	385	96	481	1.881

*CR (1)= Carbono raíz 0-0,20 m, CR (2) =Carbono raíz 0,20-0,50 m, CRT (1)= Carbono total raíces años cultivo 0-0,20 m, CRT (2)= Carbono total raíces años cultivo 0,20-0,50 m, CRTC= Carbono raíces total cultivo años, 0-0,20-0,20-0,50 m, CRTT= Carbono raíces total tratamiento, CRTTP= Carbono raíces total tratamiento promedio anual*

Tabla 17. Aporte de Carbono ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) al suelo por tratamiento teniendo en cuenta cultivo, años de cada cultivo, rendimiento promedio, índice de cosecha, relación raíz biomasa aérea, Carbono aportado por residuos aéreos, Carbono aportado por raíces profundidad 0-0,20 m y 0,20-0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.

Tratamiento	Cultivo	Años Cultivo	Rdto promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Ind. Cosecha	Rel R/BA	CPA ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CR (1) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CR (2) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CTC ( $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ )	CTAC ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CTAT ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CATP ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
4SD	Soja	3	2.503	0,29	0,15	2.319	392	98	2.809	8.427		
	Maíz	1	8.000	0,50	0,53	3.027	2.567	642	6.236	6.236		
	Trigo	1	2.610	0,29	0,15	2.418	409	102	2.929	2.929	17.592	4.398
5SD	Soja	3	2.567	0,29	0,15	2.378	402	100	2.880	8.640		
	Maíz	2	8.210	0,50	0,53	3.106	2.594	658	6.358	12.716	21.356	4.271
6SD	Soja	5	2.640	0,29	0,15	2.445	413	104	2.962	14.810		
	Maíz	1	7.500	0,50	0,53	2.838	2.407	602	5.847	5.847		
	Trigo	1	2.700	0,40	0,12	1.533	245	61	1.839	1.839	22.496	3.749
7SD	Soja	5	2.480	0,29	0,15	2.298	388	97	2.783	13.915		
	Maíz	2	8.000	0,50	0,53	3.027	2.567	642	6.236	12.472		
	Trigo	2	2.650	0,40	0,12	1.504	240	60	1.804	3.608	29.995	4.285
8SD	Soja	5	2.580	0,29	0,15	2.390	404	101	2.895	14.475		
	Maíz	3	8.680	0,50	0,53	3.285	2.785	696	6.766	20.298		
	Trigo	1	2.800	0,40	0,12	1.589	254	64	1.907	1.907	36.680	4.585
9SD	Soja	6	2.543	0,29	0,15	2.356	398	100	2.854	17.124		
	Maíz	3	7.833	0,50	0,53	2.964	2.514	629	6.107	18.321		
	Trigo	1	3.400	0,40	0,12	1.930	309	77	2.316	2.316	37.761	4.196

R= Raíz, BA=Biomasa aérea, CPA= Carbono aportado parte aérea, CR(1)= Carbono raíz 0-0,20 m, CR(2)= Carbono raíz 0,20-0,50 CTC = Carbono total aportado cultivo año, CTAC= Carbono total aportado por totalidad de años de cultivo, CTAT=Carbono total aportado por tratamiento, CATP= Carbono total promedio aportado por año

Tabla 18. Aporte de Carbono (kg ha<sup>-1</sup>) al suelo proveniente de raíces por tratamiento, profundidad 0-0,20 m, 0,20-0,50 m y 0-0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba

Tratamiento	Cultivo	Años Cultivo	CR (1) (kg ha <sup>-1</sup> )	CR (2) (kg ha <sup>-1</sup> )	CRT (1) (kg ha <sup>-1</sup> )	CRT (2) (kg ha <sup>-1</sup> )	CRTC (kg ha <sup>-1</sup> )	CRTT (kg ha <sup>-1</sup> )	CRTTP (kg ha <sup>-1</sup> )
4SD	Soja	3	392	98	1.176	294	1.470		
	Maíz	1	2.567	642	2.567	642	3.209		
	Trigo	1	409	102	102	102	204	4.883	1.221
5SD	Soja	3	402	100	1.206	300	1.506		
	Maíz	2	2.594	658	5.188	1.316	6.504	8.010	1.602
6SD	Soja	5	413	104	2.065	520	2.585		
	Maíz	1	2.407	602	2.407	602	3.009		
	Trigo	1	245	61	245	61	306	5.900	983
7SD	Soja	5	388	97	1.940	485	2.425		
	Maíz	2	2.567	642	5.134	1.284	6.418		
	Trigo	2	240	60	480	120	600	9.443	1.349
8SD	Soja	5	404	101	2.020	505	2.525		
	Maíz	3	2.785	696	8.355	2.088	10.443		
	Trigo	1	254	64	254	64	318	13.286	1.661
9SD	Soja	6	398	100	2.388	600	2.988		
	Maíz	3	2.514	629	7.542	1.887	9.429		
	Trigo	1	309	77	309	77	386	12.803	1.423

CR (1)= Carbono raíz 0-0,20 m, CR (2) =Carbono raíz 0,20-0,50 m, CRT (1)= Carbono total raíces años cultivo 0-0,20 m, CRT (2)= Carbono total raíces años cultivo 0,20-0,50 m, CRTC= Carbono raíces total cultivo años, 0-0,20+0,20-0,50 m, CRTT= Carbono raíces total tratamiento, CRTTP= Carbono raíces total tratamiento promedio anual

Tabla 19. Aporte de Carbono ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) al suelo por tratamiento teniendo en cuenta cultivo, años de cada cultivo, rendimiento promedio, índice de cosecha, relación raíz biomasa aérea, Carbono aportado por residuos aéreos, Carbono aportado por raíces profundidad 0 - 0,20 m y Carbono aportado por raíces 0,20 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	Cultivo	Años Cultivo	Rdto promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Ind. Cosecha	Rel R/BA	CPA ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CR (1) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CR (2) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CTC ( $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ )	CTAC ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CTAT ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CATP ( $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ )
2SD	Soja	1	2.400	0,29	0,15	2.223	376	94	2.693	2.693		2.693
5SD 20C	Soja	2	3.100	0,29	0,15	2.872	485	121	3.478	6.956		
	Maíz	1	8.000	0,50	0,53	3.027	2.567	642	6.236	6.236	13.192	2.638
5SD 20D	Soja	2	3.000	0,29	0,15	2.779	470	117	3.366	6.732		
	Maíz	2	7.250	0,50	0,53	2.743	2.326	582	5.651	11.302	18.034	3.607
6SD 11A	Soja	4	2.400	0,29	0,15	2.223	375	94	2.692	10.768		
	Maíz	2	7.500	0,50	0,53	2.838	2.407	602	5.847	11.694		
	Trigo	1	1.800	0,40	0,12	1.022	163	41	1.226	1.226	23.688	3.948
6SD 22	Soja	3	2.700	0,29	0,15	2.501	423	106	3.030	9.090		
	Maíz	3	7.000	0,50	0,53	2.644	2.246	562	5.452	16.356	25.446	4.241
7SD 11B	Soja	5	2.500	0,29	0,15	2.316	391	98	2.805	14.025		
	Maíz	2	7.500	0,50	0,53	2.838	2.407	602	5.847	11.694		
	Trigo	1	1.800	0,40	0,12	1.022	163	41	1.226	1.226	26.945	3.849
7SD 17	Soja	4	2.500	0,29	0,15	2.316	391	98	2.805	11.220		
	Maíz	3	6.400	0,50	0,53	2.422	2.054	513	4.989	14.967		
	Trigo	1	1.700	0,40	0,12	965	154	39	1.158	1.158	27.345	3.906

R= Raíz, BA=Biomasa aérea, CPA= Carbono aportado parte aérea, CR(1)= Carbono raíz 0 - 0,20 m, CR(2)= Carbono raíz 0,20 - 0,50 m, CTC = Carbono total aportado cultivo año, CTAC= Carbono total aportado por totalidad de años de cultivo, CTAP=Carbono total aportado por tratamiento, CATP=Carbono total aportado por tratamiento promedio anual

Tabla 20. Aporte de Carbono ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) al suelo proveniente de raíces por tratamiento en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	Cultivo	Años Cultivo	CR (1) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CR (2) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CRT (1) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CRT (2) ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CRTC ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CRTT ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	CRTTP ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )
2SD	Soja	1	376	94	376	94	470	470	470
5SD 20C	Soja	2	485	121	970	242	1.212		
	Maíz	1	2.567	642	642	642	1.284	2.496	499
5SD 20D	Soja	2	470	117	940	234	1.174		
	Maíz	2	2.326	582	245	1.164	1.409	2.583	517
6SD 11A	Soja	4	375	94	1.500	376	1.876		
	Maíz	2	2.407	602	4.814	1.204	6.018		
	Trigo	1	163	41	163	41	204	8.098	1.350
6SD 22	Soja	3	423	106	1.269	318	1.587		
	Maíz	3	2.246	562	6.738	1.686	8.424	10.011	1.669
7SD 11B	Soja	5	391	98	1.955	490	2.445		
	Maíz	2	2.407	602	4.814	1.204	6.018		
	Trigo	1	163	41	163	41	204	8.667	1.238
7SD 17	Soja	4	391	98	1.564	392	1.956		
	Maíz	3	2.054	513	6.162	1.539	7.701		
	Trigo	1	154	39	154	39	193	9.850	1.407

CR (1)= Carbono raíz 0-0,20 m, CR (2) =Carbono raíz 0,20 - 0,50 m, CRT (1)= Carbono total raíces años cultivo 0 -0,20 m, CRT (2)= Carbono total raíces años cultivo 0,20 - 0,50 m, CRTC= Carbono raíces total cultivo años, 0 - 0,20+0,20 - 0,50 m, CRTT= Carbono raíces total tratamiento, CRTTP= Carbono raíces total tratamiento promedio anual.

Tabla 21. Carbono ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aportado por heces de animales en pastoreo en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	Superficie (ha)	Días Pastoreo	Can	Cultivo	MST	R/B	CAR	CMS día <sup>-1</sup>	DMS	CAH ha <sup>-1</sup>	CAT (kg ha <sup>-1</sup> )
2SD	40,12	55	2,85	Sorgo	42.840	0,30	56	6,80	58	210	266
5SD 20 C	38,25	120	3,40	Avena	40.560	0,12	56	2,60	65	174	
		30	3,40	Sorgo	26.520	0,30	91	6,80	58	137	458
7SD 17	78,00	40	3,80	Rast. Soja	72.000			6,00	50	217	217

Can=carga animal, animales ha<sup>-1</sup>, MST=materia seca total Kg, R/B= Relación raíces/biomasa aérea, CAR= Carbono aportado raíz ha<sup>-1</sup>,CMS= Consumo materia seca día<sup>-1</sup>, DMS= Digestibilidad materia seca %, CAH= Carbono aportado por heces ha<sup>-1</sup>, CAT= Carbono aportado total ha<sup>-1</sup> (CAR+CAH)

### 3.3 Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados de acuerdo a la metodología descrita en el punto 2.6 (Capítulo 2).

#### 3.3.1 Resultados

##### 3.3.1.1 Análisis de Varianza

Para determinar si los establecimientos podían analizarse en conjunto o por separado se efectuó análisis de varianza. Las variables analizadas fueron CO, pH, Estabilidad Estructural (EE agua) y Densidad Aparente (Dap). Para conocer el comportamiento de las variables, se procedió a calcular las varianzas entre los distintos establecimientos y dentro de cada establecimiento, entre los tratamientos (Infostat, 2009).

Tabla 22. Estimaciones de la varianza de las variables CO, pH, EE agua y Dap de suelos Haplustoles entre establecimientos ubicados en Las Vaquillas, Totoral y La Lagunilla y entre los tratamientos dentro de cada establecimiento.

VARIABLE	ENTRE ESTABLECIMIENTO	ENTRE LOS TRATAMIENTOS DENTRO DE ESTABLECIMIENTOS
CO	3,46	0,86
pH	0,13	0,27
EE agua	614,9	35,9
Dap	0,74	0,02

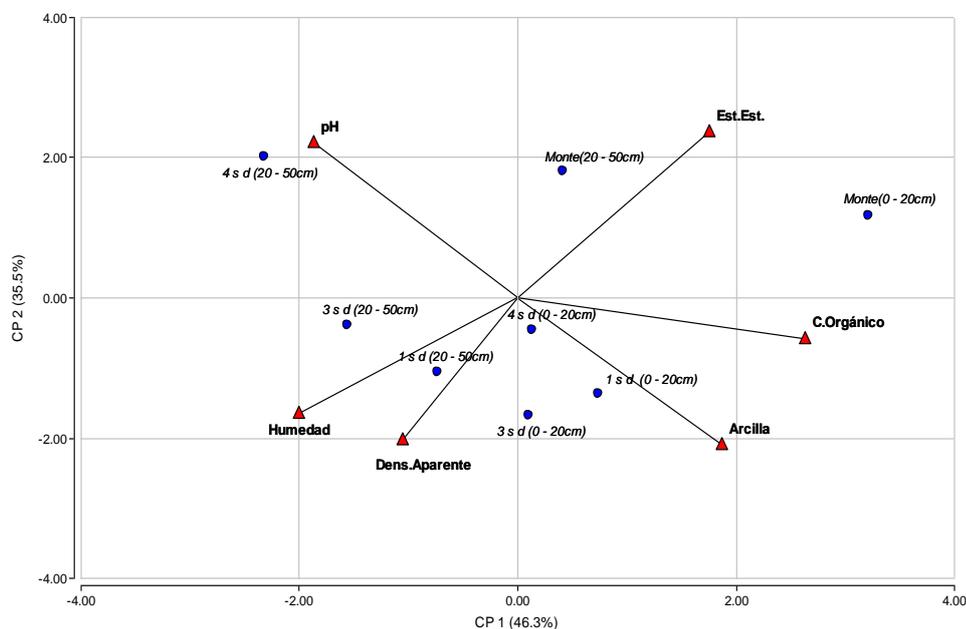
Estas cantidades indican (excepto para pH) que hay mayor variabilidad entre establecimientos que dentro de los mismos.

##### 3.3.1.2 Análisis de componentes principales (ACP) y correlaciones

###### 3.3.1.2.1 Las Vaquillas

El resultado obtenido en el análisis de componentes principales (ACP) indica que el comportamiento de las variables es distinto de acuerdo a la profundidad de que se trata.

Gráfico 1. Biplot del análisis de componentes principales. Tratamientos Monte; 1 sd (1 año SD); 3 sd (3 años SD); 4 sd (4 años SD), C. orgánico (Carbono orgánico), Est.Estr. (Estabilidad estructural agua), Dens. Aparente (Densidad aparente), pH, Humedad y Arcilla del establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.



En este establecimiento la explicación de la variación edáfica por el primer componente principal (CP1) es de 46,3 %. Este componente principal estuvo determinado mayormente según los vectores característicos por C. orgánico y Arcilla , Dap y Humedad.

Existe una separación de los tratamientos por profundidad: en la parte derecha del gráfico se ubica la profundidad de 0-0,20 m y en la izquierda 0,20-0,50 m, excepto monte que se encuentra en las dos profundidades en la parte derecha asociado a las variables estabilidad estructural y carbono orgánico. Se puede observar que 1, 3 y 4 SD 0-0,20 m se agrupan cercanos a las variables arcilla y carbono orgánico, en la profundidad de 0,20-0,50 m se encuentran cercanos a las variables humedad y densidad aparente.

Según la CP2 la explicación de la variación edáfica es de 35,5 %, Est. Estr. y pH se agrupan en forma opuesta al resto. Los tratamientos 1 y 3SD (0,20 - 0,50 m) se encuentran cercanos a arcilla y humedad, mientras 4 SD (0,20 - 0,50 m) se encuentra asociado a pH. Monte se diferencia en las dos profundidades analizadas de los tratamientos.

Análisis de Correlaciones:

Gráfico 2. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla, en la profundidad 0 - 0,20 m del establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.

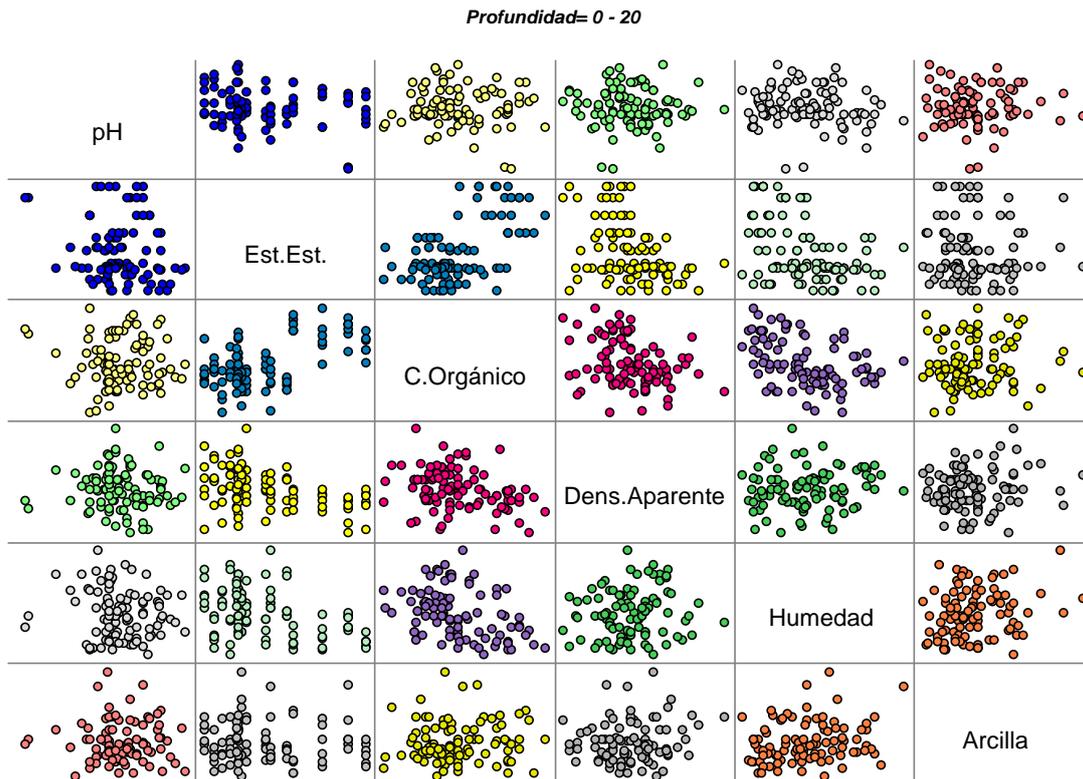
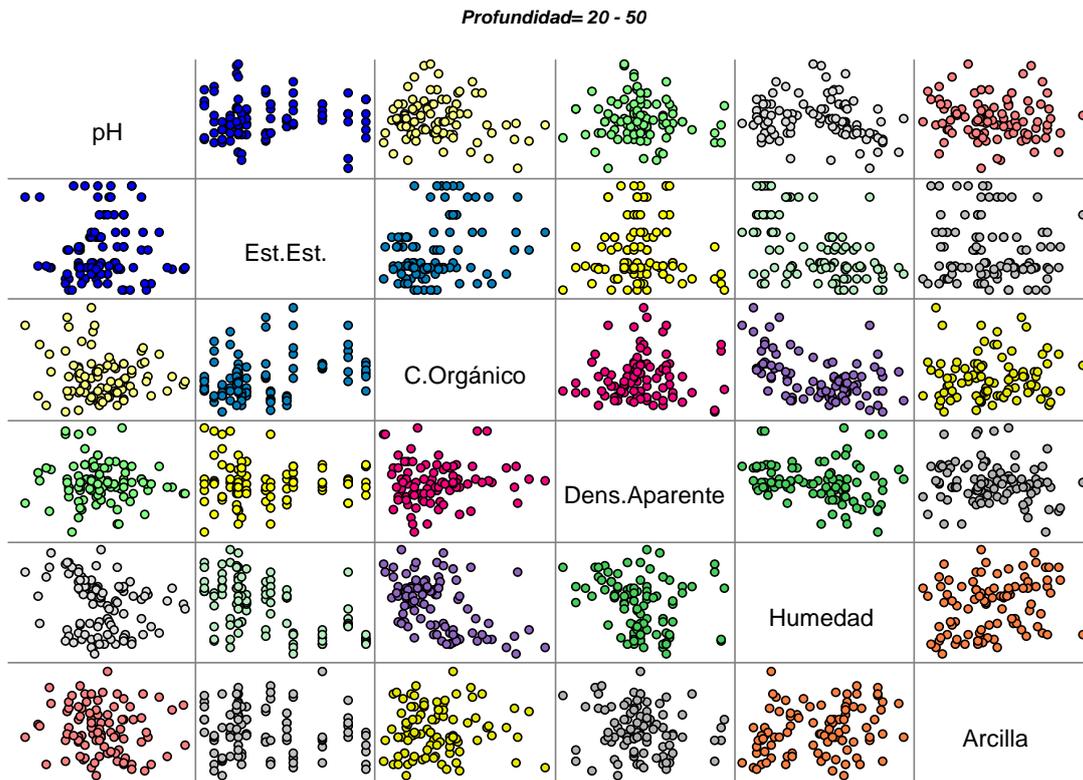


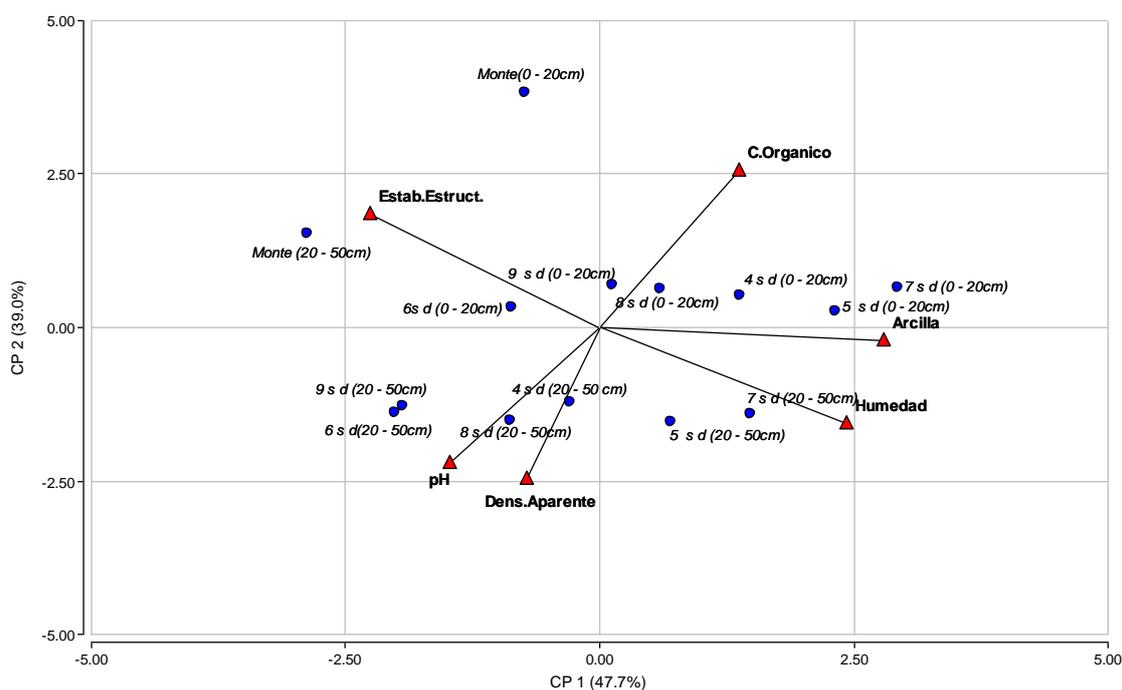
Gráfico 3. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla, en la profundidad 0,20 - 0,50 m del establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero



Los análisis realizados (ACP) manifiestan que las variables de suelo presentan distintas correlaciones según la profundidad de que se trate.

### 3.3.1.2.2 Totoral

Gráfico 4. Biplot del análisis de componentes principales. Tratamientos Monte; 4 sd (4 años SD); 5 sd (5 años SD); 6 sd (6 años SD), 7 sd (7 años SD), 8 sd (8 años SD), 9 sd (9 años SD) C. orgánico (Carbono orgánico), Estab.Estruct. (Estabilidad estructural agua), Dens. Aparente (Densidad aparente), pH, Humedad y Arcilla del establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba



En este establecimiento la explicación de la variación edáfica por el primer componente principal (CP1) es de 47.7 %. Este componente principal estuvo determinado por los vectores en las variables Arcilla y Humedad. Se observa según la CP1 que alrededor de las variables Arcilla y C orgánico se agrupan los tratamientos 9, 8, 4 y 7 SD profundidad 0-0,20 m. Alrededor de la variable Humedad se agrupan los tratamientos 7 y 5 SD (0,20 - 0,50 m). El tratamiento monte en sus dos profundidades, 6 y 9 SD (0 - 0,20 m) se agrupan alrededor de la variable Estab. Estructural. Los tratamientos 9, 6, 4 y 8 SD (0,20 - 0,50 m) se agrupan alrededor de las variables pH y Dens. Aparente.

La CP2 explica el 39 % de la variación edáfica. Las variables C. Org y Estab. Estr se agrupan en forma opuesta al resto. Divide a los tratamientos en las dos profundidades analizadas, excepto el tratamiento monte que se encuentra en el cuadrante superior del gráfico en las dos profundidades analizadas, asociado a Estab. Estructural y C orgánico.

Análisis de Correlaciones:

Gráfico 5. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla en la profundidad 0-0,20 m del establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.

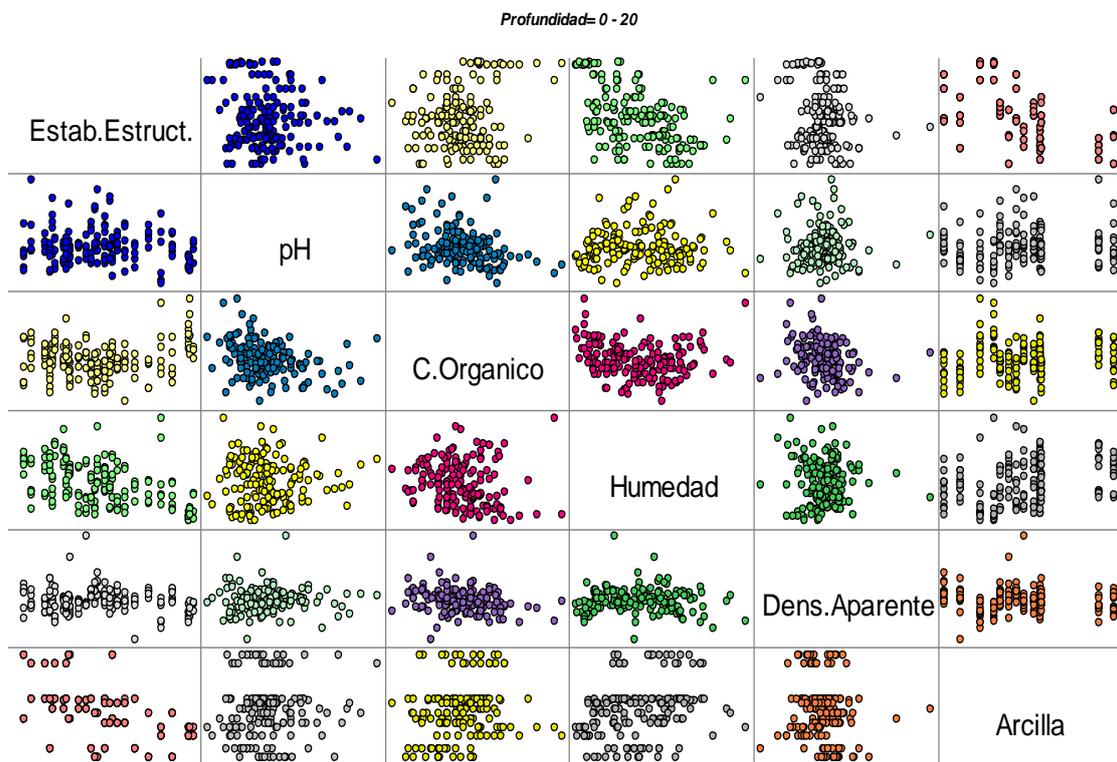
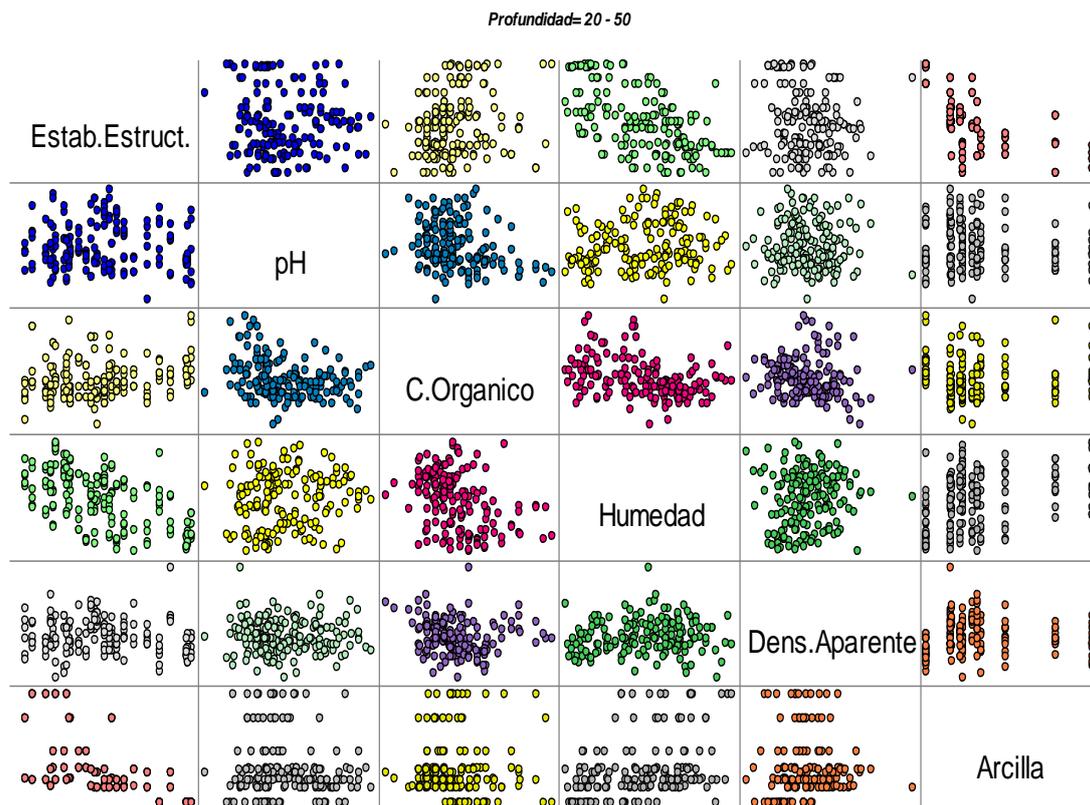


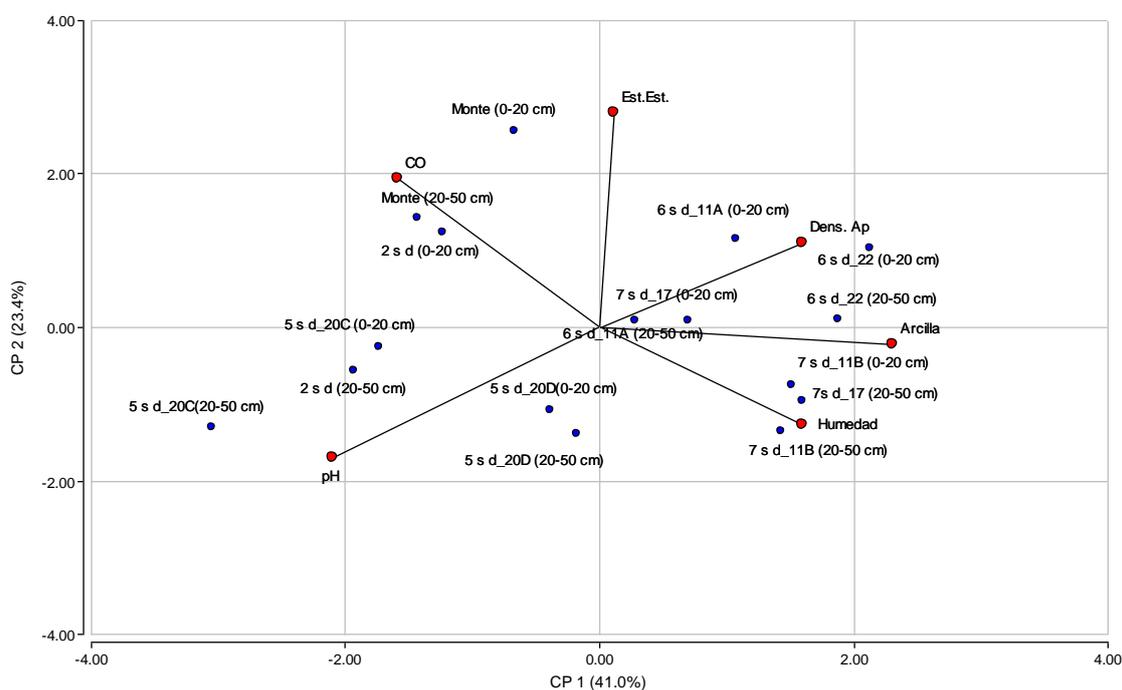
Gráfico 6. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla en la profundidad 0,20 - 0,50 m del establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.



Los análisis realizados (ACP) manifiestan que las variables de suelo presentan distintas correlaciones según la profundidad de que se trate.

### 3.3.1.2.3 La Lagunilla

Gráfico 7. Biplot del análisis de componentes principales. Tratamientos Monte; 2 sd (2 años SD); 5 sd 20 C (5 años SD 20 C); 5 sd 20 D (5 años SD 20 D), 6 sd 11 A (6 años SD 11 A), 6 sd 22 (6 años SD 22), 7 sd 11B (7 años SD 11B) y 7 sd 17 (7 años SD 17), C. orgánico (Carbono orgánico), Estab.Estruct. (Estabilidad estructural agua), Dens. Aparente (Densidad aparente), pH, Humedad y Arcilla del establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.



La explicación de la variación edáfica por el primer componente principal (CP1) fue de 41%. Este componente principal estuvo determinado mayormente según los vectores Dens Ap., Arcilla y Humedad. El CP2 explicó 23% de la variación total.

Se puede observar que, según la CP1 los tratamientos de 6 y 7 años de SD se posicionan diferentes a los tratamientos de 2 años SD, 5 años SD y monte.

Alrededor de las variables densidad aparente, arcilla y humedad se agrupan los tratamiento de 6 y 7 años de SD, para ambas profundidades; a excepción de los lotes 11 A (0,20-0,50 m) y 17 (0 - 0,20 m) que no mostraron ninguna tendencia particular.

Los tratamientos de 2 años SD, 5 años SD y monte (0,20 - 0,50 m) se agruparon alrededor de las variables pH y Carbono Orgánico (CO); a excepción del lote 20D.

Según el CP2; Los vectores que presentan asociación son Arcilla y Humedad. El pH se encuentra totalmente separado del resto.

Análisis de Correlaciones

Gráfico 8. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla en la profundidad 0 - 0,20 m del establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

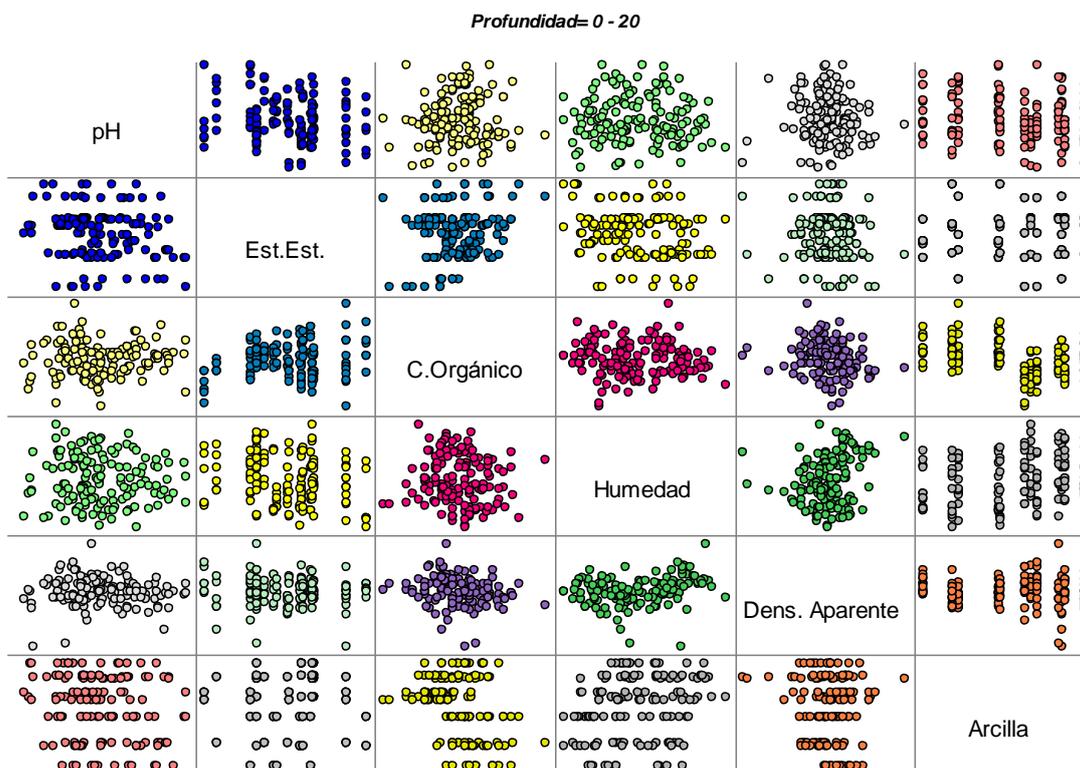
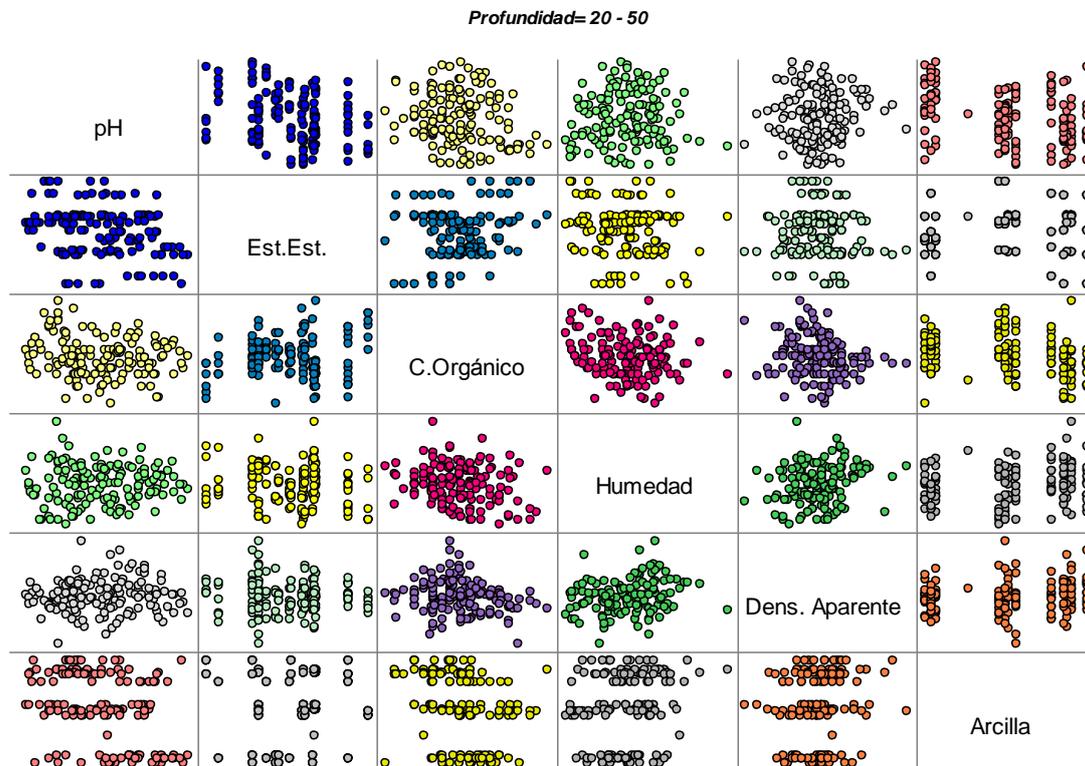


Gráfico 9. Scatter Plot matrix de las variables pH, Est. Estr. (Estabilidad estructural agua), C. Orgánico (Carbono orgánico), Dens. Aparente (Densidad aparente), Humedad y Arcilla en la profundidad 0,20 - 0,50 m del establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.



Los análisis realizados (ACP) manifiestan que las variables de suelo presentan distintas correlaciones según la profundidad de que se trate.

Los tres establecimientos analizados presentan distintas agrupaciones (ACP) y correlaciones entre variables corroborando el análisis de varianza realizado. Deben ser analizados por separado. Lo mismo sucede con las profundidades estudiadas.

### 3.4 Contenido de Carbono orgánico (Mg ha<sup>-1</sup>) en el monte y en los tratamientos, relación con las variables químicas y físicas.

#### 3.4.1 Las Vaquillas

Tabla 23. Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), Nitrógeno total (Nt, Mg ha<sup>-1</sup>), Fósforo extraíble (P ext., kg ha<sup>-1</sup>), pH, Densidad aparente (Dap, Mg m<sup>-3</sup>), Estabilidad Estructural (EE agua, %), Humedad (g 100 g<sup>-1</sup>) y Arcilla (g kg<sup>-1</sup>), en el monte y en los tratamientos, profundidad 0 - 0,20 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero

Tratamiento	CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	Nt (Mg ha <sup>-1</sup> )	P ext. (kg ha <sup>-1</sup> )	pH	Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	Dap (Mg m <sup>-3</sup> )	EE agua (%)	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )
1 SD	36,46 b	3,94 a	128,32 a	7,12 a	22,51	0,97	27,59	410 a
3 SD	33,93 b	3,86 a	135,15 a	7,13 a	23,23	0,96	20,21	392 a
4 SD	33,64 b	3,94 a	161,25 a	7,10 a	24,36	0,99	23,61	343 a
Monte	47,23 a	4,96 a	128,22 a	7,53 a	22,99	0,97	45,31	342 a

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )*

En la profundidad de 0 - 0,20 m el contenido de CO es significativamente mayor ( $p \leq 0.10$ ) en monte prístino que en los tratamientos bajo SD en las dos profundidades analizadas.

El CO no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos. 3 SD presenta mayor valor que 4 SD, 0,29 Mg ha<sup>-1</sup>. 3 SD posee en su historia agrícola el 67 % de gramíneas mientras que 4 SD presenta el 25 %.

La interacción entre covariables que actúa en esta profundidad sobre el CO es Dap\*Humedad, con menores valores de Dap\*humedad encontramos mayores niveles de CO.

El nitrógeno total no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos y el monte. El CO influye positivamente sobre el Nt a través de la interacción EE\*CO. Encontramos mayores valores de Nt cuando los valores de EE y CO son mayores.

El P extraíble no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos y el monte. No se encuentra interacción con el carbono orgánico ni ninguna otra variable.

El pH no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos y el monte. Ninguna covariable ni interacción influye sobre su comportamiento.

Tabla 24. Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), Nitrógeno total (Nt, Mg ha<sup>-1</sup>), Fósforo extraíble (P ext., kg ha<sup>-1</sup>), pH, Densidad aparente (Dap, Mg m<sup>-3</sup>), Estabilidad Estructural (EE agua, %), Humedad (g 100 g<sup>-1</sup>) y Arcilla (g kg<sup>-1</sup>), profundidad 0,20-0,50 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.

Tratamiento	CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	Nt (Mg ha <sup>-1</sup> )	P ext. (kg ha <sup>-1</sup> )	pH	Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	Dap (Mg m <sup>-3</sup> )	EE agua (%)	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )
1 SD	35,50 ab	5,11 b	108,03 a	7,27 a	23,03	0,95	22,81	393 a
3 SD	27,81 c	4,82 b	117,61 a	7,32 a	21,78	0,91	21,39	328 b
4 SD	30,35 bc	5,15 b	127,29 a	7,50 a	23,46	1,02	31,43	303 c
Monte	43,44 a	7,57 a	95,28 a	6,94 a	13,95	0,94	35,68	345 ab

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )*

En la profundidad de 0,20 - 0,50 m existen diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y 3 SD con los menores valores de CO y mayor porcentaje de gramíneas en su historia agrícola. 1 SD presenta los valores de CO más cercanos a monte por la cercanía al desmonte e incorporación de una gran masa carbonada.

Las interacciones entre covariables que intervienen positivamente sobre el CO son pH\*EE; EE\*Humedad; EE\*Arcilla. A mayores valores de estas variables encontramos mayores niveles de CO.

El Nt presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos y el monte, siendo los valores mayores en monte. El CO actúa sobre el nivel de Nt por la interacción Dap\*CO, a mayores valores de estas variables encontramos mayores valores de Nt.

El P ext. no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos y el monte. La interacción CO\*Arcilla influye negativamente sobre los valores de P ext. Menores valores de estas variables provocan mayores niveles de P ext.

El pH no presenta diferencias significativas. Ninguna covariable ni interacción influye sobre el comportamiento del pH.

El CO interactúa positivamente con la variable P ext. en la profundidad de 0,20 - 0,50 m. A mayores valores de CO encontramos mayores niveles de P ext.

### 3.4.2 Totoral

Tabla 25. Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), Nitrógeno total (Nt, Mg ha<sup>-1</sup>), Fósforo extraíble (P ext., kg ha<sup>-1</sup>), pH, Densidad aparente (Dap, Mg m<sup>-3</sup>), Estabilidad Estructural (EE agua, %) Humedad (g 100 g<sup>-1</sup>) y Arcilla (g kg<sup>-1</sup>) en el monte y en los tratamientos, profundidad 0 - 0,20 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.

Tratamiento	CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	Nt (Mg ha <sup>-1</sup> )	P ext. (kg ha <sup>-1</sup> )	pH	Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	Dap (Mg m <sup>-3</sup> )	EE agua (%)	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )
4 SD	37,71 a	4,65 ab	178,61 bc	6,86 a	17,44	1,15	34,19	262 bc
5 SD	37,39 a	4,33 abc	217,47 ab	6,73 ab	19,24	1,18	32,46	287 a
6 SD	39,18 a	4,51 abc	127,56 d	7,02 a	17,59	1,28	38,80	177 e
7 SD	39,41 a	4,63 ab	232,33 a	6,75 ab	17,99	1,11	30,29	279 ab
8 SD	32,49 b	4,27 bc	170,20 bcd	6,55 b	18,50	1,20	36,29	236 cd
9 SD	35,29 ab	4,83 a	151,47 cd	7,02 a	15,43	1,27	36,73	237 cd
Monte	40,91 a	3,69 c	159,09 bcd	6,77 ab	11,70	0,96	38,37	197 de

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )

En la profundidad de 0 – 0,20 m el CO es mayor en monte que en los tratamientos analizados. Las diferencias sin ser estadísticamente significativas ( $p \leq 0.10$ ) se presentan entre monte y 8 SD y dentro de los tratamientos. 8 SD es el que presenta los menores valores ( $p \leq 0.10$ ) de CO, posee el suelo descubierto durante el invierno. La interacción entre covariables que influye es Dap\*pH. Mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de CO en el suelo.

El Nt presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y 4, 7 y 9 SD. Monte presenta los menores valores. Entre los tratamientos las diferencias ( $p \leq 0.10$ ) se encuentran entre 9 SD con mayores valores y 8 SD. Ninguna covariable ni interacción influye sobre los niveles de Nt en suelo.

El P ext. presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y 7 SD con los mayores valores. El resto de los tratamientos no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ). Ninguna covariable ni interacción influye sobre los niveles de P en esta profundidad.

El pH no presenta diferencias significativas entre monte y los tratamientos. Entre los tratamientos no existen diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ). Ninguna covariable ni interacción influye sobre los valores de pH.

Tabla 26. Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), Nitrógeno total (Nt, Mg ha<sup>-1</sup>), Fósforo extraíble (P ext., kg ha<sup>-1</sup>), pH, Densidad aparente (Dap, Mg m<sup>-3</sup>), Estabilidad Estructural (EE agua, %), Humedad (g 100 g<sup>-1</sup>) y Arcilla (g kg<sup>-1</sup>), en el monte y en los tratamientos, profundidad 0,20 – 0,50 m en el establecimiento ubicado en Ttotal, centro-norte de Córdoba.

Tratamiento	CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	Nt (Mg ha <sup>-1</sup> )	P ext. (kg ha <sup>-1</sup> )	pH	Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	Dap (Mg m <sup>-3</sup> )	EE agua (%)	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )
4 SD	30,36 a	5,02 bc	149,51 bc	7,52 ab	16,36	1,27	16,34	235 a
5 SD	30,65 a	5,14 bc	175,60 ab	7,03 bc	19,33	1,29	23,03	239 a
6 SD	28,37 a	5,00 bc	110,34 c	7,21 bc	14,88	1,38	26,3	203 b
7 SD	37,01 a	6,90 a	231,53 a	6,66 c	22,20	1,28	14,23	203ab
8 SD	26,48 a	4,89 bc	152,27 bc	6,89 c	16,34	1,35	22,16	203 b
9 SD	31,16 a	5,65 ab	167,91 ab	7,78 a	13,18	1,26	23,95	206 ab
Monte	25,24 a	4,06 c	197,51 ab	7,53 ab	14,61	1,21	31,95	184 b

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )*

En la profundidad de 0,20 - 0,50 m no existen diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) en el contenido de CO. El monte presenta los valores más bajos de CO en esta profundidad. Las interacciones entre variables que influyen negativamente sobre los valores de CO son: Dap\*pH, Dap\*arcilla, pH\*humedad y humedad\*arcilla. Menores valores de estas variables provocan mayores valores de CO de suelo.

El Nt presenta los menores valores en monte respecto a los tratamientos. Existen diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte con menores valores y los tratamientos 7 y 9 SD. Entre los tratamientos las diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) se establecen entre 7 SD, con valores más altos, respecto al resto de los tratamientos. Las interacciones negativas entre covariables que influyen sobre los niveles de Nt son: CO\* Humedad, EE\*Humedad, Humedad \*Arcilla. Menores valores de estas variables provocan mayores niveles de Nt.

El Pext. presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y 6SD con los valores más bajos. Entre tratamientos las diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) se encuentran entre 7SD con los valores más altos y 6 SD que es el tratamiento con menores valores. La covariable que interviene en el comportamiento del P ext. es CO\*Tratamiento, siendo la interacción positiva más marcada en el tratamiento 6 SD, mayores niveles de CO en suelo provocan mayores valores de P ext.

El pH no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y los tratamientos. Las diferencias entre tratamientos se encuentran entre 9 SD con los valores más altos y los tratamientos 7 y 8 SD con valores similares. Las interacción entre covariables que influyen sobre los niveles de pH en el suelo son CO\*Humedad, negativa, menores valores de estas variables provocan mayores niveles de pH en el suelo y Dap, positiva. Mayores niveles de esta variable provoca mayores valores de pH.

### 3.4.3 La Lagunilla

Tabla 27. Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), Nitrógeno total (Nt, Mg ha<sup>-1</sup>), Fósforo extraíble (P ext., kg ha<sup>-1</sup>), pH, Densidad aparente (Dap, Mg m<sup>-3</sup>), Estabilidad Estructural (EE agua, %), Humedad (g 100 g<sup>-1</sup>) y Arcilla (g kg<sup>-1</sup>), en el monte y en los tratamientos, profundidad 0-0,20 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	Nt (Mg ha <sup>-1</sup> )	P ext. (kg ha <sup>-1</sup> )	pH	Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	Dap (Mg m <sup>-3</sup> )	EE agua (%)	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )
2 SD	48,13 a	9,93 ab	208,78 bc	7,30 a	12,85	1,26	22,23	247 c
5 SD 20C	45,40 ab	11,58 a	366,93 a	7,26 a	12,33	1,13	20,20	242 c
5 SD 20D	45,76 ab	9,98 ab	318,53 ab	7,34 a	19,97	1,03	18,07	295 ab
6 SD 11A	35,21 c	9,95 ab	174,79 c	6,66 b	20,20	1,19	23,31	298 a
6 SD 22	41,66 b	10,94 ab	196,44 bc	6,85 ab	18,96	1,11	23,47	282 b
7 SD 11B	28,50 d	8,99 ab	122,07 c	6,91 ab	21,13	1,05	25,60	274 b
7 SD 17	34,23 c	8,66 b	112,73 c	6,46 b	15,29	1,35	25,45	281 b
Monte	46,64 ab	10,44 ab	173,61 c	6,91 ab	11,35	1,35	23,56	252 c

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )

El CO en la profundidad de 0 - 0,20 m en el monte posee diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) solo con algunos tratamientos (6SD 11 A, 7 SD 17 y 7 SD 11B con el menor valor). Existen diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos. 2 SD con el mayor valor y 7 SD 11B con el menor valor. El resto de los tratamientos incluido monte presentan valores intermedios.

La covariable pH y la interacción Dap\*Arcilla influyen positivamente sobre los valores de CO en esta profundidad.

El Nt presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos. Los tratamientos con diferencias significativas son 5 SD 20C con los mayores valores y 7 SD 17 con los menores valores. El resto de los tratamientos incluido monte presenta valores intermedios. Ninguna covariable ni interacción influye sobre el comportamiento de esta variable.

El P ext. presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre tratamientos. El mayor valor se encuentra en 5SD 20C y el menor valor en 7 SD 17. El resto de los tratamientos, incluido monte presenta valores intermedios. Las interacciones entre covariables que influyen positivamente sobre el comportamiento de esta variable son Dap\*Arcilla y Humedad\*Arcilla. Mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de P ext. en el suelo.

El pH presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre tratamientos: 2 SD, 5 SD 20 C, 5 SD 20 D con los valores más altos y 6 SD 11 A y 7 SD 17 con los valores más bajos. El resto de los tratamientos incluido monte presentan valores intermedios.

La interacción entre covariables que influye positivamente sobre el comportamiento del pH en el suelo es Dap\*EE. Mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de pH en el suelo.

Tabla 28. Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), Nitrógeno total (Nt, Mg ha<sup>-1</sup>), Fósforo extraíble (P ext., kg ha<sup>-1</sup>), pH, Densidad aparente (Dap, Mg m<sup>-3</sup>), Estabilidad Estructural (EE agua, %), Humedad (g 100 g<sup>-1</sup>) y Arcilla (g kg<sup>-1</sup>), en el monte y en los tratamientos, profundidad 0,20 – 0,50 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	Nt (Mg ha <sup>-1</sup> )	P ext. (kg ha <sup>-1</sup> )	pH	Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	Dap (Mg m <sup>-3</sup> )	EE agua (%)	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )
2 SD	36,86 a	2,88 b	5,25 d	8,22 b	18,12	1,28	21,24	205 d
5 SD 20C	51,87 a	4,76 ab	89,71 abc	8,78 a	10,85	1,37	14,45	217 d
5 SD 20D	36,57 a	6,03 a	107,48 ab	7,77 bc	15,13	1,21	19,47	274 b
6 SD 11A	32,78 a	4,90 a	65,05 bcd	7,41 cd	15,87	1,24	23,56	261 c
6 SD 22	31,83 a	6,03 ab	126,81 a	7,05 dc	14,45	1,29	23,4	296 a
7 SD 11B	26,65 a	5,50 ab	79,00 bcd	6,77 e	15,73	1,26	28,01	292 a
7 SD 17	26,68 a	5,36 ab	119,22 ab	6,66 e	13,83	1,29	18,78	304 a
Monte	40,27 a	4,78 ab	46,88 cd	7,73 bc	13,17	1,27	24,07	253 c

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )

En la profundidad de 0,20 - 0,50 m el CO presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los siguientes pares de muestras 5SD 20 C y 2 SD; Monte y 6SD 11 A; Monte y 7SD 11 B; y 5 SD 20 D y 7 SD 11 B, si bien las letras del cuadro son las mismas. Las interacciones entre covariables que influyen positivamente sobre el comportamiento del CO de suelo son Dap\*pH y pH\*EE. Mayores valores de estas variables provocan mayores valores de CO en suelo.

El Nt presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos. Los menores valores se encuentran en 2SD y los mayores 5 SD 20D. Existen diferencias significativas entre los siguientes pares de muestras 5SD 20D y 6SD 11 A; 5SD 20D y monte; 6SD 11 A y monte; 6SD 11 A y 2SD. Las interacciones entre covariables que influyen negativamente sobre el comportamiento del Nt de suelo son Dap\*Arcilla, CO\*Arcilla y Humedad\*Arcilla. Cuando los valores de estas variables son menores encontramos mayores niveles de Nt en el suelo.

El Pext. presenta distinto comportamiento según los tratamientos. Los mayores valores se encuentran en 6SD 22 y los menores en 2SD. El resto de los tratamientos incluido monte presentan valores intermedios. Ninguna covariable ni interacción influyó sobre el comportamiento del Pext. del suelo.

El pH presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos, los mayores valores se encuentran en 5SD 20C y los menores en 7SD 11 B y 7SD 17. Las interacciones entre covariables que influyen positivamente sobre el comportamiento del pH en el suelo son CO\*EE, CO\*Arcilla y Humedad\*Arcilla. Mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de pH en el suelo.

### 3.5 Dinámica del CO en relación con los aportes de Carbono

#### 3.5.1 Las Vaquillas

Tabla 29. Carbono orgánico del suelo promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en los distintos tratamientos y el monte en diferentes profundidades (0 - 0,20 m, 0,20 - 0,50 m, 0 - 0,50 m) en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.

Tratamiento	CO ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		
	0 - 0,20 m	0,20 - 0,50 m	0 - 0,50 m
Monte	47.230	43.442	90.672
1SD	36.460	35.505	71.965
3SD	33.930	27.813	61.743
4SD	33.643	30.520	64.163

Tabla 30. Pérdidas de CO ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) totales y anuales en los tratamientos respecto a monte en la profundidad de 0 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.

Tratamiento	CO ( $\text{kg ha}^{-1}$ total)	CO ( $\text{kg ha}^{-1}$ año $^{-1}$ )
1SD	18.707	18.707
3SD	28.929	9.643
4SD	26.509	6.627

Tabla 31. Pérdidas de Carbono ( $\text{kg ha}^{-1}$  año $^{-1}$ ) en el suelo respecto a monte y aportes de Carbono promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$  año $^{-1}$ ) por residuos de cosecha en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.

Tratamiento	Pérdidas CO ( $\text{kg ha}^{-1}$ año $^{-1}$ suelo)	Aportes C ( $\text{kg ha}^{-1}$ año $^{-1}$ )
1SD	18.707	1.293
3SD	9.643	1.917
4SD	6.627	2.113

No concuerda el C aportado por residuos de cosecha, según el cálculo realizado en la tabla 15, con la evolución del CO del suelo.

El tratamiento 3SD perdió respecto a monte 9.643 CO ( $\text{kg ha}^{-1}$  año $^{-1}$ ) con un aporte anual de 1.917 C ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) mientras que 4SD perdió, respecto a monte, 6.627 ( $\text{kg ha}^{-1}$  año $^{-1}$ )

con un aporte anual de 2113 C (kg ha<sup>-1</sup>). Los valores de CO de suelo muestran que la pérdida se redujo en 3.016 (kg ha<sup>-1</sup>) en 4 SD respecto a 3 SD mientras que el aporte de C por residuos de cosecha es de 196 C (kg ha<sup>-1</sup>) más para el tratamiento de 4SD.

Tabla 32. Porcentaje de Carbono orgánico de suelo perdido respecto a monte, en las profundidades de 0 - 0,20 m, 0,20 - 0,50 m y 0 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.

Tratamiento	CO perdido (%)		
	0 - 0,20 m	0,20 - 0,50 m	0 - 0,50 m
1SD	23	18	21
3SD	28	36	32
4SD	28	30	29

### 3.5.2 Totoral

Tabla 33. Carbono orgánico promedio (kg ha<sup>-1</sup>) en los distintos tratamientos y el monte en diferentes profundidades (0 - 0,20, 0,20 - 0,50, 0 - 0,50 m) en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.

Tratamiento	CO (kg ha <sup>-1</sup> )		
	0 - 0,20 m	0,20 - 0,50 m	0 - 0,50 m
Monte	40.915	25.239	66.154
4SD	37.715	30.357	68.072
5SD	37.390	30.655	68.045
6SD	39.181	28.367	67.548
7SD	39.415	37.008	76.423
8SD	32.488	26.482	58.970
9SD	35.292	31.163	66.455

Tabla 34. Ganancias y pérdidas de CO (kg ha<sup>-1</sup>) totales y anuales en los tratamientos respecto a monte en la profundidad de 0 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.

Tratamiento	CO (kg ha <sup>-1</sup> total)	CO (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
4SD	+ 1.918	+ 479
5SD	+ 1.891	+ 378
6SD	+ 1.394	+ 232
7SD	+ 10.269	+ 1.467
8SD	- 7.184	- 898
9SD	+ 301	+ 33

Tabla 35. Ganancias y pérdidas anuales de CO (kg ha<sup>-1</sup>) de suelo, 0 - 0,50 m, comparadas con monte, aportes anuales de C (kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) promedio por residuos de cosecha en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.

Tratamiento	CO (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> suelo)	C aportado (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
4SD	+ 479	4.398
5SD	+ 378	4.271
6SD	+ 232	3.749
7SD	+ 1.467	4.285
8SD	- 898	4.585
9SD	+ 33	4.196

El balance de Carbono en este caso es positivo para los tratamientos excepto 8 SD, que posee una diferencia de CO de 898 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> menor y un aporte de Carbono de 4.585 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En el resto de los tratamientos no concuerdan el CO promedio agregado kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con las ganancias de CO de suelo.

Tabla 36. Ganancias y pérdidas de CO (%) de suelo respecto a monte, profundidad 0 - 0,20 m, 0,20 - 0,50 m y 0 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.

Tratamiento	CO (%)		
	0 - 0,20 m	0,20 - 0,50 m	0 - 0,50 m
4SD	- 8	+ 20	+ 3
5SD	- 9	+ 21	+ 3
6SD	- 4	+ 12	+ 2
7SD	- 4	+ 47	+ 15
8SD	- 21	+ 5	- 11
9SD	- 14	+ 23	+ 0,4

### 3.5.3 La Lagunilla

Tabla 37. Carbono orgánico del suelo promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en los distintos tratamientos y el monte en diferentes profundidades (0 - 0,20 m, 0,20 - 0,50 m, 0 - 0,50 m) en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	CO ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		
	0 - 0,20 m	0,20 - 0,50 m	0 - 0,50 m
Monte	46.644	40.274	86.918
2SD	48.130	36.865	84.995
5SD 20C	45.397	51.875	97.272
5SD 20D	45.765	36.572	82.337
6SD 22	35.212	31.835	67.047
6SD 11 A	41.663	32.781	74.444
7SD 11 B	28.502	26.649	55.151
7SD 17	34.228	26.683	60.911

Tabla 38. Ganancias y pérdidas de CO ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) totales y anuales en los tratamientos respecto a monte, 0 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	CO ( $\text{kg ha}^{-1}$ total)	CO ( $\text{kg ha}^{-1}$ año $^{-1}$ )
2SD	- 1.923	- 901
5SD 20C	+ 10.254	+ 2.051
5SD 20D	- 4.581	- 916
6SD 22	- 19.871	- 3.312
6SD 11 A	- 12.474	- 2.079
7SD 11 B	- 31.767	- 4.538
7 SD 17	- 26.007	- 3.715

Tabla 39. Ganancias y pérdidas anuales de CO (kg ha<sup>-1</sup>) de suelo, 0 – 0,50 m, comparadas con monte, aportes anuales de C (kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) promedio por residuos de cosecha en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	CO (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> suelo)	C aportado (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
2SD	- 901	2.959
5SD 20C	+ 2.051	3.096
5SD 20D	- 916	3.607
6SD 22	- 3.312	3.948
6SD 11 A	- 2.079	4.241
7 SD 11 B	- 4.538	3.849
7SD 17	- 3.715	4.123

El C aportado por residuos de cosecha no concuerda con lo que sucede en el suelo. Con mayores aportes hay mayores pérdidas de CO de suelo.

Tabla 40. Ganancias y pérdidas de CO (%) de suelo respecto a monte, en las profundidades de 0 - 0,20 m, 0,20 - 0,50 m y 0 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	CO (%)		
	0 - 0,20 m	0,20 - 0,50 m	0 - 0,50 m
2SD	+ 3	- 9	- 2
5SD 20C	- 3	+ 29	+ 12
5SD 20D	- 2	- 9	- 5
6SD 22	- 24	- 21	- 23
6SD 11 A	- 11	- 19	- 14
7 SD 11B	- 39	- 34	- 36
7SD 17	- 27	- 34	- 30

### 3.6 Discusión

El CO de suelo en Las Vaquillas es menor en todos los tratamientos respecto a monte prístino en las dos profundidades estudiadas. Las disminuciones de CO respecto a monte son de 21 % en 1 año de SD, 32 % para 3 años de SD y 29 % para 4 años de SD en

la profundidad de 0-0,50 m, de acuerdo a lo enunciado por Ellert (1996) que trabajando en suelos de Canadá encontró que la transformación de bosques nativos a condiciones de agricultura resulta en una pérdida del 25 al 35% de CO.

En la profundidad de 0 - 0,20 m el comportamiento del CO es similar en todos los tratamientos. En la profundidad de 0,20 - 0,50 m el contenido de CO de los tratamientos es menor al encontrado en la profundidad de 0 - 0,20 m. El concepto generalizado es que en suelos bajo SD el CO primariamente se redistribuye dentro del suelo, esto es en los primeros centímetros de suelo, pero no necesariamente en el total del perfil (Murage et al., 2007).

La textura de estos suelos posee altos porcentajes de arcilla por lo que se podría pensar que existe gran cantidad de CO físicamente protegido por la oclusión del CO dentro de los agregados. Los factores que influyen sobre la disminución del CO en esta profundidad son: por un lado, las labores ejercen una acción agresiva sobre los agregados del suelo provocando su ruptura y aumentando la exposición de la materia orgánica al ataque de los microorganismos y por el otro, el aumento de la concentración de oxígeno favorece la actividad de microorganismos. La disminución de CO estaría manifestando condiciones de mineralización en esta profundidad (Murage et.al, 2007). También se destaca la acción de la temperatura, de acuerdo a lo enunciado por Plante, (2009) que sostiene que la protección física del CO es insuficiente para atenuar el efecto de la temperatura sobre la descomposición del CO. El incremento de la respiración del suelo debido al aumento de la temperatura puede ser atribuible al mayor tamaño de la biomasa microbiana o a un aumento de la respiración por una biomasa sin cambios, o bien a una combinación de los dos. La biomasa microbiana fue mayor a 35 °C que a 25 °C y la respiración específica fue menor, lo que significa que las poblaciones microbianas fueron menos eficientes en el uso de sustrato y se desprende una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> por unidad de biomasa C.

3 SD presenta menor CO en la profundidad de 0,20 – 0,50 m que el resto de los tratamientos. También presenta menores valores de EE agua, de acuerdo a la composición de raíces (67% gramíneas), con menor acción microbiana que repercute en una menor estabilidad de agregados. El contenido de CO en esta profundidad está condicionado por la EE agua. Mayores valores de esta variable provocan mayores niveles de CO de suelo.

En la profundidad de 0 - 0,20 m el contenido de CO es afectado por la interacción entre covariables Dap\*Humedad. Menores valores de estas variables provocan mayores contenidos de CO. Los menores valores de Dap reflejan menores niveles de resistencia a la penetración, permitiendo un mayor desarrollo de raíces (Taboada et al., 2002). El menor contenido de humedad se corresponde con mayor cantidad de raíces y mayor absorción de agua.

En la profundidad de 0,20 - 0,50 m el contenido de CO es favorecido por mayores valores de Estabilidad estructural, humedad, pH y arcilla. Contrariamente a lo que sucede en la profundidad 0 - 0,20 m la interacción EE\*Humedad se correlaciona negativamente. Cuando los residuos vegetales son incorporados al suelo. Se mantienen más húmedos que dejados sobre la superficie y esto produce una más rápida descomposición (Alvarez et al., 2006)

El CO interactúa positivamente con la variable Nt en las dos profundidades analizadas y negativamente con el Pext. en la profundidad de 0,20 - 0,50 m.

En Totoral y la Lagunilla, clima templado subhúmedo, la evolución del CO de suelo posee distinto comportamiento. En Totoral, el CO del suelo en la profundidad de 0 - 0,20 m es mayor en el monte (en recuperación) que en los tratamientos, de acuerdo a lo encontrado en Las Vaquillas para esta profundidad. Los tratamientos presentan distintos contenidos de CO. Los mayores valores no corresponden a lotes con más años de SD de acuerdo con Johnson, (2007). La cantidad del residuo que vuelve al suelo influye sobre el contenido de CO. La diferencia de calidad entre los residuos puede ser importante cuando los otros factores son constantes.

Los factores que inciden negativamente sobre el contenido de CO en esta profundidad es la interacción Dap\*pH: menores valores de estas variables provocan mayor contenido de CO de suelo. Menor Dap produce menor resistencia a la penetración y mayor desarrollo de raíces. Menores niveles de pH reflejan menores niveles de carbonato de calcio en estos suelos, existiendo menor compactación y mayor desarrollo radicular. El CO no influye sobre los niveles de Nt, Pext. y pH en esta profundidad.

El CO en monte (Totoral), en la profundidad de 0,20 - 0,50 m, presenta menor valor respecto a los tratamientos, contrariamente a lo encontrado en la profundidad de 0 - 0,20 m. Todos los tratamientos presentan mayores valores de CO comparados con la profundidad de 0 - 0,20m.

El comportamiento del CO en esta profundidad es afectado negativamente por las interacciones Dap\*pH, Dap\*Arcilla, pH\*Humedad y Humedad\*Arcilla. Menores valores de Dap y pH provocan mayor aporte de C por mayor desarrollo radicular; Dap\*Arcilla. Menores contenidos de arcilla provocan mayor desarrollo radicular; pH\*Humedad al igual que en la profundidad de 0 - 0,20 m y Humedad\*Arcilla.

El CO interviene en el comportamiento de las variables relacionadas en la profundidad de 0,20 - 0,50 m. La interacción CO\* Humedad influye negativamente sobre el comportamiento del Nt: menores niveles de Humedad se correlacionan con mayores niveles de CO. No es lo general que menores niveles de CO provoquen mayores niveles de Nt. Esto puede deberse a las fertilizaciones realizadas.

El pH es afectado negativamente por la interacción CO\*Humedad y el Pext. es afectado positivamente por la interacción CO\*Tratamiento, manifestando la acción positiva

del CO sobre el Pext., posiblemente por la presencia de mayor cantidad de exudados de raíces afectando la solubilidad del P orgánico de acuerdo con Ho (1979 citado de McCallister 2002) quien sostiene que las plantas en crecimiento incrementan la cantidad de fosfatasa.

En la Lagunilla en la profundidad de 0 - 0,20 m el CO es mayor en monte que en los tratamientos excepto 2SD (100 % de gramíneas y 33 % de soja en su historia agrícola), de acuerdo a lo que sucede en Las Vaquillas y Totoral. El monte es un monte degradado que recibe pastoreo cuando posee estrato herbáceo.

Existen diferencias significativas entre los tratamientos. Comparando los tratamientos con el mismo origen (2 SD, 5 SD 20 C y 5 SD 20 D) los mayores valores de CO no corresponden a más años de SD. La covariable que influye positivamente sobre el CO en esta profundidad es el pH. Los valores de pH son menores a los encontrados en Totoral, por lo que responden probablemente a la presencia de Calcio en solución favoreciendo el desarrollo radicular. La interacción entre covariables que influye positivamente sobre los niveles de CO es Dap\*Arcilla; mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de CO. Contrariamente al concepto general que mayores niveles de Dap impiden el desarrollo radicular (Taboada et al., 2002).

El CO no influye como covariable sobre ninguno de los otros parámetros relacionados.

En la profundidad de 0,20 – 0,50 m el monte presenta el mayor valor de CO respecto a los tratamientos, excepto en 5 SD 20C. Esto coincide con lo encontrado en las Vaquillas y contrariamente a lo encontrado en Totoral en esta profundidad. Existen diferencias en el contenido de CO entre los tratamientos. Comparando los tratamientos que provienen de monte los mayores valores dependen del manejo y no de los años de SD. En los que poseen como condición inicial labranza convencional los mayores valores no corresponden a los tratamientos con más años de SD. Las interacciones entre covariables que influyen positivamente sobre el comportamiento del CO son Dap\*pH y pH\*EE. Mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de CO de suelo. El primer concepto (mayor densidad aparente más CO) es contrario a lo sostenido por numerosos autores. A mayor estabilidad de agregados mayor CO, facilitando el desarrollo radicular. El pH refleja el nivel de Calcio en solución contribuyendo a la agregación y mayor desarrollo radicular.

El CO\*Arcilla actúa negativamente sobre el comportamiento del Nt, probablemente gran parte del Nt provenga de fertilizaciones y es retenido como amonio por las arcillas del suelo. Sobre el pH de suelo el CO influye positivamente CO\*EE, CO\*Arcilla.

En los tres establecimientos analizados los resultados del balance de carbono no concuerda con el comportamiento esperado de CO del suelo indicando que existen pérdidas de C por mineralización y erosión (Lal, 2004). En suelos susceptibles de erosión el balance de Carbono no es indicador de la cantidad de Carbono del suelo. Interesa más conocer la

cantidad y composición de las raíces que el aporte de Carbono de residuos de cosecha. (Heal, 1997)

### 3.7 Conclusiones

El CO de suelo bajo SD disminuye en suelos provenientes de monte en la profundidad de 0 – 0,20 m, aceptando la primera hipótesis planteada. En el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, Noreste de Santiago del Estero, las pérdidas de CO de suelo en porcentaje son de 23 (1SD), 28 (3SD) y 28 (4SD) tomando como referencia monte prístino. En el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de la Provincia de Córdoba, las pérdidas en porcentaje son de 3 (5SD 20 C) y 2 (5 SD 20D) tomando como referencia monte degradado.

En la profundidad de 0,20 - 0,50 m el CO de suelo bajo SD es menor que en monte. En el establecimiento Las Vaquillas, las pérdidas en porcentaje son de 18 (1SD), 36 (3SD) y 30 (4SD) tomando como referencia monte prístino. En el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de la Provincia de Córdoba, las pérdidas en porcentaje son de 9 (2 SD) y 9 (5 SD 20D) tomando como referencia monte degradado. El concepto generalizado es que a esta profundidad el CO de suelo posee mayor estabilidad que en los primeros centímetros debido a la menor actividad microbiana. Se rechaza la segunda hipótesis planteada.

El contenido de CO de suelo no aumentó con los años de SD en los suelos estudiados de las regiones subhúmeda subtropical y templada de Argentina tomando como referencia al monte nativo (prístino, en recuperación, degradado). En el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, Noreste de Santiago del Estero, el tratamiento 4 SD posee 29 % menos que monte en la profundidad 0-0,50 m. En el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba el tratamiento 8 SD posee 11 % menos que monte en la profundidad de 0 - 0,50 m. En el establecimiento La Lagunilla, ubicado en el centro de Córdoba, el tratamiento 5 SD 20 D posee 5 % menos que monte en la profundidad de 0-0,50 m. Por lo tanto se rechaza la tercera hipótesis planteada.

Los suelos con mayor porcentaje de arcilla corresponden al establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero. El CO de suelo presenta las mayores pérdidas, prima el efecto de la temperatura sobre el porcentaje de arcilla. Probablemente porque se trata de CO no estabilizado debido al clima subhúmedo subtropical. Se rechaza la cuarta hipótesis planteada.

La temperatura afecta la evolución del CO del suelo. Mayor temperatura provoca mayores pérdidas de CO de suelo como ocurre en Las Vaquillas, noreste de Santiago del

Estero. La temperatura media anual es 5 °C más alta que en la zona templada. Se acepta la quinta hipótesis planteada.

Las pérdidas de CO de suelo son mayores en suelos que poseen como condición inicial monte que en los suelos provenientes de pasturas. La labranza expone el CO a la acción de microorganismos. La ruptura de agregados provoca partículas al estado libre favoreciendo la erosión hídrica y eólica. Las pasturas presentan un CO más estable con flujos de C más lentos y menor pérdida por actividad microbiana. Se acepta la sexta hipótesis planteada.

El CO de suelo en suelos con cultivo invernal es mayor que en suelos con los mismos años de SD, con igual porcentaje de gramíneas en su historia agrícola. Lo encontramos en el establecimiento La Lagunilla, centro de Córdoba, en el tratamiento 5 SD (20C y 20D). En Totoral 7 SD, con cultivo invernal y dos veces en su historia agrícola trigo-soja posee mayor CO que 8 y 9 SD. Se acepta la séptima hipótesis planteada.

El CO de suelo influyó sobre el comportamiento de las variables Nitrógeno total, Fósforo extraíble y pH en las dos profundidades estudiadas. Se acepta la octava hipótesis planteada.

El comportamiento del CO de suelo fue afectado por las interacciones de las variables Densidad aparente, Estabilidad estructural en agua, Humedad y Arcilla que interactúan (positiva o negativamente) de acuerdo al suelo de que se trate y a la profundidad. Se acepta la novena hipótesis planteada.

El balance de Carbono no concuerda con lo que sucede con el CO del suelo en los suelos estudiados (Haplustoles) de las zonas subhúmedas templada y subtropical. Probablemente debido a que el ingreso de Carbono en el suelo proviene de raíces. Se rechaza la décima hipótesis planteada. En las zonas estudiadas el balance de carbono no debe considerarse como una herramienta predictora de la evolución del CO de suelo.

## **CAPITULO IV**

### **EVOLUCION DE LA DENSIDAD APARENTE Y ESTABILIDAD ESTRUCTURAL, RELACION CON LAS VARIABLES: CARBONO ORGANICO, HUMEDAD, pH y CONTENIDO DE ARCILLA**

#### **4.1 Introducción**

La introducción de sistemas de labranza conservacionistas como la siembra directa, producen cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos que pueden afectar la biología del suelo y el desarrollo radicular de las plantas (Doran, 1980).

La compactación de suelo dificulta el desarrollo radicular, disminuyendo la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas (Taboada et al., 2002). La densidad aparente (Dap) es uno de los parámetros utilizados para medir la compactación. Al respecto existe diversidad de opiniones Sánchez et. al (1998) trabajando en suelos de Tucumán, Argentina, encontró mayores valores de Dap en SD que en laboreo convencional, Dardanelli (1998), por su parte, encontró menores valores de Dap en un Haplustol entico de Córdoba bajo SD comparado con Labranza convencional.

Suelos de la Pampa Argentina con varios años de SD poseen compactación en superficie lo que se manifiesta en un incremento de la densidad aparente y de la resistencia mecánica a la penetración y disminución de la macroporosidad (Taboada et al., 1998; Rhoton, 2000; Díaz Zorita et al., 2002)

La caracterización de la estructura de los agregados superficiales del suelo como tamaño y estabilidad en agua es determinante para predecir la erosión potencial, el desarrollo de estructura, los movimientos de aire y agua en el suelo, y la dinámica del CO en el suelo. La vulnerabilidad de un suelo a la erosión se entiende por los cambios en las propiedades de los agregados. Esto adquiere relevancia en zonas semiáridas con bajas precipitaciones, alta evapotranspiración, y baja producción de biomasa con interacción de laboreo intensivo que puede alterar las propiedades de los agregados acelerando la susceptibilidad del suelo a la erosión del agua y del viento. (Blanco-Canqui et.al., 2009)

Las raíces, hifas de hongos y la materia orgánica del suelo intervienen en la formación de los macroagregados (Elliot, 1986). Los organismos de suelo y sus exudados contribuyen a la estructura, lo que influye sobre la dinámica de la materia orgánica del suelo. (Barral et al., 2007).

El flujo continuo de compuestos orgánicos liberados durante la mineralización de los residuos de cultivo en asociación con la actividad de los hongos del suelo puede

verdaderamente conducir a la formación de complejos órgano - minerales estables (Golchin et al., 1994)

La estabilidad estructural (EE Agua) de los agregados es dependiente de la cantidad y calidad de los materiales orgánicos que se incorporan al suelo (Tisdale, 1982 citado por Pikul et al., 2009).

No se conocen trabajos en el área subtropical y templada subhúmeda donde se evalúe el comportamiento de la Densidad aparente y Estabilidad de agregados en agua en suelos que provienen de monte y en una secuencia de suelos bajo SD

El objetivo de este capítulo es estudiar la evolución de la Densidad aparente y Estabilidad de agregados y su relación con el Carbono orgánico, en suelos vírgenes provenientes de monte y en una secuencia de años bajo SD ubicados en la zona subtropical y templada subhúmeda de Argentina para intentar determinar si la siembra directa puede ser una práctica que haga sustentable al recurso suelo a través del tiempo

Las hipótesis planteadas son:

1. Mayores niveles de CO provocan menores valores de Densidad aparente en la profundidad de 0 - 0,20 y 0,20 - 0,50 m.
2. Mayores niveles de CO incrementan la estabilidad de agregados en las profundidades de 0 - 0,20 y 0,20 - 0,50 m.
3. La Densidad aparente es mayor en suelos con más años de SD
4. La estabilidad de agregados es mayor con más años de SD

## **4.2 Materiales y Métodos**

### **4.2.1 Sitios de estudio**

Descrito en el capítulo 3 punto 3.2.1.

### **4.2.2 Áreas de estudio**

Corresponde a la descrita en el capítulo 3, punto 3.2.2

### **4.2.3 Sitios y Tratamientos**

Corresponde a la descrita en el capítulo 3 punto 3.2.3

### **4.2.4 Metodología de análisis**

La Densidad aparente (Dap) se determinó por el método del cilindro (Burke et al, 1986). Para la profundidad de 0 - 0,20 m se utilizó un cilindro de 0,20 m de largo por 0,055 m de ancho, volumen 474.92 cm<sup>3</sup> y para la profundidad de 0,20 - 0,50 m el largo es de 0,30 m, el diámetro 0,055 m, volumen 712.38 cm<sup>3</sup>).

Inicialmente se determinó textura por el método de la pipeta (SAMPLA).

Se determinó estabilidad estructural en agua, por el método de Henin (Henin, 1972) en otoño, invierno, primavera y verano. Este método consiste en tamizar una muestra de

200 g de suelo disturbado por malla de 2 mm, se toma una submuestra de 5 g y se coloca en un vaso de 250 ml. Se lo llena con agua y se deja reposar 35 minutos. Se trasvasa el contenido del vaso a un erlenmeyer de 750 ml y se le agrega agua hasta completar 300 ml; se tapan y se agitan volteándolo 20 veces. Se toma el erlenmeyer y se transfiere su contenido a un tamiz malla de 0.2 mm y de 10 cm de diámetro, colocado dentro de una cápsula de porcelana de 1 l; se le imprime un movimiento helicoidal haciendo 20 desplazamientos, a razón de 1 vuelta por segundo. Se retira el tamiz, se deja escurrir, se transfieren los agregados a cápsulas para humedad, se secan en estufa a 105° C durante 36 horas y se halla el peso de los agregados. Se refiere a 100 g de suelo.

Se realizaron tres repeticiones de cada muestra.

Esta metodología fue utilizada por Bonel (2005) y Ferreras (2007).

El análisis de textura, método de la pipeta (SAML) se realizó con 2 extracciones para cada tratamiento y profundidad. Se hizo una sola vez a lo largo del ensayo debido a que la textura no es un parámetro que varíe en el corto plazo.

Se determinaron los índices de mineralización para cada tratamiento mediante actividad respiratoria global en condiciones controladas en la profundidad de 0 - 0,20 m, midiéndose así la variación de CO<sub>2</sub> en sistemas cerrados (Frioni, 1990).

#### 4.3 Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados según la metodología descrita en el capítulo 2, punto 2.6

#### 4.4 Resultados

##### 4.4.1 Las Vaquillas

Tabla 41. Carbono orgánico (Mg ha<sup>-1</sup>), Humedad (g 100 g<sup>-1</sup>), Densidad aparente (Mg m<sup>-3</sup>), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla (g kg<sup>-1</sup>), profundidad 0 - 0,20 m en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.

Tratamiento	CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	Dap (Mg m <sup>-3</sup> )	EE agua (%)	pH	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )
1 SD	36,46 b	22,51 a	0,97 a	27,59 b	7,12 a	410 a
3 SD	33,93 b	23,23 a	0,96 a	20,21 c	7,13 a	392 a
4 SD	33,64 b	24,36 a	0,99 a	23,61 cb	7,10 a	343 a
Monte	47,23 a	22,99 a	0,97 a	45,31 a	7,53 a	342 a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )

En la profundidad de 0 - 0,20 m la Dap no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre el monte y los tratamientos, ni entre los tratamientos entre sí. Los valores son bajos, correspondiendo a los altos niveles de arcilla. La interacción entre covariables que influye negativamente es CO\*Humedad: menores valores de estas variables provocan mayores niveles de Dap en el suelo.

La EE agua presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y los tratamientos y entre los tratamientos entre sí. Monte posee los mayores valores, los menores valores se encuentran en 3SD, a su vez este tratamiento es estadísticamente diferente ( $p \leq 0.10$ ) al tratamiento 1SD que presenta los mayores valores dentro de los tratamientos. La interacción entre covariables que influye positivamente es CO\*pH. Mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de EE estructural agua.

La humedad no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y los tratamientos ni entre los tratamientos entre sí. La interacción entre covariables que influye negativamente es pH\*EE agua. Menores valores de estas variables repercuten en mayores niveles de Humedad.

La Dap, EE agua y Humedad actúan como covariables sobre los niveles de CO, según lo descrito en el capítulo 3 punto 3.4.1

Tabla 42 Carbono orgánico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ ), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ ), profundidad 0,20-0,50 en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero.

Tratamiento	CO ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )	Dap ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	EE agua (%)	pH	Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ )
1 SD	35,50 ab	23,03 a	0,95 a	22,81 bc	7,27 a	393 a
3 SD	27,81 c	21,78 a	0,91 a	21,39 c	7,32 a	328 b
4 SD	30,35 bc	23,46 a	1,02 a	31,43 ab	7,50 a	303 c
Monte	43,44 a	13,95 b	0,94 a	35,68 a	6,94 a	345 ab

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )*

En la profundidad de 0,20 - 0,50 m la Dap no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre el monte y los tratamientos. Los tratamientos no poseen entre sí diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ). El mayor valor se encuentra en 4SD y el menor en 3SD. La interacción entre covariables que influye positivamente es CO\*Humedad. Mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de Dap, no respondiendo al concepto generalizado de mayor CO menor Dap.

La EE agua presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre el monte, con mayores valores y 3SD con los menores valores. No se encuentran diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos. Las interacciones que intervienen positivamente sobre los valores de EE agua son CO\*Dap y CO\*Humedad: mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de EE agua en esta profundidad.

La Humedad presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte con el menor valor y los tratamientos, y entre los tratamientos entre sí no existen diferencias. Las interacciones entre covariables que influyen positivamente sobre el nivel de Humedad son CO\*Dap y CO\*Arcilla: mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de Humedad en el suelo.

Las variables Dap y Humedad influyen sobre el comportamiento del CO del suelo en la profundidad de 0,20-0,50m

#### 4.4.2 Totoral

Tabla 43. Carbono orgánico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ ), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ ), profundidad 0 - 0,20 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.

Tratamiento	CO ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )	Dap ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	EE agua (%)	pH	Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ )
4 SD	37,71 a	17,44 ab	1,15 b	34,19 bc	6,86 a	262 bc
5 SD	37,39 a	19,24 a	1,18 ab	32,46 bc	6,73 ab	287 a
6 SD	39,18 a	17,59 ab	1,28 a	38,80 a	7,02 a	177 e
7 SD	39,41 a	17,99 ab	1,11 bc	30,29 c	6,75 ab	279 ab
8 SD	32,49 b	18,50 ab	1,20 ab	36,29 ab	6,55 b	236 cd
9 SD	35,29 ab	15,43 bc	1,27 ab	36,73 ab	7,02 a	237 cd
Monte	40,91 a	11,70 c	0,96 c	38,37 ab	6,77 ab	197 de

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )*

En la profundidad de 0 - 0.20 m la Dap de monte posee diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) con los tratamientos 4 y 6SD. Entre los tratamientos existen diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre 4 y 6SD. El resto de los tratamientos posee valores intermedios. Las interacciones entre covariables que influyen positivamente sobre los valores de Dap son EE\*Humedad y EE\*Arcilla: mayores valores de estas variables provocan mayores valores de Dap en esta profundidad.

La EE agua en esta profundidad presenta diferencias significativas entre monte y 7SD. Los tratamientos que difieren significativamente ( $p \leq 0.10$ ) son 6 y 7SD. Ninguna covariable ni interacción influye sobre la EE agua en esta profundidad.

La Humedad presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y 5SD. Los tratamientos poseen valores intermedios, sin diferencias estadísticamente significativas. Ninguna covariable ni interacción influye sobre los niveles de Humedad encontrados.

Las variables Dap y Humedad influyen sobre los valores de CO encontrados en este establecimiento.

Tabla 44. Carbono orgánico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ ), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ ), profundidad 0,20 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en Totoral, centro-norte de Córdoba.

Tratamiento	CO ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Humedad ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )	Dap ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	EE agua (%)	pH	Arcilla ( $\text{g kg}^{-1}$ )
4 SD	30,36 a	16,36 bc	1,27 a	16,34 c	7,52 ab	235 a
5 SD	30,65 a	19,33 ab	1,29 a	23,03 b	7,03 bc	239 a
6 SD	28,37 a	14,88 c	1,38 a	26,30 ab	7,21 bc	203 b
7 SD	37,01 a	22,20 a	1,28 a	14,23 c	6,66 c	203ab
8 SD	26,48 a	16,34 c	1,35 a	22,16 b	6,89 c	203 b
9 SD	31,16 a	13,18 c	1,26 a	23,95 b	7,78 a	206 ab
Monte	25,24 a	14,61 b	1,21 a	31,95 a	7,53 ab	184 b

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )*

En la profundidad de 0,20 - 0,50 m la Dap no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte-tratamientos y entre tratamientos entre sí. Las interacciones entre covariables que influyen negativamente sobre el comportamiento de la Dap en esta profundidad son CO\*pH y pH\*EE: menores valores de estas variables provocan mayores niveles de Dap.

La EE agua presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y los tratamientos 4 y 7SD que poseen los menores valores. Las diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre tratamientos se encuentran entre 4 y 7SD con valores similares y el resto de los tratamientos. La interacción entre covariables que influye positivamente sobre la EE agua es Dap\*Humedad: mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de EE agua en esta profundidad.

La Humedad no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y los tratamientos. Entre tratamientos no se encuentran diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ). Las

interacciones entre covariables que influyen negativamente sobre el comportamiento de la Humedad son CO\*EE y EE\*Arcilla: menores valores de estas variables provocan mayores niveles de Humedad.

Las variables Dap y Humedad influyen sobre los valores de CO encontrados en este establecimiento.

#### 4.4.3 La Lagunilla

Tabla 45. Carbono orgánico (Mg ha<sup>-1</sup>), Humedad (g 100 g<sup>-1</sup>), Densidad aparente (Mg m<sup>-3</sup>), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla (g kg<sup>-1</sup>), profundidad 0 - 0,20 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	Dap (Mg m <sup>-3</sup> )	EE agua (%)	pH	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )
2 SD	48,13 a	12,85 b	1,26 abc	22,23 a	7,30 a	247 c
5 SD 20C	45,40 ab	12,33 b	1,13 bcd	20,20 a	7,26 a	242 c
5 SD 20D	45,76 ab	19,97 a	1,03 d	18,07 a	7,34 a	295 ab
6 SD 11A	35,21 c	20,20 a	1,19 abcd	23,31 a	6,66 b	298 a
6 SD 22	41,66 b	18,96 a	1,11 dc	23,47 a	6,85 ab	282 b
7 SD 11B	28,50 d	21,13 a	1,05 dc	25,60 a	6,91 ab	274 b
7 SD 17	34,23 c	15,29 ab	1,35 ab	25,45 a	6,46 b	281 b
Monte	46,64 ab	11,35 b	1,35 a	23,56 a	6,91 ab	252 c

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )*

En la profundidad de 0 - 0,20 m la Dap no presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y los tratamientos y entre estos entre sí. Las interacciones entre covariables que influyen positivamente sobre la Dap son CO\*EE y EE\*Humedad: mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de Dap.

La EE agua presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y 5SD 20D. Entre los tratamientos existen diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los siguientes pares de tratamientos 7SD 17 y 5SD 20 D; 6SD 11 A y 5 SD 20 D; 6SD 22 y 5 SD 20D. El tratamiento 5 SD 20 D posee los menores valores. La covariable que influye positivamente sobre el comportamiento de la EE agua es el CO.

La Humedad presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre monte y los tratamientos 5SD 20 D, 6SD 11 A, 6 SD 22 y 7 SD 11 B. Existen diferencias entre los tratamientos, los mayores valores de humedad se encuentran en 7SD 11 B. La interacción entre covariables que influye negativamente sobre el comportamiento de la Humedad es EE\*Dap: menores valores de estas variables provocan mayores niveles de Humedad.

Tabla 46. Carbono orgánico (Mg ha<sup>-1</sup>), Humedad (g 100 g<sup>-1</sup>), Densidad aparente (Mg m<sup>-3</sup>), Estabilidad estructural agua (%), pH y Arcilla (g kg<sup>-1</sup>), profundidad 0,20 - 0,50 m en el establecimiento ubicado en La Lagunilla, centro de Córdoba.

Tratamiento	CO (Mg ha <sup>-1</sup> )	Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	Dap (Mg m <sup>-3</sup> )	EE agua (%)	pH	Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )
2 SD	36,86 a	18,12 a	1,28 a	21,24abc	8,22 b	205 d
5 SD 20C	51,87 a	10,85 b	1,37 a	14,45 c	8,78 b	217 d
5 SD 20D	36,57 a	15,13 ab	1,21 a	19,47 bc	7,77 bc	274 b
6 SD 11A	32,78 a	15,87 ab	1,24 a	23,56 abc	7,41 cd	261 c
6 SD 22	31,83 a	14,45 ab	1,29 a	23,40 abc	7,05 ed	296 a
7 SD 11B	28,19 a	15,73 ab	1,26 a	28,01 a	6,77 e	292 a
7 SD 17	26,68 a	13,83 ab	1,29 a	18,78 bc	6,66 e	304 a
Monte	40,27 a	13,17 ab	1,27 a	24,07 ab	7,73 cb	253 c

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ )

La Dap en la profundidad de 0,20 - 0,50 m no presenta diferencias significativas. Las interacciones entre covariables que influyeron positivamente son CO\*pH, CO\*EE, CO\*Humedad, p\*Humedad, EE\*Humedad.

La EE agua presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre 5SD 20C y 7SD 11B. Monte posee los mayores valores. La interacción entre covariables que influyó negativamente sobre la EE agua es CO\*pH: menores niveles de estas variables provocan mayores valores de EE agua.

La Humedad presenta diferencias significativas ( $p \leq 0.10$ ) entre los tratamientos 2 SD y 5 SD 20 C. Las interacciones entre covariables que influyeron positivamente son pH\*EE y EE\*Dap.

Las variables Dap y EE agua influyen sobre los niveles de CO en este establecimiento.

#### 4.5 Discusión

La situación inicial y el manejo de los tratamientos antes de entrar a Siembra Directa influyen sobre los valores de Dap encontrados. De acuerdo a lo enunciado por Alvarez, (2009) la densidad aparente responde significativamente al manejo del suelo.

En suelos que provienen de monte prístino en Las Vaquillas, en la profundidad de 0 -0,20 m y 0,20 - 0,50 m, la Dap no presenta diferencias con los tratamientos.

El CO influye de distinta manera sobre los valores de Dap según la profundidad. En la profundidad de 0 - 0,20 m menores niveles de CO provocan mayores valores de Dap de acuerdo a lo expresado por Reynolds et al. (2002) comparando SD con suelos vírgenes. En la profundidad de 0,20 - 0,50 m mayores valores de CO provocan mayores valores de Dap. Posiblemente en esta profundidad ocurra el acomodamiento natural de partículas (Sanzano et al., 2005) independientemente del CO de suelo.

En suelos provenientes de pasturas (Totoral) la Dap es mayor que monte (en recuperación) en todos los tratamientos. El tratamiento que presenta menores diferencias con el monte en las dos profundidades analizadas es 7SD que posee 2 años de trigo/soja en su historia agrícola. Esto coincide con lo enunciado por Villamil et al. (2006) quien dice que la secuencia de cultivos invernales de cobertura reduce la Dap del suelo por mayor cantidad de residuos y materia orgánica. En la profundidad de 0,20 - 0,50 m mayores niveles de CO provocan mayores valores de Dap al igual que ocurre en Las Vaquillas en esta profundidad.

En suelos que provienen de monte (La Lagunilla) los valores de Dap comparados con el monte (degradado) son menores en la profundidad de 0 - 0,20 m y mayores de 0,20 - 0,50 m. Contrariamente a lo enunciado por Sánchez (1998 citado por Sanzano 2005) quién trabajando en suelos de Tucumán provenientes de laboreo convencional encontró aumentos en la Dap en la capa superficial de suelo después de 6 años de SD.

El pastoreo no produjo aumentos de la Dap en los suelos que provienen de monte en la profundidad de 0 - 0,20 m, encontrándose mayores valores de Dap en los tratamientos con pastoreo respecto a monte en la profundidad de 0,20 - 0,50 m.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la EE agua posee una estrecha relación con el manejo del suelo. Tisdale, (1982) sostiene que la estabilidad estructural de los agregados es dependiente de la cantidad y calidad de los materiales orgánicos que se incorporan al suelo. Benjamin et al.(2008) dice que el incremento del CO en el suelo en climas semiáridos puede no provocar inmediatos cambios en la agregación. Contrariamente a lo enunciado por Singh, (2009) que dice que prácticas de manejo con un alto residuo de carbono que retorna al agroecosistema resulta en un aumento de la estabilidad de los agregados.

En Las Vaquillas se encontró una alta correlación entre el Carbono potencialmente mineralizable (COPM) y la EE agua ( $R^2=0,97$ ). El COPM es para 1 SD 4,21 %, 3 SD 3,15 y 4 SD 4,28. Estos porcentajes corresponden a la mineralización en la profundidad de 0-0,20 m, la mayor acción de la temperatura sobre el CO se da en la superficie del suelo que posee aumento de las temperaturas extremas. La temperatura extrema en este establecimiento es de 48,9 °C, el índice de mineralización potencial se midió a 27 °C.. Las raíces de las leguminosas contienen elevadas cantidades de polisacáridos. Los polisacáridos poseen estrecha relación con el nivel de actividad biológica en el suelo y con la estabilidad estructural de los agregados. Greenland (1975 citado por Moraes Sá de J.C. et al. 2003) sostiene que los residuos de gramíneas son ricos en polifenoles que resultan en un flujo de

C más lento, coincidentemente con lo encontrado en la relación entre la EE agua % y el CO potencialmente mineralizable.

En Las Vaquillas que posee monte prístino como condición inicial de la SD el monte posee mayor EE agua que los tratamientos en las dos profundidades analizadas debido al efecto agresivo de la labranza (rastra romme) sobre los agregados del suelo. La temperatura influye sobre la disminución del CO aumentando la descomposición.

Las pérdidas de EE agua respecto a monte 100% que se encuentran para la profundidad de 0-0,50 m son 1 SD, 38%, 3 SD 48% y 4 SD 32%. La diferencia es que 1 SD posee en su historia agrícola el 50 % de soja y 50% de gramíneas, 3 SD posee el 67% de gramíneas y el 33% de soja y 4SD posee el 75% de soja y el 25% de gramíneas, concordando con lo enunciado por Moraes Sá et al., (2003).

En Totoral los tratamientos poseen como condición inicial pastura. El monte (en recuperación) presenta mayor EE agua que todos los tratamientos en las dos profundidades analizadas.

El tratamiento 7SD en la profundidad de 0 -0,20 m, con dos años en su historia agrícola trigo/soja, presenta las mayores diferencias en la EE agua respecto a monte – 21%. Posee el mayor porcentaje de gramíneas (50%) que todos los tratamientos y el 75% de soja, confirmando lo enunciado por Moraes Sá et al., (2003).

Las menores diferencias respecto a monte en la profundidad 0-0,20 m se encuentran en 9SD, - 4 %. Este valor no es atribuido a la mayor cantidad de años de SD, ya que 7 SD posee mayores pérdidas de EE agua (- 21%) que 4SD (-11%).

En La Lagunilla el monte es degradado, con pastoreo y las situaciones iniciales de SD son distintas para los tratamientos.

Los tratamientos con mayores pérdidas de EE agua respecto a monte, 0 – 0,20 m, son 5SD 20 C (14 %) y 20 D (23 %), ambos poseen un 67% de gramíneas y un 33% de soja en su historia agrícola. La EE agua es mayor en 2 SD que en 5 SD 20 C y 20 D, si bien posee mayor porcentaje de gramíneas en su historia agrícola (100 %), se encuentra muy cercano al desmonte, con gran incorporación de masa carbonada con alto porcentaje de leguminosas, favoreciéndose la actividad microbiana repercutiendo en una mayor estabilidad estructural. Los tratamientos con las menores pérdidas de EE agua respecto a monte en la profundidad de 0-0,50 m son 6 SD 11 A y 6 SD 22. Los dos tienen en su historia agrícola el 43 % de gramíneas. El mayor porcentaje de soja se encuentra en 6 SD 11 A, 71 %, confirmando lo enunciado por Moraes Sá, (2003). El tratamiento 6 SD 22 posee el 57 % de soja en su historia agrícola la diferencia es que posee como situación inicial una pastura de 25-28 años de pasto llorón (*Eragrostis curvula* (Schraeder) Nees), lo que le confiere mayor EE que el resto de los tratamientos.

En los tres establecimientos analizados la humedad presenta menores valores en monte respecto a los tratamientos en la profundidad de 0,20 - 0,50 m, debido a la

biodiversidad existente y continua extracción de agua por la vegetación, mayor profundidad y cantidad de raíces, (Apezteguía, 2005).

No se encuentran mayores valores de humedad en los tratamientos que poseen más años de SD, el carácter de subhúmedo de las regiones en estudio hace que la humedad del suelo esté directamente relacionada a las precipitaciones.

#### **4.6 Conclusiones**

La Dap no se correlaciona con los niveles de CO total de suelo en la profundidad de 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m. Se rechaza la primera hipótesis planteada. El comportamiento de la Dap en suelos Haplustoles, clima subhúmedo subtropical y templado depende de la condición inicial de los suelos antes de entrar en SD y del manejo del suelo, porcentaje de gramíneas y leguminosas, cultivos durante todo el año.

Mayores niveles de CO total de suelo no incrementan la estabilidad de agregados en la profundidad de 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m. Se rechaza la segunda hipótesis planteada. El comportamiento de la EE agua en suelos subtropicales y templados subhúmedos se relaciona con el porcentaje de gramíneas y soja en la historia agrícola del suelo. El mayor porcentaje de soja en la historia agrícola de los suelos se corresponde con una mayor estabilidad estructural y menores niveles de CO de suelo.

La Dap no aumenta con los años de SD, con lo cual se rechaza la tercera hipótesis planteada. Los menores valores de Dap se encontraron en suelos que poseen mayor porcentaje de gramíneas y cultivos durante todo el año.

La estabilidad de agregados no aumenta con los años de SD, rechazándose la cuarta hipótesis planteada. Los mayores valores de estabilidad de agregados se encontraron en los lotes con mayor porcentaje de soja en su historia agrícola. En los tratamientos que presentan como situación inicial monte, en la profundidad de 0-0,20 m, la mayor EE agua se encuentra en el tratamiento más cercano al desmonte por la incorporación de una gran masa carbonada rica en leguminosas favoreciéndose la actividad microbiana.

## CAPITULO V

### INTEGRACION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

#### 5.1 Carbono orgánico

La evolución del CO de suelo es influenciada por el clima. Dentro de los factores climáticos el factor determinante es la temperatura.

En las Vaquillas, clima subtropical subhúmedo, con temperatura media de 22,7° C y extremas de 48,9° C las pérdidas de CO de suelo comparadas con monte prístino van de 23 a 28% en la profundidad de 0 – 0,20 m y 18 a 36% en la profundidad de 0,20 – 0,50 m. El contenido de CO de monte medio es de 90,67 Mg ha<sup>-1</sup> para la profundidad 0 - 0,50 m. La temperatura influye sobre el CO en las dos profundidades estudiadas, contrariamente a lo que ocurre en los suelos de la Pampa húmeda de Argentina donde el CO se mantiene a mayores profundidades por presentar mayor estabilidad en su composición. Estos suelos provienen de monte, 2 años de labranza convencional y luego SD. La gran masa carbonada incorporada con el desmonte no se estabilizó hasta 4 SD. El efecto de la temperatura sobre el CO de suelo ejerce más influencia que la calidad de residuos incorporada por raíces de cultivos.

En La Lagunilla, clima templado subhúmedo, con temperatura media de 17,3° C y extremas de 45° C la disminución de CO de suelo comparadas con monte degradado (86,92 Mg ha<sup>-1</sup>), es de 2 a 3% en la profundidad de 0 - 0,20 m y de 9 % en la profundidad 0,20 - 0,50 m. Se encuentra más CO de suelo cuando el suelo posee mayor porcentaje de gramíneas respondiendo este comportamiento a la naturaleza del C incorporado por raíces. Las disminuciones de CO en la profundidad de 0,20 - 0,50 m, si bien son menores, demuestran que el CO no ha sido estabilizado hasta los 5 años posteriores al desmonte por la gran incorporación de masa carbonada. Estos suelos provienen de monte, poseen 1 año de labranza convencional y luego SD.

En Totoral, ubicado en la misma zona climática que La Lagunilla, el monte está en recuperación. Las pérdidas de CO de suelo tomando como referencia a monte van de 4 a 21% en la profundidad de 0 - 0,20 m mientras que en la profundidad de 0,20 - 0,50 m el CO de suelo presenta ganancias respecto a monte que van de 3 a 15%, con un contenido medio de CO de suelo en monte de 66,15 Mg ha<sup>-1</sup>. Estos suelos poseen como condición inicial pastura, previamente monte, 1 año labranza convencional y luego SD.

La diferencia entre La Lagunilla y Totoral es la condición inicial de la SD. En La Lagunilla los tratamientos que se consideran para efectuar la comparación son los que provienen directamente de monte.

La temperatura es el factor que más influye sobre la dinámica del CO del suelo. La naturaleza de los compuestos orgánicos del suelo, la condición inicial de la SD, el manejo y la presencia de cultivos durante todo el año intervienen en la evolución del CO en las zonas climáticas estudiadas.

En Las Vaquillas no se encuentran diferencias estadísticamente significativas en el contenido de CO de suelo entre 1 y 4 SD. Las pérdidas anuales de CO de suelo respecto a monte prístino son mayores en 1 SD ( $18,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) y menores en 4SD ( $6,63 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), 3 SD presenta valores intermedios ( $9,64 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Esto puede deberse a que en suelos con alto porcentaje de arcilla, con el aumento de SD se produce el encostramiento de la superficie del suelo, disminuyendo las pérdidas por erosión durante los períodos de suelo descubierto.

Las mayores pérdidas se dan en la profundidad de 0,20 - 0,50 m para 3 y 4 SD, mientras que 1SD posee las mayores pérdidas en la profundidad de 0 - 0.20 m.

Para estudiar mejor la relación entre las variables y los tratamientos bajo los cuales se encontraban se realizaron regresiones lineales múltiples donde los tratamientos se introducen en forma de variables indicadoras o ficticias (Dummy). Esto se realizó para poder predecir qué variable es la determinante en el comportamiento del CO de suelo. Estas variables se construyeron tomando como categoría de referencia al Monte. Debido a la interrelación que existe entre las variables se realizó la selección de variables por exclusión secuencial (backward), recomendada por la presencia de multicolinealidad, donde la exclusión de la variable independiente supone un aumento significativo en la explicación de la varianza, tomando como criterio aquellas variables cuyo  $p > 0.10$ . Se incluyeron las interacciones entre las variables predictoras y los tratamientos.

### 5.1.1 Las Vaquillas

Profundidad 0 -0,20 m

$\text{COrg}_{\text{-MONTE}} = 52,29 - 0,17 * \text{EE agua}$

$\text{COrg}_{\text{-1SD}} = 24,69 + 0,41 * \text{EE agua}$

$\text{COrg}_{\text{-3SD}} = 38,84 - 0,17 * \text{EE agua}$

$\text{COrg}_{\text{-4SD}} = 39,38 - 0,17 * \text{EE agua}$

El  $R^2$  es 0,57. La variable predictora en todos los tratamientos es EE agua, con distintos comportamientos según el tratamiento.

En el tratamiento 1SD la variable interactúa positivamente en la predicción de la variable CO. Esto se explica por menores pérdidas de partículas finas por erosión si el suelo posee mayor estabilidad de agregados. Las partículas que se pierden erosión se encuentran desagregadas. Las mayores pérdidas anuales de CO comparadas con monte prístino en la profundidad de 0 - 0,50 m se dan en 1SD,  $18.707 \text{ CO Kg ha}^{-1}$ . Los otros tratamientos

3 y 4 SD, en la profundidad de 0 - 0,50 m, pierden 9.643 y 6.627 CO Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> respectivamente.

Lo que sucedería en 3 y 4 SD donde la EE agua interviene negativamente en la predicción del CO del suelo es la formación de una costra en superficie. La acción de la gota de lluvia ejerce su acción sobre el agregado provocando la explosión del mismo y taponando poros. En suelos arcillosos es muy probable que esto ocurra. Este proceso se ve favorecido por baja presencia de cobertura sobre el suelo y grandes períodos de tiempo con suelo descubierto como ocurre en este establecimiento donde los cultivos se realizan en la época estival con barbecho descubierto durante el invierno (Taboada et al., 2002). El encostramiento actuaría disminuyendo la erosión hídrica y eólica en mayor medida que si las partículas estuvieran sueltas como ocurre en 1 SD después de dos años de labranza convencional con gran pérdida de agregados por la acción erosiva de la labranza.

Imagen 1. Fotografías de suelo 1SD, 3 SD y 4 SD en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas noreste de Santiago del Estero, fecha 23 de noviembre de 2004.



1 Año de SD



3 Años de SD



4 Años de SD

En la profundidad de 0,20 - 0,50 m las ecuaciones predictoras del CO de suelo son:

$$COrg_{\text{-MONTE}} = 96,91 - 0,51 * EE \text{ agua} - 4,45 * pH$$

$$COrg_{\text{-1SD}} = 90,08 - 0,03 * EE \text{ agua} - 4,45 * pH - 1,07 * Humedad$$

$$COrg_{\text{-3SD}} = 85,79 - 0,51 * EE \text{ agua} - 4,45 * pH - 0,80 * Humedad$$

$$COrg_{\text{-4SD}} = 87,09 - 0,51 * EE \text{ agua} - 4,45 * pH - 0,69 * Humedad$$

El  $R^2$  es 0,43. Las variables predictoras son EE, pH y Humedad. Todas influyen negativamente. El comportamiento de la EE en esta profundidad respondería a la calidad de los residuos incorporados. Con el desmonte (monte prístino) se incorporó una gran masa carbonada no toda fácilmente descomponible. Tendríamos más CO cuando los flujos de C sean más lentos y por lo tanto menor EE. El pH es afectado por la liberación de  $CO_2$  por parte de las raíces, al existir más raíces hay más  $CO_2$  y por lo tanto menor pH por la formación de ácido carbónico en el medio. La existencia de mayores niveles de CO proveniente de raíces implica una mayor absorción de agua por parte de las plantas por lo que los niveles de humedad son menores.

### 5.1.2 Totoral y La Lagunilla

La predicción de CO en Totoral y la Lagunilla se realiza en conjunto por poseer ambas la misma temperatura (subhúmedo templado). Se toma el tratamiento con los mismos años de SD en las dos localidades.

Profundidad 0 - 0,20 m

$$COrg_{\text{-MONTE}} = 88,86 - 0,68 * Humedad - 1,57 * EE \text{ agua}$$

$$COrg_{\text{-5SD}} = 88,86 - 0,68 * Humedad - 1,57 * EE \text{ agua} - 8,66 * Dap.$$

El  $R^2$  es 0,64. Las variables que intervienen en la predicción actúan negativamente. La humedad, al existir mayor CO proveniente de raíces hay mayor toma de agua por parte

de cultivos por lo que la humedad es menor. La EE agua se relaciona con la calidad del CO incorporado. Este tratamiento en Totoral posee como condición inicial de la SD pastura con un CO más estable que el incorporado de restos vegetales frescos provenientes de monte. En La Lagunilla posee el 67 % de gramíneas en su historia agrícola. Las raíces de soja poseen mayor cantidad de polisacáridos, más fácilmente atacados por los microorganismos con mayor actividad microbiana favoreciendo la formación de agregados y disminuyendo el CO del suelo, a menor EE agua se encuentran mayores niveles de CO provenientes de gramíneas con un flujo de Carbono más lento. La Densidad aparente, respondiendo al concepto generalizado que mayores niveles de CO se corresponde con menores valores de Densidad aparente, cuanto menores son los valores de densidad aparente la resistencia a la penetración es menor, por lo tanto hay mayor desarrollo de raíces y mayor cantidad de CO.

Profundidad 0,20 - 0,50 m

$COrg_{\text{MONTE}} = 4,53 - 0,10 * \text{Humedad} - 0,06 * \text{EE agua}$

$COrg_{\text{.5SD}} = 15,38 - 0,10 * \text{Humedad} - 0,06 * \text{EE agua} - 1,03 * \text{pH}$

El  $R^2$  es 0,36. Las variables que intervienen en la predicción son Humedad, EE y pH. Todas actúan negativamente y con la misma interacción que para 3 y 4 SD en Las Vaquillas

Los  $R^2$  manifiestan un buen ajuste ya que todos los datos con que se trabaja provienen de campo.

La EE agua puede considerarse un indicador de calidad de suelo (Haplustoles) ya que en las dos zonas climáticas estudiadas es una variable predictora del comportamiento del CO de suelo.

## **5.2 Relación del CO con el Nitrógeno total y Fósforo extraíble.**

El CO interviene en el comportamiento del Nt y el Pext interactuando con las variables Dap, EE, Humedad y Arcilla en los establecimientos estudiados en las dos profundidades analizadas. En Las Vaquillas el CO influye positivamente con el Nt en la profundidad de 0-0,20 m a través de la interacción EE\*CO y en la profundidad de 0,20 - 0,50 m por la interacción Dap\*CO. El comportamiento del P ext. en este establecimiento no presenta influencias de ninguna covariable en la profundidad de 0 - 0,20 m.

En Totoral el Nt no es influenciado en su comportamiento por ninguna covariable. En la profundidad de 0,20 - 0,50 m, menores valores de CO\*Humedad provocan mayores

niveles de Nt. Probablemente porque el Nt que se encuentra en esta profundidad es de origen orgánico y al existir menos humedad hay menor cantidad de materia orgánica proveniente de raíces, fuente de nitrógeno. El P ext. en la profundidad de 0,20 - 0,50 m es influenciado por el CO, mayores niveles de CO provocan mayores niveles de P ext., la materia orgánica es fuente de P.

En La Lagunilla el Nt no es influenciado por ninguna covariable en la profundidad de 0-0,20 m. En esta profundidad los mayores niveles de Nt se encuentran en el tratamiento que recibió pastoreo durante mayor tiempo. En la profundidad de 0,20 - 0,50 m el comportamiento del Nt depende del manejo, fertilización y pastoreo. La interacción entre covariables que influye negativamente en esta profundidad (0,20 - 0,50 m) es CO\*Arcilla. El P ext. en la profundidad de 0 - 0,20 m presenta los mayores valores en el tratamiento que recibió pastoreo durante más tiempo. En la profundidad de 0,20 - 0,50 m el comportamiento del P ext. no presenta diferencias entre tratamientos, excepto 2SD con valores muy bajos. El CO no interactúa con el P ext. en ninguna de las profundidades analizadas.

### **5.3 Densidad aparente y Estabilidad Estructural en agua**

La Dap y EE agua son dos variables que dependen fundamentalmente del manejo.

En Las Vaquillas la Dap es menor en 3SD en la profundidad de 0 - 0,20 y 0,20 - 0,50 m por el efecto beneficioso de las raíces de maíz (67 % de maíz). El monte presenta valores intermedios. La EE agua es mayor en monte que en los tratamientos en las dos profundidades estudiadas.

En Totoral la Dap es menor en monte que en los tratamientos en las dos profundidades estudiadas. En la profundidad de 0 - 0,20 m la Dap solamente es menor en el tratamiento que tuvo mayor porcentaje de gramíneas y 2 veces trigo - soja en su historia agrícola. La EE agua es mayor en monte que en los tratamientos en las dos profundidades estudiadas.

En La Lagunilla la Dap es mayor en monte que en los tratamientos en la profundidad de 0 - 0,20 m presentando valores intermedios en la profundidad de 0,20 - 0,50 m. La EE agua es mayor en monte que en los tratamientos en las dos profundidades estudiadas. El comportamiento de estas dos variables en los establecimientos ubicados en la zona templada subhúmeda posee estrecha relación con el manejo.

El CO interviene en el comportamiento de la Dap y EE agua en los establecimientos analizados en las dos profundidades 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m. La interacción no posee el mismo comportamiento en todos los establecimientos ni profundidades.

En Las Vaquillas la Dap en la profundidad de 0 - 0,20 m es influenciada negativamente por la interacción entre covariables CO\*Humedad. Menores valores de CO

provocan mayores niveles de Dap. En la profundidad de 0,20 - 0,50 m la interacción que influye positivamente sobre los valores de Dap es CO\*Humedad: mayores niveles de estas variables provocan mayores valores de Dap. Esto puede deberse al acomodamiento natural de las partículas minerales del suelo. La EE agua es influida positivamente en su comportamiento por la interacción CO\*pH en la profundidad de 0 - 0,20 m, a mayores niveles de CO y pH existe mayor actividad microbiana responsable de la EE agua. En la profundidad de 0,20 - 0,50 m la EE agua es influenciada positivamente por las interacciones CO\*Dap y CO\*Humedad.

En Totoral la Dap en la profundidad de 0,20 - 0,50 m es influenciada negativamente por la interacción entre las covariables CO\*pH menores valores de estas variables provocan mayores valores de Dap. La EE agua no es afectada por el CO en las profundidades estudiadas.

En La Lagunilla la Dap en la profundidad de 0 - 0,20 m es afectada positivamente por la interacción CO\*EE. Mayores valores de estas variables provocan mayores niveles de Dap. En la profundidad de 0,20 - 0,50 m la Dap es influenciada positivamente por las interacciones entre las covariables CO\*Humedad, CO\*pH, CO\*EE.

La EE agua en la profundidad de 0 - 0,20 m es influenciada positivamente por el CO y en la profundidad de 0,20 - 0,50 m la interacción entre covariables que influyó negativamente sobre la EE agua es CO\*pH. Menores niveles de estas variables provocan mayores niveles de EE agua.

La Dap y la EE agua son influenciadas por el manejo y por la composición de los residuos que se incorporan al suelo mediante raíces. En La Lagunilla no se encontró aumentos en la Dap por pastoreo en la profundidad de 0 – 0,20 m.

#### 5.4 Relación entre rendimientos y años de SD

Tabla 47. Tratamientos, fechas de siembra, cultivos, fechas de cosecha, año 2003-2004 en el establecimiento ubicado en Las Vaquillas en el noreste de Santiago del Estero.

Tratamiento	Fecha de siembra	Cultivo	Fecha de cosecha	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
1 SD	28/12/2003	Soja	19/05/2004	1.105
3 SD	15/01/2003	Soja	27/05/2003	2.042
	07/10/2003	Maíz	25/03/2004	3.843
4SD	27/12/2003	Soja	27/05/2004	2.132

Las precipitaciones entre abril 2003 y marzo 2004 fueron 709 mm. En la época de cultivos implantados fue de 576 mm.

El rendimiento promedio para soja en la zona es 2.500 a 3.500 kg ha<sup>-1</sup> (Mondino et al., 2003).

El rendimiento promedio para maíz en la zona es 5.000 kg ha<sup>-1</sup> (INTA Santiago del Estero).

Tabla 48. Tratamientos, fechas de siembra, cultivos, fechas de cosecha, año 2003-2004 en el establecimiento ubicado en Totoral en el centro-norte de Córdoba.

Tratamiento	Fecha de Siembra	Cultivo	Fecha de cosecha	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
4 SD	20/05/2003	Trigo	10/11/2003	3.600
	16/12/2003	Soja	05/06/2004	2.610
5 SD	11/12/2002	Soja	10/06/2003	2.500
	02/11/2003	Maíz	15/04/2004	8.420
6 SD	28/05/2003	Trigo	21/11/2003	2.700
	15/12/2003	Soja	10/05/2004	2.700
7 SD	03/06/2003	Trigo	18/11/2003	2.500
	11/12/2003	Soja	16/05/2004	2.600
8 SD	08/12/2003	Maíz	16/06/2004	9.040
9 SD	12/05/2003	Trigo	09/11/2003	3.400
	17/12/2003	Soja	02/06/2004	2.460

Las precipitaciones durante el cultivo de trigo fueron 203 mm. Los rendimientos responden al agua acumulada en el perfil. En el mes de abril las precipitaciones fueron 125 mm.

El cultivo de soja recibió 460 mm durante su ciclo y el maíz 562 mm.

El rendimiento histórico promedio del establecimiento es de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> para trigo, 9.500 kg ha<sup>-1</sup> para maíz y 2.800 kg ha<sup>-1</sup> para soja.

Tabla 49. Tratamientos, cultivos, fechas de siembra, fechas de cosecha, rendimientos y manejo, año 2003-2004 en el establecimiento ubicado en La Lagunilla en el centro de Córdoba.

Tratamiento	Fecha siembra	Cultivo	Fecha cosecha	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
2 años SD	04/12/2003	Soja	30/04/2004	2.400
20 C	30/05/2003	Avena		Pastoreo
5 SD	05/12/2003	Sorgo		Pastoreo
20 D 5 SD	23/12/2003	Maíz	14/07/2004	7.000
11 A 6 SD	31/12/2003	Maíz	24/07/2004	7.500
22 6 SD	05/11/2003	Maíz	29/05/2004	6.500
11 B 7 años SD	30/12/2003	Maíz	20/07/2004	7.500
17 7 años SD	03/11/2003	Maíz	27/05/2004	4.800

Las precipitaciones durante el período abril 2003 – marzo 2004 fueron 593,5 mm.

El cultivo de soja recibió 375 mm durante su ciclo, el maíz sembrado en noviembre 455,5 mm y el sembrado en diciembre 375 mm.

El rendimiento promedio del establecimiento es 9.000 kg ha<sup>-1</sup> para maíz y 2800 kg ha<sup>-1</sup> para soja.

Las precipitaciones anuales fueron mayores en Totoral (742 mm), seguido por Las Vaquillas (709 mm) y La Lagunilla (593,5 mm).

Los rendimientos obtenidos son mayores en Totoral para los cultivos de soja 2.574 kg ha<sup>-1</sup> y maíz 8.730 kg ha<sup>-1</sup>, seguido por La Lagunilla con rindes de soja 2.400 kg ha<sup>-1</sup>, maíz sembrado en noviembre 5.650 kg ha<sup>-1</sup>, maíz sembrado en diciembre 7.333 kg ha<sup>-1</sup> y por último Las Vaquillas con rendimientos de soja 1.760 kg ha<sup>-1</sup> y de maíz 3.843 kg ha<sup>-1</sup>.

El rendimiento depende de diversos factores, entre ellos la distribución de las precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo. Una de las ventajas atribuidas a la SD es la menor evaporación de humedad desde el suelo por la no remoción y presencia de cobertura sobre la superficie del suelo permitiendo acumular humedad en el perfil.

Los rendimientos encontrados en las Vaquillas manifiestan una escasa cobertura de suelo y mayores temperaturas lo que se traduce en deficiencias hídricas durante el período de crecimiento de los cultivos. Existe influencia de los vientos cálidos y secos del sector NE durante el verano con efecto negativo sobre los cultivos por su alto poder desecante.

La diferencia de rendimiento en soja y maíz entre Totoral y La Lagunilla se debe a menores precipitaciones (742 mm y 593,5 mm respectivamente).

Los rendimientos en la zona subhúmeda de Argentina dependen de las precipitaciones en el momento de crecimiento del cultivo.

En Las Vaquillas los rendimientos de soja se correlacionan con los niveles de CO de suelo  $R^2$  0,99 encontrándose mayores rendimientos en el tratamiento con más años de SD y menor contenido de CO en la profundidad de 0-0,20m. Puede ocurrir que se adopte el monocultivo de soja en función de sus rendimientos y de los beneficios económicos sobre otros cultivos causando la disminución del CO del suelo.

En Totoral existe relación entre los rendimientos y el contenido de CO de suelo  $R^2$  0,70 encontrándose los mayores rendimientos en suelos que poseen mayor CO en la profundidad de 0 - 0,20 m, con mayor porcentaje de gramíneas en su historia agrícola.

## 5.5 Conclusión General

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo se validan o rechazan las hipótesis planteadas en la Introducción general sobre SD en suelos Haplustoles ubicados en las zonas subhúmedas templada y subtropical.

El CO del suelo no aumentó en los suelos bajo SD en la profundidad de 0 - 0,20 m corroborando que “el clima tiene un gran impacto sobre las pérdidas del CO del suelo”. La conversión de ecosistemas naturales a agrícolas incrementa la temperatura máxima del mismo. Con lo cual se acepta la primera hipótesis planteada de la influencia del clima sobre la dinámica del CO del suelo (1.7.1.1)

Las mayores pérdidas de CO se encontraron en los suelos de la zona subtropical siendo la temperatura el factor determinante. Estos suelos permanecieron sin cobertura de cultivos durante el invierno favoreciéndose las pérdidas por erosión. La mineralización ocurre en las dos profundidades estudiadas. La profundidad de 0,20 - 0,50 m posee menores valores de CO que en los primeros 0 - 0,20 m. Se pierden anualmente tomando como referencia monte prístino ( $90,67 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) entre  $6.627$  y  $18.707 \text{ kg ha}^{-1}$  de CO en la profundidad de 0 - 0,50m. La temperatura influye sobre el contenido de CO de suelo en las dos profundidades analizadas, aceptando la segunda hipótesis planteada. (1.7.1.2)

El CO disminuye en la profundidad de 0-0,20 m tomando como referencia al monte en las dos zonas estudiadas (subtropical y templada subhúmeda). Esto se manifestó en los tratamientos con más años de siembra directa: 4 SD en Las Vaquillas, 9 SD en Totoral y 7 SD en La Lagunilla donde el CO de suelo no alcanza los niveles de monte.

Las pérdidas de CO en suelos que poseen como situación inicial monte degradado ( $86,92 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) en la zona templada subhúmeda, La Lagunilla, fueron de 901 y  $916 \text{ kg ha}^{-1}$  de C en la profundidad de 0 - 0,50 m. Presentando ganancias de CO respecto a monte (+ 12 %) el suelo (5 SD 20C) que tuvo alto porcentaje de gramíneas en su historia agrícola, cultivo de gramínea invernal y pastoreo. Se manifiesta en esta zona la importancia del manejo del suelo, y la presencia de cultivos durante el invierno.

En suelos que poseen como situación inicial pastura, el CO de suelo presenta ganancias de CO respecto a monte en recuperación ( $66,15 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) en la profundidad de 0-0,50 m. En la profundidad de 0 - 0,20 m los niveles de CO fueron menores a monte en los tratamientos analizados. Las mayores pérdidas, 21 %, se encuentran en 8 SD.

En la profundidad de 0,20 - 0,50 m el CO presenta mayores niveles que monte, el mayor contenido se encuentra en 7SD con un 46,63 % (mayor porcentaje de gramíneas que el resto de los tratamientos y 2 veces trigo/soja en su historia agrícola) más de CO que monte. Se manifiesta el efecto estabilizador de 7 años de no mover el suelo e incorporación de materia orgánica por heces de animales, con un carbono más estable que el proveniente de restos vegetales. Se acepta la tercera hipótesis planteada (1.7.1.3).

Los suelos que poseen mayores ganancias respecto a monte (7SD Totoral y 5 SD 20 C La Lagunilla) son los que poseen mas porcentaje de gramíneas, pastoreo y 2 veces trigo -soja en su historia agrícola. La presencia de cultivos durante todo el año disminuye las pérdidas de CO de suelo en estos dos tratamientos. Se acepta la cuarta hipótesis planteada (1.7.1.4).

La labranza realizada con el desmonte previo a la SD aumenta la mineralización del CO incorporando residuos vegetales, favoreciendo la actividad de los microorganismos y aumentando las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Se evidencia la importancia de la situación inicial del suelo a la SD. Las mayores pérdidas de CO se encontraron en suelos de desmonte con laboreo profundo antes de entrar en SD.

Los niveles de humedad en el suelo en lotes con más años de SD en las zonas estudiadas no son mayores que los recientemente incorporados a esta práctica. Se encontró que en estos suelos y con este manejo no es aceptable el concepto que con SD se evita la evaporación por efecto de no mover el suelo y por la cobertura sobre la superficie. Los niveles de humedad de suelo no aumentan con los años de SD en los suelos estudiados de las zonas subhúmedas subtropical y templada.

El CO no aumentó con los años de SD en suelos provenientes de monte en las profundidades de 0 - 0,20m y 0,20 - 0,50 m y la retención de humedad no tuvo relación con los niveles de CO. En las zonas estudiadas el CO de suelo depende de la naturaleza del CO que se incorpora al suelo a través de las raíces y de los cultivos de cobertura más que de los años de SD. Debido al carácter subhúmedo de las regiones estudiadas y a las características de suelo (EE agregados) alcanzadas con más años de SD (4, 9 y 7 SD años)

no se encontró mayor acumulación de humedad con más años de SD. Se rechaza la quinta hipótesis planteada (1.7.1.5)

La Densidad aparente posee relación con la naturaleza del CO incorporado con las raíces (gramíneas-leguminosas). Se rechaza la sexta hipótesis que mayores niveles de CO total provocan menores valores de Densidad aparente (1.7.1.6)

El CO no actuó disminuyendo la Dap, ya que esta guarda estrecha relación con el manejo y la composición de las raíces (gramíneas-leguminosas) en las profundidades de 0 -0,20 m y 0,20-0,50m.

La evolución del CO tuvo relación con la temperatura más que con el porcentaje de arcilla en la profundidad de 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,50 m. La disminución del CO en Las Vaquillas sustenta esta afirmación debido a que es el establecimiento con mayor contenido de arcilla, mayores valores de temperaturas, media y extrema, con menores valores de CO de suelo. Lo general es que a la profundidad de 0,20 – 0,50 m el CO sea más estable, presentando menor descomposición por la formación de compuestos órgano minerales en suelos con altos tenores de arcilla. La acción de la labranza y la temperatura hacen que la descomposición ocurra en esta profundidad, predominando sobre el mayor contenido de arcilla.

Las mayores pérdidas de CO de suelo respecto a monte ocurren en los suelos ubicados en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero (clima subhúmedo subtropical): la disminución es de 21 % (1SD) a 32 % (3SD) Estos suelos poseen altos niveles de arcilla, promedio 400 g kg<sup>-1</sup>. Se manifiesta que el efecto de la temperatura posee mayor influencia sobre el CO de suelo que el nivel de arcilla. Se rechaza la séptima hipótesis planteada (1.7.1.7).

La Dap no aumentó con los años de SD, invalidando el concepto de que más años de SD provocan mayores valores de Densidad aparente. Posee relación con el porcentaje de gramíneas y leguminosas y cultivos durante todo el año. No se encontraron valores superiores de densidad aparente a los teóricos para las texturas analizadas. Se rechaza la octava hipótesis planteada (1.7.1.8).

En la zona estudiada (subtropical y templada subhúmeda) se confirma que la EE de agregados no aumenta con los años de SD. Posee relación con el porcentaje de soja en la historia agrícola de los tratamientos. Se rechaza la novena hipótesis de que más años de SD favorecen la estabilidad de agregados en agua (1.7.1.9)

La cantidad de CO no influyó sobre los valores de EE. Se encontró relación con la calidad de los residuos incorporados, en la profundidad de 0-0,20 y 0,20-0,50m. La EE de agregados en agua fue mayor en los tratamientos con más años de soja en su historia agrícola debido a que la actividad de microorganismos es favorecida por el mayor contenido de polisacáridos de las raíces de soja, de más fácil degradación microbiana. Se rechaza la décima hipótesis (1.7.1.10)

El CO intervino en el comportamiento de Nitrógeno, Fósforo extraíble y pH interactuando con otras variables de suelo como Dap, EE agua y Humedad, en las dos profundidades estudiadas. Se acepta la décimo primera hipótesis de que el comportamiento de las variables físicas y químicas interactúan entre sí condicionando los comportamientos individuales de cada una de ellas (1.7.1.11).

El rendimiento de cultivos dependió de las precipitaciones más que de los años de SD en las zonas estudiadas, debido al carácter subhúmedo de las regiones analizadas.

El balance de Carbono no tuvo relación con el comportamiento del CO de suelo. El clima de las regiones estudiadas con largos períodos sin precipitaciones, fuertes vientos y altas temperaturas impiden la acumulación de rastrojo en superficie por lo que el Carbono proveniente de rastrojos no se incorporó en cantidades significativas en las profundidades estudiadas, rechazando la décimo segunda hipótesis (1.7.1.12).

La condición de campo en la que se realizó el estudio demuestra que el secuestro de Carbono es menor o nulo respecto a lo encontrado en otros trabajos donde la experimentación se realiza en parcelas bajo condiciones controladas. El comportamiento diferente del Carbono y sus relaciones en las dos profundidades analizadas confirma que es conveniente analizar las variables en mayor profundidad que los primeros 0 – 0,20 m.

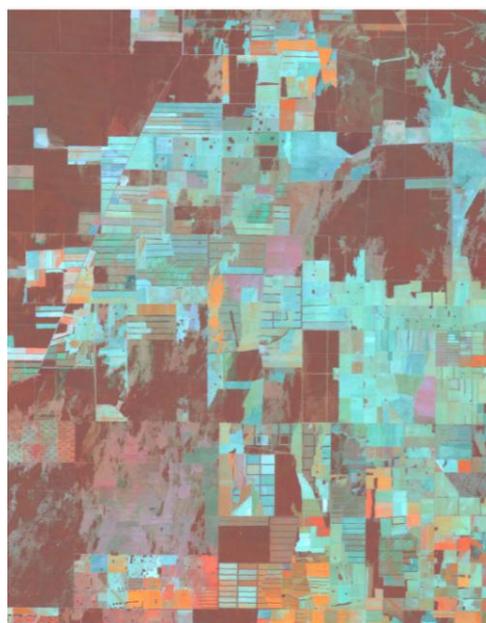
Se confirma que es necesario trabajar en condiciones de campo y a mayor profundidad del perfil (0 - 0,50 m) para que los resultados obtenidos sean de mayor veracidad.

En Argentina el crecimiento de la frontera agrícola en zonas tradicionalmente ganaderas se produce con mayor velocidad que en otros países.

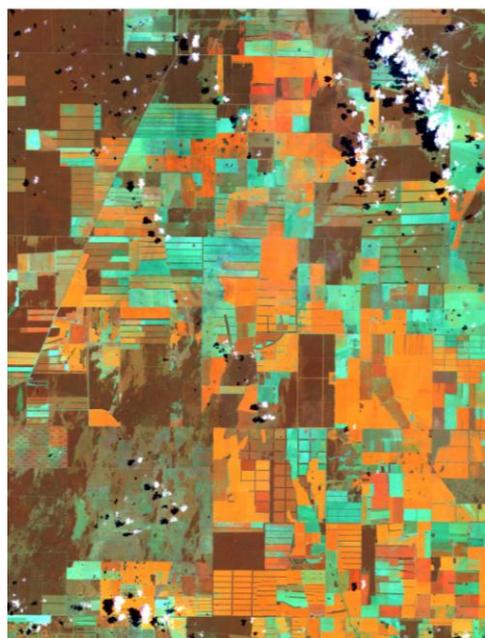
Imagen 2. Imágenes satelitales de la evolución del desmonte en Las Vaquillas, noreste de Santiago del Estero, años 2002, 2004, 2005 y 2009.



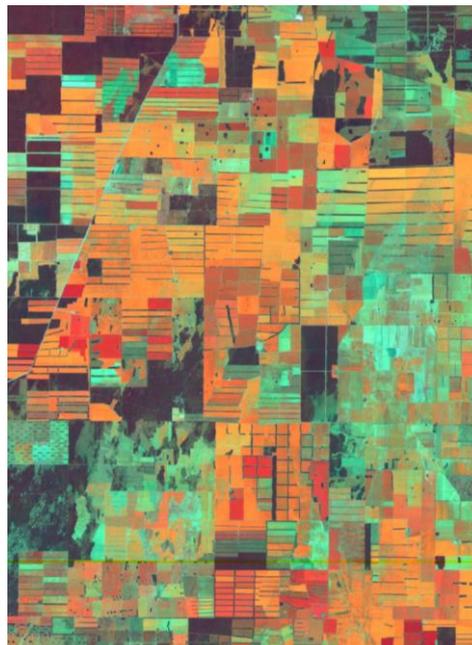
Año 2002



Año 2004



Año 2005



Año 2009

La imagen satelital del año 2002 presenta en gran superficie la zona Noreste de Santiago del Estero monte (color verde opaco). En el año 2004 se ve gran parte de superficie desmontada, suelo desnudo (color celeste), monte (color negro) y algunas zonas con cultivo de soja (anaranjado claro) y unos pocos lotes con gramíneas pueden ser maíz o sorgo (anaranjado más oscuro). En la imagen del año 2009 en la referencia de colores, se

encuentran zonas con pasturas (color verde más oscuro) observándose un incremento de la superficie sembrada con soja. Las imágenes corresponden al satélite Landsat 5 TM y las fechas son 13 de noviembre del 2002, 27 de enero de 2004, 14 de febrero del 2005 y 25 de febrero del 2005 (Sergio Soffietti, com pers.)

La presencia de cultivos invernales repercute en mayores niveles de CO de suelo en el área templada subhúmeda lo que puede deberse a que existen pérdidas por erosión al estar el suelo descubierto durante el invierno con presencia de fuertes vientos. Reforzando esta afirmación las menores pérdidas de CO respecto a monte en la profundidad de 0-0,20 m, se dan en los suelos que tuvieron cultivo invernal durante la época del ensayo en Totoral 4 SD, 6SD y 7 SD. En La Lagunilla 5 SD 20C con cultivo invernal de avena y pastoreo es uno de los tratamientos con menores pérdidas de CO respecto a monte en la profundidad de 0-0,20 m. En Las Vaquillas las mayores pérdidas de CO ocurren en los meses de suelo descubierto en los tres tratamientos estudiados en la profundidad de 0-0,20 m (anexo 1).

El pastoreo de cultivos en crecimiento y de rastrojos (La Lagunilla 5 SD 20 C, 7 SD 17) aumenta el CO del suelo debido a que las heces de animales presentan un CO más estable que el proveniente de raíces.

La disminución del CO respecto a monte en la profundidad de 0,20-0,50 m encontrados en Las Vaquillas y en La Lagunilla estaría indicando condiciones de mineralización en esta profundidad.

En la zona subtropical subhúmeda de Argentina el aumento de rendimientos del cultivo de soja en suelos con mayor cantidad de años de SD, en años de buenas precipitaciones, nos puede llevar al monocultivo sin atender a que las pérdidas de CO del suelo llevarán al deterioro de los mismos en corto tiempo.

El conocimiento de las pérdidas de CO de suelo en esta región nos conduce a extender la investigación en suelos de zonas de climas distintos a la Pampa Húmeda. Este tema debe ser prioritario en Argentina, así podremos desarrollar tecnología para cada región en particular, sin hacer generalizaciones. Por lo que se demuestra en este trabajo, las variables de suelo poseen comportamientos particulares de acuerdo a la zona donde se encuentre y al manejo que se realiza en cada situación.

Conociendo la evolución del CO bajo distintos escenarios de clima y suelo (textura) se debe intentar investigar qué sucede con el comportamiento de esta variable con manejos que tiendan a mantener el nivel de CO. Los suelos que más contenido de CO de suelo poseen respecto a monte natural en las situaciones evaluadas tienen mayor porcentaje de gramíneas y cobertura de suelo durante el invierno. Se debe tener en cuenta en futuros trabajos que el comportamiento de las variables del suelo está condicionado por otras variables que con su interacción provocan cambios en su dinámica, aumentan o disminuyen. El manejo de estas variables puede contribuir a disminuir las pérdidas de CO de suelo. De

esta manera la SD podrá ser una práctica que haga sustentable al recurso suelo a través del tiempo

En las zonas climáticas estudiadas se encontró que la EE de agregados interviene sobre el comportamiento del CO de suelo. A mayores niveles de EE agua encontramos menores valores de CO, coincidente con mayor porcentaje de soja en la historia agrícola de los tratamientos. Los residuos de leguminosas al presentar mayor cantidad de polisacáridos son más atacados por los microorganismos de suelo. Existe mayor liberación de exudados y compuestos microbianos que favorecen la EE agua provocando la disminución del CO de suelo y mayor liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. En suelos ubicados en la zona subtropical subhúmeda este proceso se incrementa debido a la acción de la temperatura sobre la actividad microbiana.

Gran parte de la superficie del país correspondiente a la zona de expansión agrícola se encuentra en las zonas subhúmedas subtropical y templada. Se debe profundizar la investigación sobre estas variables (CO y EE agua) tendiendo a evitar la degradación de suelos por pérdidas de CO.

La incorporación de una gran masa carbonada rica en leguminosas (La Lagunilla, 2 SD) favorece la actividad microbiana en la profundidad de 0-0,20 m aumentando la EE agua. El poseer 100 % de gramíneas en su historia agrícola aumenta los niveles de CO del suelo respecto a monte.

Se debe encontrar el porcentaje adecuado de gramíneas y leguminosas para cada región para lograr el aumento de CO (gramíneas) y de EE agua (leguminosas). Probablemente con más años de SD y manejo adecuado, alto porcentaje de gramíneas y cultivos durante todo el año se consiga elevar los niveles de CO de suelo.

El CO de suelo (Haplustoles) y su interacción con otras variables (Dap, arcilla y EE agua) interviene como covariable en el comportamiento de las variables Nt, Pext y pH. La interacción entre variables manifiesta que el suelo debe ser estudiado como un sistema complejo.

La práctica de SD no debe ser generalizada como sostenible en el tiempo en las zonas estudiadas sin atender a las condiciones de manejo (porcentaje de gramíneas y soja, cultivos en crecimiento durante todo el año) debido a las pérdidas de CO de suelo.

Por todo lo expuesto es aceptada la hipótesis general:

El beneficio “demostrado” de la SD sobre el secuestro de C en el suelo está supeditado a las condiciones agroecológicas y de manejo como también a las interacciones entre las propiedades físicas y químicas de cada suelo.”

## CAPITULO VI

### BIBLIOGRAFIA

- Albiach R., Canet R., Pomares F. e Ingelmo F. 2001. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Bioresource Technology* 44:109-114.
- Alvarez C.R., Taboada M.A., Bono A., Fernandez P.L. y Prystupa P. 2009. Topsoil properties as affected by tillage Systems in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J* 73:1242-1250.
- Alvarez, R., M.E. Russo, P. Prystupa, J.D. Scheiner, and L. Blotta. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agronomy Journal* 90:138-143.
- Alvarez R., Steinbach H.S. 2006. materia orgánica, valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Ed. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. pp:206
- Alzugaray C., Vilche M. S. y Petenello C. 2008. Labor profunda en siembra directa: Efecto sobre la condición biológica del suelo. *Cien. Inv. Agr.* 35(3): 265-276
- Angers D.A., N'dayegamiye A. y Coté D. 1993. Tillage-induced differences in organic matter of particle size fractions and microbial biomass. *Soil Sci. Soc. Am. J* 57: 512-516.
- Angueira C., Prieto D., López J., Barraza G. 2006. Sistema de Información Geográfica de Santiago del Estero. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. CD.
- Apezteguía H.P. 2005. Tesis Doctoral. Dinámica de la materia orgánica de los suelos de la Región Semiárida Central de Córdoba (Argentina). Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina. 145pp
- Apezteguía H.P., Izaurralde R.C. y Sereno R. 2009. Simulation study of soil organic matter dynamics as affected by land use and agricultural practices in semiarid Córdoba, Argentina. *Soil & Tillage Research* 102: 101-108
- Barral M.T., Buján E., Devesa R., Iglesias M.L. y Velazco Molina M. 2007. Comparison of the structural stability of pasture and cultivated soils. *Science of the Total Environment* 378:174-178.
- Beare M.H., Hendrix P.F. y Coleman D.C. 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:777-786
- Benjamin J.G., Mikha M.M y Vigil M.F. 2008. Organic carbon effects on soil physical and hydraulic properties in a semiarid climate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1357-1362
- BirdLife IBA Factsheet. Parque Nacional Copo. Disponible en <http://www.birdlife.org>, marzo 2010.

- Blanco – Canqui H., Mikha M.M., Benjamín J.G., Stone L.R., Schlegel A.J., Lyon D.J., Vigil M.F. y Stahlman P.W. 2009. Regional study of no till impacts on near-surface aggregate properties that influence soil erodibility. 2009. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1361-1368
- Blanco-Canqui, H., and R. Lal. 2008. No-tillage and soil profile tillage sequestration: An on farm assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 693-701
- Bonel B.A., Morrás H.J.M. y Bisaro V., 2005. Modificaciones de la microestructura y la materia orgánica en un Argiudol bajo distintas condiciones de cultivo y conservación. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 23 (1):1-12
- Bono A., Alvarez R., Buschiazzo D.E. y Cantet R.J.C. 2008. Tillage effects on soil carbon balance in a semiarid agroecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 1140-1149
- Broder M.W. y Wagner G.H. 1988. Microbial Colonization and decomposition of Corn, Wheat and Soybean residue. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:112-117
- Burke W, Gabriels D. y Bouma J. 1986. Soil structure assesment. AA. Balkema. Rotterdam
- Cabido D., Cabido M., Garré S.M., Gorgas J.A., Miatello R., Ravelo A., Rambaldi S., Tassile J.L. 2003. AGENCIA CÓRDOBA D.A.C.y T. - Dirección de Ambiente. Córdoba – Argentina. 101pp
- Cacchiarelli J., Galantini J.A. y Rosell R.A. 2008. Estabilidad estructural y P en fracciones de agregados en la cuenca del A° El Divisorio (Coronel Pringles, BA) *Ci. Suelo (Argentina)* 26(1):71-79.
- Cambardella C.A. y Elliot E.T. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Cambardella C.A. y Elliot E.T. 1993. Carbon and Nitrogen in agregates from cultivate and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1071-1076
- Cole C.V., Duxbury J., Freney J., Heinemeyer O., Minami K., Mosier A., Paustian K., Rosenberg N., Sampson N., Sauerbeck D. y Zhao Q. 1997. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient cycking in Agroecosystems* 49: 221-228
- de la Rosa D, 2008. Evaluación agro-ecológica de suelos. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. España. 404 pp
- De-Campos A., Mamedov A.I. y Huang Chi-hua. 2009. Short-term reducing conditions decrease soil aggregation. 2009. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:550-559
- Derpsch, R. 2008. Área bajo siembra directa en varios países. Disponible en <http://www.rolf-derpsch.com/novedades.htm>.
- Díaz Zorita M., Duarte G.A. y Grove J.H. 2002. A review of no till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research* 65:1-18

- Díaz Zorita M., Duarte G.A. y Grove J.H. 2002. A review of no-till Systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research* 65:1-18
- Díaz Zorita M., Grove J.H., Murdock L., Herbeck J. Y Perfect E. 2004. Soil Structural disturbance effects on crop yields and soil properties in a no till production system. *Agron. J.* 96: 1651-1659.
- Dinel, H., Lévesque P.E.M., Jambu P. y Righi D.1992. Microbial activity and long-chain aliphaticas in the formation of stable soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*56:1455-1463
- Doran J.W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J* 44: 765-771
- Fabrizzi K.R., Morón A. y García F.O. 2003. Soil Carbon and Nitrogen fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J* 67: 1831-1841
- Ferreras L., Magra G., Besson P., Kovalevski E. y Garcia F. 2007.Indicadores de calidad Física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del suelo (Argentina)* 25 (2): 159-172
- Ferreras L., Magra G., Besson P., Kovalevski E. y García F. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de Argentina bajo siembra directa. *Ci. Suelo (Argentina)* 25(2):159-172.
- Franzluebbers A.J., Stuedemann J.A.2008. Early response of soil organic fractions to tillage and integrated crop-livestock production. *Soil Sci. Soc. Am. J* 72:613-625
- Franzluebbers A.J. 2010. Achieving soil organic carbon sequestration with conservation agricultural Systems in the Southeastern United States. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74:347-357.
- Frioni, L. 1990 *Ecología microbiana del suelo*, Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. Montevideo. Uruguay. 519pp
- Fuentes A. J, Cantero Martínez C., López M.V., Paustian K., Deneff K., Stewart C.E., y Arrúe J.L. 2009. Soil Aggregation and soil organic carbon stabilization: effects of management in semiarid mediterranean agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1519-1529
- Gale W.J. y Cambardella C.A. 2000. Carbon dynamics of surface residue- and root derived organic matter under simulated no-till. 2000. *Soil Sci. Soc. Am. J* 64: 190-195
- Golchin J, Oades M., Skemstad J.O y Clarke P.1994. Soil structure and Carbon cycling. *Aust. J. Soil Res.* 32:1043-1068
- Gorgas, J.A, Tassile J.L., 2003. *Los Suelos*. Agencia Córdoba D.A.C. y T.S.E.M.. INTA Manfredi. Córdoba. Argentina. 567 pp.
- Grandy A.S. y Robertson G.P. 2006. Agregation and organic matter protection following tillage of a previously uncultivated soil. *Soil Sci. Soc. Am. J* 70: 1398-1406

- Hartemink, A. E. 2002. Soil science in tropical and temperate regions. *Adv. Agron.*77: 269 - 291.
- Henin S., Grass R. y Monnier G. 1972. *El Perfil Cultural*. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. España. 342 pp
- Huggins D.R., Allmaras R.R., Clapp C.E., Lamb J.A. y Randall G.W. 2007. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:145-154
- InfoStat (2009). *InfoStat versión 2009p*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina
- Izaurrealde R.C., McGill W.B., Robertson J.A., Juma N.G. y Thurston J.J. 2001. *Soil Sci. Soc. Am. J* 65: 431-441
- Jackson M. 1964. *Análisis químico de los suelos*. Editorial Omega S.A. Barcelona. España. 662 pp.
- Janzen H.H., Campbell C.A., Brandt S.A., Lafond G.P. y Townley-Smith L. Light-fraction organic matter in soils from long term crop rotations. 1992. *Soil Sci. Soc. Am. J* 56: 1799-1806.
- Jelinski N.A. y Kcharik C.J. 2009. Land-use effects on soil carbon and nitrogen on a U.S. Midwestern Floodplain. 2009. *Soil Sci. Soc. Am. J* 73: 217-225
- Johnson J.M.F., Barbour N.W. y Weyers S.L. 2007. Chemical composition of crop biomass impacts its decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. J* 71: 155-162
- Lal R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1-22.
- Lal R., Mahboubi A.A. y Fausey N.R. 1994. Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. *Soil Sci. Soc. Am. J* 58: 517-522
- Lal, R, D.C. Reicosky, and J.D. Hanson. 2007. Evolution of the plow over 10.000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Tillage Res.* 93:1-12.
- Lal, R. 2010. Enhancing Eco-efficiency in Agro-ecosystems through Soil Carbon Sequestration. *Crop Science*, Vol 50, March – April 2010.
- McCallister D.L., Bahadir M.A. y Blumenthal J.M. 2002. Phosphorus partitioning and phosphatase activity in semi-arid region soils under increasing crop growth intensity. *Soil Science* 16709:616-624.
- Melo O.E., Boetto G.C. y Gómez Demmel A.M. 1993. *MBG Carne (Versión 06) Software de cómputo*. Córdoba. Argentina
- Mengel K., Kirkby E.A. 2000. Instituto Internacional del Potasio. Basilea. Suiza 608 pp
- Mickovski S.B., Hallet P.D., Bransby M.F., Davies M.C.R., Sonnenberg R. Y Bengough A G. 2009. Mechanical reinforcement of soil by willow roots: impacts of root properties and root failure mechanism. 2009. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1276-1285.
- Micucci, F.G., and M. A. Taboada. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max* Merrill) root abundance in conventionally – and zero – tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 86: 152-162

- Mirsky S.B., Lanyon L.E. y Needelman B.A. 2008. Evaluating soil management using particulate and chemically labile soil organic matter fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J* 72: 180-185.
- Mondino M., Peterlín O., Puig O., Cataldo F., Gómez N., Baigorri H. 2003. Producción de soja en Santiago del Estero. INTA, disponible en [http://www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos/soja/0001art\\_sojaproduccion.htm](http://www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos/soja/0001art_sojaproduccion.htm), marzo 2010
- Murage E.W., Voroney P. R., Kay B.D., Deen B. Y Beyaert R.P. 2007. Dynamics and turnover of soil organic matter as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J* 71: 1363-1370.
- Navarro G. 2003. Química Agrícola. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. España. 487 pp.
- Olchin G.P., Frey S.D., Filley T.R., Paustian K. y Six J. 2008. Residue carbon stabilization in soil aggregates of no-till and tillage management of dryland cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:507-513
- Olchin G.P., Ogle S., Frey S.D., Filley T.R., Paustian K. Y Six J. 2008. Residue carbon stabilization in soil aggregates of no-till and tillage management of dryland cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J* 72: 507-513
- Orellana J.A. De, Pilatti, M.A. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad, *Ciencia del suelo* (2): 75-80
- Piccolo A. y Mbagwu J.S.C 1999. Role of hydrofobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1801-1810
- Piccolo A. y Mbagwu J.S.C. 1994. Humic substance and surfactants effects on the stability of two tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:950-955
- Pikul J.L., Chilom G., Rice J., Eynard A., Schumacher T. E., Nichols K., Johnson J.M.F., Wright S., Caesar T. y Ellsbury M. 2009. Organic matter and water stability of field aggregates affected by tillage in South Dakota. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:197-206
- Pilatti M.A., Orellana J.A. de, Priano L.J., Felli O.M. y Grenon D.A. 1988. *Ciencia del Suelo* Vol. 6 N°1:19-29.
- Plante, A.F., Six J., Paul E.A., Conant R.T., 2009. Does physical protection of soil organic matter attenuate temperature sensitivity? *Soil Sci. Soc. Am. J* 73: 1168-1172.
- Pullido Moncada M.A., Lobo Luján D. y Lozano Pérez Z. 2009. Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrociencia* 43:221-230.
- Quiroga A., Ormeño O., Peinemann, N. 2001. Materia orgánica. Un indicador de calidad de suelos relacionado con la productividad de los cultivos. INTA Anguil, Bol. Div. Técnica 70:28pp
- Ran y., Sun K., Xing B., Shen C. 2009. Characterization of condensed organic matter in soils and sediments. *Soil Sci. Soc. Am. J* 73: 351-359

- Rhoton, F.E. 2000. Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:700-709
- Roberts T.L., Henry J.L., Potash & Phosphate Institute (PPI), *Informaciones agronómicas* N° 42, disponible <http://www.ppi.org>, marzo 2010.
- Sá J.C. M de, Cerri C.C., Dick W.A., Lal R., Filho S.P.V., Piccolo M.C. y Feigl B. E. 2001. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J* 65: 1486 - 1499
- Sá Moraes de J.C., Cerri C.C., Piccolo M. C., Feigl B. E., Seguy L., Bouzinac S., Venzke S.P. y Neto M.S. 2003. Acumulación de materia orgánica en suelos bajo siembra directa, con el pasar de los años. Publicado en Internet, disponible en <http://www.aapresid.org.ar/apadmin/img/upload/suelo%20-%20003.pdf>, marzo 2010
- SAMLA 2004. Sistema de apoyo a los Laboratorios dedicados al Análisis de Suelos, Aguas, Vegetales y Enmiendas Orgánicas. Recopilación de las técnicas de laboratorio vigentes y reconocidas por el SAMLA, en proceso de revisión y actualización en el marco del convenio IRAM-SAGPyA. Año de edición 2004. Resolución N° 478/98 y 238/03. [www.sagpya.gov.ar](http://www.sagpya.gov.ar), marzo 2005.
- Sanzano G.A., Corbella R.D., García J.R. y Fadda G.S. 2005. Degradación física y química de un haplustol Típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. *Ci. Suelo (Argentina)* 23 (1):93-100
- SAS® v.9.1. (2005). SAS/STAT® User's guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sasal, M.C., A. E, Andriulo, and M. A. Taboada. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinean Pampas. *Soil Tillage Res.* 87:9-18.
- Satorre E. H. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura Argentina actual. *Revista Ciencia Hoy* 15 n° 87: 24-31
- Schutter M.E., Dick R.P. 2002. Microbial community profiles and activities among aggregates of winter fallow and cover-cropped soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:142-153
- Sherrod L.A., Peterson G.A., Westfall D.G. y Ahuja L.R. 2005. Soil organic carbon pools after 12 years in no-till dryland agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J* 69:1600-1608.
- Singh S., Mishra R., Singh A., Ghoshal N. y Singh K.P. 2009. Soil physicochemical properties in a grassland and agroecosystem receiving varying organic inputs. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1530-1538
- Six J., Elliot E.T. y Paustian K. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1350-1358
- Six J., Elliot E.T., Paustian K y Doran J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1367-1377.

- Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., Mara F.O., Rice C., Scholes B., Sirotenko O., Howden M., Mc Allister T., Pan G., Romanenkov V., Schneider U., Towprayoon S., Wattenbach M y Smith J. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Phil. Trans. R. Soc.* 363: 789-813
- Steinbach, H.S, and R. Alvarez. 2006. Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in Pampean Agroecosystems. *Journal of Environmental Quality* 35:3-13.
- Taboada M.A. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. 4° Simposio de ganadería en Siembra Directa, Aapresid. Potrero de los Funes. San Luis 71-83.
- Taboada, M.A., F.G. Micucci, D.J. Cosentino, and R.S. Lavado. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Tillage Res.* 49:57-63.
- Taboada, M.A., Micucci F.G. 2002. Fertilidad física de los suelos. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 79 pp.
- Torres P., Abril A. 1996. Dinámica microbiana del suelo en un desmonte selectivo del Chaco árido argentino. *Ciencia del Suelo* 14:30-36
- Trewartha, G.T. 1968. An introduction to climate. McGraw-Hill book company. 1968
- Vadas P. A.2006. Distribution of Phosphorus in manure slurry and its infiltration afeter applications to soils. *J. Envirom. Qual.* 35:542-547.
- Van Ginkel J.H. y Gorissen A. 1998. In situ decomposition of grass roots as affected by elevated atmospheric carbon dioxide. *Soil Sci. Soc. Am. J* 62: 951-958
- Villamil M.B., Bollero G.A., Darmody R.G., Simmons F.W y Bullock D.G. 2006. No-till Corn/Soybean systems including winter cover crops: effects on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J* 70: 1936-1944
- White P.M. y Rice C.W. 2009. Tillage effects on microbial and carbon dynamics during plant residue decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. J* 73: 138-145.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Mundi Prensa. Madrid. España. pp: 1045.
- Wu C., Wu J., Luo Y, Zhang, L. Y DeGloria S.D. 2009. Spatial prediction of soil organic matter content using cokriging with remotely sensed data. *Soil Sci. Soc. Am. J* 73: 1202 – 1208
- Wu Z., Powell J.M. 2007. Dairy manure type, application rate, and frequency impact plants and soils. *Soil Sci. Soc. Am. J* 71:1306-1313

**CAPITULO VII**  
**ANEXO**

Anexo 1. Contenido mensual de Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4 SD	Monte
Abril	38,7	34,5	39,6	46,5
Mayo	45,3	39,6	35,7	44,8
Junio	34,2	34,3	33,0	49,3
Julio	37,9	35,7	35,9	48,8
Agosto	37,1	34,1	36,4	46,5
Septiembre	35,6	38,5	42,1	48,6
Octubre	34,2	33,6	35,6	42,7
Noviembre	32,8	30,2	35,6	42,2
Diciembre	26,4	30,2	28,9	44,4
Enero	32,8	38,5	32,2	49,9
Febrero	34,9	37,7	31,4	40,2
Marzo	33,8	34,8	33,7	44,3
Media	35,31	35,12	35,00	45,68
D.E.	4,45	3,07	3,55	3,09
C.V.	12,61	8,75	10,16	6,77

Anexo 2. Contenido mensual de Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4 SD	Monte
Abril	41,1	31,2	28,8	55,3
Mayo	37,9	32,8	46,1	45,5
Junio	32,8	29,6	32,9	35,0
Julio	37,9	33,4	30,1	47,4
Agosto	34,9	23,6	29,4	36,3
Septiembre	31,8	25,7	26,3	37,6
Octubre	28,9	27,8	23,3	38,9
Noviembre	27,8	23,8	24,9	39,1
Diciembre	21,7	23,3	23,1	42,3
Enero	27,3	53,5	22,8	38,9
Febrero	31,8	32,0	23,9	40,7
Marzo	32,6	25,7	24,4	39,7
Media	32,21	28,28	28,00	41,38
D.E.	5,37	3,77	6,56	5,64
C.V.	16,66	13,31	23,43	13,63

Anexo 3. Contenido mensual de Nitrógeno total (Nt,Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4SD	Monte
Abril	4,6	4,3	3,4	6,1
Mayo	4,6	4,1	3,4	5,2
Junio	4,6	4,1	5,7	4,3
Julio	4,5	4,3	4,5	5,7
Agosto	4,1	4,3	3,6	4,8
Septiembre	4,3	4,3	3,6	4,5
Octubre	4,3	4,5	3,7	5,3
Noviembre	3,7	4,1	4,3	4,3
Diciembre	3,4	3,2	4,3	3,4
Enero	3,9	4,1	5,7	5,2
Febrero	3,6	3,6	4,1	5,0
Marzo	3,4	3,7	3,6	5,3
Media	4,08	4,05	4,16	4,93
D.E.	0,47	0,37	0,81	0,72
c.v.	11,48	9,15	19,47	14,65

Anexo 4. Contenido mensual de Nitrógeno total (Nt, Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4SD	Monte
Abril	5,0	4,4	4,2	6,4
Mayo	5,8	4,4	5,8	6,4
Junio	5,5	6,4	6,4	6,4
Julio	6,9	5,5	5,0	7,2
Agosto	5,3	5,0	4,7	5,8
Septiembre	6,9	6,7	5,0	7,5
Octubre	4,7	4,2	5,5	5,5
Noviembre	4,2	4,4	5,0	5,0
Diciembre	4,7	4,4	3,6	4,4
Enero	4,7	7,5	6,4	4,7
Febrero	4,2	4,4	4,7	3,9
Marzo	5,3	3,6	4,2	5,0
Media	5,27	5,07	5,04	5.68
D.E.	0,90	1,18	0,86	1,12
c.v.	17,16	23,33	17,13	19.68

Anexo 5. Contenido mensual de Fósforo extraíble (Pext.,kg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4SD	Monte
Abril	127,1	112,0	118,3	130,0
Mayo	143,8	100,6	110,5	121,1
Junio	84,7	84,4	91,6	110,9
Julio	85,3	106,9	118,2	55,4
Agosto	107,7	125,7	132,7	149,8
Septiembre	152,1	146,7	226,0	219,4
Octubre	138,7	123,5	161,1	149,8
Noviembre	199,9	168,4	244,6	200,3
Diciembre	183,3	176,6	251,0	172,3
Enero	157,1	165,1	161,7	163,2
Febrero	183,1	187,5	152,0	140,9
Marzo	77,2	113,5	124,3	113,4
Media	136,67	134,24	157,66	143,88
D.E.	41,39	33,55	54,31	43,38
CV	30,29	24,99	34,45	30,15

Anexo 6. Contenido mensual de Fósforo extraíble (Pext.,kg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 – 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4SD	Monte
Abril	85,9	93,8	82,2	108,4
Mayo	108,1	85,3	150,4	89,7
Junio	75,0	71,1	106,5	77,2
Julio	63,2	99,5	81,8	82,8
Agosto	97,1	77,8	78,6	84,7
Septiembre	259,4	223,5	205,2	295,9
Octubre	83,5	91,2	87,6	87,1
Noviembre	151,6	134,4	134,4	125,5
Diciembre	108,4	162,7	106,7	161,4
Enero	81,6	217,5	99,2	103,1
Febrero	122,0	115,9	63,1	92,9
Marzo	111,1	71,7	64,4	92,0
Media	112,25	120,36	105,00	116,71
D.E.	52,07	53,84	40,97	61,01
CV	46,39	44,73	39,02	52,28

Anexo 7. Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4 SD	Monte
Abril	6,5	7,0	6,9	6,0
Mayo	6,8	7,5	7,3	7,2
Junio	7,3	7,3	7,6	7,2
Julio	7,4	7,6	7,7	7,5
Agosto	6,9	7,3	7,0	7,0
Septiembre	6,8	6,8	7,0	7,1
Octubre	7,8	7,0	6,9	7,1
Noviembre	7,1	7,0	7,1	7,1
Diciembre	6,8	6,7	6,7	6,9
Enero	7,0	7,3	6,9	6,7
Febrero	7,1	7,0	7,0	7,3
Marzo	7,1	7,1	6,9	7,3
Media	7,05	7,13	7,07	7,04
D.E.	0,34	0,25	0,32	0,37
CV	4,80	3,44	4,47	5,31

Anexo 8. Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4 SD	Monte
Abril	6,7	6,9	7,4	6,4
Mayo	7,1	7,8	7,5	7,7
Junio	7,2	7,7	8,4	7,4
Julio	7,9	8,0	8,3	8,0
Agosto	7,0	7,4	7,7	7,6
Septiembre	6,9	7,0	7,0	7,2
Octubre	7,1	7,0	7,5	7,4
Noviembre	7,2	7,4	7,6	7,6
Diciembre	6,9	6,5	7,0	7,1
Enero	7,5	7,2	7,3	7,3
Febrero	7,3	7,2	7,3	7,6
Marzo	7,1	7,1	7,2	7,5
Media	7,16	7,26	7,52	7,39
D.E.	0,32	0,40	0,43	0,39
CV	4,52	5,51	5,77	5,33

Anexo 9. Valores mensuales de Densidad aparente (Dap, Mg m<sup>-3</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4 SD	Monte
Abril	1,0	1,0	0,9	0,9
Mayo	0,9	0,8	1,0	0,8
Junio	0,9	1,1	0,9	0,8
Julio	1,0	0,9	1,0	0,9
Agosto	1,0	1,1	0,9	0,9
Septiembre	0,9	1,1	1,2	0,9
Octubre	1,0	1,1	1,0	0,8
Noviembre	0,9	1,0	0,9	0,9
Diciembre	1,0	1,1	1,0	0,9
Enero	1,1	1,1	0,9	0,9
Febrero	1,0	1,1	1,0	0,9
Marzo	1,0	1,1	1,1	0,9
Media	0,97	1,03	0,97	0,89
D.E.	0,07	0,08	0,08	0,04
CV	7,47	7,28	8,54	4,79

Anexo 10. Valores mensuales de Densidad aparente ( $D_{ap}$ ,  $Mg\ m^{-3}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4SD	Monte
Abril	0,9	0,8	0,9	0,9
Mayo	0,9	1,0	0,9	1,0
Junio	1,1	1,1	0,9	0,9
Julio	1,0	0,9	0,9	1,0
Agosto	0,9	1,0	0,9	1,0
Septiembre	1,0	1,1	1,0	1,0
Octubre	1,1	1,0	1,0	1,1
Noviembre	0,9	1,1	0,8	1,0
Diciembre	1,1	1,0	1,0	1,0
Enero	1,0	1,1	1,0	1,0
Febrero	0,9	1,0	0,9	1,0
Marzo	1,0	1,0	0,9	1,0
Media	0,98	1,01	0,92	0,98
D.E.	0,07	0,08	0,06	0,04
CV	6,95	8,33	6,52	3,74

Anexo 11. Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4 SD	Monte
Otoño	26,3	20,4	28,0	43,5
Invierno	29,4	20,9	22,3	37,1
Primavera	22,3	24,9	27,0	43,6
Verano	25,4	22,6	26,3	36,3
Media	25,86	22,19	25,92	40,12
D.E.	2,94	2,03	2,49	3,96
C.V.	11,37	9,14	9,61	9,87

Anexo 12. Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4 SD	Monte
Otoño	21,6	18,3	24,6	33,8
Invierno	25,3	20,4	25,5	25,4
Primavera	20,9	23,9	29,3	38,2
Verano	24,7	22,9	34,5	33,7
Media	23,12	21,36	28,48	32,81
D.E.	2,15	2,54	4,49	5,35
C.V.	9,32	11,91	15,78	16,30

Anexo 13. Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4 SD	Monte
Abril	29,0	29,2	27,2	18,4
Mayo	25,7	24,0	24,8	19,8
Junio	23,0	21,9	23,1	16,8
Julio	23,9	19,3	17,1	16,3
Agosto	17,7	15,0	18,2	12,8
Septiembre	13,8	13,3	17,5	13,2
Octubre	22,3	24,1	28,5	12,6
Noviembre	22,3	16,0	22,5	13,8
Diciembre	25,3	21,6	23,4	14,0
Enero	19,1	12,0	20,2	12,3
Febrero	20,1	18,7	20,2	14,7
Marzo	24,9	30,6	29,2	18,3
Media	22,25	20,46	22,64	15,24
D.E.	4,09	5,91	4,19	2,59
CV	18,38	28,87	18,49	17,03

Anexo 14. Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Las Vaquillas ubicado en el noreste de Santiago del Estero, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	1 SD	3 SD	4 SD	Monte
Abril	29,6	28,8	28,6	22,6
Mayo	26,2	23,7	24,8	19,7
Junio	24,6	24,9	23,0	17,3
Julio	22,7	20,1	21,3	15,9
Agosto	24,8	22,3	23,8	14,6
Septiembre	15,9	14,5	16,8	12,7
Octubre	25,3	23,7	21,5	14,0
Noviembre	23,8	18,1	23,1	14,5
Diciembre	28,0	24,6	26,6	15,5
Enero	21,1	13,9	22,7	13,8
Febrero	22,4	18,0	22,7	14,7
Marzo	24,7	30,3	21,0	16,0
Media	24,08	21,90	22,99	15,93
D. E.	3,49	5,15	2,95	2,78
CV	14,50	23,52	12,84	17,47

Anexo 15. Contenido mensual de Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	38,3	37,0	34,4	44,5	31,2	33,0	39,8
Mayo	36,7	37,2	37,2	44,5	29,6	36,3	45,0
Junio	37,4	32,2	29,8	42,3	32,1	39,3	40,5
Julio	36,0	35,2	26,2	39,7	32,4	32,2	41,4
Agosto	39,7	38,5	32,4	38,8	32,7	36,0	46,3
Septiembre	41,3	40,7	38,8	45,1	35,9	37,8	39,4
Octubre	45,4	32,4	49,5	40,5	29,8	34,9	46,0
Noviembre	39,9	31,2	27,2	40,7	30,2	34,4	40,5
Diciembre	36,4	31,8	37,0	37,0	31,9	37,2	56,5
Enero	34,2	42,7	30,9	41,8	34,2	29,2	48,3
Febrero	40,3	39,2	42,5	47,8	37,8	41,3	46,4
Marzo	36,5	38,2	33,4	39,3	34,4	35,3	42,3
Media	38,51	36,36	34,94	41,83	32,68	35,58	44,37
D.E.	3,01	3,79	6,62	3,12	2,50	3,24	4,88
C.V.	7,82	10,42	18,94	7,47	7,66	9,11	11,00

Anexo 16. Contenido mensual de Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	27,6	16,4	16,6	37,5	24,7	22,1	35,5
Mayo	23,5	27,2	30,2	30,4	17,9	28,4	36,3
Junio	25,0	24,8	22,7	32,1	30,6	30,6	33,9
Julio	35,9	28,0	20,1	32,3	24,3	34,9	43,4
Agosto	26,0	25,8	23,1	28,6	24,5	34,1	32,5
Septiembre	32,1	24,5	27,8	27,8	25,0	31,4	31,8
Octubre	38,3	23,1	32,5	27,0	25,6	28,6	31,2
Noviembre	30,2	26,0	20,5	35,9	23,3	30,2	34,1
Diciembre	24,5	19,1	26,0	23,7	19,3	27,4	33,1
Enero	21,9	35,9	32,5	39,8	30,0	28,6	38,1
Febrero	40,4	27,4	32,9	34,7	32,9	39,8	34,1
Marzo	34,3	26,2	23,3	27,8	27,4	28,6	40,8
Media	29,98	25,37	35,68	31,47	25,46	30,39	35,40
D.E.	6,18	4,79	5,49	4,80	4,36	4,42	3,71
C.V.	20,61	18,89	21,38	15,26	17,12	14,55	10,47

Anexo 17. Contenido mensual de Nitrógeno total (Nt, Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	5,0	4,7	5,4	6,9	4,5	5,2	4,3
Mayo	5,4	5,0	4,7	5,6	4,5	4,1	4,7
Junio	4,7	4,5	3,7	4,7	4,3	5,4	4,5
Julio	6,0	5,0	3,7	5,2	4,5	4,7	4,5
Agosto	5,0	4,7	4,3	4,1	5,0	4,3	4,3
Septiembre	5,4	4,5	4,3	5,8	3,9	5,2	5,2
Octubre	5,4	4,3	4,1	5,2	3,7	4,3	4,7
Noviembre	5,0	5,4	4,1	5,6	4,7	4,7	5,6
Diciembre	4,5	4,7	3,9	5,4	3,9	5,0	5,8
Enero	4,7	5,0	3,9	5,2	3,9	4,1	5,0
Febrero	4,5	4,5	3,9	5,4	4,5	5,4	4,7
Marzo	4,3	4,5	3,7	4,5	3,9	4,7	4,7
Media	4,98	4,73	4,12	5,29	4,27	4,75	4,84
D.E.	0,48	0,29	0,51	0,70	0,42	0,47	0,47
c.v.	9,71	6,14	12,34	13,24	9,83	9,93	9,76

Anexo 18. Contenido mensual de Nitrógeno total (Nt,Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	5,4	4,8	7,5	7,8	4,8	6,1	4,1
Mayo	5,4	5,8	6,1	6,8	4,8	5,8	4,4
Junio	4,1	4,4	4,8	5,4	4,4	6,1	5,4
Julio	6,1	4,8	4,4	4,8	4,1	5,8	6,8
Agosto	5,1	5,1	4,1	5,8	5,8	6,1	6,8
Septiembre	7,1	6,1	7,1	7,5	7,8	8,8	6,8
Octubre	5,1	5,1	4,4	4,8	4,1	4,4	5,8
Noviembre	5,8	4,8	5,1	5,1	5,1	5,8	6,1
Diciembre	4,4	4,4	6,1	6,1	4,8	5,1	5,4
Enero	5,1	5,1	5,8	5,8	3,7	4,4	6,5
Febrero	5,4	4,4	4,1	7,5	5,4	6,8	5,4
Marzo	5,8	5,1	4,1	5,4	4,1	4,4	5,4
Media	5,41	4,99	5,30	6,06	4,90	5,81	5,75
D.E.	0,79	0,53	1,21	1,08	1,10	1,23	0,90
c.v.	14,54	10,62	22,80	17,87	22,42	21,25	15,63

Anexo 19. Contenido mensual de Fósforo extraíble (Pext.,kg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4SD	5SD	6SD	7SD	8SD	9SD	Monte
Abril	130,2	164,9	80,3	184,2	135,5	120,1	172,1
Mayo	132,7	147,4	67,8	189,5	110,5	124,9	182,7
Junio	148,6	150,2	80,8	166,0	111,6	133,0	185,6
Julio	121,4	148,0	53,0	143,2	102,9	131,7	130,7
Agosto	187,5	180,3	98,1	153,9	139,2	143,6	194,5
Septiembre	179,1	232,6	107,3	213,9	173,2	179,1	243,6
Octubre	165,0	191,0	103,6	202,1	139,9	134,3	257,4
Noviembre	239,1	267,4	129,5	259,7	235,3	167,6	305,0
Diciembre	209,7	292,5	199,9	311,1	238,1	223,8	475,0
Enero	197,4	336,1	145,3	309,7	222,0	191,4	312,5
Febrero	238,4	191,5	128,5	231,7	159,6	177,4	233,9
Marzo	145,2	198,7	89,4	173,0	151,6	142,4	201,0
Media	174,52	208,38	106,97	211,49	159,95	155,77	241,15
D.E.	40,86	61,49	39,68	56,53	48,01	31,86	91,19
C.V.	23,42	29,51	37,10	26,73	30,01	20,45	37,81

Anexo 20. Contenido mensual de Fósforo extraíble (Pext.,kg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	113,8	130,0	78,7	187,8	133,6	91,8	185,8
Mayo	113,1	144,1	61,4	187,9	103,0	116,7	189,7
Junio	103,6	124,2	75,5	191,5	135,1	119,9	174,9
Julio	84,5	127,4	49,2	169,0	111,5	122,8	155,9
Agosto	213,8	165,6	83,2	117,9	141,2	112,4	228,6
Septiembre	213,3	267,6	133,6	280,0	227,7	234,6	290,4
Octubre	169,4	149,6	103,5	184,3	143,6	121,6	236,1
Noviembre	243,8	239,7	107,2	274,4	206,9	270,4	290,2
Diciembre	133,6	241,5	181,8	271,0	203,7	172,4	402,3
Enero	124,3	328,3	151,5	408,2	210,7	138,9	367,9
Febrero	235,2	151,2	96,8	235,7	151,6	195,4	229,9
Marzo	130,5	192,7	63,8	185,3	163,7	137,6	227,7
Media	156,55	188,48	98,85	224,42	161,03	152,87	248,29
D.E.	55,94	66,02	39,59	75,65	41,43	54,57	79,33
C.V.	35,73	35,03	40,06	33,71	25,73	35,70	30,74

Anexo 21. Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	6,5	6,3	6,8	6,3	6,3	6,9	6,0
Mayo	6,9	6,7	6,7	6,7	6,8	7,3	6,9
Junio	6,7	7,1	7,6	6,9	6,7	7,2	7,1
Julio	7,4	7,5	7,8	7,9	7,4	8,0	7,0
Agosto	6,7	6,8	6,8	6,9	6,9	6,9	6,4
Septiembre	7,7	6,9	6,9	6,8	6,6	6,7	6,6
Octubre	6,6	6,6	7,0	7,0	7,0	7,1	6,3
Noviembre	7,0	6,8	7,2	7,1	6,7	6,9	6,5
Diciembre	6,7	6,6	7,0	6,8	6,5	6,9	6,4
Enero	6,7	6,4	6,7	6,3	6,4	7,1	6,5
Febrero	6,9	7,0	7,0	6,8	6,6	6,6	6,6
Marzo	6,9	6,6	7,0	6,9	6,8	7,2	6,3
Media	6,89	6,75	7,03	6,86	6,71	7,06	6,56
D.E.	0,35	0,33	0,35	0,39	0,29	0,35	0,30
CV	5,12	4,88	5,00	5,69	4,26	4,93	4,59

Anexo 22. Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	7,1	7,0	7,0	6,8	7,2	8,1	7,0
Mayo	7,6	7,2	7,1	7,2	7,4	8,3	7,6
Junio	7,8	7,3	8,0	7,4	7,0	8,2	8,1
Julio	8,5	7,8	8,5	7,9	8,1	8,6	8,1
Agosto	6,8	7,2	7,3	7,7	7,7	8,0	6,8
Septiembre	7,5	6,9	7,0	6,8	6,6	6,8	6,6
Octubre	6,9	7,3	7,4	7,5	7,8	8,2	7,4
Noviembre	7,1	7,1	7,9	7,1	6,9	7,7	7,0
Diciembre	7,1	7,3	6,5	7,1	6,8	8,0	7,1
Enero	7,6	6,7	6,6	6,5	6,7	7,8	6,7
Febrero	7,2	7,4	7,7	7,5	6,7	7,0	7,0
Marzo	7,4	6,9	7,5	7,1	7,0	7,6	6,9
Media	7,40	7,16	7,36	7,22	7,15	7,85	7,19
D.E.	0,42	0,29	0,57	0,40	0,49	0,51	0,49
CV	6,36	4,10	7,79	5,49	6,81	6,46	6,77

Anexo 23. Valores mensuales de Densidad aparente ( $D_{ap}$ ,  $Mg\ m^{-3}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	1,3	1,4	1,4	1,2	1,5	1,4	1,2
Mayo	1,2	1,3	1,5	1,2	1,3	1,3	0,9
Junio	1,1	1,1	1,3	1,0	1,1	1,2	1,0
Julio	1,2	1,1	1,3	1,2	1,3	1,1	1,1
Agosto	1,2	1,2	1,3	1,1	1,3	1,2	1,1
Septiembre	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2
Octubre	1,2	1,4	1,3	1,2	1,3	1,2	1,1
Noviembre	1,6	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4	1,0
Diciembre	1,2	1,1	1,3	1,1	1,2	1,3	1,2
Enero	1,2	1,2	1,4	1,1	1,0	1,1	1,0
Febrero	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,1
Marzo	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,0
Media	1,23	1,24	1,32	1,16	1,25	1,24	1,08
D.E.	0,14	0,12	0,07	0,08	0,14	0,09	0,09
CV	11,26	9,28	5,56	7,26	11,17	7,14	8,67

Anexo 24. Valores mensuales de Densidad aparente ( $D_{ap}$ ,  $Mg\ m^{-3}$ ), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	1,4	1,3	1,5	1,4	1,5	1,3	1,1
Mayo	1,4	1,4	1,5	1,2	1,4	1,3	1,1
Junio	1,0	1,2	1,4	1,0	1,3	1,2	1,2
Julio	1,2	1,3	1,4	1,3	1,6	1,3	1,2
Agosto	1,3	1,3	1,4	1,2	1,4	1,3	1,2
Septiembre	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3
Octubre	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2
Noviembre	1,2	1,3	1,2	1,1	1,4	1,2	1,2
Diciembre	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,1
Enero	1,4	1,3	1,7	1,2	1,5	1,4	1,1
Febrero	1,2	1,2	1,5	1,3	1,2	1,3	1,2
Marzo	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2
Media	1,27	1,28	1,40	1,23	1,38	1,27	1,16
D.E.	0,13	0,08	0,11	0,10	0,12	0,06	0,06
CV	10,01	6,03	7,88	7,75	8,91	5,08	4,92

Anexo 25. Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Otoño	29,9	31,1	35,3	26,2	28,9	33,7	40,5
Invierno	34,1	30,9	33,5	26,7	38,3	37,1	47,3
Primavera	38,0	36,8	39,8	31,5	40,4	36,5	51,3
Verano	33,1	34,5	48,2	32,2	39,1	39,1	45,3
Media	33,76	33,33	39,20	29,13	36,64	36,59	46,08
D.E.	3,34	2,86	6,54	3,12	5,26	2,25	4,49
C.V.	9,89	8,57	16,68	10,71	14,36	6,16	9,75

Anexo 26. Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Otoño	18,8	15,7	23,0	19,9	15,8	26,6	36,0
Invierno	11,3	19,2	20,5	12,7	18,1	24,8	38,2
Primavera	33,9	19,4	33,1	11,8	19,9	55,1	33,3
Verano	19,9	27,9	31,3	17,1	29,9	27,0	38,9
Media	20,97	20,55	26,98	15,35	20,91	33,36	36,59
D.E.	9,45	5,21	6,15	3,82	6,20	14,53	2,54
C.V.	45,07	25,36	22,80	24,88	29,62	43,56	6,94

Anexo 27. Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	23,6	19,2	22,7	23,8	19,9	21,3	12,5
Mayo	26,3	22,6	17,8	25,2	21,2	19,6	28,9
Junio	20,6	21,8	21,1	25,2	22,1	17,5	14,8
Julio	17,7	19,0	14,9	21,3	17,7	15,7	13,8
Agosto	14,4	18,1	11,5	14,2	15,3	15,1	10,1
Septiembre	11,5	14,2	9,9	12,5	12,7	10,7	9,1
Octubre	10,0	19,0	13,1	19,6	15,4	10,6	10,7
Noviembre	12,9	18,4	12,0	13,6	14,6	12,6	9,2
Diciembre	21,1	20,1	16,7	23,0	18,2	20,1	9,2
Enero	19,9	17,7	16,5	21,9	15,2	19,8	9,1
Febrero	10,5	13,1	12,5	14,9	13,4	10,8	8,0
Marzo	13,6	22,4	10,4	14,9	16,4	11,4	9,3
Media	16,85	18,81	14,92	19,17	16,84	15,43	12,06
D.E.	5,43	2,92	4,12	4,84	3,01	4,14	5,69
CV	32,23	15,52	27,61	25,25	17,89	26,86	47,21

Anexo 28. Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento Totoral ubicado en el centro-norte de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	4 SD	5 SD	6 SD	7 SD	8 SD	9 SD	Monte
Abril	22,3	18,4	18,3	23,5	17,9	22,1	14,5
Mayo	20,9	19,4	17,7	25,3	19,6	19,5	20,7
Junio	20,6	21,5	19,2	24,3	21,1	19,6	16,0
Julio	17,4	19,8	15,2	21,7	17,7	16,2	13,7
Agosto	14,9	19,2	13,1	17,1	16,6	14,6	11,1
Septiembre	11,5	15,3	9,7	14,9	14,5	10,0	9,7
Octubre	9,4	21,7	11,4	18,7	15,5	8,1	11,6
Noviembre	9,2	18,6	8,8	14,0	14,8	9,4	8,8
Diciembre	19,2	21,1	18,1	21,2	18,6	18,3	9,5
Enero	20,3	17,2	16,7	22,4	12,7	19,1	9,8
Febrero	10,9	12,4	10,7	13,8	12,3	10,2	8,0
Marzo	13,5	21,4	11,6	17,5	16,8	11,9	8,1
Media	15,85	18,83	14,19	19,53	16,52	14,92	11,77
D.E.	4,85	2,78	3,73	4,08	2,67	4,84	3,81
CV	30,60	14,74	26,32	20,87	16,16	32,44	32,24

Anexo 29. Contenido mensual de Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 22	6SD 11 A	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	42,2	44,0	44,7	42,4	40,5	37,3	44,4	49,0
Mayo	43,0	46,6	36,9	39,8	38,2	31,0	32,9	43,1
Junio	50,4	42,5	41,0	38,8	42,2	33,8	30,6	51,8
Julio	46,3	46,7	47,0	33,7	39,1	37,1	35,7	47,2
Agosto	40,3	40,5	36,9	38,0	34,4	30,0	30,2	40,6
Septiembre	45,4	52,3	45,3	33,4	43,2	17,6	33,4	48,5
Octubre	44,0	40,5	35,2	27,4	38,8	26,4	24,8	41,5
Noviembre	44,9	38,8	38,8	36,2	37,0	19,3	30,0	41,5
Diciembre	37,5	35,1	35,2	29,7	41,2	34,8	34,8	47,3
Enero	48,5	38,8	42,4	27,2	38,8	31,6	38,8	42,2
Febrero	47,6	56,9	49,8	38,7	43,4	30,0	35,2	53,3
Marzo	56,4	66,9	49,3	32,6	44,2	35,2	39,2	41,6
Media	45,50	45,80	41,80	34,80	40,10	30,30	34,20	45,60
D.E.	4,93	9,02	5,33	4,98	2,91	6,41	5,14	4,43
C.V.	10,80	19,70	12,74	14,30	7,26	21,12	15,06	9,70

Anexo 30. Contenido mensual de Carbono orgánico (CO, Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 22	6SD 11 A	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	30,9	35,7	36,5	38,2	45,0	25,4	36,7	42,0
Mayo	35,7	38,8	33,3	34,5	30,5	27,6	30,5	33,1
Junio	41,8	40,0	37,6	32,5	29,7	32,7	29,8	43,6
Julio	33,1	38,2	35,5	20,1	28,2	14,2	20,1	39,4
Agosto	32,3	36,3	30,7	42,3	23,9	22,3	19,9	32,3
Septiembre	44,5	36,3	25,0	23,9	28,0	25,0	30,5	50,3
Octubre	42,0	25,4	42,0	19,7	21,0	16,6	30,7	38,0
Noviembre	35,3	33,7	25,4	23,9	23,9	14,0	19,7	33,7
Diciembre	19,5	25,0	30,5	26,7	23,9	25,4	30,7	31,9
Enero	36,5	47,7	39,6	26,4	33,5	33,7	34,3	46,3
Febrero	33,9	42,4	47,7	32,4	36,7	36,3	31,1	45,3
Marzo	46,5	28,0	45,1	26,8	46,6	33,9	25,6	51,0
Media	36,00	35,60	35,70	28,90	30,90	25,60	29,30	40,60
D.E.	7,30	6,80	7,20	7,10	8,30	7,70	5,70	6,90
C.V.	20,10	19,10	20,20	24,50	26,70	30,30	20,20	17,00

Anexo 31. Contenido mensual de Nitrógeno total (Nt,Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20 C	5SD 20D	6SD 11 A	6SD 22	7 SD 11B	7 SD 17	Monte
Abril	4,5	5,1	6,6	3,3	5,4	4,2	3,0	4,2
Mayo	5,5	6,4	5,9	4,6	5,0	4,4	3,7	5,2
Junio	6,8	6,4	5,7	4,7	4,6	4,2	3,7	5,4
Julio	5,1	6,2	4,4	4,5	4,6	4,6	4,4	5,2
Agosto	4,5	5,5	4,0	3,6	3,7	4,2	3,7	4,8
Septiembre	5,4	5,5	4,8	5,0	4,3	3,7	3,7	5,7
Octubre	5,8	5,5	4,8	5,2	5,1	5,1	3,5	4,4
Noviembre	5,2	5,7	4,4	5,7	4,6	4,0	4,0	5,0
Diciembre	4,3	4,4	4,8	4,3	4,3	4,4	4,0	4,6
Enero	5,3	5,3	5,3	5,5	4,3	3,3	4,0	4,1
Febrero	4,3	5,5	4,6	4,0	4,0	3,5	3,5	5,1
Marzo	4,6	5,3	5,3	3,4	4,1	4,4	4,4	4,7
Media	5,11	5,57	5,05	4,48	4,50	4,17	3,80	4,87
D.E.	0,73	0,57	0,74	0,80	0,49	0,49	0,39	0,49
c.v.	14,37	10,20	14,64	17,76	10,85	11,82	10,35	10,04

Anexo 32. Contenido mensual de Nitrógeno total (Nt,Mg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 22	6SD 11 A	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	3,5	4,6	4,2	5,4	5,1	5,3	4,6	5,3
Mayo	5,8	7,4	6,3	6,3	7,0	6,7	5,6	6,3
Junio	6,5	7,0	6,0	5,4	4,7	3,9	4,6	8,6
Julio	4,9	5,6	5,6	5,1	6,8	6,0	4,6	5,1
Agosto	5,1	5,6	5,3	4,9	6,7	4,9	5,3	5,6
Septiembre	6,3	6,0	4,9	5,1	4,2	4,2	5,6	7,0
Octubre	6,5	2,8	7,0	6,3	5,3	6,0	4,6	5,8
Noviembre	4,7	5,3	6,3	5,3	6,1	5,3	6,0	4,6
Diciembre	4,7	4,9	4,2	5,6	5,8	6,0	4,9	6,1
Enero	6,3	6,3	7,7	5,6	4,9	4,2	4,9	4,2
Febrero	4,7	6,3	5,3	5,3	5,1	4,6	5,3	5,4
Marzo	6,0	6,0	6,3	5,4	4,4	4,6	5,3	5,6
Media	5,41	5,63	5,75	5,47	5,50	5,10	5,08	5,79
D.E.	0,94	1,20	1,06	0,44	0,96	0,88	0,48	1,16
c.v.	17,35	21,29	18,45	8,07	17,44	17,16	9,53	19,95

Anexo 33. Contenido mensual de Fósforo extraíble (Pext.,kg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 22	6SD 11 A	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	40,2	114,4	126,9	72,2	91,4	32,2	55,6	61,4
Mayo	78,8	140,1	101,1	80,3	109,1	31,7	29,0	76,1
Junio	78,0	126,0	93,3	83,1	76,8	39,4	36,2	74,8
Julio	64,7	121,1	82,5	81,8	137,5	63,6	75,8	51,6
Agosto	51,4	227,6	102,9	28,6	92,1	31,9	42,4	21,2
Septiembre	108,8	170,4	106,2	104,6	67,1	22,8	32,0	127,9
Octubre	145,0	140,5	54,4	84,6	54,0	40,8	96,1	68,1
Noviembre	178,6	332,8	151,5	87,7	120,2	30,8	49,5	84,1
Diciembre	56,8	84,8	116,1	61,2	92,5	29,1	54,2	100,9
Enero	122,6	272,0	173,5	67,5	55,8	46,8	55,8	100,0
Febrero	92,7	103,5	139,0	138,9	42,4	36,3	47,7	110,8
Marzo	114,6	158,9	130,2	85,2	26,3	50,1	66,5	89,0
Media	94,35	166,02	114,80	81,29	80,43	37,95	53,40	80,48
D.E.	41,18	74,48	32,09	25,92	32,95	11,14	19,13	28,56
c.v	43,65	44,86	27,95	31,88	40,97	29,35	35,83	35,49

Anexo 34. Contenido mensual de Fósforo extraíble (Pext.,kg ha<sup>-1</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 22	6SD 11 A	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	19,3	33,4	164,6	62,1	102,0	65,6	59,9	53,5
Mayo	41,7	93,6	64,9	70,8	139,1	51,7	42,5	63,5
Junio	47,8	93,9	80,8	69,7	96,5	48,1	41,6	63,9
Julio	22,1	56,2	36,2	70,4	143,8	65,1	48,7	50,8
Agosto	39,2	186,5	41,4	26,4	113,4	44,7	42,6	31,0
Septiembre	48,3	133,7	70,7	59,8	81,8	37,5	35,7	32,9
Octubre	69,8	111,0	59,3	77,0	42,1	45,4	152,9	58,4
Noviembre	77,5	202,4	68,6	57,2	104,0	38,9	46,5	69,7
Diciembre	64,1	41,7	82,7	69,5	49,1	58,8	41,7	69,5
Enero	96,3	234,9	131,2	54,5	58,2	73,2	56,8	70,0
Febrero	34,3	115,7	130,2	98,5	39,7	37,8	39,0	61,0
Marzo	33,8	132,2	87,4	81,2	25,7	80,5	40,5	49,6
Media	49,51	119,61	84,84	66,41	82,96	53,94	54,02	56,16
D.E.	23,19	63,19	38,57	17,33	39,71	14,51	31,95	13,29
c.v	46,83	52,83	45,46	26,10	47,87	26,90	59,14	23,67

Anexo 35. Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 22	6SD 11 A	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	7,8	7,8	6,8	6,6	6,5	6,8	6,8	6,6
Mayo	7,9	7,6	7,4	7,0	7,0	7,1	7,1	7,4
Junio	7,9	7,9	7,9	7,2	6,8	6,9	7,0	7,5
Julio	7,2	7,4	7,3	6,8	6,9	7,4	7,3	6,9
Agosto	7,3	7,2	7,6	7,4	6,8	7,5	7,3	7,7
Septiembre	7,3	7,0	7,3	7,4	6,8	7,0	6,8	6,9
Octubre	7,4	7,7	7,8	7,2	7,0	7,0	8,1	7,0
Noviembre	7,1	6,8	7,6	7,6	6,7	6,4	6,8	6,6
Diciembre	6,9	7,0	7,3	6,9	6,4	6,6	6,7	6,7
Enero	6,6	6,6	6,1	6,1	6,5	6,1	6,0	7,3
Febrero	6,9	7,8	6,8	6,6	6,7	7,0	6,9	6,5
Marzo	6,5	6,7	6,3	6,6	6,5	6,8	6,7	6,6
Media	7,23	7,29	7,18	6,95	6,72	6,88	6,96	6,98
D.E.	0,47	0,47	0,57	0,43	0,20	0,39	0,49	0,41
C.V.	6,49	6,42	7,94	6,24	3,03	5,67	7,11	5,84

Anexo 36. Valores mensuales de pH, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 22	6SD 11 A	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	8,5	8,4	6,5	6,9	6,9	7,0	6,8	7,6
Mayo	8,2	8,3	7,9	7,5	7,5	7,3	7,6	7,9
Junio	8,2	8,2	8,3	7,5	6,9	6,8	7,0	7,7
Julio	8,0	8,1	7,6	7,7	7,7	8,1	7,4	7,4
Agosto	7,4	7,5	8,0	8,0	6,8	7,6	7,5	7,7
Septiembre	7,6	7,6	8,1	7,4	7,0	7,1	7,0	6,9
Octubre	7,8	8,4	7,7	7,3	7,1	7,3	8,5	7,3
Noviembre	7,6	8,2	8,1	7,8	7,0	6,8	7,0	6,9
Diciembre	7,6	7,9	7,9	7,5	6,6	7,2	6,9	7,1
Enero	6,5	6,6	6,4	6,3	6,4	6,3	6,4	7,0
Febrero	7,6	7,8	7,2	6,5	7,5	7,1	6,9	6,9
Marzo	6,8	7,4	6,7	6,7	6,8	6,9	7,0	6,6
Media	7,64	7,87	7,51	7,24	7,02	7,13	7,16	7,24
D.E.	0,57	0,53	0,67	0,52	0,39	0,45	0,53	0,42
C.V.	7,44	6,75	8,96	7,23	5,49	6,38	7,36	5,79

Anexo 37. Valores mensuales de Densidad aparente ( $D_{ap}$ , Mg m<sup>-3</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20D	6SD 11A	6SD 22	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	1,2	1,2	1,1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1
Mayo	1,2	1,2	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4	1,3
Junio	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,3	1,1
Julio	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,2	1,7
Agosto	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Septiembre	1,2	1,1	1,0	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2
Octubre	1,2	1,1	0,9	1,3	1,2	1,3	1,2	1,1
Noviembre	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,2
Diciembre	1,3	1,3	1,3	1,5	1,2	1,4	1,4	1,3
Enero	1,2	1,1	0,8	1,2	1,3	1,1	1,1	1,2
Febrero	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
Marzo	1,2	1,1	1,2	1,1	1,3	1,3	1,3	1,2
Media	1,22	1,14	1,11	1,23	1,24	1,24	1,25	1,24
D.E.	0,06	0,07	0,16	0,13	0,06	0,12	0,09	0,16
CV	4,76	5,75	14,29	10,87	5,20	9,60	7,36	13,33

Anexo 38. Valores mensuales de Densidad aparente ( $D_{ap}$ , Mg m<sup>-3</sup>), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20D	6SD 11A	6SD 22	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	1,1	1,2	1,1	1,0	1,2	1,0	1,3	1,1
Mayo	1,3	1,2	1,4	1,4	1,4	1,3	1,5	1,4
Junio	1,2	1,2	1,1	1,1	1,3	1,1	1,1	1,2
Julio	1,2	1,1	1,1	1,3	1,1	1,2	1,2	1,2
Agosto	1,1	1,1	1,3	1,2	1,2	1,3	1,3	1,0
Septiembre	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1
Octubre	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1
Noviembre	1,1	1,0	1,2	1,1	1,3	1,2	1,2	1,1
Diciembre	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	1,3	1,3	1,4
Enero	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1
Febrero	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2
Marzo	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,1	1,2
Media	1,20	1,16	1,18	1,19	1,22	1,22	1,24	1,17
D.E.	0,07	0,07	0,09	0,11	0,10	0,08	0,10	0,11
CV	5,97	5,67	7,90	8,91	7,95	6,79	8,05	9,79

Anexo 39. Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2 SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 11A	6SD 22	7SD 11 B	7SD 17	Monte
Otoño	23,3	30,3	19,8	29,1	28,5	12,8	24,4	35,1
Invierno	25,0	27,8	27,9	26,6	35,8	35,0	25,9	33,5
Primavera	25,5	23,2	18,2	28,0	42,1	11,9	18,3	26,1
Verano	29,1	30,3	36,9	31,9	23,8	27,8	19,3	39,7
Media	25,69	27,91	25,68	28,88	32,56	21,88	21,94	33,58
D.E.	2,44	3,34	8,57	2,26	8,07	11,38	3,74	5,64
C.V.	9,49	11,95	33,39	7,83	24,78	52,00	17,06	16,88

Anexo 40. Valores estacionales de Estabilidad estructural en agua (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2 SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 11A	6SD 22	7SD 11 B	7SD 17	Monte
Verano	21,0	24,8	25,5	23,3	16,9	14,2	29,1	23,5
Otoño	12,6	17,1	10,9	7,9	8,9	12,6	22,2	13,3
Invierno	17,3	15,9	17,5	13,2	26,1	11,9	44,1	14,1
Primavera	15,9	7,2	7,2	10,5	20,5	8,8	10,6	11,4
Media	16,70	16,25	15,27	13,70	18,11	11,86	26,51	15,59
D.E.	3,48	7,19	8,03	6,73	7,21	2,26	14,03	5,41
C.V.	20,86	44,23	52,56	49,13	39,79	19,03	52,92	34,74

Anexo 41. Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0 - 0,20 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 22	6SD 11 A	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	12,9	21,5	14,3	16,5	23,9	13,1	17,0	9,4
Mayo	19,2	20,4	25,5	24,9	24,2	21,9	11,0	22,5
Junio	18,2	15,9	19,5	22,0	19,6	19,5	15,9	17,4
Julio	13,1	13,9	18,3	19,5	17,1	16,2	14,1	13,2
Agosto	12,0	12,9	14,5	15,1	16,7	18,3	16,0	10,0
Septiembre	10,0	10,4	11,6	11,2	14,2	10,6	10,9	7,9
Octubre	9,0	18,5	13,6	18,8	15,1	18,0	11,0	15,0
Noviembre	9,5	13,5	15,3	11,9	15,5	10,7	10,3	8,0
Diciembre	22,2	20,9	23,5	23,7	26,2	22,9	21,4	20,5
Enero	12,2	7,1	21,8	14,8	12,3	13,3	8,0	6,6
Febrero	9,2	12,6	14,2	13,3	11,7	16,3	8,3	7,6
Marzo	20,1	20,1	18,8	14,4	21,4	23,7	21,7	18,9
Media	13,95	15,63	17,57	17,16	18,15	17,04	13,80	13,07
D.E.	4,70	4,65	4,36	4,59	4,85	4,52	4,66	5,62
CV	33,66	29,72	24,80	26,72	26,72	26,51	33,76	42,99

Anexo 42. Contenido mensual de Humedad gravimétrica (%), media, desviación estándar y coeficiente de variación en los distintos tratamientos y en el monte en el establecimiento La Lagunilla ubicado en el centro de Córdoba, profundidad 0,20 - 0,50 m en el período abril 2003-marzo 2004.

	2SD	5SD 20C	5SD 20 D	6SD 22	6SD 11 A	7SD 11B	7SD 17	Monte
Abril	15,5	16,0	9,0	14,8	22,6	13,1	18,5	10,2
Mayo	17,5	20,6	20,9	19,3	15,2	19,3	17,5	18,4
Junio	18,4	15,8	18,6	18,9	20,0	20,7	19,2	16,8
Julio	16,5	14,9	18,7	17,2	20,0	17,8	15,9	13,4
Agosto	16,6	13,7	16,3	16,0	17,6	18,0	16,3	11,0
Septiembre	12,8	10,9	14,3	15,8	16,6	12,1	10,4	9,3
Octubre	13,3	14,4	15,1	17,2	17,7	15,1	12,9	15,4
Noviembre	13,3	13,9	17,0	13,8	17,4	11,9	13,8	9,4
Diciembre	19,6	15,1	23,2	22,4	24,8	21,4	23,5	19,8
Enero	14,0	9,5	21,4	17,2	14,7	16,3	8,0	13,9
Febrero	10,6	11,6	14,7	11,0	11,5	15,6	8,3	9,0
Marzo	20,6	11,1	15,4	19,7	16,4	13,1	21,7	14,1
Media	15,71	13,96	17,03	16,92	17,87	16,18	15,49	13,39
D.E.	3,01	2,96	3,84	3,00	3,57	3,28	4,98	3,69
CV	19,16	21,24	22,53	17,71	19,98	20,28	32,18	27,56