

SISTEMAS DE LABRANZA Y ROTACIÓN DE CULTIVOS EN UN  
ARGIUDOL HIPERTÉRMICO.  
EFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,  
Área Ciencia del Suelo, Orientación en Manejo de Suelos*

**Federico Antonio Paredes**  
Ingeniero Agrónomo - Universidad de Morón - 2003

Lugar de trabajo: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
Estación Experimental Agropecuaria Corrientes



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano  
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires





## COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis  
Humberto Carlos Dalurzo  
Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Nordeste  
Magister Scientiae en Ciencias del Suelo de la Universidad de Buenos Aires  
Doctorado en Suelos, Agua y Medioambiente, Universitat de Lleida

Consejero de Estudios  
Sara Vazquez  
Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional del Nordeste  
Doctora en Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Nordeste

Consejero de Estudios  
Guillermo Alberto Studdert  
Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Mar del Plata  
Master of Science in Agronomy, University of Nebraska  
Doctorado en Sist. Agríc., Forest. y Alimentarios, Universitat de Lleida

## JURADO DE TESIS

DIRECTOR  
Humberto Carlos Dalurzo  
Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Nordeste  
Magister Scientiae en Ciencias del Suelo de la Universidad de Buenos Aires  
Doctorado en Suelos, Agua y Medioambiente, Universitat de Lleida

JURADO  
Carina Rosa Álvarez  
Ingeniera Agrónoma, Universidad de Buenos Aires  
Doctora en Ciencias Agropecuarias, Universidad de Buenos Aires

JURADO  
Marcelo Germán Wilson  
Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Entre Ríos  
Doctor en Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Universidad de La Coruña

Fecha de defensa de la tesis: 10 de Septiembre de 2013



Dedicado a las personas que más quiero: a mis hijos Santiago y Facundo; a Patricia mi esposa y compañera; a mis padres Carolina y Antonio; a mi hermano y amigo Rodrigo, y a mi ahijada Catalina; a Graciela y Héctor, a Verónica, Graciela, Héctor, Soledad y Micaela.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mi querida familia: Patricia, Rodrigo, Carolina, Antonio, Graciela y Héctor, Verónica, Graciela (h), Héctor (h) y Soledad, por su comprensión, apoyo y confianza brindada durante esta etapa de mi carrera.

A mis consejeros, los Doctores Humberto, Guillermo y Sara, por la paciencia, honestidad y empeño puesto en mejorar mi formación.

A mis compañeros y amigos del INTA EEA Corrientes: Hugo R. Bogado, Silvina L. Esparza, Rubén Meza (q.e.p.d.), Marcos A. Talabera, Antonio Mc Cargo y Marcos Colman, por los innumerables esfuerzos realizados durante la actividad de campo y por haberme facilitado la realización de este trabajo.

A mis compañeros de la cátedra Edafología de la FCA-UNNE: Ing. Agr. (Dra.) Carolina Fernández López, Ing. Agr. Silvia A. Arzuaga, Ing. Agr. Stella Maris Contreras, Ing. Agr. Marcela D. Toledo, al Ing. Agr. (Dr.) Juan Prause y a Horacio Falcón, por recibirme, aceptarme y acompañarme en las tareas de laboratorio.

Al Ing. Agr. Hugo W. Roig por el apoyo brindado como director de la EEA Corrientes para la realización de los trabajos.

A todos los alumnos de la carrera Ingeniería Agronómica de la FCA-UNNE, hoy colegas, que contribuyeron en la toma de muestras, determinaciones y análisis de laboratorio durante sus pasantías de pre-grado, especialmente al Ing. Agr. Miguel Traut y a la Ing. Agr. Tania Soledad Rey Montoya.

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	xii
ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	18
1. Introducción.....	19
1.1. Antecedentes.....	21
1.1.1. Cobertura de suelo y biomasa en superficie.....	22
1.1.2. Densidad aparente.....	24
1.1.3. Espacio poroso.....	25
1.1.4. Resistencia mecánica.....	26
1.1.5. Estabilidad de agregados.....	28
1.1.6. Infiltración.....	29
1.1.7. Rendimiento de los cultivos.....	30
1.2. Hipótesis.....	31
1.3. Objetivos.....	32
Capítulo 2. MATERIALES Y METODOS.....	33
2.1. Sitio de realización del trabajo.....	34
2.2. Caracterización del área de estudio.....	34
2.2.1. Caracterización climática.....	34
2.2.2. Caracterización del ambiente.....	35
2.2.3. Caracterización edáfica.....	35
2.2.4. Ensayo exploratorio de uniformidad.....	36
2.3. Diseño experimental y tratamientos.....	37
2.4. Conducción de los tratamientos.....	38
2.5. Muestreos y determinaciones.....	39
2.5.1. Cobertura del suelo.....	39
2.5.2. Biomasa en superficie.....	40
2.5.3. Densidad aparente.....	40
2.5.4. Porosidad total.....	40



2.5.5. Espacio aéreo a capacidad de campo.....	40
2.5.6. Resistencia mecánica.....	41
2.5.7. Estabilidad de agregados.....	42
2.5.8. Infiltración básica.....	43
2.5.9. Rendimiento de los cultivos.....	44
2.6. Metodología estadística de análisis de resultados.....	44
2.6.1. Análisis temporal.....	44
2.6.2. Análisis por momento de observación.....	44
Capítulo 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
3.1. Cobertura del suelo.....	46
3.2. Biomasa en superficie.....	50
3.3. Densidad aparente.....	54
3.4. Porosidad total.....	60
3.5. Espacio aéreo a capacidad de campo.....	65
3.6. Resistencia mecánica.....	69
3.7. Estabilidad de agregados.....	78
3.8. Infiltración básica.....	86
3.9. Rendimiento de los cultivos.....	90
Capítulo 4. CONCLUSIONES.....	97
4.1. Consideraciones finales.....	98
4.2. Conclusiones.....	102
BIBLIOGRAFIA.....	103
APÉNDICE.....	114

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.2.3.1. Datos analíticos del suelo empleado en el ensayo (Escobar et al., 1996).....	35
Cuadro 2.3.1. Tratamientos evaluados. Sistemas de labranza: LC=labranza convencional, LR=labranza reducida, SD=siembra directa. Secuencia: MAV=maíz-avena negra-algodón-avena negra, MD=maíz-descanso-algodón-descanso, AAV=algodón-avena negra-maíz-avena negra, AD=algodón-descanso-maíz-descanso.....	37
Cuadro 3.1.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la cobertura del suelo con las interacciones entre los efectos. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos. Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.....	47
Cuadro 3.2.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la biomasa en superficie con las interacciones entre los efectos. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos. Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.....	50
Cuadro 3.3.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la densidad aparente con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos. Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.....	54
Cuadro 3.4.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la porosidad total con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos. Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.....	60
Cuadro 3.5.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo del espacio aéreo a capacidad de campo con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.....	65
Cuadro 3.5.2. Análisis de la varianza del espacio aéreo a capacidad de campo para la profundidad 0-7 cm sobre los efectos principales (SL=sistema de labranza; Secuencia=secuencia de cultivo) y las interacciones por momento de	66

observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).	
Cuadro 3.5.3. Comparación de medias del espacio aéreo a capacidad de campo para la profundidad 0-7 cm sobre los niveles de los efectos principales (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa; MAV=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAV=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).....	67
Cuadro 3.5.4. Análisis de la varianza del espacio aéreo a capacidad de campo en la profundidad 7-20 cm para los efectos principales (SL=sistema de labranza; Secuencia=secuencia de cultivo) y su interacción por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).....	68
Cuadro 3.5.5. Comparación de medias del espacio aéreo a capacidad de campo para la profundidad 7-20 cm sobre los niveles de los efectos principales (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa; MAV=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAV=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).....	68
Cuadro 3.6.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo del contenido de agua presente a la medición de la RM con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm, 7-20 cm y 20-30 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.....	70
Cuadro 3.6.2. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la resistencia mecánica con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm, 7-20 cm y 20-30 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.....	70
Cuadro 3.7.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la estabilidad de	79

agregados con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.....

Cuadro 3.7.2. Análisis de la varianza de la estabilidad de agregados en la profundidad 0-7 cm para los efectos principales (SL=sistema de labranza; Secuencia=secuencia de cultivo) y su interacción por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). ..... 79

Cuadro 3.7.3. Comparación de medias de la estabilidad de agregados para la profundidad 0-7 cm sobre los niveles de los efectos principales (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa; MAV=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3)..... 80

Cuadro 3.7.4. Análisis de la varianza de la estabilidad de agregados en la profundidad 7-20 cm para los efectos principales (SL=sistema de labranza; Secuencia=secuencia de cultivo) y su interacción por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3)..... 81

Cuadro 3.7.5. Comparación de medias de la estabilidad de agregados para la profundidad 7-20 cm sobre los niveles de los efectos principales (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa; MAV=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3)..... 82

Cuadro 3.8.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la infiltración básica con las interacciones entre los efectos. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo..... 86

Cuadro 3.9.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo del rendimiento de algodón y maíz con las interacciones entre los efectos en los tres ciclos productivos. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.....	90
Cuadro 3.9.2. Análisis de la varianza del rendimiento de algodón y maíz con las interacciones para los efectos principales (SL=sistema de labranza; Secuencia=secuencia de cultivo) y su interacción en el primero (Co1), segundo (Co2) y tercer (Co3) año.....	91
Cuadro 3.9.3. Rendimiento de fibra del cultivo de algodón y de grano de maíz agrupado sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) en el primero (Co1), segundo (Co2) y tercer (Co3) año.....	93
Cuadro A. Descripción del perfil de suelo del ensayo.....	115
Cuadro B. Estadística descriptiva de las variables de suelo en el ensayo preliminar.	115
Cuadro D. Número de plantas a plena emergencia y a cosecha, ciclo completo y precipitaciones registradas durante el ciclo de los cultivos de maíz y algodón....	116
Cuadro E. Contenidos de carbono orgánico total (COT), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (H) y relaciones AH/AF y AH+AF/H en los espesores 0-7 cm y 7-20 cm para los tres sistemas de labranza (SL): labranza convencional (LC), reducida (LR) y siembra directa (SD). Muestras tomadas en Agosto de 2011. Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas, test Duncan ( $\alpha=0,05$ ).....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1.1. Evolución de la cobertura del suelo agrupado por sistemas de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). .....	48
Figura 3.1.2. Evolución de la cobertura del suelo agrupado por secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).....	49
Figura 3.2.1. Evolución de la biomasa en superficie agrupado por sistemas de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). .....	51
Figura 3.2.2. Evolución de la biomasa en superficie agrupado por secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).. .....	52
Figura 3.3.1. Evolución de la densidad aparente en la profundidad 0-7 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).....	56
Figura 3.3.2. Evolución de la densidad aparente en la profundidad 7-20 cm	58

agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).....

Figura 3.4.1. Evolución de la porosidad total en la profundidad 0-7 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3)..... 61

Figura 3.4.2. Evolución de la porosidad total en la profundidad 7-20 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3)..... 63

Figura 3.6.1. Evolución de la resistencia mecánica en la profundidad 0-7 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3)..... 72

Figura 3.6.2. Evolución de la resistencia mecánica en la profundidad 7-20 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza 74

reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).....

Figura 3.6.3. Evolución de la resistencia mecánica en la profundidad 20-30 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3)..... 76

Figura 3.8.1. Evolución de la infiltración básica agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3)..... 88

Figura C. Precipitaciones acumuladas mensuales durante la experiencia..... 116



## ABREVIATURAS

A	Algodón
Av	Avena negra
AAv	Secuencia de cultivos: algodón, avena negra, maíz, avena negra
AD	Secuencia de cultivos: algodón, descanso, maíz, descanso
BM	Biomasa en superficie
Co1	Cosecha del primer ciclo productivo
Co2	Cosecha del segundo ciclo productivo
Co3	Cosecha del tercer ciclo productivo
Cob	Cobertura del suelo
D	Descanso
Da	Densidad aparente
EA	Estabilidad de agregados
EaCC	Espacio aéreo a capacidad de campo
Ib	Infiltración básica
LC	Labranza convencional
LR	Labranza reducida
M	Maíz
MAv	Secuencia de cultivos: maíz, avena negra, algodón, avena negra
MD	Secuencia de cultivos: maíz, descanso, algodón, descanso
ns	Sin diferencias significativas.
PT	Porosidad total
RM	Resistencia mecánica
Rto	Rendimiento de los cultivos
SD	Siembra directa
Si1	Siembra del primer ciclo productivo
Si2	Siembra del segundo ciclo productivo
Si3	Siembra del tercer ciclo productivo
SI	Situación inicial
SL	Sistema de labranza

## RESUMEN

## SISTEMAS DE LABRANZA Y ROTACIÓN DE CULTIVOS EN UN ARGIUJOL HIPERTÉRMICO. EFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.

Los métodos tradicionales usados por pequeños agricultores de Corrientes ocasionaron la degradación de los suelos. Se hipotetizó que la siembra directa (SD) y la avena negra (Av) como cultivo de cobertura incrementan la densidad aparente (Da) y la resistencia mecánica (RM) sin reducir el rendimiento (Rto) del maíz y algodón, que aumentan la estabilidad de agregados (EA), la cobertura de suelo (Cob) y los rastrojos en superficie (BM), mejorando la infiltración (Ib), la porosidad total (PT) y el espacio aéreo a capacidad de campo (EaCC). El objetivo fue establecer el sistema de labranza y secuencia de cultivos que mejoran las propiedades físicas de un Argiudol hipertérmico, y evaluar los cambios en el tiempo. Se instaló un ensayo con diseño en parcelas completamente aleatorizadas con cuatro repeticiones y arreglo factorial 3x4: sistema de labranza (SL), con tres niveles: labranza convencional (LC), reducida (LR) y SD; y secuencia de cultivos, con maíz (M), algodón (A), descanso (D) y Av, con cuatro niveles: M-Av-A-Av, M-D-A-D, A-Av-M-Av y A-D-M-D. Se realizó un ANOVA en la situación inicial, a la siembra y cosecha de los cultivos durante 2007-10 y un ANOVA de medidas repetidas en el tiempo. Los efectos de los SL en las propiedades físicas fueron más evidentes que los ocasionados por las secuencias y Av. La SD mantuvo los rendimientos afectando poco las condiciones superficiales. Durante tres ciclos la SD mejoró la protección de la superficie del suelo (BM y Cob), produjo mayor EA que LC y LR, y mejoró la Ib. Un incremento progresivo de la Da y mayor RM se dio bajo SD, afectando la PT y el EaCC pero sin comprometer el rendimiento de los cultivos. Los resultados sugieren que la SD puede ser usada como alternativa al manejo tradicional por pequeños agricultores de Corrientes con suelos de régimen hipertérmico.

Palabras clave: siembra directa – infiltración – estabilidad de agregados – resistencia mecánica – densidad aparente – porosidad – cobertura de suelos

## ABSTRACT

## TILLAGE SYSTEMS AND CROP ROTATION IN A HYPERTHERMIC ARGIUOLL. PHYSICAL PROPERTIES EFFECTS.

Corrientes small-farmer's traditional agriculture practices caused soil degradation. The hypothesis tested on this work were that no-tillage (NT) and black oats (Av) as a cover crop increased surface bulk density (Da) and soil mechanical resistance (RM) without reducing corn and cotton yield (Rto), which increase aggregate stability (EA), percent of soil cover (Cob) and surface residues (BM), improving infiltration (Ib), total porosity (PT) and air at field capacity (EaCC). The objectives were to establish the tillage and crop rotation system's to improve the physical properties of a hyperthermic Argiudoll and assess changes over time. A completely randomized plot design was used with four replications in a 3x4 factorial arrangement: tillage system, with three levels: conventional tillage (LC), reduced (LR) and SD; and a crop sequence, combination of corn (M), cotton (A), fallow (D) and Av, with four levels: M-Av-A-Av, M-D-A-D, Av-A-M-Av and A-D-M-D. ANOVA was performed at the start of crops planting and harvesting during 2007-10 and the ANOVA repeated measures analysis. The SL effects on the soil physical properties were more evident than crop rotation and Av. The SD maintained crop yields little affected the soil surface physical condition. SD for three cycles improved the soil surface protection (BM and Cob) produced greater EA than LC and LR, and improved Ib. A progressive increase in Da, close to the critical values, and biggest RM occurred under SD, affecting the PT and the EaCC without compromising the crops yields. The results suggest that SD can be used as an alternative to traditional management by Corrientes small-farmer's whit hyperthermic regime soils.

Keywords: no-tillage - infiltration - aggregate stability – soil strength – soil bulk density  
- porosity - soil cover



## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

### 1. Introducción

#### 1.1. Antecedentes

1.1.1. Cobertura de suelo y biomasa en superficie

1.1.2. Densidad aparente

1.1.3. Espacio poroso

1.1.4. Resistencia mecánica

1.1.5. Estabilidad de agregados

1.1.6. Infiltración

1.1.7. Rendimiento de los cultivos

#### 1.2. Hipótesis

#### 1.3. Objetivos



## 1. INTRODUCCIÓN

La Provincia de Corrientes dispone de condiciones agroambientales favorables para el desarrollo de una gran cantidad de cultivos. Las especies anuales de verano, como algodón (*Gossipium hirsutum* L.), maíz (*Zea mays* L.), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y soja (*Glycine max* (L.) Merr.), cuentan con veranos largos, buena radiación solar y temperaturas elevadas para su desarrollo. No obstante, ciertas condiciones pueden condicionar la producción y comprometer la actividad agrícola si no se toman medidas adecuadas de manejo. Por un lado, la ocurrencia de precipitaciones durante la primavera dificulta las operaciones de labranza e implantación de los cultivos estivales, mientras que las sequías temporarias pueden ocasionar mermas en los rendimientos, y los inviernos suaves y cortos limitan las opciones de cultivos durante este ciclo (Escobar *et al.*, 1996). Es por ello que el ajuste de prácticas de manejo conservacionista para dichas condiciones agroambientales resulta de gran importancia en la provincia, y más aún para los pequeños agricultores familiares.

Dentro de las diferentes estructuras productivas a nivel provincial, un sector representativo es el de los pequeños agricultores familiares. Estos productores reúnen ciertas características comunes, como el acceso limitado al capital y el trabajo familiar como rasgo definitorio (Tsakoumagkos, 2008). En cuanto a los aspectos productivos se mencionan la dificultad de acceso a la información y a las tecnologías y los sistemas de producción basados en métodos tradicionales con bajo nivel de tecnificación, y frecuentemente ubicados en ambientes frágiles (con limitaciones para la producción agrícola), sobre lotes con extensa historia agrícola (Ligier, 1997; Bosch *et al.*, 1999; INTA, 2002).

La distribución de los cultivos típicos varía según las zonas en la que se encuentran, siendo el maíz un cultivo estratégico para el área norte, el cual se emplea para consumo en la finca, para la agroindustria familiar y para la comercialización de excedentes, mientras que el algodón es uno de los cultivos de renta característicos.

En estos sistemas productivos, la aplicación de prácticas de manejo inadecuadas (como el laboreo excesivo, a destiempo y realizado a la misma profundidad de manera superficial) durante largos períodos ocasionó la degradación de los suelos agrícolas. Las labranzas son una de las prácticas que más influyen en la alteración de las propiedades físicas de los estratos superficiales de los suelos ocasionando cambios

espaciales y temporales. Por ello, laboreos incorrectos tornan más riesgosa la producción al provocar el deterioro del suelo, uno de los recursos más importantes para los agricultores.

Una de las expresiones más evidentes del problema para los agricultores se observa en los rendimientos de los cultivos. El desafío consiste en lograr, a través de un manejo sustentable del suelo, mejorar los rendimientos de los cultivos locales y mantenerlos estables en los sucesivos ciclos productivos, principalmente en esquemas basados en bajo o nulo uso de insumos, como en el de los pequeños agricultores de la región.

La problemática expuesta deja de manifiesto la necesidad de identificar, de una manera clara, las prácticas agronómicas que contribuyan a mejorar los rendimientos y a la vez que mantengan la calidad del recurso suelo. Esto se relaciona con el concepto de agricultura sustentable, que involucra aspectos como el bienestar de los productores que la implementan, el mantenimiento de los recursos naturales y la aceptación social de las prácticas. En este sentido, el manejo del suelo, como recurso no-renovable, juega un rol fundamental en la agricultura, especialmente entre los pequeños agricultores. De allí surge el interés en una mejor comprensión de las implicancias del empleo de diferentes prácticas agrícolas sobre el suelo.

Como solución a esta situación, se han propuesto diversas alternativas a las prácticas tradicionales de manejo. Entre ellas se encuentran la rotación de cultivos, el empleo de variedades adecuadas al nivel tecnológico, la incorporación de cultivos de cobertura y abonos verdes, la disminución del número de operaciones de labranza y la siembra sin remoción sobre suelo cubierto (Monegat, 1991; Evers & Agostini, 2001; Erenstein, 2003). Si bien hay abundante información a nivel nacional e internacional sobre los efectos en los suelos y los cultivos por la aplicación de estas prácticas, solas o en combinación, aún hay escasa evidencia debidamente documentada para las condiciones de producción de los pequeños agricultores de Corrientes.

El suelo debe proveer condiciones adecuadas para el desarrollo de las plantas, y tanto las secuencias de cultivos como el tipo y la intensidad de las labranzas son factores que modifican las propiedades físicas superficiales del suelo de manera directa e indirecta (Hamblin, 1985). Dependiendo de la dirección y de la magnitud de los cambios, éstos pueden modificar los resultados productivos. Para su evaluación se pueden utilizar diferentes variables relacionadas con la capacidad de exploración de las raíces y con el movimiento del agua como la biomasa de rastrojos en la superficie del suelo (BM) y el porcentaje de suelo cubierto por éstos (Cob), la densidad aparente (Da), la porosidad



total (PT) y el espacio aéreo a capacidad de campo (EaCC), la resistencia mecánica (RM), la estabilidad de los agregados (EA), y la infiltración básica de agua en el suelo (Ib). El presente trabajo tiene como objetivo evaluar estas propiedades físicas de un Argiudol ácuico de régimen hipertérmico bajo prácticas de manejo contrastantes con el fin de lograr sistemas sustentables en la agricultura familiar del Norte de la Provincia de Corrientes.

### 1.1. Antecedentes

Las prácticas de manejo tradicionales como el laboreo superficial, los barbechos cortos, la escasa diversificación de cultivos, el monocultivo, y la baja reposición de nutrientes son habituales entre los agricultores familiares correntinos (Ligier, 1997). Éstas tienen consecuencias diferentes en las distintas propiedades de los suelos y dentro de las variables físicas, se hacen evidentes a través del deterioro de la estructura, de la formación de costras superficiales y de densificaciones inducidas en la profundidad de laboreo (Ligier & Galletto, 1998; Ligier & Kurtz, 2001).

Como es reconocido, los efectos de las prácticas de labranza dependen de las características del suelo sobre el que se aplican y del tipo y la frecuencia de las operaciones. Los sistemas convencionales se basan en diferentes operaciones de labranza para proveer condiciones para la germinación de las semillas, la emergencia de las plántulas y el crecimiento de las raíces. Los sistemas conservacionistas, en cambio, buscan reducir el número de labores, e incluso prescindir de ellas, como en el caso de la siembra directa (SD). El empleo de labranzas conservacionistas, entendidas como cualquier secuencia de laboreo cuyo objeto sea minimizar o reducir la pérdida de suelo y agua, contribuye a mantener la productividad de los cultivos en cualquier sistema de producción de secano (Unger, 2002).

En la Provincia de Corrientes se ha trabajado en el desarrollo de prácticas conservacionistas adecuadas a las condiciones de los pequeños agricultores desde hace bastante tiempo (Bosch *et al.*, 1999; Ligier & Kurtz, 2001). No obstante, muchas de las tecnologías aún no están muy difundidas. En parte se debe a las limitaciones estructurales de los pequeños agricultores antes mencionadas y, en lo tecnológico, a la falta de equipamiento y a que los rendimientos son inestables en los primeros años de la aplicación (Bosch *et al.*, 1999; INTA, 2005). Si bien la SD no es una práctica nueva, para el caso de los pequeños agricultores, las experiencias aún son incipientes y con resultados dispares (Ligier, 1997; Bosch *et al.*, 1999; Paredes, 2007).

En cuanto a la rotación de cultivos, esta es una de las prácticas más reconocidas para mantener una agricultura sustentable, en particular en suelos muy degradados con muchos años de agricultura continua, como en el caso de la agricultura familiar. Ésta es de relativamente bajo o nulo costo y de aplicación directa por parte de los agricultores (Monegat, 1991). Sin embargo, para una correcta elección de los cultivos es fundamental considerar las interacciones entre las especies, siendo deseable que se beneficien mutuamente, y contemplar que ellas deben ser cultivos regionales adaptados al planteo técnico aplicado. Además, en la definición de las especies que se alternan entre campañas, se deben buscar aquéllas que contribuyan a mantener la calidad de los suelos (Franzluebbers, 2008).

1.1.1. Cobertura de suelo y biomasa en superficie. Dentro del concepto de agricultura sustentable, la cobertura de la superficie del suelo constituye uno de los principales requerimientos, siendo particularmente importante en producciones de pequeños agricultores (Erenstein, 2003). Los incrementos en los aportes de biomasa y la mayor cobertura del suelo contribuyen a atenuar los efectos de la compactación (Hamza & Anderson, 2005), a la conservación de la humedad (Odhambo & Bomke, 2007), y han demostrado ser una técnica efectiva para muchos ambientes ecológicos y un amplio rango de suelos para reducir los escurrimientos y mantener altas tasas de infiltración (Lal, 1994).

Pocos rastrojos y la exposición del suelo a la elevada intensidad de las lluvias resultan en agregación pobre, formación de costras, reducción del agua disponible para las plantas y, consecuentemente, en la erosión del suelo (Franzluebbers, 2002). Otras experiencias indican que adecuando las labranzas, aún cuando no se mantengan los rastrojos en superficie, es posible conservar el agua y mejorar la infiltración (Unger, 2002). Suelos no laboreados, en comparación con los labrados convencionalmente, se caracterizan por una mayor cobertura y por fijar mayor cantidad de carbono orgánico en el suelo (Franzluebbers, 2008), pero a la vez puede ocasionar menor liberación de nitratos desde la materia orgánica y reducir los rendimientos de los cultivos (Lipiec & Stepniewski, 1995).

La cantidad de rastrojos en superficie varía sustancialmente las labranzas, a través de los años y durante el ciclo de los cultivos (Drury *et al.*, 2003), y los distintos aportes ocasionan diferentes resultados en el sistema productivo. Rastrojos en superficie equivalentes a  $2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  se reportaron como suficientes para reducir la erosión en

producciones continuas de maíz (Wischmeier, 1973 citado por Langdale *et al.*, 1984). En cuanto a la captación y movimiento del agua, con aportes menores a 2 Mg ha<sup>-1</sup> se incrementó la porosidad en comparación con tratamientos sin aportes (Mulumba & Lal, 2008). En el mismo trabajo, con aportes por debajo de 10 Mg ha<sup>-1</sup> no se registraron incrementos significativos en la capacidad de retención de agua. Por otra parte, de la Vega *et al.* (2004), registraron mejoras en la infiltración bajo SD con cobertura respecto a tratamientos sin cobertura de suelos. La agregación también se vio favorecida por el mantenimiento de los rastrojos en superficie al reducir las labranzas (Kushwaha *et al.*, 2001).

Sin embargo, en planteos de bajos insumos basados en un solo cultivo al año es difícil alcanzar altos valores de biomasa en superficie. Una estrategia para el ingreso extra de rastrojos al sistema es a través de un cultivo de cobertura en el período entre cultivos de renta (Monegat, 1991; Ligier & Kurtz, 2001), ya que constituye una técnica relativamente sencilla y de bajo costo. Las especies a utilizar como cultivos de cobertura no deben competir en tiempo y espacio con los cultivos de renta, deben producir grandes volúmenes de rastrojos en un período relativamente corto y no deben acarrear problemas de plagas y enfermedades a los cultivos siguientes en la secuencia, y deben, además, generar beneficios económicos directos e indirectos (Snapp *et al.*, 2005). En producciones de bajos insumos, se busca que los cultivos de cobertura cumplan otras funciones además de la protección de la superficie del suelo. Éstos contribuyen con el ciclaje de nutrientes, pudiendo proveer de cantidades significativas de nitrógeno a través de su descomposición a los sucesores en la rotación (Sainju & Singh, 2001) y permiten mejorar los aportes de carbono al suelo (Kushwaha *et al.*, 2001; Sainju *et al.*, 2002).

La avena (*Avena sp.*) podría servir como cobertura ya que, además de cumplir con los requisitos mencionados, provee buena cobertura por unidad de biomasa (Steiner *et al.*, 2000). Experiencias locales demostraron mejoras en los rendimientos del algodón cuando el antecesor fue avena negra (*Avena strigosa* Schieb.), respecto de los tratamientos sin cultivos de cobertura en el invierno (Bosch *et al.*, 1999). En el caso del maíz amarillo, cuando la práctica de SD se combinó con el uso de cultivos de cobertura se obtuvieron incrementos en los rendimientos de grano (Paredes, 2007). A pesar de ello, es poca la experiencia local de los efectos de la práctica sostenida en el tiempo y de los cambios ocasionados en el suelo.

1.1.2. Densidad aparente. La Da es una de las mediciones más comúnmente usadas para caracterizar las condiciones físicas de los suelos por la aplicación de prácticas de labranza (Strudley *et al.*, 2008). También es frecuentemente usada para caracterizar el estado de compactación del suelo y sus propiedades hidráulicas (Lipiec & Hatano, 2003; Strudley *et al.*, 2008).

Los valores óptimos de Da varían de acuerdo a la clase textural del suelo y al cultivo de que se trate. En el caso de suelos de textura franco-arenosa, valores de Da cercanos a  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$  pueden considerarse como críticos (Bowen, 1981, citado por Porta *et al.*, 1994); mientras que el rango para un normal crecimiento de las plantas varía entre  $0,7 \text{ g cm}^{-3}$  y  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$  (Lal & Shukla, 2004). Taylor & Gardner (1963) registraron disminución en el crecimiento de las raíces de algodón con incrementos en los valores de Da, hasta un punto crítico, el cual dependió del contenido de humedad del suelo.

Se han realizado numerosas investigaciones para evaluar el efecto de la SD y de sistemas de labranza sobre la Da bajo diversas condiciones ambientales y productivas con resultados variados. Algunas experiencias, al contrastar sistemas de labranza incluyendo tratamientos de no-laboreo, no encontraron diferencias en la Da en superficie en los primeros años de su implementación (Blevins *et al.*, 1977; Taboada *et al.* 1998). Otros autores, en cambio, obtuvieron mayor Da en superficie bajo SD respecto de prácticas de labranza convencional (LC) (Hammel, 1989; Franzluebbbers *et al.*, 1995; Drury *et al.*, 2003; Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003; McVay *et al.*, 2006).

Uno de los objetivos de las labranzas es incrementar la porosidad del suelo y con ello reducir su Da. Esto alcanza su mayor expresión luego de la operación de laboreo y puede durar alrededor de seis meses (Franzluebbbers & Arshad, 1996) hasta desaparecer al final del ciclo del cultivo, dependiendo de los ciclos de humedecimiento y secado (Hamblin, 1985). Debido a los incrementos progresivos de la Da después de las labranzas, las diferencias entre tratamientos labrados y SD tienden a ser más pequeñas con el paso del tiempo desde la última operación de labranza (Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003). Comparando diferentes sistemas de laboreo en un suelo franco arenoso se encontró que la Da en los 15 cm superficiales disminuyó durante el desarrollo del cultivo al aumentar el laboreo del suelo (Osunbitan *et al.*, 2005). Esto demuestra la importancia de identificar hasta qué momento se extienden los efectos de las labranzas y si los efectos sobre la Da bajo SD son acumulativos al sostener la práctica.

Las secuencias de cultivos y las labranzas afectan la Da, especialmente en las capas superiores del suelo. Experiencias sobre un Argiudol ácuico de Entre Ríos manejado con diferentes rotaciones, indicaron que el efecto sobre la Da se vinculó más a los sistemas de labranza que a la secuencia de cultivos (Sasal *et al.*, 2008). Otros autores reportaron que para la variable Da, no hubo interacción significativa entre secuencias de cultivos y labranzas en los primeros años de su aplicación (Katsvairo *et al.*, 2002).

Por otra parte, es importante reconocer los efectos de los diferentes manejos sobre la Da cuando las prácticas se sostienen en el tiempo. En general, se acepta que con el mantenimiento de la SD se produce un efecto acumulativo en la Da, lo que algunos autores atribuyen a la eliminación del disturbio mecánico del laboreo que afloja la superficie del suelo (Kushwaha *et al.*, 2001).

1.1.3. Espacio poroso. La porosidad o espacio poroso es la fracción de volumen de suelo ocupada por aire y agua, el cual está constituido por poros de diferentes tamaños y funciones (Lal & Shukla, 2004). Esta es una propiedad que varía con el tipo de suelos y es importante ya que puede ser fácilmente modificada por las prácticas de manejo.

Se han propuesto numerosas clasificaciones para agrupar y describir los diferentes tamaños de poros, y metodologías para caracterizar el espacio poroso, siendo una de las formas más simples la PT expresada a partir del valor de Da (Hamblin, 1985). La PT también puede ser calculada a partir del contenido de agua a saturación considerando que en este estado no hay aire atrapado (Lal & Shukla, 2004).

Kay (1990), basándose en la función que cumplen los poros del suelo, propuso clasificarlos en macroporos (diámetro cilíndrico equivalente  $>30 \mu\text{m}$ ); mesoporos (entre  $0,2$  y  $30 \mu\text{m}$ ) y microporos ( $<0,2 \mu\text{m}$ ). Los macroporos o poros de transmisión, pueden ser formados, entre otros factores, por la actividad biótica y por las operaciones de labranza. El contenido de materia orgánica y de arcillas también juegan un rol importante en la formación y estabilización de los macroporos (Lal & Shukla, 2004). No obstante, la macroporosidad es altamente influenciada por la actividad antropogénica, modificando sus valores por el uso y manejo del suelo.

La porosidad de aireación, se refiere a la proporción relativa de poros ocupados por aire. En relación al crecimiento de las plantas, el límite crítico es del 10%; por debajo de ese valor las plantas son afectadas negativamente en su desarrollo debido a la insuficiente cantidad de aire o anaerobiosis (Lal & Shukla, 2004). Cuando el suelo recibe aporte de agua por lluvia o riego, la porosidad de aireación funciona como poros de drenaje. Por

ello, este valor puede ser obtenido a partir de la porosidad total menos el contenido volumétrico de agua a capacidad de campo.

La compresión, tracción y esfuerzo cortante ocasionado por la preparación de la cama de siembra altera la porosidad y la distribución del tamaño de poros debido a cambios en el volumen del suelo (Lal & Shukla, 2004). Por ello, la labranza conservacionista y el manejo de los rastrojos pueden constituir buenas estrategias para mantener una estructura favorable en varias condiciones de suelos. Así, con aportes de rastrojos relativamente bajos ( $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de materia seca) se obtuvieron incrementos importantes en la porosidad de un Alfisol en comparación con el suelo desnudo (Mulumba & Lal, 2008).

En una experiencia realizada en un Durustol típico del Chaco, manejado con LC, con monocultivo de girasol (durante ocho años) y algodón (siete años) se registró un efecto negativo en el sistema poroso (Silva *et al.*, 2000). Los autores midieron reducciones del 17% en la PT (42,3%) en los 6 cm superficiales bajo monocultivo y del 30% en la porosidad de aireación (28,1%) respecto del monte. En cuanto al efecto de las secuencias de cultivos, también en Molisoles del Chaco, bajo SD no se observaron cambios en la porosidad de aireación (~54%), mientras que en lotes con LC, la misma fue mayor en el monocultivo algodón (54,2%), seguido por la rotación algodón-soja y maíz-algodón, con 44,5% y 39,8% respectivamente (Moro *et al.*, 2000).

El maíz continuo bajo SD ocasionó la reducción de la porosidad de aire del suelo respecto de los tratamientos bajo LC, pero con mayor crecimiento de plantas (Silva *et al.*, 2004). Por ello, los autores sugieren que el valor crítico de porosidad de aireación puede tener limitaciones en su aplicación, resultando más apropiado relacionar la reducción de la porosidad con el porcentaje de reducción de la respuesta de los cultivos. En cuanto al empleo de cultivos de cobertura, en una experiencia sobre suelos franco limosos pampeanos, se encontraron mejoras en la estructura de los suelos por la incorporación de avena en las secuencias de cultivos. No obstante, la porosidad estructural no se incrementó (Varela *et al.*, 2011).

1.1.4. Resistencia mecánica. El término RM se emplea para describir el nivel de estrés (fuerza por unidad de superficie) que un suelo puede resistir sin alcanzar una deformación irreversible. En condiciones de suelos insaturados, esta medición es muy sensible a los cambios en el contenido de agua y depende de la textura y la estructura del suelo, de su porosidad y del contenido de materia orgánica (Forsythe, 1975; Dexter,

1997; Lal & Shukla, 2004). Debido a que esta medición varía con el contenido de agua presente, se recomiendan lecturas simultáneas (Dexter, 1988; Lal & Shukla, 2004), o bien se sugiere la medición de la RM en condiciones de capacidad de campo (Campbell & O'Sullivan, 1991 citado por Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003).

La determinación de la RM permite evaluar el grado de compactación de los suelos e identificar limitaciones en el crecimiento de las plantas al comparar estas mediciones con las presiones que ejercen las raíces. Una elevada RM no debiera afectar negativamente en la emergencia y el desarrollo de un cultivo siempre que no se superen los valores considerados críticos.

En términos generales se asume que valores de RM superiores a 2 MPa implican una fuerte restricción para las raíces de la mayoría de los cultivos anuales, entre 2 y 1 MPa la elongación decrece linealmente y por debajo de 1 MPa las restricciones son mínimas (Soil Survey Division Staff, 1993). En el caso del cultivo de algodón, el valor máximo de presión de crecimiento de radículas es de 0,94 MPa, pero cuando la RM es superior a 2 MPa las raíces siguen creciendo a un 20% de la tasa máxima (Taylor & Ratliff, 1969, citado por Whiteley *et al.*, 1981).

Para el cultivo de algodón existe una elevada correlación entre la RM y la penetración de las raíces de plántulas, de manera tal que un incremento en la compactación reduce el porcentaje de raíces que penetran en el suelo y provoca una caída en la tasa de crecimiento (Taylor & Gardner, 1963). Experiencias con este cultivo manifiestan un incremento en la RM desde la siembra a la cosecha, indistintamente del sistema de labranza empleado (Bravo & Florentino, 1997).

En caso del maíz, los sistemas de no-labranza mantenidos de manera continua durante largo plazo (11 años) promovieron el mayor crecimiento del cultivo, con mayores valores de RM y menor porosidad que los alcanzados bajo LC (da Silva *et al.*, 2004).

El tipo e intensidad de las labranzas afectan de manera directa a la RM. Varias investigaciones que compararon los efectos de diferentes sistemas de laboreo y SD sosteniendo las prácticas en el tiempo, encontraron mayores valores de RM en superficie bajo SD con respecto a las parcelas labradas (Hammel 1989; Vyn & Raimbault, 1993; Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003; Drury *et al.*, 2003; Osunbitan *et al.*, 2005). Otros autores mencionan no haber encontrado efectos en la RM por diferentes sistemas de laboreo de suelos ni interacción con las rotaciones de cultivos en seis años de aplicación de las labranzas (Katsvairo *et al.*, 2002).

Sobre un *Argiudol* ácuico de Entre Ríos se registró un incremento en la RM y en la Da subsuperficial asociada a la práctica de SD, que condicionó el ingreso de agua en el suelo (Sasal *et al.*, 2008).

También resulta de interés conocer el momento en el cual se expresan los efectos en la RM por el mantenimiento de prácticas de manejo como las labranzas. Las diferencias entre SD y tratamientos labrados en la RM son grandes inmediatamente después de las operaciones de laboreo, pero decaen rápidamente durante el período de crecimiento y pueden llegar a desaparecer al final de la temporada (Franzen *et al.*, 1994; Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003).

1.1.5. Estabilidad de agregados. Un agregado es un grupo de partículas primarias que se unen entre sí más fuertemente que con las partículas del suelo que lo rodea. Para desintegrar la masa del suelo en agregados se requiere de la aplicación de fuerzas de disrupción, y el método de tamizado en húmedo resulta apropiado para evaluar suelos frágiles (Kemper & Rosenau, 1986; Dexter, 1997).

Se entiende por estabilidad de agregados del suelo (EA) a la capacidad de éstos para mantener su forma ante las fuerzas externas disruptivas como las del agua y la manipulación mecánica. Su conocimiento es fundamental para entender la respuesta de los suelos a las labranzas o al tráfico agrícola (Lal & Shukla, 2004).

La formación y estabilización de macroagregados están fuertemente ligadas a la actividad biótica del suelo (Tisdall & Oades, 1982) y estrechamente relacionados al manejo dado (Dexter, 1997; Liu *et al.*, 2006; Aparicio & Costa, 2007). La cantidad y calidad de la materia orgánica aportada a través de los rastrojos es un factor importante en la agregación (Tisdall & Oades, 1982; Kemper & Rosenau, 1986; Jastrow, 1996; Martens, 2000; De Gryze *et al.*, 2005) siendo importante también la tasa a la cual se realizan esos aportes (Abivien *et al.*, 2009). Incrementos en los aportes de rastrojos tuvieron una alta correlación con la EA, demostrando que éstos incrementan las fuerzas de cohesión entre las partículas y mejora la capacidad de resistir las fuerzas disruptivas del agua (Mulumba & Lal, 2008).

Los suelos intensamente labrados resultan menos estables (Dexter, 1997) por la pérdida de materia orgánica, lo que reduce la proporción de macroagregados (Tisdall & Oades, 1980). Al reducir la intensidad de las labranzas se logran incrementos en la proporción de macroagregados (Kushwaha *et al.*, 2001).



De todos modos, aún no es claro el período al cual se reflejan diferencias en la EA por la aplicación de SD (Rhoton, 2000). Algunos trabajos dan cuenta de incrementos en la EA en superficie del 54% sobre LC en cuatro años (Rhoton, 2000) por la incorporación de prácticas conservacionistas, e incluso hasta del 70% en cinco años (West *et al.*, 1991). En otro trabajo no se encontraron diferencias significativas en la EA superficial en un suelo franco arcilloso al mantenerlo cuatro años con labranzas conservacionistas, siendo en algunos casos mayor proporción de agregados estables con laboreos convencionales (Drury *et al.*, 2003).

1.1.6. Infiltración. La captación de agua en la producción agrícola de secano es de gran importancia. La infiltración es responsable del control de la lixiviación, el escurrimiento y el agua disponible para los cultivos (Franzluebbers, 2002).

La conducción del agua a través del perfil es de suma importancia para el crecimiento vegetal, dado que la permanencia más o menos prolongada del aporte conduce a una deficiente aireación, que finalmente se traduce en una reducción de los rendimientos.

La respuesta de la infiltración a las labranzas es compleja y está relacionada con el crecimiento de las plantas, el clima y el tipo de suelo. Cuando los sistemas de labranza se mantienen durante muchos años habría mayor infiltración bajo tratamientos de no laboreo respecto de aquéllos manejados con LC continua (Franzluebbers, 2002; Strudley *et al.*, 2008). Por otro lado, en el caso de cortos periodos de aplicación de prácticas de laboreo la infiltración fue similar o menor bajo SD que con LC (Lindstrom & Onstad, 1984), asociado a condiciones indeseables en la superficie durante los primeros años (incremento de la Da y menor estabilidad estructural).

Algunos autores sostienen que la SD tiende a incrementar la conectividad de macroporos con respecto a LC por la mejora del espacio poroso, y que esto incrementa la tasa de infiltración (Strudley *et al.*, 2008; Mulumba & Lal, 2008). En cambio, Sasal *et al.* (2006) sugieren que ocurre una menor infiltración bajo SD debido a la disposición horizontal de los poros en superficie, lo que provoca la reducción de entrada de agua en el perfil.

El efecto de la cobertura de rastrojos asociado a la SD también influye sobre la infiltración. Mayores tasas de infiltración se registraron en un Argiudol vértico bajo SD con cobertura respecto de aquellos tratamientos descubiertos (de la Vega *et al.*, 2004).

En cuanto al efecto en el tiempo, la mayoría de las prácticas de labranza afectan las propiedades hidráulicas del suelo inmediatamente después de su aplicación. Pero éstos

efectos pueden disminuir rápidamente, incluso después del primer ciclo de humedecimiento/secado (Strudley *et al.*, 2008). Así, las labranzas usadas para incrementar la porosidad superficial proveen de una solución a corto plazo pero con consecuencias indeseables en la estabilidad estructural, acumulación de rastrojos e infiltración (Franzluebbers, 2002).

En suelos franco limosos se encontró una elevada variabilidad estacional de la infiltración, registrándose bajo SD valores significativamente mayores que los labrados (Dao, 1996 citado por Strudley *et al.*, 2008). Castiglioni *et al.* (2006) mencionaron la variabilidad estacional de la Ib bajo SD, y atribuyeron los mayores valores obtenidos en verano, a la descomposición de los rastrojos de los cultivos invernales, que produjeron cambios en los primeros centímetros del suelo.

1.1.7. Rendimiento de los cultivos. Los pequeños agricultores correntinos se caracterizan por contar con una estructura productiva diversificada. En cuanto a los rendimientos de los cultivos, en general son bajos ya que en la mayoría de los casos se utilizan variedades locales con rendimientos potenciales inferiores a los híbridos y variedades mejoradas. Por otra parte, también se manifiestan inestables y muy variables entre campañas, lo que refleja la alta dependencia de las condiciones ambientales (INTA, 2002).

El cultivo de algodón en Corrientes aún conserva importancia como cultivo social en algunas regiones de la Provincia. Más del 90% de los agricultores que realizan este cultivo son pequeños productores con una superficie media inferior a 5 ha (Almirón *et al.*, 2004). El rendimiento promedio es de 1.200 kg ha<sup>-1</sup> (Acosta *et al.*, 2009) y es posible distinguir dos modelos productivos: tradicional, escasamente tecnificado y con rendimientos medios de 800 kg ha<sup>-1</sup>; y tecnificado, con rendimientos cercanos a 2.500 kg ha<sup>-1</sup> (Almirón *et al.*, 2004). Con tecnologías de manejo adecuadas y bajo LC es posible sostener rendimientos de 1.600 a 1.800 kg ha<sup>-1</sup> (INTA, 1994). Experiencias en campo de agricultores obtuvieron rendimientos de 804 kg ha<sup>-1</sup> con manejo tradicional, mientras que empleando avena negra como abono verde en el invierno, alcanzaron rendimientos promedio de 2.123 kg ha<sup>-1</sup>, con gorga (*Spergula arvensis* L.) 2.430 kg ha<sup>-1</sup> y con nabo forrajero (*Raphanus sativus* L.) 2.335 kg ha<sup>-1</sup> (Bosch *et al.*, 1999).

El maíz amarillo es una variedad empleada frecuentemente por los pequeños agricultores como cultivo de renta y para el consumo familiar. Aunque los rendimientos

medios provinciales<sup>1</sup> del cultivo son bajos, 2.218 kg ha<sup>-1</sup> (INDEC, 2005), con prácticas mejoradas (que incluyen densidad de siembra, fertilización, barbecho) y realizando LC, es posible mantener un rendimiento potencial de 2.300 kg ha<sup>-1</sup> de grano (INTA, 1994). Experiencias con pequeños agricultores empleando SD y descanso durante el invierno obtuvieron 2.288 kg ha<sup>-1</sup> de rendimiento promedio, 2.147 kg ha<sup>-1</sup> cuando se empleó SD y un cultivo de cobertura (gorga), mientras que con manejo tradicional los rendimientos fueron de 653,8 kg ha<sup>-1</sup> y coeficientes de variación que rondaron el 21,3% (Paredes, 2007).

Si bien en los últimos años en la provincia se ha intensificado la difusión de prácticas agrícolas conservacionistas para pequeños productores familiares, aún son pocos los que las han adoptado. Por consiguiente, el manejo tradicional aún es el más frecuentemente empleado. Se espera que la mejor comprensión de los cambios en las propiedades de los suelos y en las respuestas de los cultivos por la aplicación de prácticas conservacionistas contribuya a mejorar las recomendaciones de manejo y con ello a la difusión de las propuestas.

## 1.2. Hipótesis

- Para condiciones de extensa historia de uso agrícola, manejo convencional y bajo nivel tecnológico -como las chacras de los pequeños agricultores de Corrientes- la SD en combinación con el uso de un cultivo de cobertura ocasiona en el corto plazo de su aplicación:
  - Incremento en la densidad aparente y en la resistencia mecánica de los estratos superficiales del suelo sin ocasionar reducción en los rendimientos de los cultivos.
  - Mayor estabilidad de agregados en los horizontes superficiales, incremento del porcentaje de suelo cubierto y mayor infiltración de agua en el suelo, favoreciendo las condiciones físicas para el desarrollo de cultivos anuales.
- Los efectos de prácticas de labranzas y de secuencias de cultivos pueden ser apreciados en los tres primeros años de su implementación, tanto en las propiedades físicas superficiales del suelo como en los rendimientos de los cultivos.

---

<sup>1</sup> Censo Nacional Agropecuario 2002. Período considerado: 1991/92–2002/03.

### 1.3. Objetivos

El objetivo general del trabajo fue establecer el sistema de labranza y la secuencia de cultivos que mejoren las propiedades físicas del suelo bajo estudio y los rendimientos de los cultivos considerados.

Los objetivos específicos fueron:

- Evaluar los cambios producidos luego de tres años de implementar diferentes sistemas de labranza y secuencias de cultivos sobre:
  - a) la cobertura superficial del suelo, la densidad aparente, la porosidad total y el espacio aéreo a capacidad de campo, la resistencia a la penetración, la estabilidad de agregados y la infiltración de agua; y
  - b) el rendimiento físico de los cultivos en la rotación; y
- Evaluar la evolución en el tiempo de las variables de suelo consideradas para mejorar las decisiones de manejo en planteos productivos de bajo uso de insumos.



## Capítulo 2. MATERIALES Y MÉTODOS

- 2.1. Sitio de realización del trabajo
- 2.2. Caracterización del área de estudio
  - 2.2.1. Caracterización climática
  - 2.2.2. Caracterización del ambiente
  - 2.2.3. Caracterización edáfica
  - 2.2.4. Ensayo exploratorio de uniformidad
- 2.3. Diseño experimental y tratamientos
- 2.4. Conducción de los tratamientos
- 2.5. Muestreos y determinaciones
  - 2.5.1. Cobertura del suelo
  - 2.5.2. Biomasa en superficie
  - 2.5.3. Densidad aparente
  - 2.5.4. Porosidad total
  - 2.5.5. Espacio aéreo a capacidad de campo
  - 2.5.6. Resistencia mecánica
  - 2.5.7. Estabilidad de agregados
  - 2.5.8. Infiltración básica
  - 2.5.9. Rendimiento de los cultivos
- 2.6. Metodología estadística de análisis de resultados
  - 2.6.1. Análisis temporal
  - 2.6.2. Análisis por momento de observación



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Sitio de realización del trabajo

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Corrientes del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (latitud 27° 39' S; longitud 58° 46' W), en el Departamento Empedrado, Provincia de Corrientes.

El lote destinado al ensayo tenía al inicio de la experiencia más de quince años de agricultura continua, siendo el maíz y el caupí (*Vigna unguiculata* L.) los principales cultivos en la rotación. Durante el año 2005 el terreno fue dejado en descanso y en el ciclo primavera-verano de 2006 se implantó mucuna blanca (*Stizolobium deeringianum* B.) como cultivo de cobertura.

### 2.2. Caracterización del área de estudio

2.2.1. Caracterización climática. La provincia de Corrientes posee, según el sistema de Köppen, clima mesotermal, cálido templado, sin estación seca, con frecuentes excesos hídricos en otoño y primavera, con moderadas y eventuales deficiencias, principalmente en verano. La temperatura media anual se encuentra entre los 19,5 °C y los 22,0 °C con temperaturas mínimas absolutas entre -2 °C y -4 °C y máximas absolutas entre 40 °C y 44 °C (período 1951-1980). Las temperaturas de verano son más homogéneas que las de invierno, y la amplitud térmica anual promedio es moderada. Las isohietas medias anuales oscilan entre 1100 y 1600 mm (período 1951-1980), con dirección creciente de SW a NE. La distribución anual de precipitaciones tiene dos máximos, en primavera y en otoño, y un mínimo en invierno, registrándose varios meses sin lluvias en todas las localidades (Carnevali, 1994). La evapotranspiración potencial media anual es de 1.000 a 1.150 mm, incrementando en igual sentido que las isolíneas de precipitaciones. La relación entre la distribución anual de las precipitaciones y la evapotranspiración da como resultado períodos de deficiencias hídricas durante los meses de verano (diciembre y enero) y de excesos en otoño y primavera (marzo-abril y septiembre-octubre) (Escobar *et al.*, 1996).

La dirección más frecuente del viento es desde el E, con velocidades medias entre 10 y 15 km h<sup>-1</sup>, siendo las máximas en primavera y las mínimas en otoño. Debido a la distribución de las temperaturas y de los vientos, los máximos registros de evapotranspiración se dan en el verano y los mínimos en invierno (Escobar *et al.*, 1996).



2.2.2. Caracterización del ambiente. El ensayo se ubicó en el dominio fitogeográfico chaqueño, Distrito Oriental de la Provincia Chaqueña, en el Subdistrito Correntino (Carnevali, 1994). La unidad de paisaje corresponde al Dique natural del Paraná medio y afluentes principales, la cual es una planicie ligeramente ondulada, con una marcada red parcelaria debido a que incluye las mejores tierras agrícolas del ambiente.

Trabajos descriptivos a nivel de detalle (escala 1:30.000) indican que la unidad de paisaje corresponde a Planicies encharcables, con planos tendidos de pendientes entre 0,5 y 0,8%, con los siguientes suelos asociados: Epiacualfes típicos, Albacualfes típicos y Argiacuales vérticos. Dentro de las principales limitantes se mencionan encharcamientos frecuentes y anegamientos temporarios. La vegetación predominante corresponde a *Cynodon dactylon* (L.) Persoon. y pastizales de ciperáceas (Gomez, 1981; Galeano, 2004).

2.2.3. Caracterización edáfica. El suelo representativo del área del ensayo pertenece a la Serie Treviño clasificado como Argiudol ácuico (Escobar *et al.*, 1996) (Cuadro 2.2.3.1).

Cuadro 2.2.3.1. Datos analíticos del suelo empleado en el ensayo (Escobar *et al.*, 1996).

Horizonte	Profundidad (cm)	MO	Granulometría				pH	Ca	Mg	K	Na	H*	T**	S/T***	PSI****
			Arcilla	Limo	Arena										
					Fina	Gruesa									
			%				cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				%				
A <sub>11</sub>	0 - 17	1,7	11,6	21,5	64,7	2,2	5,6	3,5	2,9	0,1	0,3	1,0	6,8	100	3,8
A <sub>12</sub>	17 - 30	1,1	13,7	21,4	63,1	1,8	5,8	5,7	2,4	0,1	0,4	1,0	7,3	100	4,1
BA <sub>t</sub>	30 - 39	1,2	20,0	22,3	55,4	2,3	6,0	8,9	2,9	0,1	0,5	2,6	13,9	89	3,3
B <sub>t11</sub>	39 - 66	0,9	32,6	16,1	49,6	1,7	6,3	13,9	3,9	0,2	0,8	3,2	20,2	93	3,6
B <sub>t12</sub>	66 - 87	0,7	32,9	16,6	48,4	2,1	7,0	14,6	4,0	0,3	0,7	1,4	20,8	94	3,3
B <sub>tk</sub>	87 - >	0,3	30,5	16,6	51,4	1,5	7,4	14,2	4,1	0,3	0,7	1,5	18,6	100	3,3

\* H=acidez intercambiable.

\*\* T=capacidad de intercambio catiónico, suma de S y H.

\*\*\* S/T=porcentaje de saturación de bases, cociente entre bases intercambiables y capacidad de intercambio catiónico x 100. S=bases intercambiables, suma del calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables.

\*\*\*\* PSI=porcentaje de sodio intercambiable, cociente entre el sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico x 100.

Son suelos moderadamente bien drenados, con escurrimiento medio a lento y permeabilidad moderadamente lenta a moderada, encharcables por cortos períodos. Presenta un horizonte superficial mólico de 40 cm de espesor, que incluye un BA<sub>t</sub>; franco arenoso, color pardo grisáceo muy oscuro y reacción débilmente ácida. El

horizonte argílico (Bt), franco arcillo arenoso, fuertemente estructurado es de color negro y reacción neutra. Los moteados y concreciones de hierro-manganeso comienzan a los 17 cm y la profundidad efectiva es de 65 cm. Son suelos moderadamente fértiles, con valores intermedios en bases de cambio, especialmente en el Bt y de materia orgánica en el epipedón, con pobres contenidos en fósforo (Escobar *et al.*, 1996) (Cuadro 2.2.3.1).

El régimen de temperatura de suelos para toda la provincia se clasifica como hipertérmico por poseer una temperatura media anual, medida a 50 cm de profundidad, superior a 22°C y una amplitud térmica anual mayor que 5°C (Escobar *et al.*, 1996).

En general, en estos suelos el agua se elimina en forma relativamente lenta, presentando excesos de agua por un tiempo y, como su drenaje es algo impedido, puede presentar limitaciones temporales. Por otra parte, al poseer un horizonte subsuperficial de permeabilidad menor que la del superior y precipitaciones predisponentes (intensidad, duración y frecuencia), son suelos susceptibles a la erosión hídrica.

2.2.4. Ensayo exploratorio de uniformidad. Con el objeto de determinar la homogeneidad espacial del lote del ensayo, se realizó un estudio preliminar a través de una prueba de uniformidad (Steel & Torrie, 1993). Para ello se procedió a labrar mediante rastra de casquetes la totalidad del predio (7.875 m<sup>2</sup>). Posteriormente, se implantó un cultivo de cobertura estival, mucuna blanca, durante la primera quincena del mes de Octubre del año 2006. La siembra se realizó con una sembradora de cuatro surcos, distanciados a 70 cm, sin aporte de fertilizantes. La densidad de siembra teórica fue de 10 semillas por metro lineal. El cultivo de cobertura recibió prácticas de manejo uniformes en toda la superficie (CIAT, 1982) hasta finalizar su ciclo vegetativo en 232 días. En este momento se realizó la descripción del perfil (Apéndice A) y se tomaron las mediciones para determinar la heterogeneidad espacial en una grilla con 96 puntos de muestreo. En cada uno de ellos se observó y cuantificó la producción de biomasa y la cobertura del suelo y se extrajeron muestras compuestas de suelo de los primeros 7 cm para realizar las determinaciones en laboratorio de: materia orgánica (Walkley & Black), pH (método potenciométrico; relación suelo-agua 1:2,5), conductividad en pasta saturada, fósforo (Bray & Kurtz 1), cationes: usando acetato de amonio (1 N) como extractante, Ca y Mg por complejometría con EDTA, K y Na por fotometría de llama (Page *et al.*, 1982).

Los datos medidos fueron analizados a través de medidas gráficas y permitieron obtener valores de estadística descriptiva (media, moda, varianza, desvío estándar y coeficiente de variación) (Apéndice B). Dicha información sirvió para identificar y visualizar las tendencias del lote, para estimar la heterogeneidad del suelo y calcular el tamaño de la parcela y el número de repeticiones por tratamiento a emplear.

### 2.3. Diseño experimental y tratamientos

A partir del ensayo de uniformidad se propuso un diseño en parcelas completamente aleatorizadas con cuatro repeticiones. Para evaluar diferentes combinaciones de prácticas agrícolas se planteó un arreglo factorial 3 x 4 (Cuadro 2.3.1).

Cuadro 2.3.1. Tratamientos evaluados. Sistemas de labranza: LC=labranza convencional, LR=labranza reducida, SD=siembra directa. Secuencia: MAV=maíz-avena negra-algodón-avena negra, MD=maíz-descanso-algodón-descanso, AAV=algodón-avena negra-maíz-avena negra, AD=algodón-descanso-maíz-descanso.

Factor			Descripción					
Sistema de labranza	Secuencia de cultivos	Tratamiento	Cultivo 1 <sup>er</sup> año	Barbecho 1 <sup>er</sup> año	Cultivo 2 <sup>do</sup> año	Barbecho 2 <sup>do</sup> año	Cultivo 3 <sup>er</sup> año	
Niveles	LC	MAv	LC-MAv	Maíz	Avena	Algodón	Avena	Maíz
		MD	LC-MD	Maíz	Descanso	Algodón	Descanso	Maíz
		AAv	LC-AAv	Algodón	Avena	Maíz	Avena	Algodón
		AD	LC-AD	Algodón	Descanso	Maíz	Descanso	Algodón
	LR	MAv	LR-MAv	Maíz	Avena	Algodón	Avena	Maíz
		MD	LR-MD	Maíz	Descanso	Algodón	Descanso	Maíz
		AAv	LR-AAv	Algodón	Avena	Maíz	Avena	Algodón
		AD	LR-AD	Algodón	Descanso	Maíz	Descanso	Algodón
	SD	MAv	SD-MAv	Maíz	Avena	Algodón	Avena	Maíz
		MD	SD-MD	Maíz	Descanso	Algodón	Descanso	Maíz
		AAv	SD-AAv	Algodón	Avena	Maíz	Avena	Algodón
		AD	SD-AD	Algodón	Descanso	Maíz	Descanso	Algodón

Los factores considerados fueron:

a) sistema de labranza (SL), con tres niveles:

- LC, labranza reducida (LR) y SD; y

b) rotación de cultivos, que incluyeron las especies maíz, algodón y avena negra, con cuatro niveles:

- maíz-avena negra-algodón-avena negra, maíz-descanso-algodón-descanso, algodón-avena negra-maíz-avena negra y algodón-descanso-maíz-descanso.

El número total de tratamientos fue doce y, con las cuatro repeticiones, se totalizaron 48 unidades experimentales de 140 m<sup>2</sup> cada una.

#### 2.4. Conducción de los tratamientos

El tratamiento LC, consistió en la preparación del suelo a través de una remoción profunda e incorporación de rastrojos por métodos mecánicos. Se utilizó una rastra de discos efectuando cuatro operaciones, y posteriormente rastra de dientes con dos lastres de 20 kg cada uno. En LR la operación de remoción superficial se efectuó a través de la semi-incorporación de los rastrojos del cultivo antecesor dejando parte en superficie. Ello se realizó con dos pasadas de rastra de discos. En ambos tratamientos la preparación del suelo se efectuó con implementos livianos y de poco ancho de labor, similares a los que disponen los pequeños agricultores en la región, mientras que las malezas se controlaron durante el desarrollo de los cultivos mediante métodos mecánicos, de acuerdo con lo realizado tradicionalmente por los pequeños agricultores. Los tratamientos bajo SD se sembraron sobre el suelo sin labrar, procurando mantener los rastrojos del cultivo antecesor en superficie, y se emplearon métodos químicos para el control las malezas.

Las mismas especies y variedades fueron empleadas en todos los tratamientos de labranza del ensayo. El maíz usado correspondió a una población local, denominada “amarillo criollo”, el cual posee ciclo intermedio. Este material es conservado y multiplicado anualmente en condiciones controladas en la EEA Corrientes del INTA debido a la importancia del cultivo entre los pequeños agricultores de la región. La siembra se efectuó durante la primera quincena del mes de septiembre, ajustando la densidad en 3,85 semillas por metro lineal, con un espaciamiento de 70 cm entre líneas. En el caso del algodón se utilizó una variedad comercial. La siembra se planificó para lograr 12,6 semillas por metro lineal y 70 cm de distancia entre líneas.

La operación de siembra para los cultivos de maíz y algodón se realizó en todos los tratamientos con una sembradora-fertilizadora para SD de cuatro surcos marca Dolzani, con dosificador de semilla mecánico de placas horizontales, accionada por un tractor de 36 kW de potencia. Los cuerpos de siembra están constituidos por una cuchilla de corte delantera lisa, abresurcos de discos dobles desencontrados, rueda limitadora de profundidad y rueda contactadora de semilla semineumática y ruedas tapadoras de surco de goma maciza y discos cóncavos recortados.

En las combinaciones que incluyeron avena negra como cobertura invernal la siembra se efectuó manualmente, en manto, utilizando una densidad de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de semilla, indistintamente del sistema de labranza, y sin aportes de fertilizantes. La interrupción de su ciclo se hizo a través de la incorporación por medios mecánicos (LC y LR) o por la aplicación de un herbicida total (glifosato; dosis:  $2.500 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ ; para SD), según el sistema de labranza considerado.

## 2.5. Muestreos y determinaciones

Se consideraron los siguientes momentos de muestreo:

- Situación inicial (SI). Observación realizada antes de la instalación del ensayo, para caracterizar la condición cero.
- Siembra (Si). Determinación realizada durante esta operación para los cultivos estivales.
- Cosecha (Co). Efectuada al momento de la cosecha de los cultivos de maíz y algodón, y antes del manejo de los rastrojos.

Las variables estudiadas fueron:

- Cobertura del suelo (Cob);
- Biomasa en superficie (BM);
- Densidad aparente (Da);
- Porosidad total (PT);
- Espacio aéreo a capacidad de campo (EaCC);
- Resistencia mecánica (RM);
- Estabilidad de agregados (EA);
- Infiltración básica (Ib); y
- Rendimiento de los cultivos (Rto).

2.5.1. Cobertura del suelo. La cobertura del suelo (Cob) se obtuvo colocando una regla rígida con diez marcas a intervalos regulares sobre la superficie del suelo. De cada momento de muestreo se obtuvieron cuatro repeticiones por parcela. El valor del porcentaje de cobertura por los rastrojos se obtuvo a partir del recuento de los puntos interceptados con suelo cubierto.

2.5.2. Biomasa en superficie. Para la medición de la variable que representa la materia seca remanente en superficie (BM), se usó un marco rígido de 625 cm<sup>2</sup> con el cual se extrajeron cuatro muestras por parcela del total de rastrojos de la superficie del suelo en cada momento de observación. Cada muestra fue colocada en estufa a 60°C durante 48 horas hasta realizar lecturas de peso constante. No se incluyó material vivo en la muestra de rastrojos. Su valor representa el peso seco de la muestra por unidad de superficie, expresado en Mg ha<sup>-1</sup>.

2.5.3. Densidad aparente. La determinación de la densidad aparente ( $D_a$ ) se realizó por el método del cilindro (Forsythe, 1975), que consiste en el secado y pesaje de una muestra de suelo obtenida con un muestreador de volumen conocido. El volumen total está dado por el ocupado por las diferentes fracciones minerales y las partículas de materia orgánica, más el volumen de los poros, ocupado por agua y aire. Para ello se tomaron muestras de suelo sin disturbar de la entrelínea de los dos surcos centrales de cada parcela. Para cada momento se obtuvieron dos muestras en cada intervalo de profundidad: 0-7 cm y 7-20 cm, empleando cilindros de 99,52 cm<sup>3</sup> de capacidad volumétrica.

El valor de densidad aparente en seco resulta del cociente entre la masa de la fracción sólida seca por unidad total de volumen de suelo, expresado en g cm<sup>-3</sup>.

2.5.4. Porosidad total. El valor de porosidad total (PT) se obtuvo mediante el cálculo a partir de los datos de densidad aparente y de densidad de partículas (Carter & Ball, 1993):

$$PT = \frac{(D_p - D_a)}{D_p} * 100,$$

donde:

$PT$ : porcentaje de porosidad total (%);

$D_p$ : densidad de partícula (2,65 g cm<sup>-3</sup>);

$D_a$ : densidad aparente medido en cada muestreo (g cm<sup>-3</sup>).

Los cálculos de la variable se obtuvieron para los espesores 0-7 cm y 7-20 cm en todos los momentos observados.

2.5.5. Espacio aéreo a capacidad de campo. El espacio aéreo a capacidad de campo (EaCC) es aproximadamente igual al valor de macroporosidad (Carter & Ball, 1993) el

cual es un buen indicador de los cambios en los suelos por manejo y aplicación de sistemas de labranza. El valor del mismo se obtuvo por cálculo usando la siguiente expresión:

$$EaCC = 100 - \left[ (CC * Da) + \left( \frac{Da}{Dp} * 100 \right) \right],$$

donde:

*EaCC*: espacio aéreo a capacidad de campo (%);

*CC*: contenido de agua del suelo a capacidad e campo (% p/p);

*Dp*: densidad de partícula (2,65 g cm<sup>-3</sup>);

*Da*: densidad aparente medido en cada muestreo (g cm<sup>-3</sup>).

La determinación del contenido de agua a capacidad de campo (*CC*) se realizó según la metodología propuesta por Pla Sentis (1983). El procedimiento consistió en la medición gravimétrica del agua 24 horas luego de saturar el suelo. Para ello, el área de muestreo se mantuvo tapada durante ese período de manera hermética para evitar la evaporación y permitir eliminar los excesos de agua en profundidad (Shukla *et al.*, 2006). Luego se extrajeron las muestras de ambos estratos y se trasladaron en forma hermética hasta el laboratorio donde se realizó la determinación del contenido de agua por el método gravimétrico secando las muestras en estufa a 105°C durante 24 horas hasta alcanzar peso constante (Forsythe, 1985).

Se calculó el *EaCC* para ambos espesores en todos los momentos.

2.5.6. Resistencia mecánica. El término *RM* expresa una fuerza aplicada por unidad de superficie, y la medición se relaciona a la fuerza que debe ejercer una raíz para crecer en el suelo.

La medición de la *RM* se realizó con un penetrómetro de impacto de punta cónica accionado en forma manual (Bradford, 1986). El equipo empleado en el ensayo tiene las siguientes características: pesa de 2,088 kg y 565 mm de carrera o recorrido de la pesa; cono con ángulo de 60°, 50 mm de altura y 21,5 mm de diámetro de base.

Se realizaron dos observaciones por parcela en cada momento de muestreo, tomando mediciones desde la superficie hasta los 30 cm de profundidad, diferenciando los siguientes intervalos: 0-7 cm, 7-20 cm y 20-30 cm. La medición de la *RM* se hizo de manera simultánea y complementariamente con la determinación del contenido de agua a capacidad de campo en los mismos intervalos de profundidad.

2.5.7. Estabilidad de agregados. El método empleado es el tamizado o cribado en húmedo (Kemper & Rosenau, 1986, citado por Angers *et al.*, 2008), el cual se fundamenta en determinar la proporción de agregados que mantienen su tamaño luego de ser sometidos a las fuerzas disruptivas del agua.

En cada momento de muestreo se tomaron dos muestras compuestas de suelo (tres submuestras) para las profundidades de 0-7 cm y 7-20 cm. Posteriormente, a las muestras secas al aire y disgregadas a mano, se las tamizó a través de los tamices N°6 y N°10 para obtener agregados de 2 a 3,36 mm de diámetro. A esta muestra se le determinó el contenido gravimétrico de agua ( $g\ g^{-1}$ ) para posteriormente realizar la corrección por humedad.

De la misma muestra se pesaron por duplicado 4 g de agregados y se los colocó en tamices de 0,5 mm para posteriormente humedecerlos lentamente por capilaridad. Esta etapa resultó crítica en la determinación ya que se debió cuidar de no humedecer los agregados de manera brusca para evitar el fraccionamiento por el ingreso rápido del agua y desplazamiento del aire (Baver *et al.*, 1972).

Las muestras húmedas se tamizaron sumergidas durante cinco minutos utilizando el equipo descrito por los autores (Five Star Cablegation and Scientific Supply, 303 Lake St., Kimberly, ID 83341). El mismo posee una longitud de desplazamiento de los tamices de 13 mm, y una frecuencia de 35 ciclos por minuto. La fracción obtenida del tamizado fue secada en estufa a 105°C y pesada; ésta correspondió al peso de los agregados que se mantuvieron estables al agua. Posteriormente se determinó el contenido de arena de la muestra de agregados, para lo cual se dispersó la muestra con hidróxido de sodio (0,5 N), se tamizó nuevamente y se pesó luego de secarla en estufa, obteniendo el valor de arena.

El valor de estabilidad de agregados se obtuvo de la siguiente expresión:

$$EA = \frac{PST - Pa}{PSst - Pa} * 100,$$

donde:

*EA*: porcentaje de agregados estables al agua (%);

*PST*: peso seco de los agregados luego del tamizado en húmedo (g);

*Pa*: peso de la fracción de arena (g);

*PSst*: peso seco al aire de los agregados antes del tamizado en húmedo corregido por el contenido de humedad gravimétrica (g).



2.5.8. Infiltración básica. Para realizar esta determinación se empleó el método de los cilindros concéntricos o de doble anillo (Bouwer, 1986). El método consiste en medir durante un período el flujo de agua a través de la superficie del suelo empleando un juego de cilindros en los que se mantiene una lámina de agua sobre la superficie del suelo. Los anillos, de 30 cm de diámetro el interno y 50 cm el externo, se insertaron en el suelo hasta los 10 cm de profundidad y a nivel, cuidando de no disturbar la superficie interior. Previamente se retiró todo el rastrojo superficial sin disturbar el suelo. Luego se le agregó agua al cilindro exterior. Posteriormente se cubrió con un plástico la base del anillo interno y luego se colocó agua cuidadosamente hasta un límite fijado previamente, a partir del cual se tomaron las lecturas de lámina de agua infiltrada. Para determinar la lámina de infiltración se observó en el anillo interno la cantidad de agua ingresada, medida en centímetros, en el intervalo de tiempo considerado. Inicialmente las lecturas se realizaron cada minuto hasta los cinco minutos; luego a intervalos de 5 minutos, hasta alcanzar los 30 minutos, y finalmente cada 10 minutos hasta que el consumo se hizo constante (cuando se registraron lecturas consecutivas iguales). Para los cálculos se empleó el modelo empírico propuesto por Kostiakov (Fernández *et al.*, 1971) para interpretar el movimiento vertical del agua en el suelo desde la superficie, representado por la ecuación:

$$L = A * T^n,$$

donde:

$L$ : lámina de agua (cm) infiltrada por unidad de sección transversal en el tiempo  $T$ ;

$A$ : valor de lámina infiltrada durante el primer minuto; depende de la estructura y de las condiciones superficiales del suelo al inicio del ingreso del agua;

$n$ : tasa de infiltración; parámetro a determinar con los datos experimentales; y

$T$ : representa el tiempo, a partir del inicio de la aplicación del agua.

La velocidad de infiltración ( $I_v$ ), expresada en  $\text{cm h}^{-1}$ , se obtuvo de derivar la ecuación anterior:

$$I_v = 60 * n * A * T^{n-1}$$

Los resultados obtenidos en el campo se ajustaron a este modelo para obtener el valor de infiltración básica ( $I_b$ ).

2.5.9. Rendimiento de los cultivos. El muestreo para la obtención del rendimiento físico de los cultivos de renta se realizó en forma manual. El valor se obtuvo a partir de una muestra compuesta por dos submuestras correspondientes a la colecta manual de diez metros de una línea central de cada tratamiento. En todos los casos se descartaron las líneas laterales y las cabeceras de parcela para reducir el efecto bordura. El valor correspondió a la producción por unidad de superficie del producto cosechable, que para el maíz fue el peso de granos por hectárea, mientras que para el algodón, el peso de fibras.

## 2.6. Metodología estadística de análisis de resultados

Se definieron dos instancias de análisis de los resultados: una que correspondió a la evolución temporal de cada variable durante el transcurso del período del trabajo y otra referida a las diferencias encontradas entre tratamientos para cada momento de estudio. Para los análisis se usó el software Statistical Analysis System Versión 9.1. (SAS Institute Inc., 2004).

2.6.1. Análisis temporal. Para cada variable de estudio se realizó el análisis multivariado de la varianza, considerando que, cuando varias mediciones son tomadas en una misma unidad experimental, la medición tiende a correlacionarse en el tiempo. Este análisis incluye la información de las correlaciones en el tiempo, y tiene más precisión que varias pruebas univariadas. El interés está en probar la hipótesis acerca de los efectos en el sujeto (parcela) y las interacciones en el sujeto y entre-sujetos.

El supuesto requerido para asumir la validez de la prueba es el ajuste a una distribución normal multivariada de las variables dependientes del modelo, el cual se probó a través de una matriz de covarianza entre los efectos entre-sujetos.

2.6.2. Análisis por momento de observación. Los datos obtenidos para cada variable en los distintos momentos de observación se analizaron estadísticamente para determinar diferencias entre tratamientos mediante el análisis de la varianza empleando un  $\alpha=0,05$ . Cuando se obtuvieron interacciones significativas, se utilizó la Prueba rangos múltiples de Duncan para la comparación de las medias de los tratamientos.

La comprobación del supuesto de normalidad en la distribución de los errores experimentales se hizo con el test de Shapiro-Wilks, apoyado por medidas gráficas (gráfico de dispersión y de cuantiles de una normal) (Steel & Torrie, 1993).

El supuesto de homogeneidad de la varianza u homocedasticidad se comprobó realizando la prueba de Kolmogorov-Smirnoff y por medio de gráficos de dispersión de los residuos versus predichos (Steel & Torrie, 1993).



## Capítulo 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- 3.1. Cobertura del suelo
- 3.2. Biomasa en superficie
- 3.3. Densidad aparente
- 3.4. Porosidad total
- 3.5. Espacio aéreo a capacidad de campo
- 3.6. Resistencia mecánica
- 3.7. Estabilidad de agregados
- 3.8. Infiltración básica
- 3.9. Rendimiento de los cultivos



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Cobertura del suelo

La Cob varió significativamente a través de los momentos observados. No se registró interacción triple SL x Secuencia x Momento y tampoco hubo interacción SL x Secuencia. Individualmente, ambos factores, SL y Secuencia, mostraron diferencias significativas entre sus niveles a través del tiempo (Cuadro 3.1.1).

Cuadro 3.1.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la cobertura del suelo con las interacciones entre los efectos. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos. Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.

Efecto	F-valor	Pr > F
SL	664,76	<0,0001
Secuencia	4,74	0,01
Momento	678,11	<0,0001
SL x Secuencia	1,14	0,36
SL x Momento	91,29	<0,0001
Secuencia x Momento	8,37	<0,0001
SL x Secuencia x Momento	1,41	0,05

La cobertura superficial de rastrojos afecta la temperatura del suelo a través de la intercepción de la radiación y de mayor retención de agua, lo que puede modificar el establecimiento de cultivos (Christian & Miller, 1986 y Kaspar *et al.*, 1990 citados por Guérif *et al.*, 2001). La evolución de la Cob a través de los momentos agrupados por los SL se observa en la Figura 3.1.1. En el inicio de la experiencia las condiciones de cobertura eran óptimas (porcentajes superiores al 90%) ya que la mucuna logró una excelente protección de la superficie. No obstante, aún bajo SD se observó una reducción de la cobertura, con una tendencia a la disminución en el tiempo del porcentaje de suelo cubierto.

A partir de la aplicación de los tratamientos, los niveles del factor SL variaron de igual manera hasta el final del ensayo (Figura 3.1.1). En todos los momentos los tratamientos bajo SD obtuvieron mayores niveles de cobertura del suelo, encima del 70%, y se diferenciaron estadísticamente de los tratamientos labrados. Las parcelas con LR, al efectuar la operación de incorporación parcial de los rastrojos, mantuvieron porcentajes de cobertura intermedios y estadísticamente mayores que los de LC (Figura 3.1.1).

En los tres ciclos productivos estudiados, analizando un mismo año, los porcentajes de suelo cubierto a la siembra fueron inferiores a los obtenidos a la cosecha, indistintamente del SL, como resulta esperable por los aportes de los rastrojos de los cultivos (Drury *et al.*, 2003).

Durante la experiencia, solamente en dos de los momentos estudiados, Si1 y Si2, los tratamientos LC y LR registraron niveles de cobertura inferiores al 30%, considerado como valor de referencia para mantenerlo protegido del impacto de las gotas de lluvia (Unger *et al.*, 1995). En los últimos momentos de muestreo, el número de operaciones de los tratamientos labrados no resultó suficiente para efectuar la incorporación de los rastrojos, consecuentemente, el suelo tuvo un mayor porcentaje de cobertura que lo habitualmente encontrado en condiciones de chacras de pequeños agricultores con sistemas tradicionales de laboreo.

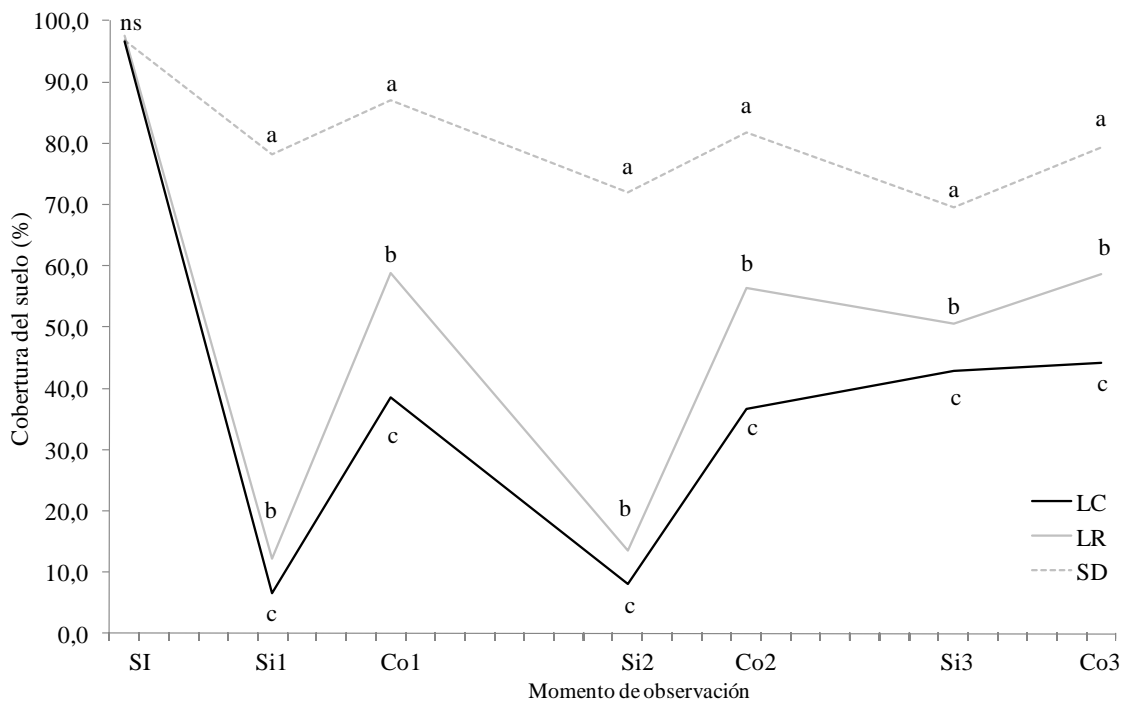


Figura 3.1.1. Evolución de la cobertura del suelo agrupado por sistemas de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).

Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles por momento mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.



Solamente bajo el sistema de SD se obtuvieron valores de cobertura cercanos al 80% mencionado por Shaxson & Barber (2005) como suficientes para mejorar la capacidad de infiltración del agua de lluvia en sistemas productivos de bajos insumos.

Los niveles del factor Secuencia registraron igual comportamiento en seis de los siete momentos de muestreo (Figura 3.1.2). Solamente a la siembra del tercer año, Si3, se obtuvieron diferencias entre los niveles. Ambos tratamientos con avena negra como cobertura durante el invierno, tuvieron mayor porcentaje de suelo cubierto estadísticamente diferente del resto. La combinación MD fue la de menor cobertura, diferente de las restantes.

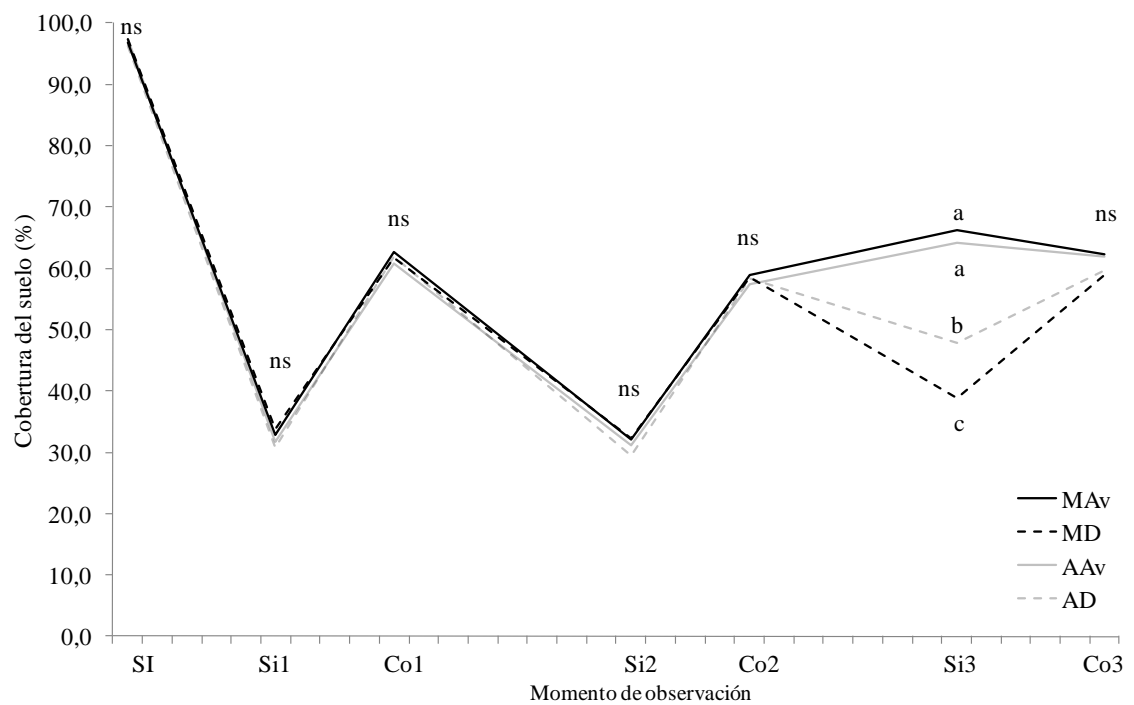


Figura 3.1.2. Evolución de la cobertura del suelo agrupado por secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles por momento mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.

A diferencia del factor SL, en el caso de Secuencia los valores de Cob permanecieron por encima del umbral del 30% en todos los momentos observados (Figura 3.1.2). Esto

indicó que los aportes diferentes en calidad y cantidad de los rastrojos de los cultivos de renta y la inclusión de avena negra como cultivo de cobertura invernal en producciones de bajos insumos, no influyeron de manera significativa en la protección de la superficie del suelo a través de los rastrojos.

En la experiencia, los niveles de Cob al inicio (SI) fueron cercanos al 100% como resultado de la implantación de mucuna como cultivo de cobertura estival (Figura 3.1.1 y Figura 3.1.2). Indistintamente del tratamiento aplicado, en todas las parcelas se evidenció una reducción del porcentaje de suelo cubierto con el mantenimiento de las prácticas agrícolas durante los primeros tres ciclos productivos, siendo en general menor a la siembra.

Para los sistemas de producción de bajos insumos, como las del N de Corrientes, se puede generalizar que los SL tuvieron efecto más directo sobre la cobertura del suelo que las Secuencias empleadas, ya que sosteniendo la SD se lograron porcentajes de suelo cubierto mayores que los labrados, aún con la incorporación de cultivos de cobertura durante el invierno.

### 3.2. Biomasa en superficie

El promedio general de la variable BM varió significativamente a través de los momentos observados, pero no se registró interacción triple SL x Secuencia x Momento. Tampoco hubo interacción entre SL y Secuencia. Ambos factores SL y Secuencia mostraron diferencias significativas entre sus niveles, manteniendo la tendencia en el tiempo (Cuadro 3.2.1).

Cuadro 3.2.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la biomasa en superficie con las interacciones entre los efectos. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos. Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.

Efecto	F-valor	Pr > F
SL	113,6	<0,0001
Secuencia	5,98	<0,01
Momento	219,28	<0,0001
SL x Secuencia	0,45	0,84
SL x Momento	15,07	<0,0001
Secuencia x Momento	6,75	<0,0001
SL x Secuencia x Momento	1,44	0,05

La evolución de la BM a través de los momentos observados por el efecto de los SL se puede apreciar en la Figura 3.2.1. En ella se nota que los niveles del factor variaron de igual manera a partir de la aplicación de los tratamientos, y al igual que Cob, para un mismo nivel y en el mismo ciclo productivo, fue menor a la siembra respecto de la cosecha. De igual forma, con la mayor intensidad de laboreo se obtuvieron menores valores de rastrojos en superficie, pudiendo resumirse la respuesta de la variable BM de acuerdo a la labranza empleada en el siguiente orden: SD>LR>LC.

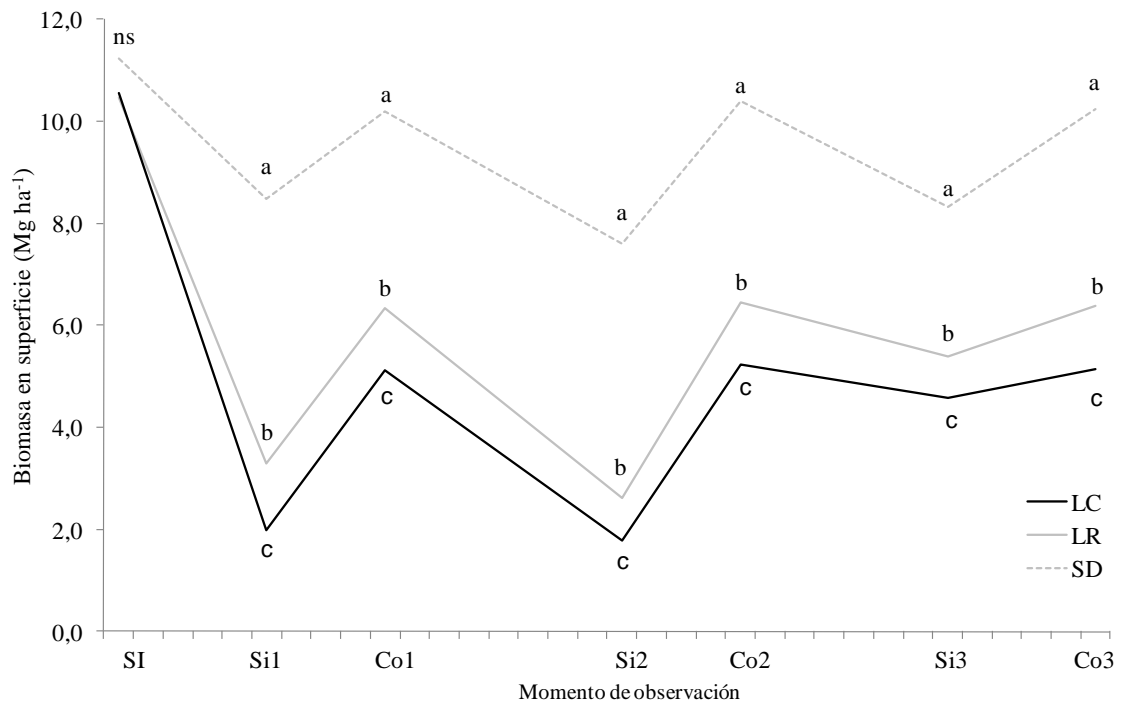


Figura 3.2.1. Evolución de la biomasa en superficie agrupado por sistemas de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles por momento mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.

La cantidad de rastrojos remanente en superficie, tal como lo citado en otras experiencias, varió sustancialmente con los sistemas de labranza aplicados, a través de los años y con el momento de muestreo (Drury *et al.*, 2003). No obstante, los valores de materia orgánica en la superficie del suelo estudiado recién registraron cambios significativos luego del tercer año de sostener las prácticas en muestras tomadas en agosto del 2011 (Apéndice E).

Como el mantenimiento de rastrojos en superficie junto a la no remoción del suelo son requerimientos para la implementación de la SD, fue esperable encontrar mayor BM en estos tratamientos, estadísticamente diferente de los restantes, y con valores entre 7,6 Mg ha<sup>-1</sup> y 10,4 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 3.2.1). Las parcelas bajo LR registraron promedios de BM intermedios, con valores que oscilaron entre 2,6 Mg ha<sup>-1</sup> y 6,4 Mg ha<sup>-1</sup>; mientras que aquéllas con LC a partir de Si1 no alcanzaron los 6 Mg ha<sup>-1</sup> en ninguno de los momentos y obtuvieron los menores registros de BM, significativamente diferentes de los restantes (Figura 3.2.1). Bajo LC en dos momentos, Si1 y Si2, se registraron valores de BM menores a 2 Mg ha<sup>-1</sup>, valor a partir del cual los rastrojos cumplen el efecto protector (Wischmeier, 1973 citado por Langdale *et al.*, 1987; Mulumba & Lal, 2008) y menores que los 4 Mg ha<sup>-1</sup> suficientes para ocasionar mejoras en propiedades físicas relacionadas al movimiento del agua (infiltración) (Shaxson & Barber, 2005).

El factor Secuencia no mostró diferencias entre los niveles hasta el tercer momento observado inclusive (Figura 3.2.2).

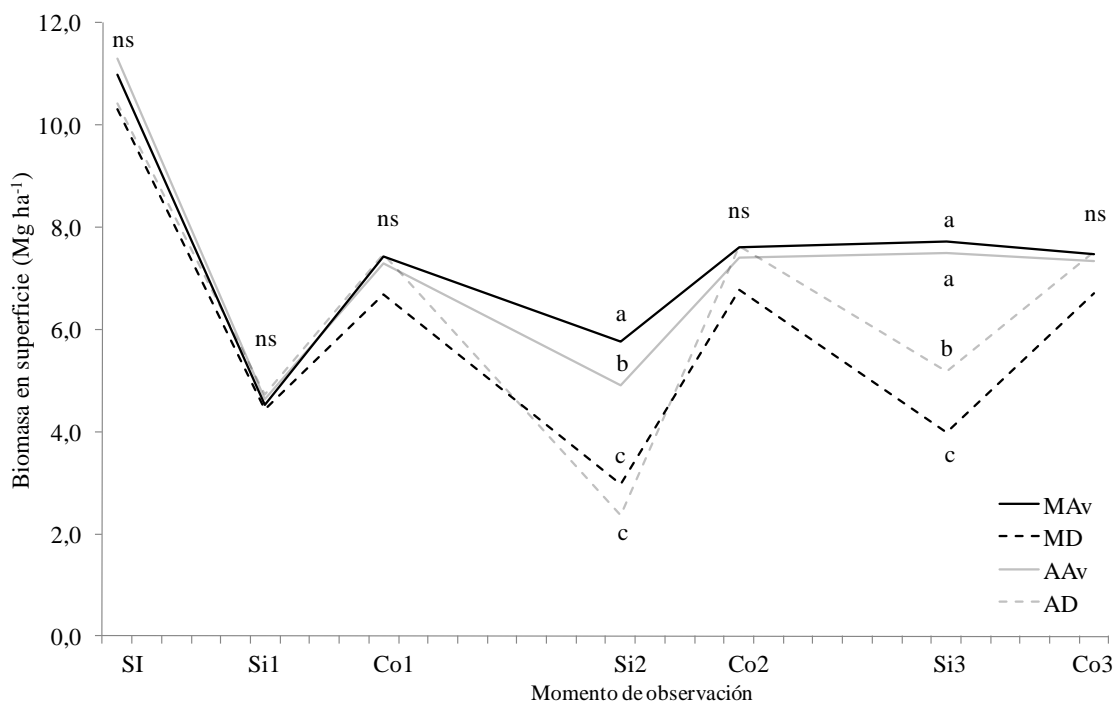


Figura 3.2.2. Evolución de la biomasa en superficie agrupado por secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles por momento mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.

Al final del primer ciclo productivo (Co1), indistintamente del sistema de labranza empleado, los cultivos de maíz y algodón dejaron similares cantidades de rastrojo en superficie (Figura 3.2.2). Ello se debió a que si bien el cultivo de algodón no aporta mucho rastrojo, los rendimientos fueron relativamente buenos,  $1.745 \text{ kg ha}^{-1}$ , mientras que en el caso del maíz, fueron sensiblemente más bajos que los potenciales ( $1.641 \text{ kg ha}^{-1}$ ), y, por lo tanto, los aportes de rastrojos, menores.

Luego del primer período de barbecho, la combinación MAV fue la que alcanzó mayor BM,  $5,77 \text{ Mg ha}^{-1}$ , estadísticamente diferente de los restantes tratamientos (Figura 3.2.2). Seguida a ésta fue el tratamiento AAV, y por último y sin diferencias entre sí, las secuencias con descanso durante el invierno. En este momento, MD y AD superaron por muy poco los  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de rastrojos en la superficie (Figura 3.2.2). Este comportamiento permite suponer que con la incorporación de avena negra como cultivo de cobertura invernal en producciones de bajos insumos, ya se pueden apreciar diferencias en los aportes de biomasa desde los rastrojos a partir del primer año de uso.

A la Co2, no se registraron diferencias significativas entre las Secuencias con un promedio de BM de  $7,36 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Figura 3.2.2). En esta campaña el cultivo de maíz tuvo inconvenientes durante la implantación, lo que ocasionó mermas en los rendimientos que provocaron los menores aportes de rastrojos, mientras que el algodón mantuvo rendimientos en fibra elevados.

Al momento de la siembra del tercer ciclo productivo, Si3, ambos tratamientos con avena negra como cobertura (MAV y AAV) registraron las mayores medias, con valores superiores a  $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Mientras que los tratamientos con descanso tuvieron los menores valores de BM, siendo MD el de menor promedio,  $3,99 \text{ Mg ha}^{-1}$ , estadísticamente diferente de los restantes (Figura 3.2.2).

Finalmente, a Co3, las combinaciones de cultivos no registraron diferencias entre sí, con promedio general de  $7,26 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Figura 3.2.2).

Con los datos obtenidos del factor Secuencia se puede interpretar que el cultivo de avena empleado como cobertura invernal permitió mantener valores elevados de BM en superficie, en concordancia con lo sostenido por Steiner *et al.* (2000), ya que en un período corto se obtuvieron valores de BM significativamente superiores a los registrados en parcelas manejadas con descanso (Snapp *et al.*, 2005). Esto sugiere que es factible el empleo de avena negra como cubierta verde invernal por los pequeños agricultores que requieran incrementar los aportes de biomasa durante el barbecho.

Durante los tres años estudiados no se registraron diferencias entre los niveles del factor Secuencia en el período de cosecha. Esto indica que al final del ciclo de los cultivos estivales se logran equiparar la producción de rastrojos en condiciones de manejo de bajo uso de insumos. Con esto, para los pequeños agricultores y en condiciones similares, en relación a la cobertura del suelo, resultaría indistinto iniciar la rotación con maíz o algodón.

Al final de la experiencia, los valores de BM fueron menores a los obtenidos al comienzo, independientemente del SL y de la Secuencia. Esto muestra la dificultad de mantener altos niveles de rastrojos en superficie con baja presión de uso de la tierra, aún cuando se emplean cultivos de cobertura en los períodos entre cultivos de renta.

Según los resultados del trabajo, para esquemas productivos de bajos insumos como los utilizados por los pequeños agricultores de Corrientes, la implementación de la SD, indistintamente de la secuencia de cultivos empleada, permitió mantener los niveles de rastrojos en la superficie por encima de los tratamientos labrados. Ésta práctica contribuiría así a mejoras en otras propiedades del suelo asociadas a la captación y movimiento del agua en el suelo como la mejora en la infiltración (Unger, 2002; de la Vega *et al.* 2004; Mulumba & Lal, 2008) y la agregación en superficie (Kushwaha *et al.*, 2001) e indirectamente en la productividad de los cultivos (Reiter *et al.*, 2008).

### 3.3. Densidad aparente

Los resultados del análisis de medidas repetidas en el tiempo de la variable Da para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm se muestran en el cuadro 3.3.1.

Cuadro 3.3.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la densidad aparente con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos. Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.

Efecto	0-7 cm		7-20 cm	
	F-valor	Pr > F	F-valor	Pr > F
SL	20,49	<0,0001	1,42	0,25
Secuencia	1,11	0,36	0,26	0,86
Momento	10,8	<0,0001	21,25	<0,0001
SL x Secuencia	2,25	0,06	0,44	0,85
SL x Momento	4,17	<0,0001	1,48	0,13
Secuencia x Momento	1,78	0,02	1,76	0,03
SL x Secuencia x Momento	0,92	0,60	1,16	0,24

En el cuadro 3.3.1 se observa que en ninguna de las capas evaluadas hubo interacción triple (SL x Secuencia x Momento). Similares resultados fueron obtenidos en un Alfisol durante los seis primeros años de su aplicación (Katsvairo *et al.*, 2002), dando una idea de la consistencia de la variable Da.

En el primer estrato no se observó interacción entre SL y Secuencia, indicando que ninguno de los factores en conjunto interactuó con el factor Momento, ni entre sí. Sin embargo, tanto SL como Secuencia individualmente interactuaron con Momento, lo que refleja que los factores tuvieron comportamiento diferente en cada etapa observada (Cuadro 3.3.1).

Al igual que en el espesor superficial, para el estrato 7-20 cm la Da tampoco registró interacción entre SL y Secuencia. El factor Secuencia mostró interacción significativa con Momento, reflejando la variación de este factor en el tiempo. En el caso de SL, en cambio, el valor crítico elevado para la interacción con Momento indicó que la Da debida a los SL no varió diferencialmente a través de las diferentes observaciones (Cuadro 3.3.1).

Como en las dos profundidades no se registraron interacciones entre los efectos principales se analizó la evolución de cada nivel a través de los momentos y se efectuó la comparación múltiple de medias (Figura 3.3.1 y Figura 3.3.2).

La Figura 3.3.1.a muestra la evolución de la Da bajo los SL probados en la profundidad 0-7 cm. Se observó que los tratamientos bajo SD registraron promedios de Da superiores en todos los momentos luego de la SI, y que solamente a Co1 y Si2 no registraron diferencias significativas respecto de LC. En este estrato, a excepción de Co3, los tratamientos con LC obtuvieron promedios mayores que LR pero no registraron diferencias significativas entre sí en ninguno de los momentos observados (Figura 3.3.1.a). Podría entenderse que el laboreo más agresivo y la mayor incorporación de rastrojos ocasionaron que la Da en el espesor superficial fuera superior bajo LC respecto de LR.

La incorporación incompleta de los rastrojos con herramientas livianas pudo favorecer que bajo la Da no se incrementara durante los tres primeros años de mantenimiento de las prácticas.

La evolución de la Da asociada al factor Secuencia para la profundidad 0-7 cm se muestra en la Figura 3.3.1.b. En ella puede verse que no se registraron diferencias significativas entre sus niveles en los primeros cuatro momentos observados.

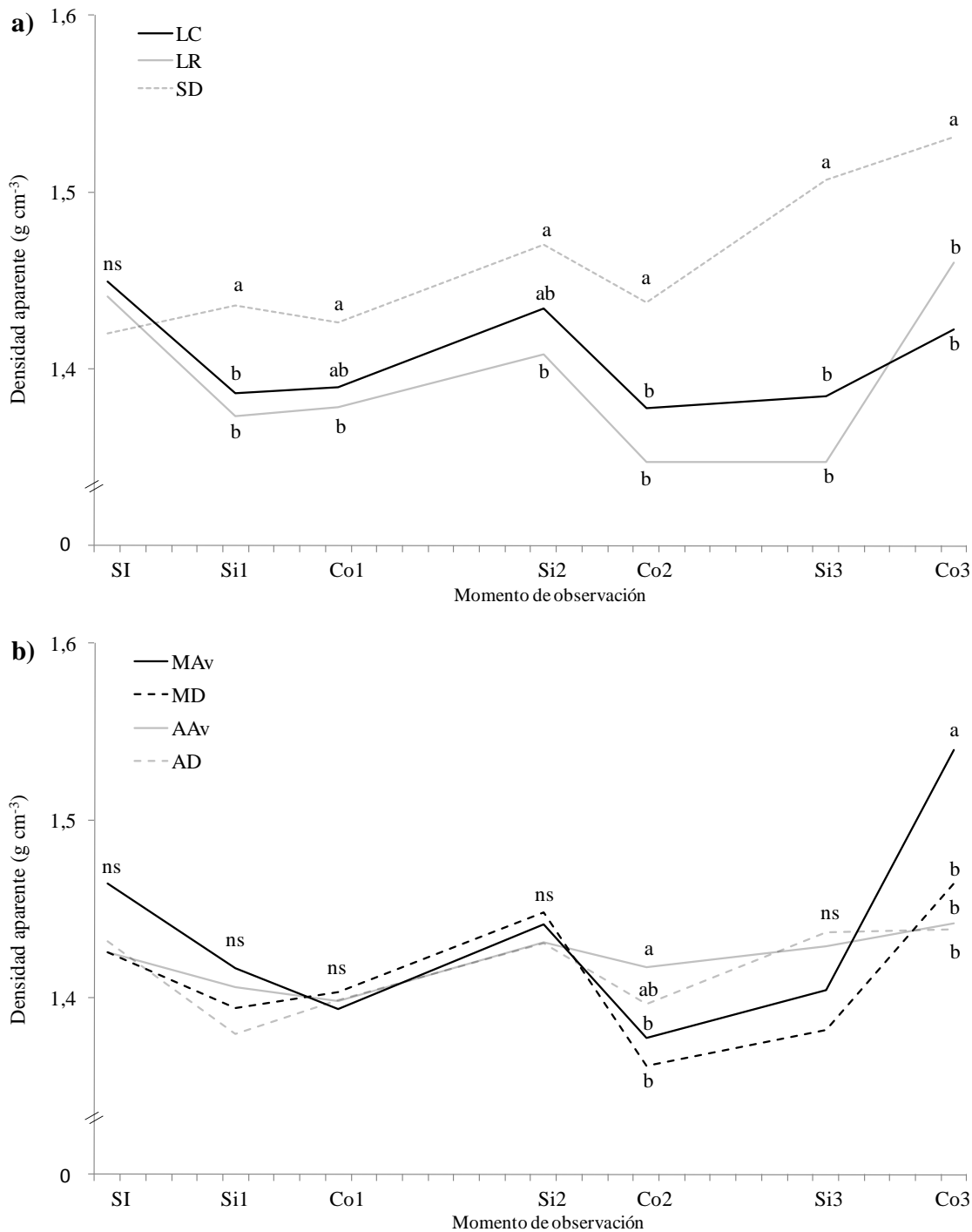


Figura 3.3.1. Evolución de la densidad aparente en la profundidad 0-7 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.



A la Co2 se apreciaron diferencias significativas por efecto de la Secuencia, donde AAv obtuvo la mayor media, sin diferencias con AD, pero sí con MAV y MD, con diferencias entre sí (Figura 3.3.1.b). Esto fue coincidente con los menores rendimientos de maíz amarillo registrados en el ensayo (Cuadro 3.9.2). El menor desarrollo del maíz pudo ocasionar una reducción del efecto, a través de su sistema radical, de generación de macroporosidad en superficie al momento de la cosecha y con ello que la Da aumente (Restovich *et al.*, 2011).

Nuevamente, a la Si3 no se registraron diferencias estadísticas hasta el último momento de muestreo, Co3, donde las combinaciones MAV obtuvieron los mayores valores de Da, estadísticamente diferentes de los restantes, que no difirieron entre sí (Figura 3.3.1.b). Esta secuencia fue también la de menor rendimiento de maíz en esa cosecha.

Al graficar el factor SL en el tiempo para el estrato 7-20 cm (Figura 3.3.2.a), se evidenció la falta de interacción entre estos factores (Cuadro 3.3.1). Se observó que en Si1 y Co1 los tratamientos bajo LC obtuvieron la mayor Da, estadísticamente diferente de LR y SD. Durante el segundo ciclo productivo no se registraron diferencias entre los niveles. Al momento Si3, los tratamientos bajo SD, con mayor Da, difirieron de LC, mientras que LR tuvo valores intermedios, sin diferencias entre ambos. En el último momento observado, Co3, no se registraron diferencias significativas entre los SL probados.

En cuanto a Secuencia, la Figura 3.3.2.b muestra los valores promedio de Da en la profundidad 7-20 cm a través del tiempo bajo las diferentes combinaciones de cultivos. En ella puede verse que las diferentes secuencias de cultivos provocaron variación en la Da en los momentos observados, como lo indica el Cuadro 3.3.1, pero con una tendencia general bastante uniforme.

En relación a la magnitud de la Da, los valores óptimos varían de acuerdo a la textura del suelo y a los cultivos de que se trate. Para texturas franco-arenosas, valores de Da cercanos a  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$  pueden considerarse como críticos (Bowen, 1981, citado por Porta *et al.*, 1994); mientras que el rango para un crecimiento adecuado de las plantas varía entre  $0,7 \text{ g cm}^{-3}$  y  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$  (Lal & Shukla, 2004).

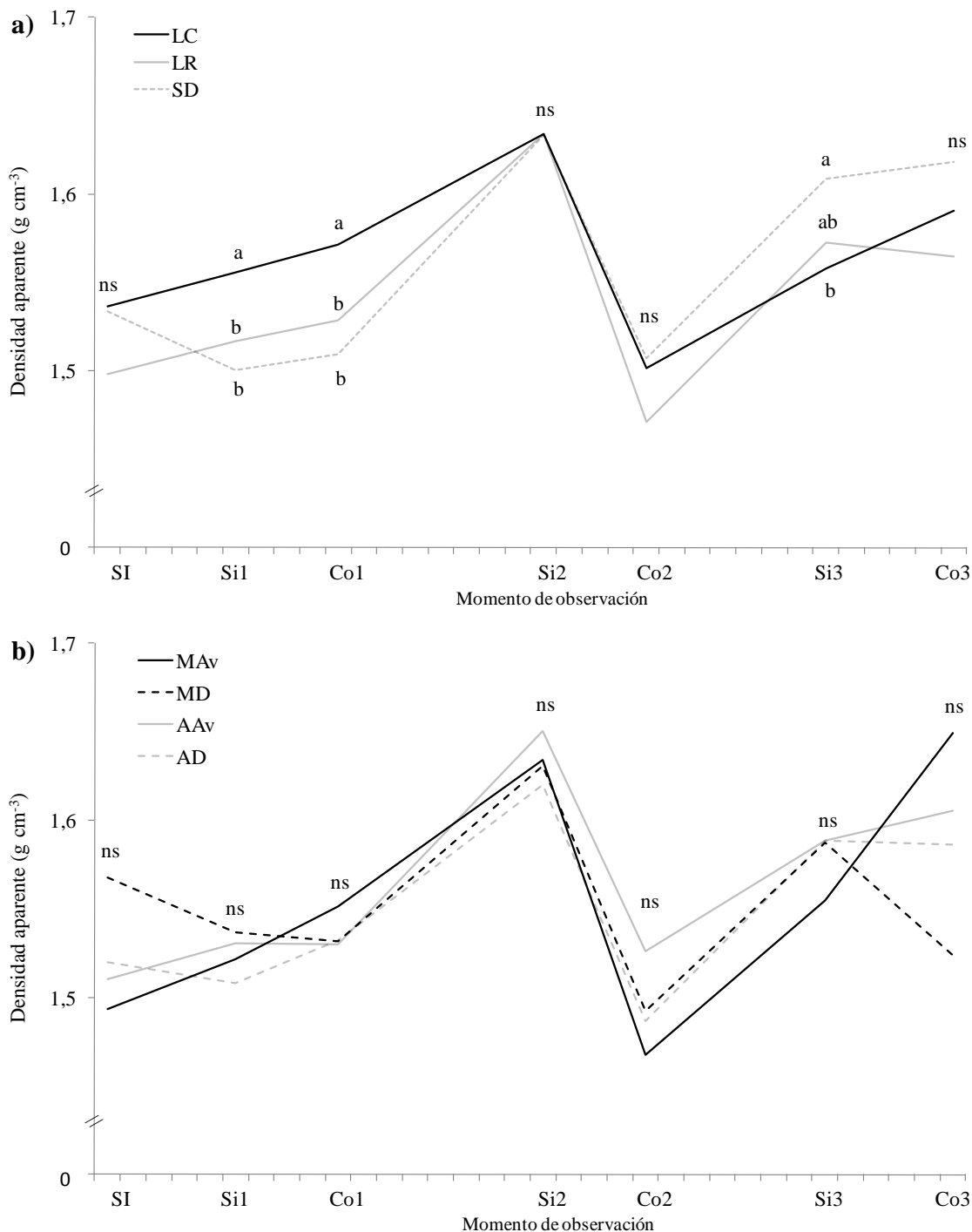


Figura 3.3.2. Evolución de la densidad aparente en la profundidad 7-20 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.

Durante esta experiencia, a la SI la Da se encontraba por encima del valor crítico en ambas profundidades:  $1,44 \text{ g cm}^{-3}$  en 0-7 cm, y  $1,52 \text{ g cm}^{-3}$  en 7-20 cm. Estos valores muestran un grado de densificación a causa del manejo dado al lote previo al ensayo, cuyos contenidos de materia orgánica oscilaban en el rango de 2,0 a 2,7 (Apéndices B y E). Ésta condición podría afectar el desempeño agronómico de los cultivos y la efectividad de las prácticas de manejo, especialmente en aquéllas que implicaran la no remoción del suelo. Un aspecto a considerar es que aún con los importantes aportes de rastrojos del cultivo de cobertura de verano antecesor los valores de Da se mantuvieron por encima de los deseables.

En términos generales, se puede afirmar que la variable Da se mostró afectada por la aplicación de diferentes prácticas de manejo de suelos. Se registraron cambios significativos en superficie (0-7 cm), y debido a la aplicación de SL contrastantes, presentando en general para todas las campañas mayores valores bajo SD en las muestras de 0-7 cm y para la tercera campaña en las muestras de 7-20 cm. El efecto sobre la Da se vinculó más a los SL que a la secuencia de cultivos, en concordancia con encontrado por Sasal *et al.* (2008) en un Argiudol ácuico de Entre Ríos manejado con diferentes rotaciones.

Los tratamientos bajo SD obtuvieron mayor Da en superficie respecto de prácticas de laboreo convencional, tal como lo reportaran varios autores (Hammel, 1989; Franzluebbers *et al.*, 1995; Drury *et al.*, 2003; Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003; McVay *et al.*, 2006), y estos promedios superaron el valor crítico en todos los momentos observados (Figura 3.3.1.a). Estos resultados podrían indicar que para las condiciones estudiadas, en la profundidad 0-7 cm, los tratamientos labrados, LR y LC, fueron más eficientes en reducir la Da del suelo mediante operaciones mecánicas, especialmente importante al momento de la preparación de la cama de siembra. Otros autores, en cambio, no encontraron diferencias en la Da en superficie al contrastar los SL en los primeros años de su implementación (Blevins *et al.*, 1977).

En los tratamientos con SD, la Da en superficie se incrementó progresivamente durante los primeros tres años de su aplicación. Esto indicó que con el mantenimiento de la práctica en el tiempo se produjo un efecto acumulativo en la Da. Dicho incremento puede deberse a la supresión del disturbio mecánico y mullido de la superficie del suelo producto del laboreo (Kushwaha *et al.*, 2001).

Por otra parte, en los 7 cm superficiales, ambos tratamientos labrados generaron menores Da en relación al valor inicial, pero aún así cercanos al valor crítico. Es decir

que para las condiciones del ensayo, ambas practicas de remoción fueron insuficientes para llevar la Da a valores por debajo del crítico. Otros autores, en cambio, notaron incrementos en la Da bajo LC al momento de la cosecha del algodón (Bravo & Florentino, 1997). Este mantenimiento de valores bajos de Da en LC y LR, aún luego de la cosecha, permite suponer que, para las condiciones estudiadas, los efectos de las operaciones de labranza se extendieron hasta el final del ciclo de los cultivos.

En el estrato 7-20 cm la Da no mostró efectos por la aplicación de SL y secuencias de cultivos, pero en todos los momentos observados sus valores superaron al crítico, con incrementos que oscilaron entre el 6,4% al 16,4% respecto de la SI.

### 3.4. Porosidad total

El análisis en el tiempo de PT para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm se muestra en el Cuadro 3.4.1. En ninguno de los dos estratos hubo interacción triple (SL x Secuencia x Momento), ni interacción entre SL y Secuencia, indicando que ambos factores en conjunto no interactuaron con el tiempo, ni entre sí.

Tanto SL como Secuencia individualmente interactuaron con Momento en el espesor 0-7 cm, lo que refleja que los factores tuvieron comportamiento diferente en cada etapa observada (Cuadro 3.4.1).

Cuadro 3.4.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la porosidad total con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos. Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.

Efecto	0-7 cm		7-20 cm	
	F-valor	Pr > F	F-valor	Pr > F
SL	19,92	<0,0001	0,92	0,41
Secuencia	1,08	0,37	0,55	0,65
Momento	11,22	<0,0001	37,14	<0,0001
SL x Secuencia	2,18	0,07	1,20	0,33
SL x Momento	4,14	<0,0001	2,29	0,01
Secuencia x Momento	1,77	0,03	1,27	0,20
SL x Secuencia x Momento	0,93	0,60	1,18	0,22

La PT tuvo interacción significativa con Momento en el estrato 7-20 cm solamente para el factor SL, reflejando la variación de este factor en el tiempo (Cuadro 3.4.1).

Se analizó la evolución de cada nivel de SL a través de los momentos y se efectuó la comparación múltiple de medias (Figura 3.4.1.a y Figura 3.4.2.a).

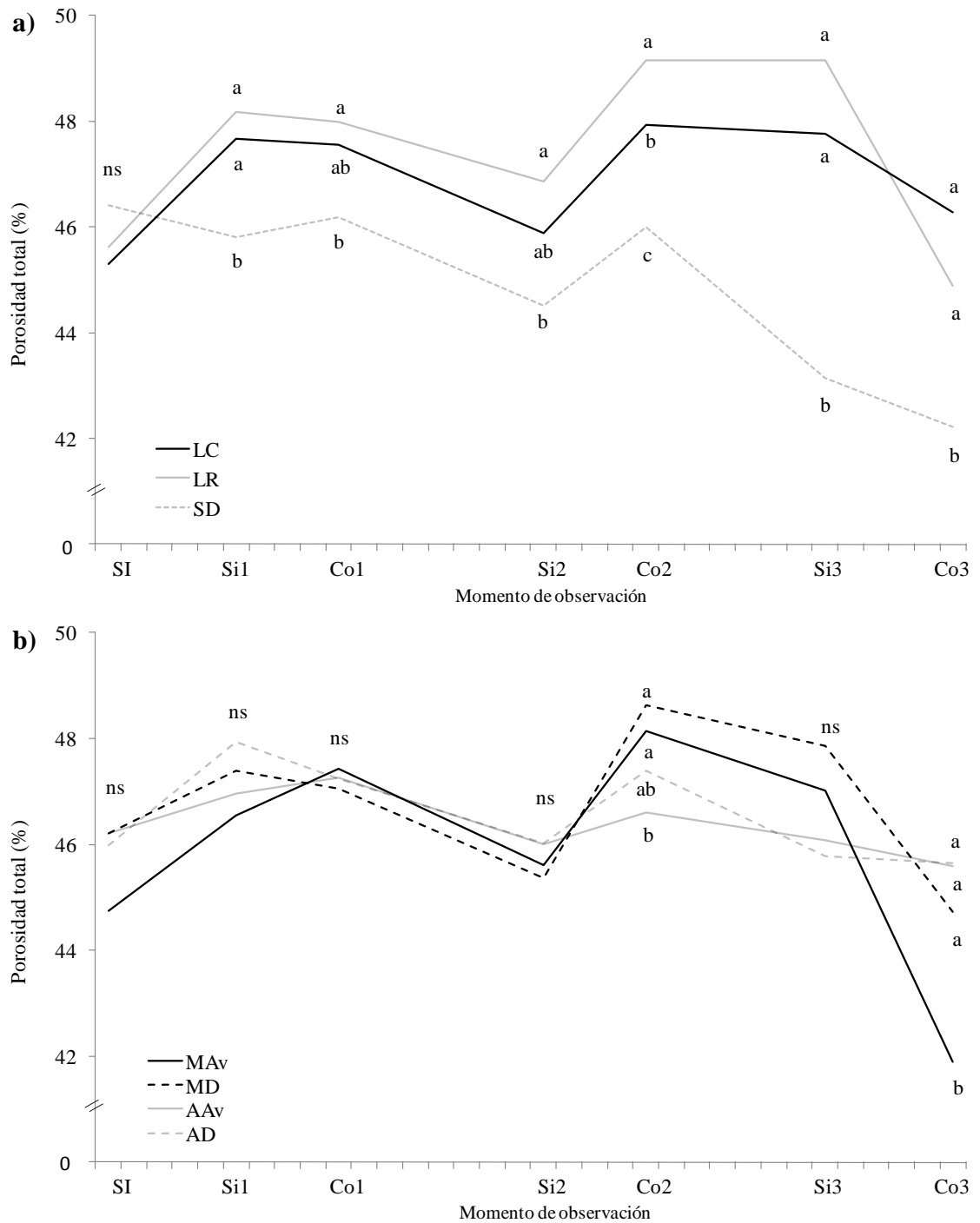


Figura 3.4.1. Evolución de la porosidad total en la profundidad 0-7 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.

La evolución de la PT en los SL probados para la profundidad 0-7 cm se resume en la Figura 3.4.1.a. Los tratamientos con LR tuvieron la mayor porosidad en la superficie en todos los momentos pero sin diferencias con LC, a excepción del momento Co2. Esto podría deberse a que la incorporación parcial de los rastrojos y la remoción superficial habrían sido favorables para el mantenimiento de la porosidad. Las parcelas bajo SD tuvieron promedios de PT significativamente inferiores a partir de la aplicación de los tratamientos en la SI. En la Figura 3.4.1.a puede verse una pérdida progresiva del espacio poroso en superficie por la ausencia de remoción del suelo en los tratamientos no labrados.

La evolución de la PT para la profundidad 0-7 cm por la Secuencia empleada se muestra en la Figura 3.4.1.b. En ella puede notarse que no hubo cambios significativos respecto de la SI por la aplicación de secuencias de cultivos diferentes hasta el último momento de muestreo. No se registraron diferencias entre sus niveles en los primeros cuatro momentos. A la Co2 se notaron diferencias entre sus niveles, donde AAv obtuvo el menor promedio. Recién en el último momento de muestreo, Co3, se tuvieron diferencias nuevamente donde MAV obtuvo la menor PT, estadísticamente diferente de los restantes tratamientos, que no difirieron entre sí (Figura 3.4.1.b).

Contrariamente a lo esperado, las parcelas con mayor proporción de gramíneas en la secuencia, ya sea con dos ciclos de maíz y avena como cobertura (MAV) o bien cuando la avena negra fue el cultivo de cobertura invernal (AAV) fueron los tratamientos con peor desempeño de la variable PT en superficie en la Co2 y en la Co3. Aparentemente, durante los dos primeros años, las malezas invernales que crecieron en los barbechos con descanso lograron mantener la PT en mejores condiciones que la cobertura de avena.

En el estrato 7-20 cm los niveles de SL variaron en el tiempo (Figura 3.4.2.a). En Si1 y Co1 los tratamientos SD y LR obtuvieron mayor PT, sin diferencias entre sí, pero estadísticamente diferentes de LC. Durante el segundo año no se registraron diferencias entre los niveles, con los menores promedios de PT de toda la experiencia a la siembra y los mayores a la cosecha. A la Si3, SD obtuvo la menor PT, diferente de LC, mientras que LR tuvo valores intermedios, sin diferencias entre ambos. En el último momento observado, Co3, no se registraron diferencias significativas entre los SL probados, notándose una reducción de la PT luego de tres ciclos productivos (Figura 3.4.2.a).

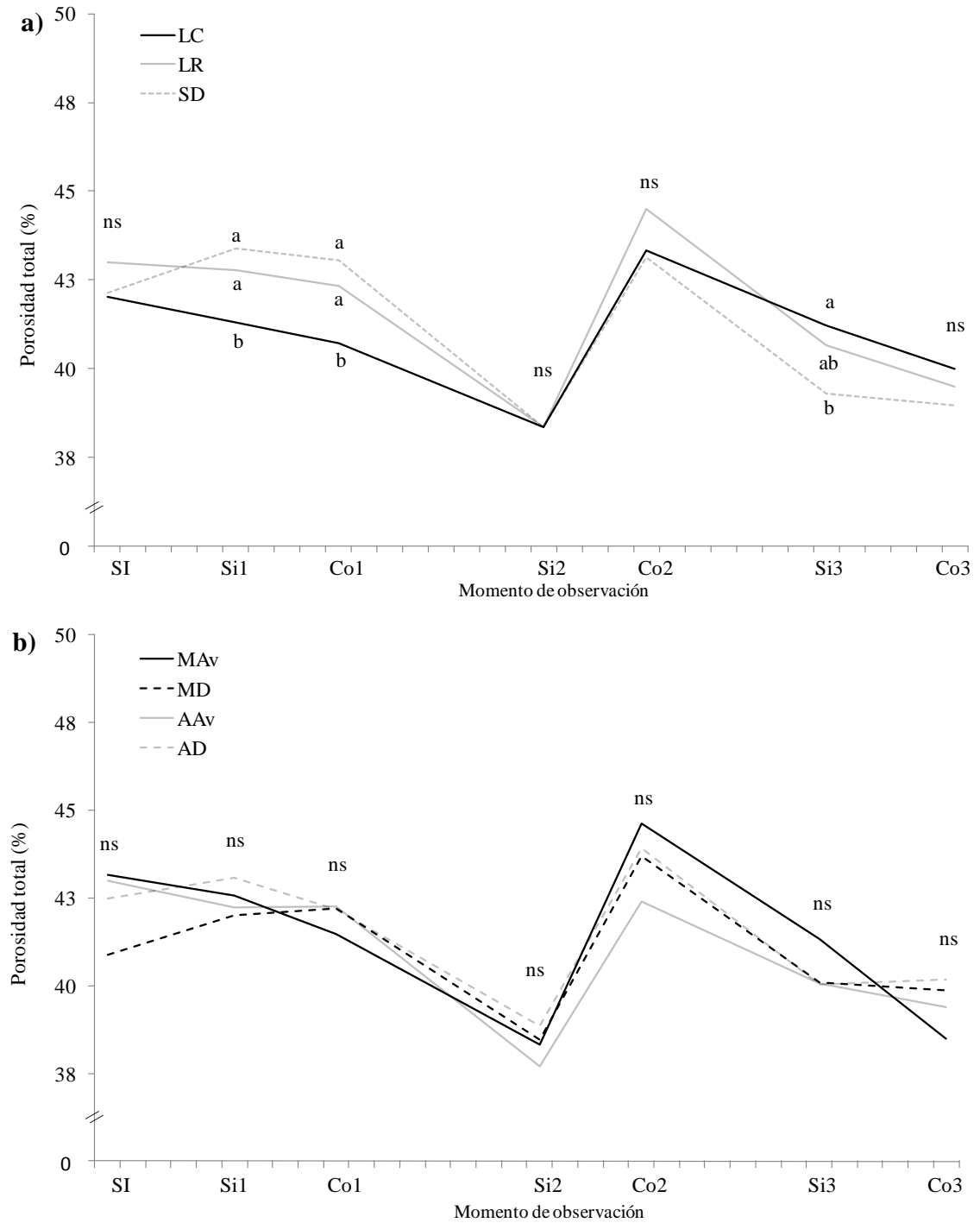


Figura 3.4.2. Evolución de la porosidad total en la profundidad 7-20 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.

En este espesor podría haberse esperado un mayor efecto de las labranzas en la PT, pero teniendo en cuenta que se usaron implementos livianos, no se manifestó tan claramente como en el estrato superficial.

En cuanto al efecto de la Secuencia empleada en la PT para el espesor 7-20 cm, la Figura 3.4.2.b muestra que las secuencias evaluadas no provocaron variaciones a través de los momentos observados. Aquí también se observó la tendencia a perder PT en el tiempo al mantener las prácticas agrícolas durante tres años consecutivos.

En suelos franco arenosos de regiones templadas, la PT adquiere valores entre 35,1% y 55,5%, con promedio de 45,3% (Rawls *et al.*, 1982). En esta experiencia, los valores al inicio se encontraban dentro de los esperables, pero conforme se mantuvieron las prácticas éstos descendieron por debajo de este promedio, con reducciones en el estrato 0-7 cm de hasta un 4,2 (bajo SD) y de 2,9 (con MAV) puntos porcentuales, que representó una caída respecto de la SI del 9,0% y del 6,4%, respectivamente. De igual manera, en 7-20 cm, las disminuciones estuvieron entre 3,5 (LR) y 4,7 (MAV) puntos porcentuales, siendo menores que SI en un 8,2% y 10,9%, respectivamente.

La PT se vio más afectada por la aplicación de diferentes SL que por las secuencias de cultivos. No obstante, indistintamente de los manejos empleados, la PT en los 20 cm del suelo se redujo luego de tres años de agricultura continua respecto de la situación inicial. Esta reducción de la porosidad del suelo puede repercutir en otras propiedades físicas tornándolas desfavorables, como la menor aireación del suelo, menor capacidad de infiltración de agua y dificultad para la penetración de las raíces (Baver *et al.*, 1972; Forsythe, 1975; Lal & Shukla, 2004).

Generalmente, los suelos bajo sistemas de producción agrícola intensiva tienden a compactarse, y al reducir su porosidad pierden parte de su potencialidad de producción. Las labranzas buscan por métodos mecánicos romper las capas densas y crear poros que permitan el ingreso de las raíces (Shaxson & Barber, 2005). Para las condiciones estudiadas, este objetivo se logró bajo LC y LR, con menores aportes de rastrojos que bajo SD (Figura 3.2.1), obteniéndose mayor PT. Los tratamientos labrados mostraron mayor PT en los 7 cm superficiales que en la SI, excepto LR en el último momento.

En el estrato 7-20 cm la PT no mostró efectos por la aplicación de diferentes secuencias, y por los SL sólo en tres de los momentos observados se obtuvieron diferencias entre ellos. En este espesor, los promedios de PT quedaron por debajo del piso de 40% en Si2 y cercanos en el último ciclo productivo, reflejando que los efectos negativos podrían empezar a manifestarse al finalizar el tercer año de producción agrícola continua.



### 3.5. Espacio aéreo a capacidad de campo

Los resultados del análisis de medidas repetidas de EaCC para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm se resumen en el Cuadro 3.5.1. En ninguno de los espesores se registró interacción triple (SL x Secuencia x Momento), pero sí entre SL y Momento y Secuencia con Momento. En ambos espesores se registró interacción entre SL y Secuencia, por ello se realizó el análisis de la varianza por momento de observación para identificar el origen de la interacción en cada uno de ellos (Correa Londoño, 2004).

Cuadro 3.5.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo del espacio aéreo a capacidad de campo con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.

Efecto	0-7 cm		7-20 cm	
	F-valor	Pr > F	F-valor	Pr > F
SL	29,51	<0,0001	1,83	0,18
Secuencia	1,34	0,28	1,44	0,25
Momento	46,99	<0,0001	67,33	<,0001
SL x Secuencia	4,16	0,00	2,70	0,03
SL x Momento	2,33	0,01	2,47	<0,01
Secuencia x Momento	2,55	<0,001	1,54	0,07
SL x Secuencia x Momento	0,88	0,67	0,96	0,54

El análisis de la varianza por momento para el espesor 0-7 cm se muestra en el Cuadro 3.5.2.

La variable EaCC expresa la porosidad que no retiene agua y permite hacer una estimación de la proporción de los poros de mayor tamaño (Carter & Ball, 1993). Los promedios de EaCC mostraron una disminución general a través de los momentos (Cuadro 3.5.2). Esto indicó que sostener la agricultura de manera continua bajo las condiciones de estudio provocó una reducción progresiva de los poros de mayor tamaño. Otros autores tuvieron resultados similares, menor porosidad de aireación bajo SD respecto de LC, pero con rendimientos mayores de maíz al sostener la SD durante 6 años (Silva *et al.*, 2004). Estos datos son consistentes con lo encontrado por Castiglioni *et al.* (2010) en un Argiudol Vértico de Pampa Ondulada, donde los poros de mayor tamaño (>51  $\mu\text{m}$ ) fueron los que se vieron más afectados al sostener la SD.

Cuadro 3.5.2. Análisis de la varianza del espacio aéreo a capacidad de campo para la profundidad 0-7 cm sobre los efectos principales (SL=sistema de labranza; Secuencia=secuencia de cultivo) y las interacciones por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). CV(%)=coeficiente de variación.

Fuente	SI		Si1		Co1		Si2		Co2		Si3		Co3	
	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F
SL	0,15	0,86	3,87	0,02	1,55	0,22	3,97	0,02	5,53	0,01	19,4	<0,01	9,77	<0,01
Secuencia	0,50	0,69	0,89	0,45	1,07	0,37	1,56	0,20	4,69	0,00	3,44	0,02	8,52	<0,01
SL x Secuencia	0,69	0,65	1,26	0,28	1,90	0,09	1,07	0,39	2,03	0,07	0,69	0,66	2,02	0,07
N° de observaciones	96		95		96		96		96		96		96	
Promedio EaCC (%)	26,3		22,5		32,8		25,9		24,5		23,6		20,8	
CV (%)	27,0		27,0		17,4		18,6		15,3		22,8		23,3	

En ninguno de los siete momentos muestreados se registró interacción SL x Secuencia en la profundidad 0-7 cm (Cuadro 3.5.2). Mientras el factor SL obtuvo diferencia entre sus niveles en cinco de los momentos (no hubo diferencias en SI ni en Co1, coincidente con los mayores valores de EaCC), Secuencia solamente manifestó diferencias en los tres últimos (Cuadros 3.5.2 y 3.5.3).

En la profundidad 0-7 cm, al igual que con la PT, la tendencia fue a una reducción del EaCC debido a la falta de remoción ya que en todos los momentos, las parcelas bajo SD tuvieron menor promedio, siendo significativamente diferente de los tratamientos labrados en los últimos tres (Cuadro 3.5.3).

Por su parte, los tratamientos LC y LR tuvieron similares promedios de EaCC pero mostraron una disminución respecto de la SI (Cuadro 3.5.3). La semi-incorporación de rastrojos del tratamiento LR, o bien la reducción del número de operaciones de labranza podría favorecer el mantenimiento de los poros de mayor tamaño ya que este tratamiento registró los mayores promedios en cuatro oportunidades.

El factor Secuencia en el espesor 0-7 cm obtuvo diferencias entre sus niveles recién a partir de Co2. Allí, las combinaciones que finalizaron el ciclo de algodón (MAv y MD) en ese año obtuvieron los mayores promedios de EaCC (Cuadro 3.5.3). Al finalizar el tercer ciclo productivo, sólo una secuencia se diferenció significativamente del resto, MAv, con menor EaCC. Al igual que con los SL, la tendencia es a una reducción del EaCC por el mantenimiento de las prácticas agrícolas.

De igual manera que en la PT, las parcelas con mayor proporción de gramíneas en la secuencia, fueron las de peor desempeño de la variable EaCC en superficie. Los efectos deseables de las raíces de las gramíneas (maíz y avena negra) como la agregación, la

protección de los macroagregados y la mejora de la porosidad estructural pudieron verse enmascarados en el corto plazo debido a precipitaciones abundantes que pudieron haber debilitado estos efectos positivos (Sasal & Andriulo, 2005; Abiven *et al.*, 2009; Restovich *et al.*, 2011). Las precipitaciones ocurridas en el último período del ensayo posiblemente degradaron el efecto estructurante de las raíces afectando la estabilización de los macroporos.

Cuadro 3.5.3. Comparación de medias del espacio aéreo a capacidad de campo para la profundidad 0-7 cm sobre los niveles de los efectos principales (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa; MAV=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAV=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.

Efecto	EaCC (%)						
	SI	Si1	Co1	Si2	Co2	Si3	Co3
LC	25,8	24,3 a	33,1	25,9 ab	25,4 a	24,5 b	23,2 a
LR	26,7 ns	23,0 a	33,9 ns	27,5 a	25,4 a	27,3 a	21,4 a
SD	26,4	20,2 b	31,4	24,1 b	22,7 b	19,0 c	17,9 b
MAV	24,9	21,4	33,2	24,9	25,8 a	25,0 ab	16,7 b
MD	27,3	22,1 ns	31,0 ns	24,7 ns	26,1 a	25,7 a	21,3 a
AAV	26,7 ns	22,3 ns	33,7 ns	27,0 ns	23,2 b	21,7 c	22,1 a
AD	26,2	24,2	33,3	26,8	22,9 b	22,1 bc	23,3 a

En el espesor de 7-20 cm, las medias de EaCC fueron menores que las obtenidas en superficie (Cuadro 3.5.4). Al igual que en el estrato 0-7 cm, en la capa 7-20 cm se observó una tendencia a la reducción del EaCC al sostener las prácticas agrícolas durante tres ciclos productivos. El promedio general de la EaCC del último momento analizado, Co3, mostró una disminución del 30% respecto al inicio (SI).

Cuadro 3.5.4. Análisis de la varianza del espacio aéreo a capacidad de campo en la profundidad 7-20 cm para los efectos principales (SL=sistema de labranza; Secuencia=secuencia de cultivo) y su interacción por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). CV(%)=coeficiente de variación.

Fuente	SI		Si1		Co1		Si2		Co2		Si3		Co3	
	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F
SL	2,62	0,08	3,54	0,03	4,95	0,01	0,29	0,75	0,05	0,95	4,42	0,01	2,06	0,13
Secuencia	1,44	0,24	1,35	0,26	0,95	0,42	1,93	0,13	2,14	0,10	2,32	0,08	1,00	0,40
SL x Secuencia	0,73	0,63	1,96	0,08	1,73	0,12	1,68	0,14	1,46	0,20	0,67	0,67	1,99	0,08
N° de observaciones	96		95		96		96		96		96		95	
Promedio EaCC (%)	22,8		21,2		25,9		15,3		21,6		19,1		16,0	
CV (%)	18,2		21,6		20,0		29,9		26,0		22,3		23,0	

No se identificaron interacciones positivas entre SL y Secuencia, y solamente en el factor SL se registraron diferencias entre sus niveles en tres de los siete momentos observados (Cuadro 3.5.5).

Cuadro 3.5.5. Comparación de medias del espacio aéreo a capacidad de campo para la profundidad 7-20 cm sobre los niveles de los efectos principales (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa; MAV=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAV=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.

Efecto	EaCC (%)						
	SI	Si1	Co1	Si2	Co2	Si3	Co3
LC	22,0	19,6 b	23,6 b	15,7	21,8	20,1 a	16,9
LR	24,2 ns	22,6 a	26,6 ab	15,3 ns	21,7 ns	19,9 a	16,1 ns
SD	22,2	21,3 ab	27,5 a	14,9	21,4	17,3 b	15,1
MAV	22,7	21,5	25,7	14,8	23,4	21,0	15,0
MD	21,9	20,2	25,4	14,8	21,6	18,9	16,3
AAV	24,3 ns	20,4 ns	25,2 ns	14,4 ns	19,4 ns	18,4 ns	16,1 ns
AD	22,4	22,5	27,4	17,2	22,1	18,1	16,7

En esta profundidad, la variable EaCC se comportó de manera similar a la PT, pero reflejando una caída más brusca de sus promedios generales luego de tres ciclos productivos.

No se registraron efectos de los cultivos, a través de sus diferentes aportes de rastrojos (calidad y cantidad), en el EaCC hasta los 20 cm de profundidad durante los tres años de estudio. Otros autores, en cambio, identificaron al cultivo de avena como estabilizadora del sistema poroso, principalmente debido a la acción física de las raíces (Restovich *et al.*, 2011).

Varela *et al.*, (2011) mencionan que los ciclos de humedecimiento y secado, al promover la ruptura de los agregados ocasionan disminución de la macroporosidad en suelos franco limosos. Al igual que en esta experiencia, durante los tres primeros ciclos productivos, los autores refieren que no se detectaron porcentajes de macroporos menores al valor límite del 10% a partir del cual se afecta la penetración y la oxigenación de las raíces (Lal & Shukla, 2004). Esta reducción de la porosidad de aireación en todos los tratamientos en el espesor subsuperficial, podría ocasionar una restricción del movimiento de agua en el suelo (Forsythe, 1975; Lal & Shukla, 2004).

Al igual que la PT, el EaCC se vio más afectado por los SL que por las secuencias, e independientemente del tratamiento dado, el espacio aéreo en los 20 cm del suelo se redujo luego de tres años de agricultura continua. Los valores de EaCC fueron mayores en superficie que en el estrato inferior al igual que lo reportado por Venialgo *et al.* (2002).

A pesar de que la tendencia en el tiempo fue a la reducción de la macroporosidad, los valores en el espesor de suelo estudiado no alcanzaron a los limitantes que condicionan el intercambio de fluidos (Restovich *et al.*, 2011).

### 3.6. Resistencia mecánica

El análisis temporal del contenido de agua al momento de la medición de RM (Cuadro 3.6.1) mostró que ésta varió a través del tiempo sin diferencias significativas entre los niveles de los factores en las tres profundidades. Tampoco se registró interacción entre SL y Secuencia y la falta de interacción se mantuvo en el tiempo.

Cuadro 3.6.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo del contenido de agua presente a la medición de la RM con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm, 7-20 cm y 20-30 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.

Efecto	0-7 cm		7-20 cm		20-30 cm	
	F-valor	Pr > F	F-valor	Pr > F	F-valor	Pr > F
SL	0,25	0,78	0,86	0,43	1,85	0,17
Secuencia	0,26	0,86	0,56	0,65	2,41	0,08
Momento	101	<0,0001	39,6	<0,0001	32,3	<0,0001
SL x Secuencia	1,20	0,33	1,38	0,25	1,18	0,34
SL x Momento	1,15	0,31	1,18	0,29	0,98	0,46
Secuencia x Momento	1,38	0,13	1,00	0,45	0,86	0,63
SL x Secuencia x Momento	0,95	0,55	1,02	0,45	1,20	0,20

En el Cuadro 3.6.2 se muestra el análisis de la RM en el tiempo. En ella puede notarse que la RM tuvo similar comportamiento al analizar la variación en el tiempo en los tres estratos: 0-7 cm, 7-20 cm y 20-30 cm. En cada profundidad, el promedio general de RM varió a través de los momentos pero no hubo interacción triple entre los factores.

Cuadro 3.6.2. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la resistencia mecánica con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm, 7-20 cm y 20-30 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.

Efecto	0-7 cm		7-20 cm		20-30 cm	
	F-valor	Pr > F	F-valor	Pr > F	F-valor	Pr > F
SL	19,1	<0,0001	26,8	<0,0001	11,43	<0,0001
Secuencia	2,89	0,05	2,64	0,06	2,69	0,06
Momento	74,7	<0,0001	149,6	<0,0001	179,3	<0,0001
SL x Secuencia	0,93	0,49	1,45	0,22	2,21	0,06
SL x Momento	17,2	<0,0001	12,7	<,0001	1,01	0,44
Secuencia x Momento	6,73	<0,0001	2,8	<0,0001	4,64	<0,0001
SL x Secuencia x Momento	1,33	0,10	1,05	0,39	1,34	0,09

En ninguna de las profundidades se registró interacción entre SL y Secuencia, mientras Secuencia interactuó con Momento en las tres capas de suelo estudiadas, reflejando un comportamiento diferente de este factor con el tiempo. El factor SL interactuó con Momento en 0-7 cm y 7-20 cm, pero no en el espesor más profundo (Cuadro 3.6.2).

Se realizó el análisis de la evolución de cada nivel a través de los momentos y la comparación múltiple de medias por profundidad a través de la Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) (Figuras 3.6.1, 3.6.2 y 3.6.3).

La Figura 3.6.1 resume los valores de RM obtenidos en la profundidad 0-7 cm en los distintos momentos de determinación, donde los contenidos de agua variaron entre 10,2% a 18,3%. En este estrato la RM fue inferior a 0,80 MPa en todos los momentos, con lo cual no se superó el valor condicionante para el normal crecimiento de los cultivos. Teniendo en cuenta los momentos de siembra, en ninguno de ellos la RM fue superior a 0,5 MPa, por lo que se asume que no hubo restricción para la emergencia de los cultivos.

El factor SL provocó en la RM del espesor superficial diferencias entre sus niveles en todos los momentos a partir de la aplicación de los tratamientos (Figura 3.6.1.a).

Durante la primera campaña (Si1 y Co1), LC mantuvo promedios significativamente superiores a los restantes tratamientos (Figura 3.6.1.a). Luego, al inicio del segundo ciclo productivo, tuvo valores intermedios hasta el último momento de muestreo. Los tratamientos bajo LR registraron la menor RM, manteniendo valores cercanos a los iniciales en todos los momentos (Figura 3.6.1.a). Las parcelas con SD, en cambio, a partir del segundo ciclo productivo (Si2), mostraron promedios mayores de RM, significativamente diferentes de los restantes, pero con valores inferiores a 0,5 MPa.

Durante la primera campaña (Si1 y Co1), LC mantuvo promedios significativamente superiores a los restantes tratamientos (Figura 3.6.1.a). Luego, al inicio del segundo ciclo productivo, tuvo valores intermedios hasta el último momento de muestreo. Los tratamientos bajo LR registraron la menor RM, manteniendo valores cercanos a los iniciales durante todos los momentos (Figura 3.6.1.a). Las parcelas con SD, en cambio, a partir del inicio del segundo ciclo productivo (Si2), mostraron promedios mayores de RM, significativamente diferentes de los restantes, pero con valores inferiores a 0,5 MPa.

A partir de Co2 y hasta el último momento de determinación, los SL mostraron idéntico comportamiento en 0-7 cm: SD con mayor RM y significativamente diferente de los tratamientos labrados, que no difirieron entre sí (Figura 3.6.1.a).

Los datos de la Figura 3.6.1.a son concordantes con los obtenidos para la variable Da (Figura 3.3.1.a), la cual también mantuvo los mayores registros desde la aplicación de los tratamientos de laboreo en el espesor 0-7 cm.

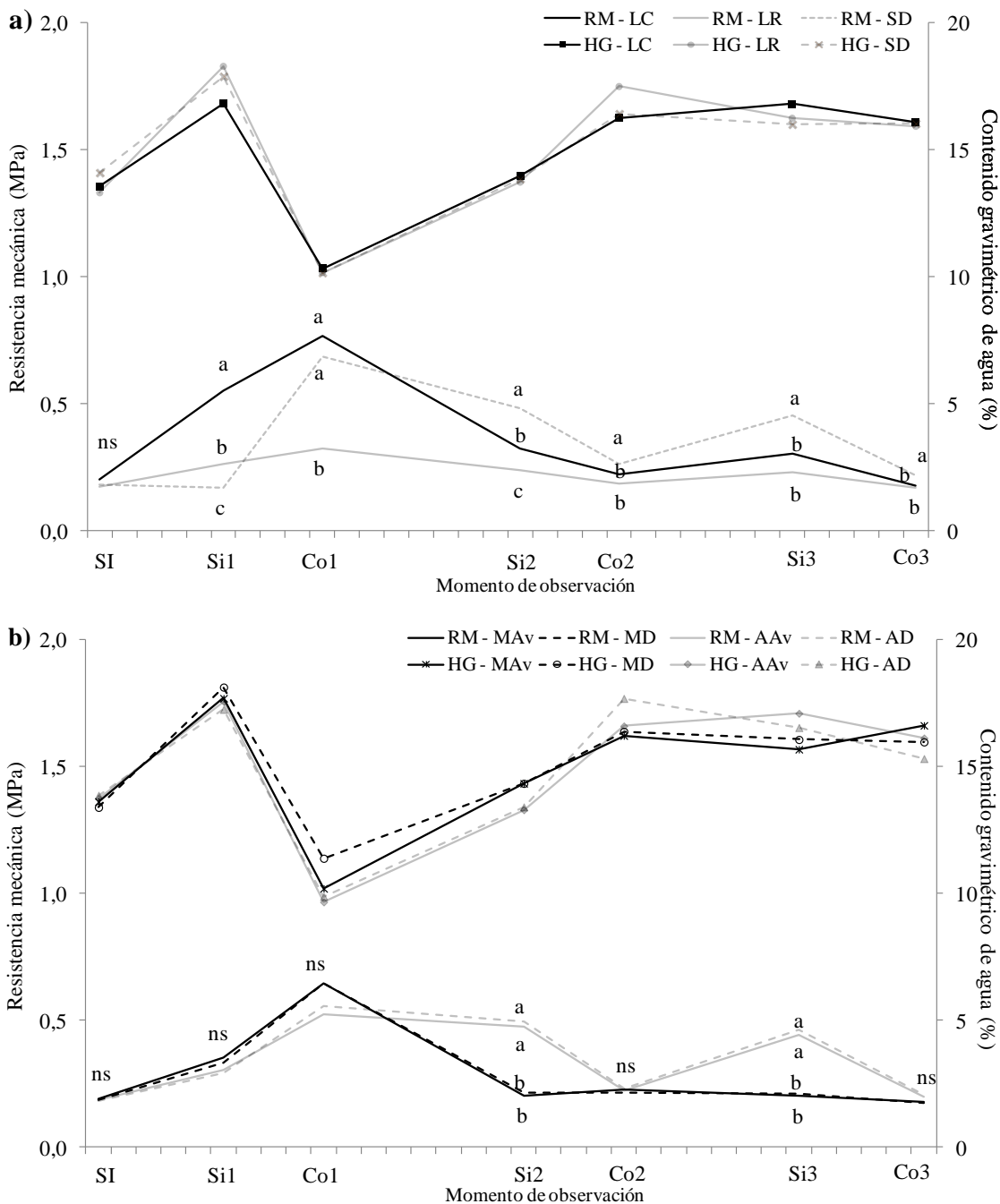


Figura 3.6.1. Evolución de la resistencia mecánica en la profundidad 0-7 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas. No se registraron diferencias significativas en la HG entre tratamientos en los diferentes momentos observados.



A diferencia de la Da, la RM no alcanzó valores condicionantes para el normal desarrollo de los cultivos ni para la emergencia de las especies empleadas (Figura 3.6.1). A pesar de los mayores aportes de rastrojos y de la consecuentemente mayor protección de la superficie del suelo, tanto la Da como la RM pueden estar indicando que bajo SD se generan condiciones mecánicas menos favorables en la superficie que los tratamientos labrados empleados por pequeños agricultores, pero sin alcanzar valores limitantes para la producción durante los primeros tres ciclos productivos de su implementación.

La Figura 3.6.1.b muestra que en el espesor 7-20 cm, el factor Secuencia no registró diferencias significativas hasta el cuarto momento de determinación.

En Si2 los mayores valores se obtuvieron en los tratamientos con AAv y AD. En tanto, a Si3 los tratamientos con M como último cultivo (AAv y AD) registraron los mayores valores de RM, significativamente diferentes de los restantes, indistintamente del tipo de barbecho durante el invierno en los dos primeros años.

Luego de tres años alternando cultivos tradicionales de los pequeños productores de Corrientes, no se observó una tendencia clara de sus efectos en la RM del espesor superficial. Solamente en dos de los siete momentos observados se registraron diferencias entre los niveles, ambos coincidieron con el período de siembra, y los mayores registros fueron para las combinaciones con mayor proporción de algodón en la secuencia. De cualquier manera, en los mayores valores medidos, coincidentes con menores registros de contenido de agua, no se alcanzaron RM restrictivas (Figura 3.6.1.b).

La Figura 3.6.2 resume la RM medida en la profundidad 7-20 cm en los diferentes momentos de observación. Se observó mayor RM respecto del espesor superficial mientras que el contenido de agua osciló entre 10,3% y 15,5%. A partir de la aplicación de los tratamientos, los promedios de RM se mantuvieron cercanos a 1 MPa, a excepción del momento Co1, donde los valores superaron los 2 MPa afectados por el bajo contenido de agua registrado durante las mediciones (cerca al 10%).

En cuanto a los SL para el espesor 7-20 cm, solamente en uno de los momentos, Si2, no se encontraron diferencias entre los niveles (Figura 3.6.2.a). Parcelas con LC registraron RM significativamente mayores y diferentes del resto en Si1, Co1 y Co2; en los dos últimos momentos no difirió de LR, pero con promedios más altos.

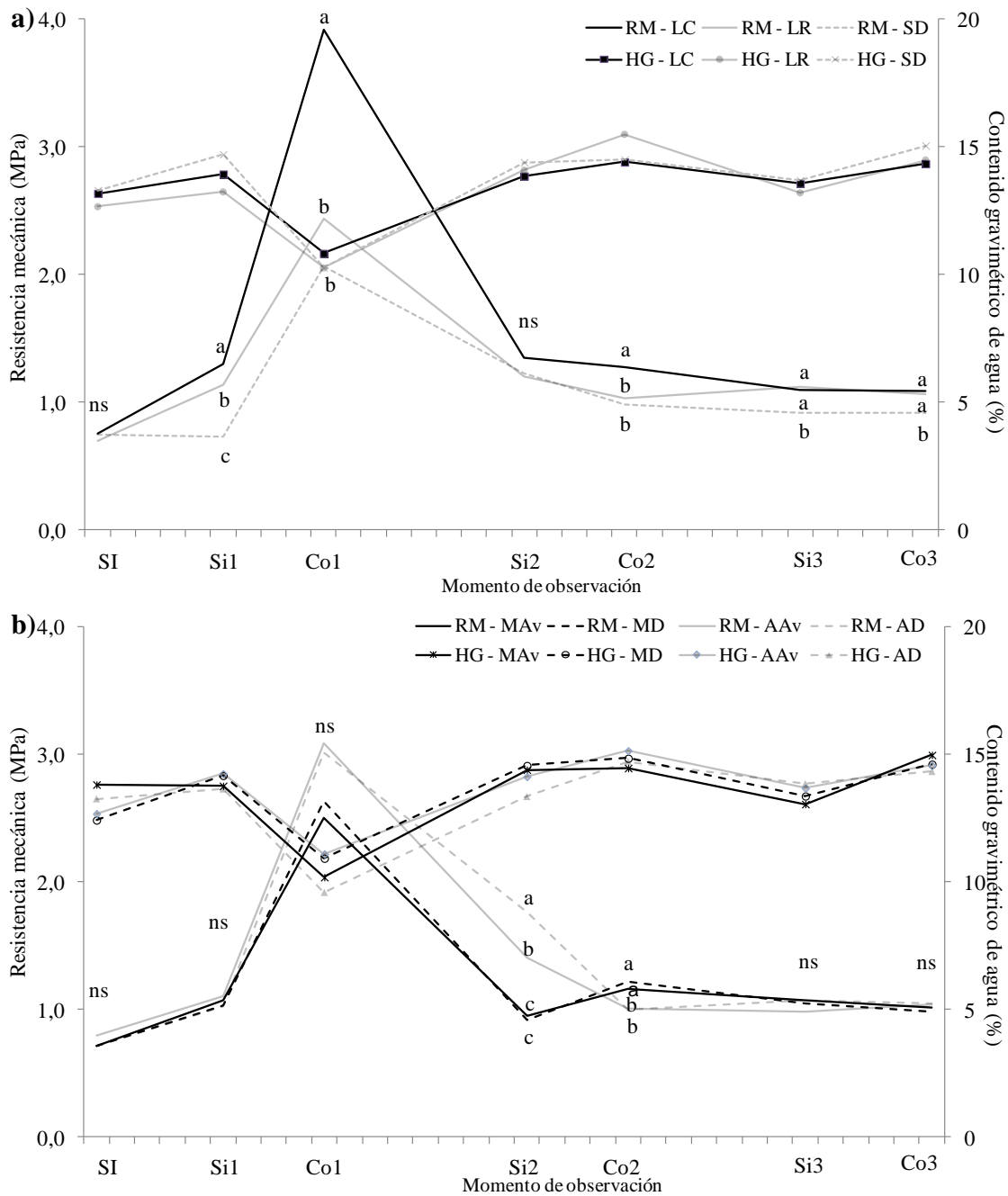


Figura 3.6.2. Evolución de la resistencia mecánica en la profundidad 7-20 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas. No se registraron diferencias significativas en la HG entre tratamientos en los diferentes momentos observados.

Los tratamientos bajo SD tuvieron siempre los menores valores de RM en la profundidad 7-20 cm con diferencias estadísticas respecto de los tratamientos labrados (Figura 3.6.2.a), contrariamente a lo medido para la variable Da (Figura 3.3.2.a).

El factor Secuencia en la profundidad 7-20 cm solamente mostró diferencias entre sus niveles en dos de los siete momentos, Si2 y Co2 (Figura 3.6.2.b). En los tres primeros momentos observados (SI, Si1 y Co1) no se registraron diferencias significativas entre los niveles.

En Si2, la combinación AAv mostró la mayor media, seguido de AD; mientras que los tratamientos restantes no mostraron diferencias entre sí. En Co2 las secuencias MD y MAV tuvieron valores de RM mayores y significativamente diferentes de los restantes. En Si3 y Co3 no se registraron diferencias entre las Secuencias (Figura 3.6.2.b).

En la Figura 3.6.3 se observa el análisis temporal de la RM para el espesor 20-30 cm. En este estrato, el contenido de agua fluctuó entre 11,2% y 16,2%.

En el caso del factor SL, se registraron diferencias significativas entre sus niveles, pero no interactuó con el momento de medición (Figura 3.6.3.a), es decir que los SL probados se comportaron de manera similar a través del tiempo. El factor Secuencia, en cambio, presentó diferencias entre sus niveles e interacción con Momento (3.6.3.b).

Al analizar los SL en el estrato 20-30 cm se vio que luego de Si1, LC y LR no mostraron diferencias entre sí, pero sí con SD, de menor promedio. A Co1 no se observaron diferencias estadísticamente significativas, pero con valores muy elevados de RM (~4 MPa) debido a los bajos contenidos de agua que influyeron en las lecturas (Figura 3.6.3.a). Al igual que en el estrato inmediatamente superior, solamente cuando los contenidos de agua fueron sensiblemente menores se superaron los valores restrictivos de RM para las plantas.

En los momentos Si2 y Co2, en el espesor 20-30 cm, LC difirió de LR y SD, que no registraron diferencias entre sí. Durante el último ciclo productivo, Si3 y Co3, LC mostró la mayor RM, significativamente diferente de SD, mientras que LR registró valores intermedios sin diferencias con los restantes (Figura 3.6.3.a).

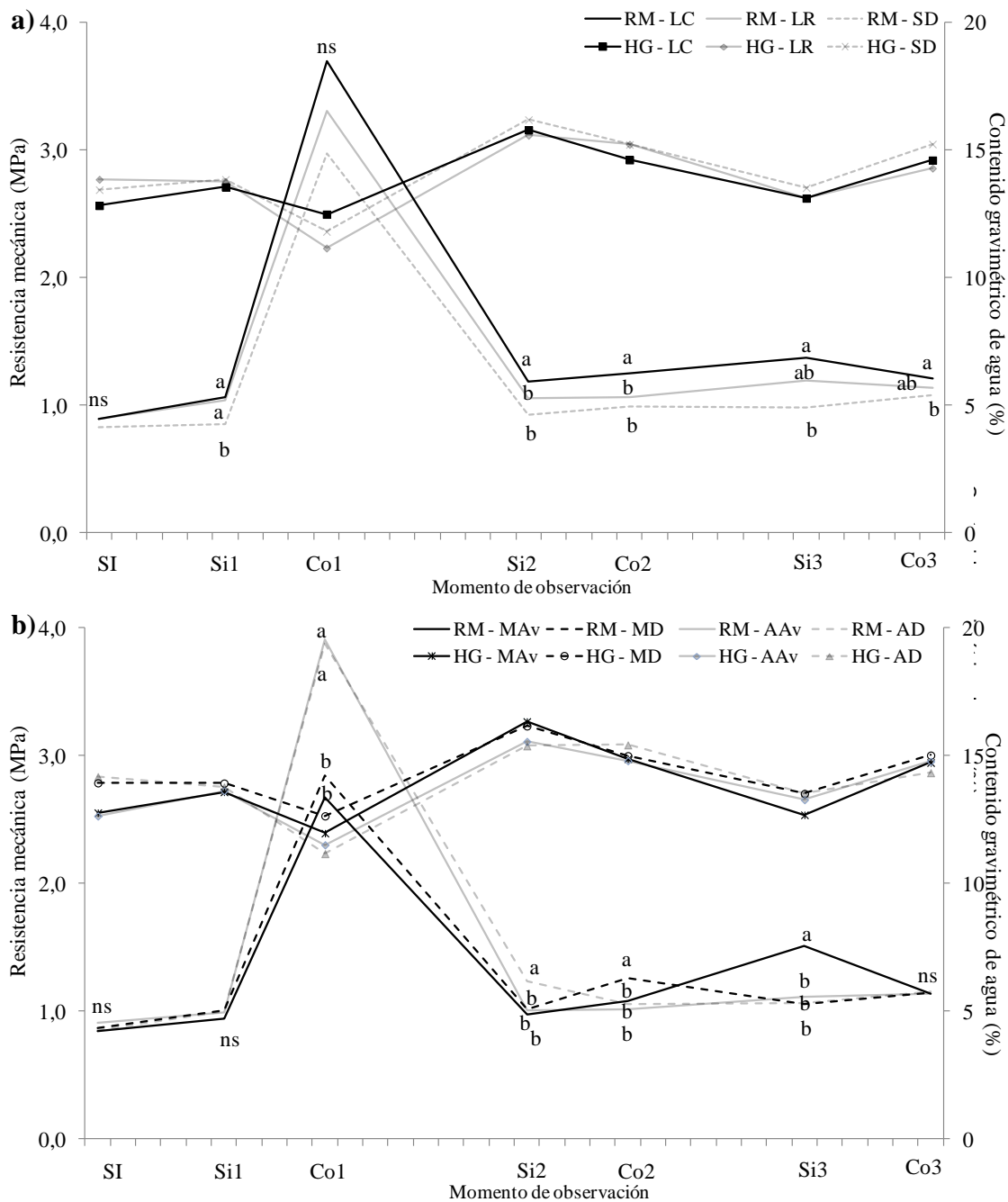


Figura 3.6.3. Evolución de la resistencia mecánica en la profundidad 20-30 cm agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas. No se registraron diferencias significativas en la HG entre tratamientos en los diferentes momentos observados.

En términos generales, LC obtuvo mayor RM en el espesor 20-30 cm, SD registró los menores, mientras que LR se mantuvo con valores intermedios. Esto puede explicarse debido a que a esta profundidad ya no actuaron de manera directa los implementos de labranza livianos empleados por los pequeños productores, haciendo que la LC, con mayor número de operaciones que LR tuviera mayor compactación. Por la misma razón, SD con menor tránsito de implementos durante el desarrollo de los cultivos, ocasionó menor compactación en profundidad.

En cuanto al factor Secuencia en el intervalo 20-30 cm, en SI y Si1 no se registraron diferencias significativas entre los niveles (Figura 3.6.3.b). A Co1, los dos tratamientos que comenzaron la rotación con algodón (AAv y AD) tuvieron RM significativamente superiores a las que iniciaron con maíz. En todos los casos durante este momento, los valores superaron los 2,5 MPa (Figura 3.6.3.b).

En Si2 solamente AAv, con promedio 1,23 MPa de RM, se diferenció del resto. A la Co2, MD difirió significativamente del resto con un promedio de 1,26 MPa, mientras que en Si3, en el espesor de 20-30 cm, MAV incrementó la RM a 1,51 MPa de promedio y difirió del resto, cuyos valores permanecieron por debajo de los 1,2 MPa. En Co3 no se registraron diferencias entre las secuencias probadas (Figura 3.6.3.b).

En Co1, las mediciones de RM se efectuaron con muy bajos contenidos hídricos (promedios de 10,2%, 10,5% y 11,8% para cada profundidad evaluada). En ese momento se registraron los mayores valores de RM de todo el ensayo. Los resultados responden a la alta dependencia de la medición de la RM del contenido de agua (Dexter, 1988; Lal & Shukla, 2004).

La RM en superficie se mostró sensible a la aplicación de SL y secuencias en los primeros años pero sin interactuar entre sí, como lo expresan también otras experiencias (Katsvairo *et al.*, 2002). No obstante, las tendencias debido a la aplicación de sistemas de labranza contrastantes fueron más claras que las obtenidas por las secuencias.

En los primeros 7 cm de espesor la RM no superó los 0,55 MPa en ninguna de las combinaciones (SL, Secuencia y Momento), lo que reflejó que en los primeros tres años no se obtuvieron limitaciones para la emergencia de las plántulas ni para el desarrollo de los cultivos. En este espesor la RM no alcanzó los valores mencionados como críticos para el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos (Soil Survey Division Staff, 1993), aún con contenidos de agua muy bajos (cercaos al 10%). Como en otras experiencias, se registró mayor RM en superficie en tratamientos con SD (Hammel 1989; Vyn & Raimbault, 1993; Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003; Drury *et al.*,

2003; Osunbitan *et al.*, 2005), pero se puede asumir que dichos incrementos no fueron condicionantes para la emergencia del maíz ni del algodón en los tres períodos de siembra: Si1, Si2 y Si3, ya que éstos no alcanzaron valores de 1 MPa (Whiteley *et al.*, 1981; Soil Survey Division Staff, 1993).

En este estrato, a partir del segundo año, la RM mostró una respuesta similar en relación a los tratamientos de labranza. Los mayores valores se registraron en las parcelas bajo SD, lo que puede estar reflejando que los efectos de no-remoción del suelo son acumulativos en la RM.

En el espesor 0-7 cm la RM solamente mostró diferencias significativas entre secuencias en los últimos dos momentos de siembra. En ellos las combinaciones que iniciaron con algodón en la rotación obtuvieron mayor RM, indistintamente de si incluían avena o descanso durante el barbecho. Esto podría indicar que los cultivos de renta empleados tuvieron mayor influencia en la RM que el manejo dado al barbecho invernal.

En las profundidades 7-20 cm y 20-30 cm, la RM fue considerablemente mayor que en superficie en todos los tratamientos. Esto refleja una discontinuidad de la variable en la zona de la cama de siembra (Lipiec & Hatano, 2003), como consecuencia del laboreo en los tratamientos LC y LR, y a la ausencia de disturbios bajo SD. Para las condiciones de este trabajo los valores de RM no superaron los 2 MPa considerados como condicionantes para los cultivos, a excepción del momento Co1, que registró las menores lecturas de contenido de agua en todo el ensayo.

A diferencia de lo encontrado en 0-7 cm, en 7-20 cm y 20-30 cm las parcelas con LC tuvieron los mayores valores de RM, seguidos de LR y luego SD. Esto se debería a que al incrementar la intensidad del laboreo (LC>LR>SD) se habrían compactado las capas subsuperficiales del suelo.

En ambos espesores, la variable Secuencia no mostró un comportamiento tan claro. Al completar el tercer ciclo productivo no se registraron diferencias significativas entre los niveles de este factor. Los datos sugieren que se requieren más años de agricultura continua para evidenciar los cambios en la RM por la aplicación de secuencias de cultivos diferentes que incluyan cultivos de cobertura en el invierno.

### 3.7. Estabilidad de agregados

El Cuadro 3.7.1 muestra que el comportamiento de la variable EA en el tiempo fue similar en ambas profundidades analizadas: 0-7 cm y 7-20 cm. En ambos espesores se

observó interacción triple significativa (SL x Secuencia x Momento), reflejando un comportamiento de la combinación diferente en los distintos momentos (Cuadro 3.7.1). Se realizó el análisis de la varianza en cada uno de los momentos para identificar el origen de la interacción (Correa Londoño, 2004).

Cuadro 3.7.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la estabilidad de agregados con las interacciones entre los efectos para las profundidades 0-7 cm y 7-20 cm. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.

Efecto	0-7 cm		7-20 cm	
	F-valor	Pr > F	F-valor	Pr > F
SL	30,92	<0,0001	11,09	<0,001
Secuencia	8,85	<0,001	4,21	0,01
Momento	80,84	<0,0001	130,36	<0,0001
SL x Secuencia	0,38	0,89	0,93	0,48
SL x Momento	7,71	<0,0001	4,80	<0,0001
Secuencia x Momento	5,94	<0,0001	2,40	<0,01
SL x Secuencia x Momento	2,66	<0,0001	2,91	<0,0001

Debido a dificultades operativas, no se pudo realizar el muestreo de la variable para la profundidad 7-20 cm en SI, ni en Si1 en ambos espesores.

El análisis de la varianza por momento de muestreo se agrupó por profundidad. Los resultados para el espesor 0-7 cm se resumen en el Cuadro 3.7.2.

Cuadro 3.7.2. Análisis de la varianza de la estabilidad de agregados en la profundidad 0-7 cm para los efectos principales (SL=sistema de labranza; Secuencia=secuencia de cultivo) y su interacción por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). CV(%)=coeficiente de variación.

Fuente	SI		Co1		Si2		Co2		Si3		Co3	
	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F
SL	1,4	0,25	10,6	<0,0001	13,23	<0,0001	75,6	<0,0001	13,5	<0,0001	31,5	<0,0001
Secuencia	2,65	0,05	5,09	<0,01	2,14	0,10	9,4	<0,0001	3,42	0,02	21,5	<0,0001
SL x Secuencia	1,28	0,27	1,48	0,19	7,43	<0,001	5,4	<0,0001	2,03	0,06	0,92	0,48
N° de observaciones	192		192		186		192		192		192	
Promedio EA (%)	79,5		82,3		77,4		84,3		72,5		68,3	
CV (%)	7,5		11,9		13,4		7,1		15,0		18,9	

El promedio general de EA en el inicio en el estrato superficial fue de 79,5%, lo que indica una condición estructural buena al inicio de la experiencia, coincidente con valores relativos mayores de materia orgánica respecto de la serie modal (Apéndice B). Al momento Co1 tampoco hubo interacción entre los factores y tanto SL como Secuencia registraron diferencias entre sus niveles (Cuadro 3.7.2). En el Cuadro 3.7.3 se observa que tratamientos bajo SD tuvieron mayor EA que LR y LC, los cuales no difirieron entre sí. En cuanto a las secuencias, aquéllas que iniciaron con maíz tuvieron EA significativamente menor que el resto en la mayoría de los momentos observados.

Cuadro 3.7.3. Comparación de medias de la estabilidad de agregados para la profundidad 0-7 cm sobre los niveles de los efectos principales (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa; MAV=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAV=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.

Efecto	Tratamiento	EA (%)					
		SI	Co1	Si2	Co2	Si3	Co3
LC		78,8	79,5 b			68,2 b	59,7 c
LR		79,2 ns	80,5 b			71,4 b	67,4 b
SD		80,5	86,8 a			78,0 a	77,8 a
	MAv	80,5	84,4 a			71,9 ab	70,6 a
	MD	78,5	77,8 b			68,9 b	55,5 b
	AAv	80,8 ns	84,7 a			75,7 a	73,3 a
	AD	78,0	82,2 a			73,6 a	73,8 a
	LC-MAv			79,4 bc	80,1 c		
	LC-MD			82,4 ab	69,6 d		
	LC-AAv			73,0 cde	83,8 bc		
	LC-AD			74,2 bcde	80,8 c		
	LR-MAv			68,4 e	80,8 c		
	LR-MD			75,6 bcde	81,0 c		
	LR-AAv			76,9 bcd	83,9 bc		
	LR-AD			69,2 de	85,7 b		
	SD-MAv			87,6 a	90,0 a		
	SD-MD			73,9 cde	91,7 a		
	SD-AAv			87,9 a	91,3 a		
	SD-AD			79,1 cd	92,4 a		

En el segundo año, en Si2 y Co2, se registraron interacciones entre SL y Secuencia para los 7 cm superficiales (Cuadro 3.7.2). En Si2 se destacaron con mayor EA y



estadísticamente diferentes del resto, los tratamientos que combinan SD con Av (SD-AAv y SD-MAv). En el extremo opuesto y diferente del resto, LR-MAv registró la menor EA. En Co2 las combinaciones bajo SD registraron EA estadísticamente mayores y diferentes del resto, con medias superiores al 90%. LC-MD, obtuvo el menor promedio diferente de los restantes.

En Si3 y Co3 no se registraron interacciones entre los factores para 0-7 cm y en ambos momentos se obtuvieron diferencias entre los niveles de SL y Secuencia (Cuadro 3.7.2). En cuanto a los SL en Si3, SD obtuvo la mayor EA significativamente diferente de LR y LC, los cuales no difirieron entre sí; mientras que para Secuencia, MD registró la menor media, estadísticamente diferente de AAv y AD (Cuadro 3.7.3).

A Co3 los promedios de EA de los tres SL difirieron significativamente entre sí, siendo SD>LR>LC. Similar comportamiento se registró en el contenido de carbono orgánico total del suelo (COT) en el quinto año (Apéndice E). Allí se determinó: COT (Yeomans & Bremner, 1988, descrito por Mendonça & Matos, 2005), ácidos húmicos (AH), ácidos fulvicos (AF) y huminas (H), y las relaciones: AH/AF y (AH+AF)/H (Benites et al., 2003). De 0-7 cm, SD obtuvo COT significativamente mayor ( $12,2 \text{ g kg}^{-1}$ ) que LC ( $9,8 \text{ g kg}^{-1}$ ) y LR ( $8,7 \text{ g kg}^{-1}$ ). En las sustancias húmicas y en los mencionados índices no se registraron diferencias significativas, a pesar que bajo SD se obtuvieron mayores promedios que en los sistemas labrados, lo que se asociaría al mayor aporte de rastrojos. En Secuencia a Co3, MD difirió del resto con el menor promedio de EA (Cuadro 3.7.3). El análisis de la varianza para el estrato 7-20 cm se resume en el Cuadro 3.7.4.

Cuadro 3.7.4. Análisis de la varianza de la estabilidad de agregados en la profundidad 7-20 cm para los efectos principales (SL=sistema de labranza; Secuencia=secuencia de cultivo) y su interacción por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). CV(%)=coeficiente de variación.

Fuente	SI		Co1		Si2		Co2		Si3		Co3	
	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F	F-valor	Pr>F
SL	-	-	4,15	0,02	9,00	<0,001	35,27	<,0001	5,06	0,007	8,18	0,00
Secuencia	-	-	1,65	0,18	0,49	0,69	3,66	0,01	4,85	0,003	5,59	0,00
SL x Secuencia	-	-	1,75	0,11	2,08	0,06	4,38	<0,001	5,33	<0,0001	1,26	0,28
N° de observaciones	-		192		186		192		192		192	
Promedio EA (%)	-		75,6		73,7		81,6		68,0		60,1	
CV (%)	-		13,7		11,0		7,4		16,4		22,3	

En Co1 no se detectaron interacciones entre SL y Secuencia, y solamente SL presentó diferencias entre sus niveles (Cuadro 3.7.4), siendo el tratamiento bajo SD el de mayor media, estadísticamente diferente de LR y LC, que no difirieron entre sí (Cuadro 3.7.5).

En Si2, en el estrato 7-20 cm, no se registraron interacciones entre los factores principales, y sólo SL obtuvo diferencias entre sus niveles (Cuadro 3.7.4). SD con mayor media de EA difirió significativamente de LC y LR (Cuadro 3.7.5).

A la Co2 se registraron interacciones entre SL y Secuencia (Cuadro 3.7.4). Se destaca que el tratamiento LC-MD obtuvo la menor EA estadísticamente diferente del resto, y que las combinaciones bajo SD presentaron la mayor EA del ensayo sin diferencias entre sí (Cuadro 3.7.5).

Cuadro 3.7.5. Comparación de medias de la estabilidad de agregados para la profundidad 7-20 cm sobre los niveles de los efectos principales (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa; MAV=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) por momento de observación: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3). Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns=sin diferencias significativas.

Efecto	Tratamiento	EA (%)					
		SI	Co1	Si2	Co2	Si3	Co3
LC			74,0 b	72,8 b			54,7 b
LR		--	74,2 b	71,1 b			63,8 a
SD			78,7 a	77,5 a			61,9 a
	MAv		74,4	74,5			58,4 ab
	MD		73,6	72,9			54,4 b
	AAv	--	77,7 <sup>ns</sup>	74,2 <sup>ns</sup>			64,1 a
	AD		76,7	73,2			63,6 a
	LC-MAv				79,1 c	68,3 bcde	
	LC-MD				70,0 d	57,9 f	
	LC-AAv				80,8 c	60,7 ef	
	LC-AD				78,0 c	73,0 abc	
	LR-MAv				82,3 bc	76,9 ab	
	LR-MD				80,5 c	67,4 cde	
	LR-AAv				82,5 bc	77,2 a	
	LR-AD				82,0 c	63,4 def	
	SD-MAv				87,2 a	69,7 abcd	
	SD-MD				86,9 ab	67,2 cde	
	SD-AAv				82,7 abc	72,7 abc	
	SD-AD				86,9 ab	61,2 def	

En la siembra del tercer año (Si3) se registró interacción positiva en la profundidad 7-20 cm entre SL y Secuencia (Cuadro 3.7.4). En este espesor, la combinación LR-AAV obtuvo la mayor EA, diferente de las restantes, mientras que LC-MD registró el menor promedio estadísticamente diferente de resto (Cuadro 3.7.5).

En el último momento observado, Co3, no se obtuvieron interacciones entre factores principales en la profundidad 7-20 cm y en ambos se registraron diferencias entre sus niveles (Cuadro 3.7.4). En cuanto a SL, LR y SD no difirieron entre sí, con mayor EA que LC. Las combinaciones AAV y AD no difirieron entre sí, pero si con MD, que presentó el menor promedio (Cuadro 3.7.5).

La formación y la estabilización de los macroagregados son el resultado de la combinación de mecanismos relacionados a la actividad biológica de los suelos (Tisdall & Oades, 1982) y a la acción de raíces e hifas de hongos del suelo (Aparicio & Costa, 2007). Por esto es que están estrechamente relacionadas al manejo dado (Dexter, 1997; Liu *et al.*, 2006; Aparicio & Costa, 2007), lo cual hace esperable que la variable muestre comportamiento diferente en el tiempo cuando se han aplicado manejos contrastantes.

La interacción triple (SL x Secuencia x Momento) indicó un comportamiento diferente de los niveles de los factores estudiados a través del tiempo. Esto significó que para un SL dado y con una secuencia de cultivos determinada, la variable EA mostró comportamiento diferente de acuerdo al momento de muestreo considerado. Esta respuesta permitió inferir que, durante los tres ciclos productivos, la fracción de agregados considerada fue sensible a las prácticas de manejo como las rotaciones y la labranza, como fue expresado por Dexter (1988; 1997).

Los mecanismos de agregación actúan a diferentes escalas de tiempo (Tisdall & Oades, 1982), pudiendo ocurrir cambios en la formación de macroagregados en tiempos relativamente cortos, por ejemplo, hasta tres semanas para suelos franco arcillo limosos (De Gryze *et al.*, 2005). El período entre observaciones (seis meses entre muestreos) posiblemente no fue suficiente para reflejar tendencias claras de la evolución en la EA.

El análisis de las diferentes épocas permitió identificar el efecto de las operaciones de labranza y los aportes desde los rastrojos en la EA en cada momento en particular. Al inicio, como la variable EA en el estrato superficial no arrojó diferencias, sirvió como referencia de la situación base para comparar su evolución. Los valores de EA en SI (alrededor de 80%) indican que son suelos bien estructurados, a pesar de poseer una elevada proporción de partículas gruesas e intermedias en superficie (66,9% de arena y 21,5% de limo). Posiblemente estos valores se mantuvieron altos gracias a los

importantes aportes de la cubierta de mucuna usada como antecesor y a los contenidos de materia orgánica (Apéndice A). Valores similares se reportaron para Argiudoles ácuicos pero de régimen mésico con cuatro años de pradera posterior a un manejo agrícola convencional (Jastrow, 1996).

La EA en superficie bajo SD mostró diferencias significativas respecto de los tratamientos labrados en tres de los cinco momentos observados luego de la aplicación de aquéllos. Esto se vio favorecido por la protección de la superficie del suelo y por los mayores aportes de rastrojos bajo SD (Kemper & Rosenau, 1986). El porcentaje de suelo cubierto se mantuvo en todos los momentos por encima del 70% (Figura 3.1.1) y con aportes de más de 8 Mg ha<sup>-1</sup> de rastrojos en superficie (Figura 3.2.1) en parcelas bajo SD.

Por otro lado, para los tratamientos labrados, los menores valores de EA se vieron influenciados por la exposición de la superficie del suelo a los efectos directos de la gota de lluvia. A pesar de que solamente en dos de los momentos, Si1 y Si2, los tratamientos LC y LR registraron cobertura inferior al 30%, valor necesario para proteger la superficie del impacto de las lluvias (Unger *et al.*, 1995). Esta condición pone de manifiesto la importancia de mantener la cobertura de suelos en planteos de bajos insumos, más aún cuando se trata de suelos con limitaciones o susceptibilidad a la erosión.

La cantidad de rastrojos aportados, así como su calidad son muy importantes para la agregación (Tisdall & Oades, 1982; Kemper & Rosenau, 1986; Jastrow, 1996; Martens, 2000; De Gryze *et al.*, 2005) siendo también importante la tasa a la cual se realizan dichos aportes (Abivien *et al.*, 2009). En cuanto a las secuencias, la decisión de iniciar la rotación con maíz o algodón, o la de incluir avena negra como cultivo durante el invierno condicionaron principalmente la calidad de los rastrojos y no tanto la cantidad de los aportes (Figura 3.2.2). Con los datos obtenidos, las diferencias más marcadas por efecto de las secuencias se dieron en el estrato superficial, y la combinación MD fue la que, durante los tres ciclos productivos, reflejó el menor porcentaje de agregados estables con diferencias significativas respecto de los restantes. El menor aporte del D respecto de avena negra (en Si2 y Si3; Figura 3.2.2.) se reflejó en menor EA. Por otra parte, con una mayor participación de maíz en la secuencia podrían esperarse mejoras en la EA respecto del algodón debido a la mayor cantidad de rastrojos, como lo establecido por Rhoton (2000) a partir de un ensayo realizado en un Alfisol franco limoso. Las caídas pueden deberse a los bajos aportes de rastrojo del maíz como

consecuencia de los rendimientos bajos, en comparación con algodón, que mantuvo buenos rendimientos y con ello, mayor aporte de biomasa.

Los cambios en la estructura superficial en el corto plazo debido a los aportes de avena negra como cultivo de cobertura no se observaron con claridad, al igual que en otras experiencias (Varela *et al.*, 2011). Posiblemente la tasa de aportes y las diferencias en la calidad de los residuos (relación carbono:nitrógeno, contenido celulosa, lignina, etc.) ocasionaron que los efectos sobre la estabilidad de los agregados por las secuencias no fueran tan evidentes (Abiven *et al.*, 2009).

Durante el presente trabajo, recién a la cosecha del tercer año se observaron diferencias claras entre los niveles de los factores. En cuanto a SL, la EA fue  $SD > LR > LC$ , lo que indica que la reducción del número de operaciones de labranza produjo menor agresión a los agregados de la fracción considerada. Estos datos coinciden con Kushwaha *et al.* (2001), quienes afirman que la agregación se vio favorecida por la disminución de las labranzas y por el mantenimiento de los rastrojos en superficie.

El porcentaje de agregados estables decreció respecto de los valores iniciales luego de tres ciclos productivos independientemente de la secuencia empleada, siendo la mayor reducción para LC (24,2%), seguido de LR (14,9%) y la menor para SD (3,4%). Otros autores encontraron mayor reducción del porcentaje de agregados estables luego de cuatro años bajo LC con algodón respecto de maíz, y con incrementos en los tratamientos bajo SD, independientemente del cultivo (Rhoton, 2000).

En términos generales, tanto para SL como para Secuencia, el estrato 7-20 cm mostró un comportamiento similar al superficial pero con promedios de EA menores. Esto puede entenderse ya que no hay cambio textural entre los estratos y, si bien tuvo menos disturbio por el laboreo y las operaciones de siembra, los aportes de biomasa desde los rastrojos también fueron menores. Independientemente del SL o Secuencia, el estrato superior recibió mayores aportes de rastrojos en relación a la profundidad 7-20 cm, reflejándose esto en mayores porcentajes de agregados estables al agua y de materia orgánica (Apéndice E), en coincidencia con lo hallado por Mulumba & Lal (2008) en un ensayo de largo plazo sobre un Alfisol de textura franco limosa.

Los períodos en los cuales se dan las diferencias en la EA por la incorporación de la SD no son del todo claros (Rhoton, 2000). Algunos autores evidencian incrementos en la estabilidad de los agregados en superficie por la incorporación de prácticas conservacionistas, con mejoras del 54% sobre LC en cuatro años (Rhoton, 2000), hasta del 70% en cinco años (West *et al.*, 1991). Otros autores no encontraron diferencias

significativas durante cuatro años de experiencia en la EA superficial de suelos franco arcillosos al incorporar labranzas conservacionistas, registrando excepcionalmente mayor EA en LC (Drury *et al.*, 2003). Durante esta experiencia, la EA decreció respecto de la situación inicial invariablemente en todos los tratamientos empleados.

Los niveles del factor SL influyeron más claramente a través de los tres años analizados en la EA superficial del suelo en estudio. Las prácticas tendientes a la reducción de las operaciones de labranza, desde LC a SD, manteniendo los rastros en superficie, no fueron suficientes para evitar la caída de la estabilidad de los macroagregados dentro de los 20 cm de profundidad. No obstante, SD mostró mejor desempeño en la conservación de la proporción de agregados estables debido al mantenimiento de los rastros en superficie resultando, comparativamente, en una práctica más recomendable para la conservación del suelo.

### 3.8. Infiltración básica

El análisis a través de los momentos de la Ib (Cuadro 3.8.1) muestra que no hubo interacción triple entre SL, Secuencia y Momento, aunque el promedio general varió significativamente en el tiempo. El mismo cuadro indica que no hubo interacción entre SL y Secuencias. El factor SL no interactuó con Momento, pero sí registró diferencias significativas entre los niveles probados. En tanto, Secuencia no mostró diferencias entre sus niveles ni interacción con Momento.

Se aclara que en los análisis no se incluyeron las mediciones en los momentos SI y Si1, las cuales no pudieron efectuarse.

Cuadro 3.8.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo de la infiltración básica con las interacciones entre los efectos. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.

Efecto	F-valor	Pr > F
SL	14,89	<0,0001
Secuencia	0,91	0,45
Momento	24,62	<0,0001
SL x Secuencia	1,42	0,23
SL x Momento	0,82	0,58
Secuencia x Momento	1,34	0,19
SL x Secuencia x Momento	0,91	0,59

Debido a que no se registró interacción triple (entre SL, Secuencia y Momento) y que no hubo interacción entre SL y Secuencia, no se realizó la prueba de Duncan. No obstante, para contribuir a la interpretación del comportamiento de la Ib por la aplicación de los tratamientos, se graficó el promedio de cada nivel de los factores en los diferentes momentos observados (Figura 3.8.1).

Los valores promedio de Ib corresponden a velocidades de infiltración moderadas y son coincidentes con los referidos para la serie de suelos (Escobar *et al.*, 1996).

Las líneas paralelas de la Figura 3.8.1.a indican que hubo diferencia en la magnitud de la respuesta de los niveles de SL, a pesar de que ellos no fueron significativos (Cuadro 3.8.1). Tomando en cuenta esto, se menciona durante toda la experiencia la Ib bajo SD fue siempre superior, seguida de LR, y con menor promedio LC (Figura 3.8.1.a).

Los mayores aportes de rastrojos y la mayor cobertura del suelo contribuyeron a mejorar las tasas de infiltración en tratamientos bajo SD (Lal, 1994), pero sin diferencias significativas respecto de los tratamientos con labranzas. La mayor estabilidad de agregados en la superficie, asociado a aportes de biomasa superiores a los umbrales críticos permitieron incrementar la captación de agua y favorecer su movimiento en el perfil (Mulumba & Lal, 2008). En cuanto a los tratamientos labrados, bajo LR se obtuvieron promedios de Ib mayores a LC en todos los momentos observados. Esto demuestra que al adecuar el laboreo, es decir, reduciendo las operaciones, se pudo mejorar la infiltración de agua en el suelo (Unger, 2002).

En el análisis gráfico de Secuencia (Figura 3.8.1.b), se observó que el efecto de este factor sobre la Ib, no fue tan evidente, sin registrar diferencias significativas ni manifestar una tendencia clara. Los tratamientos con avena negra durante el invierno tuvieron comportamiento similar en la Ib, indistintamente del cultivo que inició la rotación. De igual forma, los tratamientos con descanso durante el invierno tuvieron igual comportamiento entre sí.

Los datos obtenidos sugieren que la variable Ib está estrechamente relacionada a la EA en superficie. En cuatro de los seis momentos estudiados (Co1, Co2, Si3 y Co3), la EA fue mayor en 0-7 cm bajo SD, coincidiendo con los mayores valores de Ib. Esto, sumado a las mayores cobertura de suelo y cantidad de rastrojos aportados, explican las mejores condiciones para el ingreso de agua bajo SD.

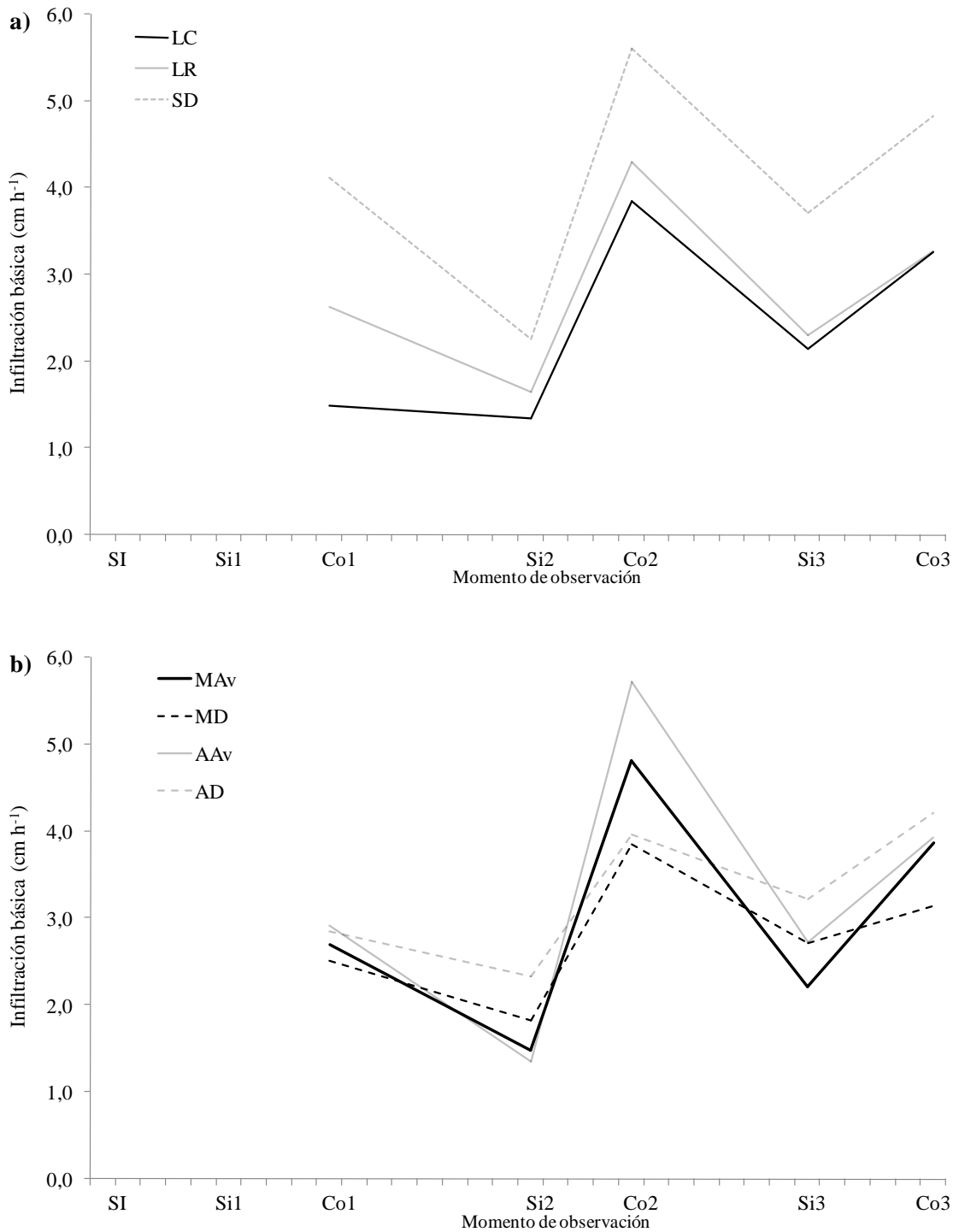


Figura 3.8.1. Evolución de la infiltración básica agrupado por: a) sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y b) secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) a través de los diferentes momentos de muestreo: SI=situación inicial; siembra del primero (Si1), segundo (Si2) y tercer (Si3) año y cosecha del primero (Co1), segundo (Co2) y tercer año (Co3).



Otros autores reportaron menor infiltración bajo SD respecto de LC durante los primeros años de la implementación, debido a que bajo el sistema de no remoción se generaron condiciones físicas menos favorables (Lindstrom & Onstad, 1984).

En los diferentes momentos, los niveles de SL tuvieron un comportamiento similar en relación a la Ib, siendo  $SD > LR > LC$  (Figura 3.8.1.a), tendencia que se contrapone con lo observado por otros autores (Siri-Prieto *et al.*, 2007; Strudley *et al.*, 2008). Este comportamiento pudo haberse debido en parte al efecto de los rastrojos acumulados en superficie, según lo mencionado por Langdale *et al.* (1992) (citado por Reicosky *et al.*, 1995), siendo que la variable BM se comportó de igual manera que Ib expresando las diferencias entre los niveles a partir de la aplicación de los tratamientos. Por otra parte, pudo haber contribuido también la ya mencionada rápida disminución del efecto de las labranzas (Strudley *et al.*, 2008), lo que habría originado que se perdieran rápidamente los efectos del laboreo con los primeros ciclos de humedecimiento y secado del suelo.

Tanto la Da como la RM tuvieron incrementos en superficie al sostener la práctica de SD, con lo cual podría haberse esperado que la Ib disminuyera por la pérdida del espacio poroso. Aparentemente los incrementos en la Da y la RM, que fueron significativos, no fueron suficientes para afectar a la Ib. Por otra parte, ayudado por un mayor aporte de rastrojos y la ausencia de remoción, la EA en SD no cayó tan marcadamente como en los tratamientos labrados. Esa mayor proporción de agregados estables en superficie pudo haber contribuido a la mejora en el ingreso de agua en el suelo bajo SD.

La disminución de la PT del suelo en los tratamientos bajo SD no ocasionó la reducción de la capacidad de infiltración de agua como en los tratamientos labrados. Posiblemente, los poros formados por las labranzas resultaron menos estables (Shaxson & Barber, 2005) que los provenientes de la ausencia de remoción y de mantener los rastrojos en superficie por tratamientos bajo SD. Además, la reducción de la porosidad de aireación registrada en todos los tratamientos en el espesor subsuperficial, podría haber restringido el movimiento de agua en el suelo (Forsythe, 1975), lo cual no se evidenció, ya que las velocidades de infiltración fueron moderadas desde las primeras mediciones.

Los tratamientos con LC registraron las menores medias de Ib en todos los momentos analizados, pero sin diferencias significativas. Posiblemente esto se relacione con la menor EA en superficie antes mencionada. Por otro lado, también puede relacionarse con la mayor exposición de la superficie del suelo debido a la incorporación de los rastrojos, dando lugar a la formación de sellos superficiales y, con ello, a la disminución

de la velocidad de ingreso del agua. La presencia de grietas debido a altos contenidos de arcillas en horizontes profundos también pudo haber afectado la medición según mencionaron algunos autores (Landini *et al.*, 2007).

La tendencia general por la implementación de las prácticas para cultivos tradicionales de pequeños productores, fue que la SD ocasionó mayor Ib que los tratamientos con laboreo superficial, independientemente de la intensidad de estas operaciones, pero sin diferencias estadísticamente significativas. Esta condición permite suponer que esta práctica puede emplearse en planteos de bajos insumos, pero complementándola con el aporte de adecuadas cantidades de rastrojos, lo que favorece la infiltración respecto de condiciones de suelo descubierto, como en LR y LC (de la Vega *et al.*, 2004).

Por lo expuesto, si bien las labranzas ocasionaron la reducción de la Da a corto plazo (tres ciclos productivos) e incrementaron la porosidad, produjeron consecuencias indeseables en la acumulación de rastrojos y en la estabilidad de los agregados, lo que redundó en peores condiciones para el ingreso del agua en el suelo. Similares resultados fueron reportados por Franzluebbbers (2002) sobre Ultisoles al comparar manejos sostenidos por largos períodos bajo LC y SD.

### 3.9. Rendimiento de los cultivos

Los resultados del análisis de medidas repetidas en el tiempo del rendimiento de los cultivos de algodón y maíz se muestran en el Cuadro 3.9.1.

Cuadro 3.9.1. Análisis de medidas repetidas en el tiempo del rendimiento de algodón y maíz con las interacciones entre los efectos en los tres ciclos productivos. Efecto: SL=sistema de labranzas; Secuencia=secuencia de cultivos; Momento=momento de la observación durante el ciclo productivo.

Efecto	Algodón		Maíz	
	F-valor	Pr > F	F-valor	Pr > F
Año	0,38	0,54	154,7	<0,0001
SL	1,76	0,19	26,83	<0,0001
Secuencia	0,05	0,95	5,2	0,01
SL x Año	0,77	0,47	48,98	<0,0001
Secuencia x Año	0,05	0,83	11,0	<0,01
SL x Secuencia	0,14	0,96	0,92	0,46
SL x Secuencia x Año	0,73	0,49	2,48	0,09

En el cultivo de algodón no hubo interacciones entre factores, lo que refleja que los niveles de los factores tuvieron igual comportamiento en cada año observado. En el maíz, en cambio, no se observó interacción triple (SL x Secuencia x Año), ni interacción entre SL y Secuencia, indicando que ambos factores en conjunto no interactuaron con el factor tiempo, ni entre sí. Sin embargo, tanto SL como Secuencia individualmente interactuaron con el Año, lo que refleja que los factores tuvieron comportamiento diferente en cada cosecha evaluada (Cuadro 3.9.1).

Se realizó el análisis de la varianza por cultivo y por año. En el Cuadro 3.9.2 se observan los valores promedio de rendimiento del maíz y algodón durante los tres ciclos productivos evaluados y los valores de significancia para los factores y su interacción.

En ninguno de los cultivos se observó interacción positiva entre SL y Secuencia en los tres períodos de cosecha. El factor Secuencia mostró diferencias entre sus niveles en el tercer ciclo y solamente para el cultivo de maíz, mientras que SL mostró diferencias en el cultivo de maíz en el primero y segundo año y con el algodón en el segundo y tercero (Cuadro 3.9.2).

En el caso del cultivo de algodón se observó que los valores medios de rendimiento en los tres años de estudio superaron ampliamente los 800 kg ha<sup>-1</sup> mencionados como promedio de los sistemas productivos tradicionales de la zona (Almirón *et al.*, 2004), y que estuvieron por encima de los 1.200 kg ha<sup>-1</sup> de promedio provincial (Acosta *et al.*, 2009). Es posible que ello se deba a que en el ensayo se aportaron nutrientes a través de fertilizantes en todas las combinaciones, práctica que no es muy frecuente en los sistemas tradicionales, obteniéndose mejor comportamiento del cultivo.

Cuadro 3.9.2. Análisis de la varianza del rendimiento de algodón y maíz con las interacciones para los efectos principales (SL=sistema de labranza; Secuencia=secuencia de cultivo) y su interacción en el primero (Co1), segundo (Co2) y tercer (Co3) año.

Fuente	Co1		Co2		Co3	
	Algodón	Maíz	Algodón	Maíz	Algodón	Maíz
	Pr > F	Pr > F	Pr > F	Pr > F	Pr > F	Pr > F
SL	0,22	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,01	0,12
Secuencia	0,87	0,92	0,87	0,54	0,32	<0,01
SL x Secuencia	0,60	0,93	0,84	0,61	0,33	0,16
Rendimiento promedio (kg ha <sup>-1</sup> )	1744,9	1641,3	2975,3	675,9	1670,8	3286,9
CV (%)	37,1	31,9	33,6	40,5	17,4	29,1

Solamente en el segundo año se superaron los 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de promedio de rendimiento en fibra de los sistemas productivos tecnificados (Almirón *et al.*, 2004), y durante los tres años se obtuvieron valores cercanos a los 1.800 kg ha<sup>-1</sup> citados como rendimiento esperado con tecnología mejorada para los sistemas productivos de pequeños productores (INTA, 1994).

En los tres ciclos productivos los aportes pluviales (Apéndices C y D) no alcanzaron a cubrir los 650 a 700 mm de requerimientos de agua (Mondino *et al.*, 2006). Sin embargo, los rendimientos fueron aceptables, por lo que podría suponerse que el cultivo pudo explorar mayor volumen de suelo ya que éste no presentó restricciones, a pesar de registrar Da y RM elevadas pero por debajo de los valores limitantes.

Por otra parte, los rendimientos promedio de maíz fueron relativamente bajos en los tres años estudiados, aún para una variedad “criolla” como el caso del maíz amarillo criollo empleado en el ensayo. El mínimo valor se obtuvo durante el segundo ciclo productivo, donde se registró un promedio apenas superior a los 654 kg ha<sup>-1</sup> obtenido con manejo tradicional por los pequeños agricultores de la región (INTA, 2005; Paredes, 2007). Ello se debió a que se correspondió con un período de deficiencias de precipitaciones durante el inicio de floración que condicionaron el desarrollo y adelantaron el ciclo del cultivo (Apéndice D). En la tercera cosecha se obtuvo un rendimiento superior en un 70% al esperado por la aplicación de prácticas mejoradas (INTA, 1994; Paredes, 2007), asociado a precipitaciones abundantes y bien distribuidas durante el ciclo del cultivo (Apéndice D).

En todos los años y para ambos cultivos los CV fueron elevados, por encima del 15% (Cuadro 3.9.2), lo que refleja la alta variabilidad dada por la aplicación de manejos contrastantes sumado al efecto año.

El Cuadro 3.9.3 muestra los rendimientos promedio obtenidos por efecto principal para ambos cultivos.

Durante el primer ciclo productivo (Co1) del cultivo de algodón, los tratamientos con LR tuvieron rendimientos levemente inferiores respecto de LC y SD, pero sin diferencias significativas entre sí (Cuadro 3.9.3). Posiblemente el laboreo intermedio para la preparación de la cama de siembra no fue adecuado para el normal establecimiento del cultivo. Si bien no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, los 350 kg ha<sup>-1</sup> representan una diferencia considerable (19%), más aún durante el primer año de aplicación.

Cuadro 3.9.3. Rendimiento de fibra del cultivo de algodón y de grano de maíz agrupado sistema de labranza (LC=labranza convencional; LR=labranza reducida; SD=siembra directa), y secuencia de cultivos (MAv=maíz-avena negra-algodón-avena negra; MD=maíz-descanso-algodón-descanso; AAv=algodón-avena negra-maíz-avena negra; AD=algodón-descanso-maíz-descanso) en el primero (Co1), segundo (Co2) y tercer (Co3) año. Letras diferentes en un mismo año y cultivo indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ); ns: sin diferencias significativas.

Fuente	Co1		Co2		Co3	
	Algodón	Maíz	Algodón	Maíz	Algodón	Maíz
----- (kg ha <sup>-1</sup> ) -----						
LC	1864,3	812,5 b	3098,8 a	309,8 b	1580,4 b	3594,6
LR	1511,6 ns	1031,3 b	3673,8 a	414,2 b	1550,0 b	3375,0 ns
SD	1858,9	3080,4 a	2153,3 b	1303,6 a	1882,1 a	2891,1
MAv		1648,8	2951,8			2854,8 b
MD		1633,9 ns	2998,8 ns			3719,0 a
AAv	1760,7			700,6	1713,1	
AD	1729,2 ns			651,2 ns	1628,6 ns	

En esa cosecha, en los tres tratamientos de labranza se superó la media provincial de rendimiento (Acosta *et al.*, 2009), pero sólo con LC y SD se obtuvieron rendimientos de fibra cercanos a los alcanzados con prácticas recomendadas para pequeños productores (INTA, 1994).

En el segundo año (Co2), los rendimientos de algodón alcanzaron los valores máximos (Cuadro 3.9.3). En esta cosecha, independientemente del cultivo antecesor, los tratamientos labrados, LR y LC, se diferenciaron significativamente de SD, con medias superiores a los 3.000 kg ha<sup>-1</sup>. Las parcelas bajo LR, si bien no difirieron de aquéllas con LC, obtuvieron 575 kg ha<sup>-1</sup> más de fibra, el equivalente al rendimiento medio con manejo tradicional. Por otra parte, si bien los tratamientos bajo SD obtuvieron los menores rendimientos, éstos fueron semejantes a los registrados en campos de productores con SD y avena negra como antecesor (Bosch *et al.*, 1999) y 56% superiores al promedio provincial.

En este ciclo productivo se dieron condiciones óptimas para el desarrollo del algodón en cuanto a la distribución de las precipitaciones (Apéndice C). Durante este período, las primeras precipitaciones de primavera se retrasaron un poco, coincidiendo con la siembra del algodón y favoreciendo el establecimiento del cultivo. Esto sugiere que las

operaciones de remoción contribuyeron a mejorar los rendimientos bajo condiciones ambientales favorables.

En la tercera cosecha, los tratamientos con SD tuvieron mayor rendimiento promedio, 1.882 kg ha<sup>-1</sup>, estadísticamente diferente de las parcelas labradas que no difirieron entre sí (Cuadro 3.9.3). Este año fue particularmente desfavorable para el cultivo de algodón debido a que se registraron precipitaciones intensas al momento de la implantación del cultivo y en los primeros estadios lo que afectó su normal establecimiento (Apéndice D). Esto favoreció el desarrollo de malezas, principalmente en los tratamientos labrados, y por ello se requirió una mayor cantidad de operaciones de control mecánico y el cultivo sufrió mermas por la competencia de las malezas. No obstante, se superó el rendimiento promedio provincial en todos los casos.

Los tratamientos bajo SD tuvieron un establecimiento más uniforme y menor competencia de malezas hasta el inicio de floración, lo que resultó en 18% más de fibra cosechada respecto de LR y 16% más que LC (Cuadro 3.9.3). La menor disponibilidad de agua para el cultivo en la etapa reproductiva pudo haber originado un adelantamiento de la floración y mermas en el rendimiento al acortarse el período de fructificación (Mondino *et al.*, 2006). Esto posiblemente se manifestó en mayor medida en tratamientos LC y LR, con alta demanda atmosférica, y con menor cobertura superficial respecto de SD.

En el caso del factor Secuencia, el rendimiento de algodón no registró diferencias entre sus niveles en los tres años considerados (Cuadros 3.9.2 y 3.9.3), lo que indica que, para los tres primeros ciclos productivos, la incorporación de un cultivo de cobertura invernal en la secuencia no afectó su rendimiento. Este comportamiento resulta de interés en la planificación de la rotación ya que al ser una práctica de bajo costo relativo, permite incrementar los aportes de biomasa al sistema sin comprometer los rendimientos de este cultivo de renta.

Con los resultados obtenidos se podría suponer que el uso de la SD con el cultivo de algodón, que produce pocos rastros, permite mejorar la cobertura del suelo y favorecer su calidad física por la incorporación de materia seca. Considerando que la germinación del cultivo debe darse dentro de ciertos rangos críticos de temperatura y contenido de humedad del suelo, hasta un máximo de 42°C (Nabi *et al.*, 1998), la cobertura superficial puede atenuar el efecto negativo de altas temperaturas al momento de la siembra (Guérif *et al.*, 2001), especialmente bajo suelos con régimen hipertérmico como en el de la experiencia.

El rendimiento del cultivo de maíz registró valores críticos significativos para SL en dos de los tres años analizados (Cuadro 3.9.3). Para el primer ciclo productivo, el tratamiento SD tuvo rendimiento estadísticamente diferente y 3,8 veces más que LC y tres veces mayor que LR, no habiendo diferencia entre tratamientos labrados. Durante este año, debido a la falta de humedad a la siembra, la operación debió retrasarse lo que afectó el posterior desarrollo del maíz. Aún así, los tratamientos bajo SD superaron el promedio provincial de 2.218 kg ha<sup>-1</sup> (INDEC, 2005) y los registrados en campo de pequeños productores que aplicaron tecnologías similares (Paredes, 2007). Posiblemente la cobertura dada por el antecesor mucuna en el primer año de implantación del sistema SD permitió el mejor aprovechamiento del agua aunque todos los tratamientos registraron los menores valores de plantas a cosecha del ensayo (Apéndice D).

En el segundo período (Co2), independientemente de los antecesores, SD obtuvo rendimientos mayores y estadísticamente diferentes de los tratamientos labrados (Cuadro 3.9.3). El año no fue favorable para el cultivo de maíz de siembra temprana debido a que se registró un período corto de deficiencia hídrica durante el establecimiento que ocasionó la reducción de plantas en todos los tratamientos (Apéndices C y D). Esto se vio reflejado en los rendimientos, que no alcanzaron al promedio provincial, y en el caso de los tratamientos con laboreo, no superaron los rendimientos obtenidos con manejo tradicional, 653,8 kg ha<sup>-1</sup> (Paredes, 2007). La no-remoción del suelo pudo haber permitido un mejor aprovechamiento del agua por el cultivo de maíz debido a la mayor infiltración básica, cobertura de rastrojos y biomasa en superficie. No obstante, se observó un acortamiento del ciclo producto del estrés (Apéndice D).

En la cosecha del tercer año se obtuvieron los mayores promedios de rendimiento para los tres niveles del factor SL, pero no se registraron diferencias significativas entre ellos (Cuadro 3.9.3). Parcelas con LC tuvieron la mayor media, superando los 3.500 kg ha<sup>-1</sup> seguida de LR y SD. Esto puede indicar que en años favorables para siembras de primera, el cultivo de maíz amarillo no muestra diferencias en el rendimiento por aplicación de SL diferentes.

En Co3 se obtuvieron diferencias significativas por única vez para el factor Secuencia en el rendimiento de maíz (Cuadro 3.9.3). La combinación MD fue la que obtuvo mayor rendimiento, 3.719 kg ha<sup>-1</sup>, y las secuencias que incluyeron avena negra durante el invierno obtuvieron un 23% menos de rendimiento.

Los rendimientos aceptables del maíz amarillo criollo, aún en situaciones ambientales desfavorables, permiten especular que no laborear el suelo puede ser una alternativa viable para el cultivo en ambientes subtropicales y con suelos sometidos a alternancias de excesos de agua y deficiencias en períodos cortos.

En cuanto a la inclusión de avena negra como cultivo de cobertura invernal, el maíz amarillo solamente mostró diferencias en el tercer ciclo productivo. Las secuencias que incluyeron avena negra durante el invierno obtuvieron rendimientos menores y significativamente diferentes de aquéllos que no la emplearon. Así, en años favorables para el cultivo de maíz, la incorporación de una gramínea invernal para incrementar los aportes de biomasa al sistema podría ocasionar reducciones en los rendimientos en los primeros años de implementación de las prácticas.



## Capítulo 4. CONCLUSIONES

4.1. Consideraciones finales

4.2. Conclusiones

## 4. CONCLUSIONES

### 4.1. Consideraciones finales

Los diferentes SL y secuencias de cultivos ocasionaron la reducción de la cobertura del suelo durante los primeros tres ciclos productivos, y con mayor intensidad de laboreo se obtuvo menor cantidad de rastrojos en superficie. El porcentaje de suelo cubierto a la siembra fue en todos los casos inferior a la cosecha, independientemente de la combinación de cultivos probada, y al finalizar el ciclo de los cultivos estivales la producción de rastrojos se equiparó.

Bajo SD se obtuvo mayor cobertura del suelo (por encima del 70%) que con LR y LC a lo largo de todo el ensayo. Por lo tanto, la SD fue más eficiente para incrementar la cobertura de los suelos en sistemas de bajo empleo de insumos y mantener los niveles de rastrojos por encima de los tratamientos labrados. Todas las secuencias mantuvieron la cobertura por encima del 30% en todos los momentos, independientemente del SL empleado, con lo cual, adecuando la secuencia de cultivos se pueden mantener las labranzas sin reducir la superficie cubierta a niveles críticos. La incorporación de avena negra como cubierta invernal en sistemas productivos de pequeños agricultores permitió incrementar los aportes de biomasa.

La variable Da acusó cambios por la aplicación de las prácticas de manejo probadas. En la profundidad 0-7 cm hubo cambios significativos por los SL, mientras que en el espesor 7-20 cm la Da no mostró efectos por la aplicación de SL y secuencias de cultivos, pero en todos los momentos superó el valor crítico, mostrando una tendencia a incrementarse al mantener la agricultura de manera continua. La SD aumentó progresivamente la Da del suelo durante los tres años y los promedios superaron los niveles críticos en todos los momentos. Por otra parte, LC y LR permitieron la reducción de la Da en 0-7 cm y los efectos del laboreo se extendieron hasta el final del ciclo de los cultivos.

En relación al espacio poroso, indistintamente del manejo dado, luego de tres años de agricultura continua, tanto la PT como el EaCC en los 20 cm superficiales del suelo tuvieron reducciones respecto de los valores iniciales.

Los mayores valores de PT en todos los momentos fueron obtenidos con LR, pero sin diferencias con LC; mientras que SD registró pérdida progresiva del espacio poroso en superficie. Con LR se favoreció el mantenimiento de los poros de mayor tamaño. La aplicación de diferentes secuencias de cultivos no ocasionó cambios significativos en la

PT. Contrariamente a lo esperado, los tratamientos con mayor proporción de gramíneas (maíz y avena) fueron los de peor desempeño de la variable en superficie.

A través de los momentos estudiados se evidenció la reducción progresiva del EaCC. La disminución de los poros de mayor tamaño y el escaso efecto del cultivo de cobertura, se reflejó en el aumento de la Da superficial. No obstante, los valores obtenidos fueron lejanos a los condicionantes para el desarrollo de los cultivos.

El contenido de agua a capacidad de campo varió a través del tiempo en las tres profundidades pero no entre los niveles de los factores, ni tuvo interacción entre SL y Secuencia. Los mayores aportes de rastrojos con menor laboreo y con la incorporación de un cultivo de invierno no ejercieron influencia sobre el agua retenida a capacidad de campo en los suelos de textura franco-arenosa evaluados.

La RM no superó los 0,55 MPa en ninguna de las combinaciones en el espesor 0-7 cm, motivo por el cual en los tres primeros ciclos productivos no se registraron limitaciones para la emergencia de las plántulas ni para el normal desarrollo de los cultivos. A través de los tres primeros años los valores de RM en la profundidad 0-7 cm se incrementaron bajo SD, pero sin alcanzar valores condicionantes para el crecimiento de los cultivos. Esto permite suponer que sosteniendo esta práctica y en suelos similares a los de la experiencia, se obtendrían condiciones mecánicas menos favorables en superficie, pero sin alcanzar valores restrictivos, que con las labranzas utilizadas por los pequeños agricultores.

En las capas sub-superficiales del suelo, al aumentar la intensidad del laboreo la tendencia fue a incrementar la compactación, siendo  $LC > LR > SD$ . A mayor profundidad, el efecto de los implementos de labranza livianos usados por los pequeños productores fue menor, indicando que a mayor tránsito agrícola se ocasiona mayor compactación. La SD, con menor número de operaciones agrícolas fue el sistema que ocasionó la menor RM.

En cuanto a la variable EA, la fracción de agregados considerada (de 2 a 3,3 mm) demostró ser sensible a las prácticas de manejo aplicadas, observándose más claramente las diferencias entre los niveles de los factores en el tercer año.

La reducción de las operaciones de labranza no fue suficiente para mantener el porcentaje de macroagregados estables dentro de los 20 cm de profundidad, ya que la estabilidad decreció invariablemente en todas las combinaciones probadas. No obstante, la disminución del porcentaje de agregados estables fue mayor con LC y LR, y menor bajo SD.

En cuanto a las secuencias de cultivos, las diferencias más marcadas en EA se dieron en la superficie. La combinación M-D-A-D fue la que mostró menor estabilidad durante los tres ciclos productivos.

Los SL evaluados tuvieron mayor influencia sobre la variable Ib que las secuencias de cultivos probadas. Los valores de Ib en los SL evaluados fueron mayores bajo SD, seguidos de LR y luego por LC. Ello se atribuye a la mayor EA lograda por el sistema de no remoción de suelo, ya que la macroporosidad no acompañó este comportamiento. Por ello, la SD complementada con adecuados aportes de rastrojos, es una alternativa practicable para planteos de bajos insumos cuando se desea incrementar la Ib.

En relación a la respuesta de los cultivos, los rendimientos de algodón superaron ampliamente el promedio de los sistemas productivos tradicionales de la zona en los tres años y se mantuvieron por encima del promedio provincial. Esto permite confirmar parcialmente la hipótesis de mejora de los rendimientos a pesar de los incrementos en la Da y la RM. Las operaciones de remoción del suelo contribuyeron a mejorar los rendimientos del algodón en años favorables para el cultivo. Cuando las condiciones ambientales fueron desfavorables, el mejor desempeño se dio bajo SD.

Por otra parte, los rendimientos promedio de maíz fueron relativamente bajos en los tres años estudiados, con variaciones entre años por encima del 15%. Esto indica una alta variabilidad producto del manejo y del efecto año. Para este cultivo los rendimientos bajo SD con bajos insumos fueron aceptables pero no se mantuvieron a través de los ciclos, difiriendo parcialmente de la hipótesis planteada. Sin embargo, se podría considerar la práctica de SD para ser usada en ambientes subtropicales con suelos sometidos a alternancias de excesos y deficiencias de agua en períodos cortos, similares a los de la experiencia.

En cuanto a la incorporación de una gramínea invernal –avena negra– en sistemas productivos de pequeños agricultores, permitió aumentar los aportes de biomasa sin comprometer los rendimientos del algodón, pero ocasionó reducciones en los rendimientos del maíz. Posiblemente, sostener la práctica del empleo de avena negra como cultivo de cobertura permita que los efectos positivos se acumulen, logrando un mayor aporte de carbono al sistema a través de una adecuada planificación de las prácticas agrícolas en sistemas de bajos insumos.

Los resultados obtenidos se corresponden, en parte, con la hipótesis de mejora de la cobertura de suelo por el empleo de la SD. Si bien hubo reducción respecto de la situación inicial, la supresión de la labranza bajo SD mantuvo en todos los casos los

mayores aportes de rastrojos y porcentaje de suelo cubierto (siempre por encima de los umbrales) respecto de LC y LR. Asimismo, la estabilidad de los agregados en superficie fue mayor bajo SD, confirmando que dichos aportes de rastrojos condujeron a mejoras en las condiciones físicas del suelo bajo estudio, y que dicha estabilidad de agregados permitió lograr incrementos en la infiltración.

La hipótesis referida al incremento de la Da y RM por la implementación de la SD sin llegar a valores críticos que afecten el crecimiento de los cultivos, pudo ser comprobada a partir de los resultados en la capa superficial de 0-7 cm. En capas más profundas de 7 a 30 cm la RM aumentó bajo LC y LR, mientras que bajo SD se mantuvo significativamente menor. No obstante, no se pudo distinguir claramente en el corto plazo el resultado de la incorporación del cultivo de cobertura sobre la porosidad en superficie. La falta de efecto posiblemente se deba al corto período de sostenimiento de las prácticas (tres años).

En resumen, para sistemas como el de los pequeños agricultores de Corrientes, con manejo agrícola tradicional y bajo nivel de uso de insumos, la aplicación de SD durante tres ciclos produjo:

- Mayor protección de la superficie del suelo (cobertura y biomasa remanente) y mayor estabilidad de agregados respecto de los tratamientos labrados, lo que condujo a una mejora en la infiltración básica;
- Incremento progresivo de la densidad aparente (con valores cercanos a los críticos) y resistencia mecánica en superficie, disminuyendo la porosidad superficial pero sin afectar de manera sustancial el crecimiento de los cultivos regionales;
- La menor reducción de la estabilidad de agregados en los estratos superficiales respecto de los tratamientos con laboreo (LR y LC), siendo una práctica comparativamente más recomendable.

Tanto en las propiedades físicas superficiales del suelo como en el desempeño de los cultivos, los efectos de prácticas de labranzas contrastantes fueron más notorios que con las diferentes secuencias empleadas a través de los tres primeros años.

El empleo de SD en combinación con un cultivo de cobertura permitió mantener o mejorar los rendimientos de maíz y algodón, cultivos tradicionales de pequeños agricultores del norte de Corrientes afectando menos las condiciones físicas de la superficie del suelo que la LC o la LR.

Si bien un importante número de autores han estudiado los efectos de los sistemas de labranza, y de la SD en particular, sobre distintas propiedades de los suelos y bajo condiciones agroambientales diferentes, para el caso de las condiciones de los agricultores familiares de la región, los antecedentes son todavía escasos y pobremente documentados. Nuevos interrogantes surgen sobre el comportamiento de éstos y otros cultivos regionales bajo planteos similares y sobre el comportamiento de diferentes propiedades edáficas cuando las prácticas se sostienen por períodos prolongados.

Otras especies de cultivos de cobertura y combinaciones de secuencias, incluyendo otros cultivos regionales, podrían incorporarse a nuevos estudios buscando mejorar las condiciones físicas y químicas de los suelos agrícolas de los pequeños productores familiares.

#### 4.2. Conclusiones

Los resultados obtenidos permitieron comprobar la primera hipótesis planteada en el trabajo, la cual propone que la SD en combinación con el uso de avena negra como cultivo de cobertura ocasiona el incremento de la Da y la RM sin ocasionar reducción en los rendimientos del maíz amarillo y del algodón, en condiciones similares a las de los pequeños agricultores de Corrientes.

La segunda hipótesis, referida al incremento de la EA, BM y Cob bajo SD, también pudo ser comprobada. Con respecto a la variable Ib, los resultados fueron parciales, ya que no permitieron identificar aumentos estadísticamente significativos en la tasa de ingreso de agua en el perfil del suelo bajo estudio.

Los efectos de las prácticas de labranzas y secuencias de cultivos en las propiedades físicas superficiales del suelo y en los rendimientos de los cultivos, se apreciaron en los tres primeros años, permitiendo comprobar la tercera hipótesis. No obstante, en el caso del cultivo de maíz la tendencia de la respuesta no fue muy clara.

## BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Abivien, S.; S. Menasseri & C. Chenu. 2009. The Effects of Organic Inputs over Time on Soil Aggregate Stability – A Literature Analysis. *Soil Biol. Biochem.* 41:1-12.
- (2) Acosta F.; L. Giménez; C. Richieri & M. Calvi. 2009. Zonas Agroeconómicas Homogéneas de Corrientes. Descripción Ambiental, Socioeconómica y Productiva. Ediciones INTA. Estudios Socioeconómicos de la Sustentabilidad de los Sistemas de Producción y Recursos Naturales N° 8. 75 pp.
- (3) Almirón L.; H. Altamirano; O. Macarrein; H. Paredes & S. Norberto. 2004. El Algodón en la Provincia de Corrientes. En: XV Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE. Corrientes, Argentina.
- (4) Angers, D.A.; M.S. Bullock & G.R. Mehuys. 2008. Agregate Stability to Water. Chapter 62. Pp. 811-819. In: M.R. Carter & E.G. Gregorich (eds.). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. 2nd ed. Canadian Soc. of Soil Science. 1224 pp.
- (5) Aparico, V. & J.L. Costa. 2007. Soil Quality Indicators Under Continuous Cropping Systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96:155-165.
- (6) Baver, L.D.; W.H. Gardner & W.R. Gardner. 1972. *Soil Physics*. 4th ed. John Wiley & Sons, New York. 498 pp.
- (7) Benites, V.M.; B. Madari & P.L.O. de A. Machado. 2003. Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: Um Procedimento Simplificado de Baixo Custo. Comunicado Técnico 16. Embrapa Solos, 7 pp.
- (8) Blevins, R.L.; G.W. Thomas & P.L. Cornelius. 1977. Influence of No-tillage and Nitrogen Fertilization on Certain Soil Properties after 5 Years of Continuous Corn. *Agron. J.* 69:383-386.
- (9) Bosch, J.; E. Zini; C. Richieri; H. Bogado & H.W. Roig. 1999. Informe de actividades y resultados en chacras de pequeños productores. Campañas 1997/98 y 1998/99. Convenio INTA–SAP. Ediciones INTA. EEA Corrientes, 35 pp.
- (10) Bouwer, H. 1986. Intake Rate: Cylinder Infiltrometer. Pp. 825–843. In: Klute, A. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph N° 9, 2nd ed. Am. Soc. Agron & Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. USA.



- (11) Bradford, J.M. 1986. Penetrability. Pp. 463-478. In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph N°9, 2nd ed. Am. Soc. Agron & Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. USA.
- (12) Bravo, C. & A. Florentino. 1997. Efecto de Diferentes Sistemas de Labranza sobre las Propiedades Físicas del Suelo y su Influencia sobre el Rendimiento del Algodón. *Bioagro* 9 (3):67-75.
- (13) Carnevali, R. 1994. *Fitogeografía de la Provincia de Corrientes*. Cartas, Escalas 1:500.000 y 1:1.000.000. Gob. de la Pcia. de Corrientes-INTA Corrientes. Edición del autor, 324 pp.
- (14) Carter M.R. & B.C. Ball. 1993. Soil Porosity. Pp. 581-588. En: M.R. Carter (ed.). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Can. Soc. Soil Sci. Florida, USA.
- (15) Castiglioni, M.G.; M.J. Massobrio; C.I. Chagas; O.J. Santanatoglia & A. Buján. 2006. Infiltración del Agua con Labranza Cero del Suelo en una Microcuena Agrícola de Argentina. *Terra Latinoamericana* 24:423-430.
- (16) Castiglioni, M; D. Mazzoni; C.I. Chagas; E. Palacín; O. Santanatoglia & M. Massobrio. 2010. Distribución de Poros en una Ladera de Pampa Ondulada Cultivada con Siembra Directa. *Ci. Suelo* 28(2):243-248.
- (17) CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1982. *La Heterogeneidad del Suelo y los Ensayos de Uniformidad*. Cali, Colombia. CIAT, 24 pp.
- (18) Correa Londoño, G. 2004. *Análisis de Medidas Repetidas*. Documento de Trabajo. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, 41 pp.
- (19) De Gryze, S.; J. Six; C. Brits & R. Merckx. 2005. A Quantification of Short-term Macroaggregate Dynamics: Influences of Wheat Residue Input and Texture. *Soil Biol. Biochem.* 37:55-66.
- (20) de la Vega G.; M.G. Castiglioni; M.J. Massobrio; C.I. Chagas; O.J. Santanatoglia & C. Iruetia. 2004. Infiltración en un Argiudol Vértico Bajo Siembra Directa en Condiciones Variables de Cobertura Humedad Inicial. *Ci. Suelo* 22(1):52-55.
- (21) Dexter, A.R. 1988. *Advances in Characterization of Soil Structure*. *Soil Till. Res.* 11:199-238.
- (22) Dexter, A.R. 1997. *Physical Properties of Tilled Soils*. *Soil Till. Res.* 43:41-63.

- <sup>(23)</sup> Drury, C.F.; C.S. Tan; W.D Reynolds; T.W. Welacky; S.E. Weaver; A.S. Hamill & T.J. Vyn. 2003. Impacts of Zone Tillage and Red Clover on Corn Performance and Soil Physical Quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:867-877.
- <sup>(24)</sup> Erenstein, O. 2003. Smallholder Conservation Farming in the Tropics and Sub-tropics: A Guide to the Development and Dissemination of Mulching with Crop Residues and Cover Crops. *Agr. Ecosyst. Environ.* 100:17-37.
- <sup>(25)</sup> Escobar, E.H.; H.D. Ligier; R. Melgar; H. Matteio & O. Vallejos. 1996. Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes 1:500.000. Ediciones INTA. EEA Corrientes. Argentina, 430 pp.
- <sup>(26)</sup> Evers, G. & A. Agostini. 2001. No-tillage Farming for Sustainable Land Management: Lessons From the 2000 Brazil Study Tour. FAO - Investment Centre. Occasional Paper Series N° 12. 26 pp.
- <sup>(27)</sup> Fernández, P.; J.A. Luque & J.D. Paoloni. 1971. Análisis de la Infiltración y su Aplicación para Diseños de Riego en el Valle Inferior del Río Colorado. RIA, Serie 3, 8(1):1-29.
- <sup>(28)</sup> Forsythe, W. 1975. Física de Suelos: Manual de Laboratorio. Serie de libros y materiales educativos IICA; no. 25. IICA 1985, c1975. San José, Costa Rica. 212 pp.
- <sup>(29)</sup> Franzen, H.; R. Lal & W. Ehlers. 1994. Tillage and Mulching Effects on Physical Properties of a Tropical Alfisol. *Soil Till. Res.* 28(3-4):329-346.
- <sup>(30)</sup> Franzluebbbers, A.J. 2002. Water Infiltration and Soil Structure Related to Organic Matter and Its Stratification With Depth. *Soil Till. Res.* 66:197-205.
- <sup>(31)</sup> Franzluebbbers A.J. 2008. Linking Soil and Water Quality in Conservation Agricultural Systems. *Integr. Biosci.* 6(1):15-29.
- <sup>(32)</sup> Franzluebbbers, A.J.; F.M. Hons & D.A. Zuberer. 1995. Tillage and Crop Effects on Seasonal Dynamics of Soil CO<sub>2</sub> Evolution, Water Content, Temperature, and Bulk Density. *Appl. Soil Ecol.* 2:95-109.
- <sup>(33)</sup> Franzluebbbers, A.J. & M.A. Arshad. 1996. Soil Organic Matter Pools during Early Adoption of Conservation Tillage in Northwestern Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1422-1427.
- <sup>(34)</sup> Galeano, S.N. 2004. Cartografía Digital Entorno SIG de Potrereros, Uso Actual de la Tierra y Paisajes en la EEA INTA Corrientes. Trabajo Final de Graduación. Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE, 35 pp.

- (35) Gomez, C.A. 1981. Relevamiento, Caracterización y Clasificación de Suelos de la Cuenca de los Arroyos Sombrero y Sombrerito, Dpto. Empedrado, Corrientes. Trabajo Final de Graduación, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE, 66 pp.
- (36) Guérif, J.; G. Richard; C. Dürr; J.M. Machet; S. Recous & J. Roger-Estrade. 2001. A Review of Tillage Effects on Crop Residue Management, Seedbed Conditions and Seedling Establishment. *Soil Till. Res.* 61:13-32.
- (37) Hamblin, A.P. 1985. The Influence of Soil Structure on Water Movement, Crop Root Growth and Water Uptake. *Adv. Agron.* 38:95-158.
- (38) Hammel, J.E. 1989. Long-Term Tillage and Crop Rotation Effects on Bulk Density and Soil Impedance in Northern Idaho. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1515-1519.
- (39) Hamza, M.A. & W.K. Anderson. 2005. Soil Compaction in Cropping Systems. A Review of the Nature, Causes and Possible Solutions. *Soil Till. Res.* 82:121-145.
- (40) INDEC. 2005. Censo Nacional Agropecuario 2002. Dirección de Estadística y Censos Corrientes. Ministerio de Producción, Trabajo y Turismo - Servicio de Información Agroeconómica.
- (41) INTA. 1994. Tecnología de Producción Disponible para Pequeños Productores. Ediciones INTA. EEA Corrientes, 98 pp.
- (42) INTA. 2002. Plan de Tecnología Regional (2001-2004) Centro Regional Corrientes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ediciones INTA. Documentos Institucionales N°104, 49 pp.
- (43) INTA. 2005. Proyecto Regional de Pequeños Productores de la Provincia de Corrientes - Informe Anual de Actividades. EEA Corrientes. Documento interno. Sin publicar.
- (44) Jastrow, J.D. 1996. Soil Aggregate Formation and the Accrual of Particulate and Mineral-Associated Organic Matter. *Soil Biol. Biochem.* 28(4):665-676.
- (45) Katsvairo, T.; W.J. Cox & H. van Es. 2002. Tillage and Rotation Effects on Soil Physical Characteristics. *Agron. J.* 94:299-304.
- (46) Kay, B.D. 1990. Rates of Change of Soil Structure under Different Cropping Systems. *Adv. Soil Sci.* 12:1-52.
- (47) Kemper, W.D. & R.C. Rosenau. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. Pp. 425-442. In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Agronomy Monograph N°9, 2nd ed. Am. Soc. Agron. & Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. USA.

- <sup>(48)</sup> Kushwaha, C.P.; S.K. Tripathi & K.P. Singh. 2001. Soil Organic Matter and Water-Stable Aggregates under Different Tillage and Residue Conditions in a Tropical Dryland Agroecosystem. *Appl. Soil Ecol.* 16:229-241.
- <sup>(49)</sup> Lal, R. 1994. *Methods and Guidelines for Assessing Sustainable Use of Soil and Water Resources in the Tropics*. USDA, Soil Conservation Service, Soil Management Support Services, Washington, D.C. SMSS Technical Monograph N° 21. 78 pp.
- <sup>(50)</sup> Lal, R. & M.K. Shukla. 2004. *Principles of Soil Physics*. New York-Basel, 716 pp.
- <sup>(51)</sup> Lampurlanés J. & C. Cantero-Martínez. 2003. Soil Bulk Density and Penetration Resistance under Different Tillage and Crop Management Systems and Their Relationship with Barley Root Growth. *Agron. J.* 95:526-536.
- <sup>(52)</sup> Landini, A.M.; D. Martínez; H. Días; E. Soza; D. Agnes & C. Sainato. 2007. Modelos de Infiltración y Funciones de Pedotransferencia Aplicados a Suelos de Distinta Textura. *Ci. Suelo* 25(2):123-131.
- <sup>(53)</sup> Langdale, G.W.; W.L. Hargrove & J. Giddens. 1984. Residue Management in Double-Crop Conservation Tillage Systems. *Agron. J.* 76:689-694.
- <sup>(54)</sup> Ligier, H.D. 1997. Estrategias para una Agricultura Sustentable en Pequeñas Propiedades. Área Producción Vegetal y Recursos Naturales. Ediciones INTA. EEA Corrientes, 20 pp.
- <sup>(55)</sup> Ligier, H.D. & M.A. Galletto. 1998. Evaluación del Estado de Deterioro de los Suelos en el Suroeste de Corrientes. Efecto Asociado al Evento El Niño y al Manejo Tradicional de los Sistemas de Producción. Ediciones INTA. EEA Corrientes, 29 pp.
- <sup>(56)</sup> Ligier, H.D. & D.B. Kurtz. 2001. Agricultura de Bajos Insumos en Minifundios de Corrientes: Estrategias para una Agricultura Sustentable. Pp. 363:370. En: *Siembra Directa II*. Panigatti, J.L.; H. Buschiazzi y H. Marelli (eds). Ediciones INTA, 377 pp.
- <sup>(57)</sup> Lindstrom, M.J. & C.A. Onstad. 1984. Influence of Tillage Systems on Soil Physical Parameters and Infiltration after Planting. *J. Soil Water Conserv.* 39(2):149-152.
- <sup>(58)</sup> Lipiec, J. & W. Stepniewski. 1995. Effects of Soil Compaction and Tillage Systems on Uptake and Losses of Nutrients. *Soil Till. Res.* 35:37-52.

- <sup>(59)</sup> Lipiec, J. & R. Hatano. 2003. Quantification of Compaction Effects on Soil Physical Properties and Crop Growth. *Geoderma* 116:107-136.
- <sup>(60)</sup> Liu, X.; S.J. Herbert; A.M. Hashemi; X. Zhang & G. Ding. 2006. Effects of Agricultural Management on Soil Organic Matter and Carbon Transformation – A Review. *Plant Soil Environ.* 52(12):531-543.
- <sup>(61)</sup> Martens, D.A. 2000. Management and Crop Residue Influence Soil Aggregate Stability. *J. Environ. Qual.* 29:723-727.
- <sup>(62)</sup> Mendonça, E.S. & E.S. Matos. 2005. *Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises*. 1. ed. Ponte Nova: D&M Gráfica e Editora Ltda, 2005. v. 1. 107 p.
- <sup>(63)</sup> McVay, K.A.; J.A. Budde; K. Fabrizzi; M.M. Mikha; C.W. Rice; A.J. Schlegel; D.E. Peterson; D.W. Sweeney & C. Thompson. 2006. Management Effects on Soil Physical Properties in Long-Term Tillage Studies in Kansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:434–438.
- <sup>(64)</sup> Mondino, M.; O. Peterlín & M.G de Bianconi. 2006 Algodón. Pp. 357-395. En: de la Fuente, E.B.; A. Gil; P.I. Giménez; A.G. Kantolic; M. López Pereira; E.L. Ploschuk; D.M. Sorlino; P. Vilariño; D.E. Wassner & L.B. Windauer (eds.). *Cultivos Industriales*. 1ra edición. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires, 800 pp.
- <sup>(65)</sup> Monegat, C. 1991. *Plantas de Cobertura do Solo: Características e Manejo em Pequenas Propiedades*. Chapecó (SC). Ediciones del autor, 337 pp.
- <sup>(66)</sup> Moro, E.; C. Venialgo; N. Gutierrez; M. Kolar & A. Corrales. 2000. Efecto de las Labranzas y Rotaciones Sobre la Degradación Física en Suelos de la Provincia del Chaco (Situación Inicial). En: II Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la UNNE. Corrientes, Argentina.
- <sup>(67)</sup> Mulumba, L.N. & R. Lal. 2008. Mulching Effects on Selected Soil Physical Properties. *Soil Till. Res.* 98:106-111.
- <sup>(68)</sup> Nabi, G.; C.E. Mullins; M.B. Montemayor & M.S. Katar. 2001. Germination and Emergence of Irrigated Cotton in Pakistan in Relation to Sowing Depth and Physical Properties of the Seedbed. *Soil Till. Res.* 59:33-34.
- <sup>(69)</sup> Odhiambo, J.J.O. & A.A. Bomke. 2007. Cover Crop Effects on Spring Soil Water Content and the Implications for Cover Crop Management in South Coastal British Columbia. *Agr. Water Manage. J.* 88:92-98.

- <sup>(70)</sup> Osunbitan, J.A.; D.J. Oyedele & K.O. Adekalu. 2005. Tillage Effects on Bulk Density, Hydraulic Conductivity and Strength of a Loamy Sand Soil in Southwestern Nigeria. *Soil Till. Res.* 82 (1):57-64.
- <sup>(71)</sup> Page A.L.; R.H. Miller & D.R. Keeney. 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition.* Soil Sci. Soc. Am. 1159 pp.
- <sup>(72)</sup> Paredes, F.A. 2007. *Producción de Maíz Amarillo Bajo Siembra Directa en Corrientes, Argentina. Trabajo Final de Graduación de la Carrera Especialidad en Siembra Directa. Escuela de Posgrados "Alberto Soriano", Universidad de Buenos Aires,* 23 pp.
- <sup>(73)</sup> Pla Sentis, I. 1983. *Metodología para la Caracterización Física con Fines de Diagnóstico de Problemas de Manejo y Conservación de Suelos en Condiciones tropicales.* Alcance Rev. Universidad Central de Venezuela (Maracay), 32 pp.
- <sup>(74)</sup> Porta, J.; M. López Acevedo & C. Roquero. 1994. *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 807 pp.
- <sup>(75)</sup> Rawls, W.J.; D.L. Brakensiek & K.E. Saxton. 1982. Estimation of Soil Water Properties. *T ASAE* 25(5):1316-1320 y 1328.
- <sup>(76)</sup> Reicosky, D.C.; W.D. Kemper; G.W. Langdale; C.L. Douglas, Jr. & P.E. Rasmussen. 1995. Soil Organic Matter Changes Resulting from Tillage and Biomass Production. *J. Soil Water Conserv.* 50(3):253-261.
- <sup>(77)</sup> Reiter, M.S.; D.W. Reeves; C.H. Burmester & H.A. Torbert. 2008. Cotton Nitrogen Management in a High-Residue Conservation System: Cover Crop Fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1321-1329.
- <sup>(78)</sup> Restovich, S.B.; A.E. Andriulo & C. Améndola. 2011. Introducción de Cultivos de Cobertura en la Rotación Soja-Maíz: Efecto Sobre Algunas Propiedades del Suelo. *Ci. Suelo* 29(1):61-73.
- <sup>(79)</sup> Rhoton, F.E. 2000. Influence of Time on Soil Response to No-Till Practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:700-709.
- <sup>(80)</sup> Sainju, U.M. & B.P. Singh. 2001. Tillage, Cover Crop, and Kill-Planting Date Effects on Corn Yield and Soil Nitrogen. *Agron. J.* 93:878-886.
- <sup>(81)</sup> Sainju, U.M.; B.P. Singh & W.F. Whitehead. 2002. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils of Georgia, USA. *Soil Till. Res.* 63:167-179.

- <sup>(82)</sup> SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® Versión (9.1) (TS1M3). Copyright (c) 2002-2003 by SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. Proprietary Software Version (9.1).
- <sup>(83)</sup> Sasal, M.C. & A.E. Andriulo. 2005. Cambios en la Porosidad Edáfica Bajo Siembra Directa por la Introducción de *Raphanus sativus* L. (Nabo Forrajero). RIA 34(3):131-150.
- <sup>(84)</sup> Sasal, M.C.; A.E. Andriulo & M.A. Taboada. 2006. Soil Porosity Characteristics and Water Movement Under Zero Tillage in Silt Soils in Argentinian Pampas. Soil Till. Res. 87:9-18.
- <sup>(85)</sup> Sasal, M.C.; M.G. Wilson; N.A. Garcarena; H.A. Tasi & O. Papparotti. 2008. Esgurrimiento y Pérdidas de Suelo en Sistemas de Cultivo Bajo Siembra Directa. Efecto de Algunas Propiedades Edáficas Superficiales. En: Resúmenes del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, 648 pp.
- <sup>(86)</sup> Shaxson F. & R. Barber. 2005. Optimización de la Humedad del Suelo para la Producción Vegetal. El Significado de la Porosidad del Suelo. Boletín de Suelos de la FAO N° 79. Roma, Italia, 129 pp.
- <sup>(87)</sup> Shukla, M.K.; R. Lal & M. Ebinger. 2006. Determining Soil Quality Indicators by Factor Analysis. Soil Till. Res. 87:194-204.
- <sup>(88)</sup> Silva, A.P. da; S. Imhoff & B. Kay. 2004. Plant Response to Mechanical Resistance and Air-Filled Porosity of Soils under Conventional and No-Tillage System. Sci. Agric. 61(4):451-456.
- <sup>(89)</sup> Silva, L.A.; N.C. Gutiérrez & C. Venialgo Chamorro. 2000. Efectos de Cultivos Forrajeros y de Escarda en la Porosidad de un Durustol Típico. En: II Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la UNNE. Corrientes, Argentina.
- <sup>(90)</sup> Siri-Prieto, G.; D.W. Reeves & R.L. Raper. 2007. Tillage Systems for a Cotton-Peanut Rotation with Winter-Annual Grazing: Impacts on Soil Carbon, Nitrogen and Physical Properties. Soil Till. Res. 96:260-268.
- <sup>(91)</sup> Snapp, S.S.; S.M. Swinton; R. Labarta; D. Mutch; J.R. Black; R. Leep; J. Nyiraneza & K. O'Neil. 2005. Evaluating Cover Crops for Benefits, Costs and Performance within Cropping System Niches. Agron. J. 97:322-332.
- <sup>(92)</sup> Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

- <sup>(93)</sup> Steel, R.G.D. & J.H. Torrie. 1993. Bioestadística. Principios y Procedimientos. 2da ed. Ed. McGraw-Hill/Interamericana de México, S.A., 622 pp.
- <sup>(94)</sup> Steiner, J.L.; H.H. Schomberg; P.W. Unger & J. Cresap. 2000. Biomass and Residue Relationships of Fresh and Decomposing Small Grain Residue. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2109-2114.
- <sup>(95)</sup> Strudley, M.W.; T.R. Green & J.C. Ascough II. 2008. Tillage Effects on Soil Hydraulic Properties in the Space and Time: State of the Science. *Soil Till. Res.* 99:4-48.
- <sup>(96)</sup> Taboada, M.A.; F.G. Miccuci; D.J. Cosentino & R.S. Lavado. 1998. Comparison of Compaction Induced by Conventional and Zero Tillage in Two Soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 49:57-63.
- <sup>(97)</sup> Taylor, H.M. & H.R. Gardner. 1963. Penetration of Cotton Seedling Taproots as Influenced by Bulk Density, Moisture Content, and Strength of Soil. *Soil Sci.* 96 (3):153-156.
- <sup>(98)</sup> Tisdall, J.M. & J.M. Oades. 1982. Organic Matter and Water-Stable Aggregates in Soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
- <sup>(99)</sup> Tsakoumagkos P. 2008. Estudio sobre los Pequeños Productores Agropecuarios y el Desarrollo Rural en la Argentina. Ministerio de Economía y Producción. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Dirección de Desarrollo Agropecuario. PROINDER. Serie Estudios e Investigaciones N° 20. Buenos Aires, Argentina, 29 pp.
- <sup>(100)</sup> Unger, P.W.; O.R. Jones & K.B. Laryea. 1995. Sistemas de Labranza y Prácticas de Manejo de Suelos en Diferentes Condiciones de Tierras y Climas. pp. 82-117. En: S.I. Pla y F. Ovalles (eds.). *Memorias de la Segunda Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista*. Guanare, Aricagua, Venezuela.
- <sup>(101)</sup> Unger, P.W. 2002. Conservation Tillage for Improving Dryland Crop Yield. *Ci. Suelo.* 20(1):1-8.
- <sup>(102)</sup> Varela, M.A.; P.L. Fernández; G. Rubio & M.A. Taboada. 2011. Cultivos de Cobertura: Efectos Sobre la Macroporosidad y la Estabilidad Estructural de un Suelo Franco-Limoso. *Ci. Suelo* 29(1):99-106.
- <sup>(103)</sup> Venialgo, C.; N. Gutiérrez; J. Gutiérrez; J. Petkoff & D. Drganc. 2002. Porosidad en Suelos con Distinta Secuencia de Cultivos. En: XIII Reunión de



Comunicaciones Científicas y Técnicas de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNNE. Corrientes, Argentina.

- <sup>(104)</sup> Vyn T.J. & B.A. Raimbault. 1993. Long-Term Effect of Five Tillage Systems on Corn Response and Soil Structure. *Agron. J.* 85:1074-1079.
- <sup>(105)</sup> West, L.T.; W.P. Miller; G.W. Langdale; R.R. Bruce; J.M. Laflen & A.W. Thomas. 1991. Cropping System Effects on Interrill Soil Loss in the Georgia Piedmont. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:460-466.
- <sup>(106)</sup> Whiteley, G.M. & W.H. Utomo; A.R. Dexter. 1981. A Comparison of Penetrometer Pressures and the Pressures Exerted by Roots. *Plant Soil.* 61:351-364.
- <sup>(107)</sup> Yeomans, J.C. & J.M. Bremner. 1988. A Rapid and Precise Method for Routine Determination of Organic Carbon in Soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476.

## APÉNDICE

## - APÉNDICE A -

Cuadro A. Descripción del perfil de suelo del ensayo.\*

Horizonte	Prof. (cm)	Color				Textura	Límite	Mot. Raíces		Da (g cm <sup>-3</sup> )	K <sub>sat</sub> (cm h <sup>-1</sup> )	RM (MPa)	HG (%)
		Húmedo		Seco									
A <sub>11</sub>	0-20	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	Franco arenoso		xxx		1,55	1,626	1,25	13,45
A <sub>12</sub>	20-30	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	Franco arenoso	Difuso-Suave	x	xx	1,63	0,267	1,65	16,94
BA <sub>t</sub>	30-40	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	10 YR 4/1	Gris oscuro	Franco arcillo arenoso	Claro-Suave	xx	x	1,58	0,578	1,38	24,50
B <sub>111</sub>	40-80	10 YR 2/1	Negro	10 YR 2/1	Negro	Arcilloso	Abrupto	xxx	-	1,71	0,200	2,40	24,63
B <sub>tk</sub>	80 +	10 YR 4/6	Pardo amarillento claro	10 YR 4/6	Pardo amarillento oscuro	Arcilloso	Claro-Abrupto	xxx	-	1,66	0,156	1,48	23,90

\* Mot.=moteados; x=presentes; xx=abundantes; xxx=muy abundantes; Da=densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>); K<sub>sat</sub>=conductividad hidráulica saturada (cm h<sup>-1</sup>); RM=resistencia mecánica (MPa); HG=humedad gravimétrica.

## - APÉNDICE B -

Cuadro B. Estadística descriptiva de las variables de suelo en el ensayo preliminar. \*

Variable	Prof. (cm)	n	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza	DS	CV (%)
Cob (%)		192	96,93	100,00	80,00	100,00	26,63	5,16	5,32
BM Mg ha <sup>-1</sup>		192	10,32	9,64	5,94	18,42	0,63	2,51	24,29
Da g cm <sup>-3</sup>	0-7	96	1,44	1,43	1,20	1,17	0,02	0,13	8,74
	7-20	96	1,52	1,57	1,03	1,69	0,02	0,13	8,36
	20-30	96	1,59	1,59	1,32	1,71	0,00	0,07	4,33
RM MPa	0-7	96	0,16	0,13	0,07	0,43	0,01	0,08	48,66
	7-20	96	0,67	0,66	0,35	1,18	0,02	3,85	21,98
	20-30	96	0,85	0,84	0,53	1,24	0,02	0,13	15,07
HG (%)	0-7	96	13,66	12,82	1,66	22,11	13,79	3,71	27,19
	7-20	96	13,05	12,03	3,75	21,42	14,84	3,85	29,53
	20-30	96	13,38	12,68	5,79	41,09	22,90	4,79	35,77
EA (%)	0-7	192	79,42	78,28	64,43	94,10	36,96	6,08	7,66
pH (1:2,5 agua)	0-7	96	5,43	5,44	5,15	5,75	0,02	0,13	2,37
P ppm	0-7	96	7,55	7,40	4,20	11,20	3,45	1,85	24,51
Ca cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0-7	96	2,55	2,60	2,10	3,00	0,04	0,19	7,51
Mg cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0-7	96	0,83	0,85	0,30	1,10	0,03	0,17	20,36
K cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0-7	96	0,18	0,17	0,11	0,29	0,00	0,05	25,76
Na cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0-7	96	0,30	0,29	0,17	0,46	0,00	0,06	19,32
MO (%)	0-7	96	2,40	2,40	1,95	2,72	0,03	0,18	7,39
Cond. (dS m <sup>-1</sup> )	0-7	96	0,08	0,08	0,06	0,11	0,00	0,01	11,65

\* Cob=cobertura de suelo; BM=biomasa en superficie; Da=densidad aparente; RM=resistencia mecánica; HG=humedad gravimétrica; EA=estabilidad de agregados; MO=materia orgánica; Cond.=conductividad eléctrica (dSm m<sup>-1</sup>).

## - APÉNDICE C -

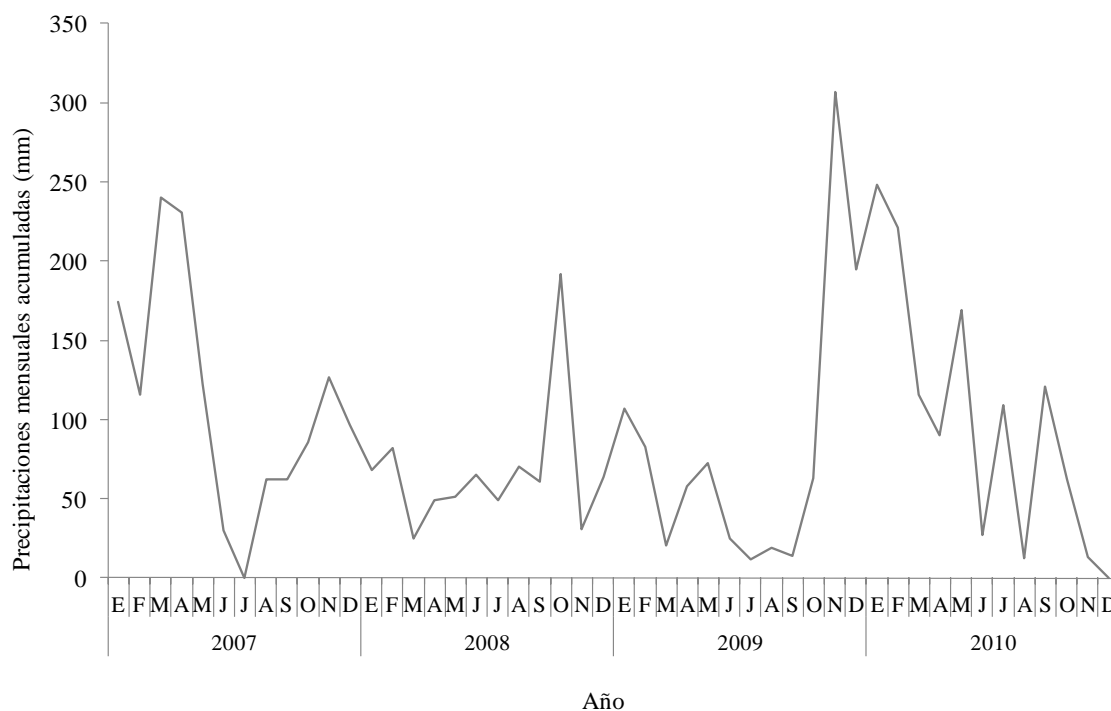


Figura C. Precipitaciones acumuladas mensuales durante la experiencia.

## - APÉNDICE D -

Cuadro D. Número de plantas a plena emergencia y a cosecha, ciclo completo y precipitaciones registradas durante el ciclo de los cultivos de maíz y algodón.\*

			Maíz	Algodón
Año 1	NPE	(pltas ha <sup>-1</sup> )	45803	172261
	NPC	(pltas ha <sup>-1</sup> )	23363	98065
	CC	(días)	132	145
	Pptac. ciclo	(mm)	374,0	399,0
Año 2	NPE	(pltas ha <sup>-1</sup> )	45059	166488
	NPC	(pltas ha <sup>-1</sup> )	31726	108631
	CC	(días)	91	160
	Pptac. ciclo	(mm)	340,5	497,3
Año 3	NPE	(pltas ha <sup>-1</sup> )	46071	180892
	NPC	(pltas ha <sup>-1</sup> )	37678	134761
	CC	(días)	125	140
	Pptac. ciclo	(mm)	812,7	870,0

\* NPE=número de plantas a plena emergencia (plantas por hectárea); NPC=número de plantas a cosecha (plantas por hectárea); CC=ciclo completo del cultivo (días); Pptac. ciclo=precipitaciones registradas durante el ciclo de los cultivos. Los valores de NPE, NPC y CC corresponden al promedio general de todos los tratamientos.

## - APÉNDICE E -

Carbono orgánico y sustancias húmicas en un Argiudol hipertérmico<sup>2</sup>

Cuadro E. Contenidos de carbono orgánico total (COT), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (H) y relaciones AH/AF y AH+AF/H en los espesores 0-7 cm y 7-20 cm para los tres sistemas de labranza (SL): labranza convencional (LC), reducida (LR) y siembra directa (SD). Muestras tomadas en Agosto de 2011. Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas, test Duncan ( $\alpha=0,05$ ).

SL	Prof.	COT (g kg <sup>-1</sup> )	Sustancias Húmicas (g kg <sup>-1</sup> )			AH/AF	AF+AH/H
			Ácidos Fúlvicos	Ácidos Húmicos	Huminas		
LC		9,80 b	1,07	2,34	8,14	2,22	0,43
LR	0-7 cm	8,72 b	1,02 ns	2,23 ns	7,90 ns	2,11 ns	0,41 ns
SD		12,18 a	1,35	2,89	8,28	2,23	0,51
<i>p</i> =		<i>0,005</i>	<i>0,082</i>	<i>0,343</i>	<i>0,675</i>	<i>0,905</i>	<i>0,32</i>
LC		9,05 ab	0,93	1,83	7,46	2,01	0,37
LR	7-20 cm	8,35 b	0,87 ns	1,70 ns	6,95 ns	1,99 ns	0,35 ns
SD		10,15 a	1,07	1,99	7,93	2,02	0,43
<i>p</i> =		<i>0,016</i>	<i>0,200</i>	<i>0,448</i>	<i>0,434</i>	<i>0,996</i>	<i>0,244</i>

<sup>2</sup> Resumen del trabajo de pasantía realizado en la Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro, Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, Octubre de 2011. Dirección: Dr. Marcos Gervasio Pereira (UFRRJ). Tutor: MSc. Sidinei Julio Beutler.