



---

FACULTAD DE  
**AGRONOMIA**  
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

---

**IMPLANTACION, PRODUCCION Y UTILIZACION  
DE VERDEOS DE INVIERNO BAJO DIFERENTES  
INTENSIDADES DE LABOREO, NIVELES  
DE FERTILIZACION NITROGENADA Y SISTEMAS  
DE ROTACIONES EN LOMADAS DEL ESTE**

por

Rafael BOTTARO CARVE  
Andrés POLLERO MOLINARI

TESIS

---

**1999**

---

**MONTEVIDEO**

**URUGUAY**

---

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

IMPLANTACIÓN, PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE VERDEOS DE INVIERNO  
BAJO DIFERENTES INTENSIDADES DE LABOREO, NIVELES DE  
FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y SISTEMAS DE ROTACIONES EN  
LOMADAS DEL ESTE.

por

Rafael BOTTARO CARVE

Andrés POLIERO MOLINARI

TESIS presentada como uno de los  
requisitos para obtener el título de  
Ingeniero Agrónomo (Orientación  
Agrícola Ganadera)

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
1999

Tesis aprobada por:

Director: .....  
Ing. Agr. José A. Terra Fernández

.....  
Ing. Agr. (PhD) Fernando García Préchac

.....  
Ing. Agr. Pablo Amarante Mieres

Fecha: 21 de Junio de 1999  
.....

Autor: .....  
Rafael Bottaro Carve

.....  
Andrés Pollero Molinari

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Estación Experimental (del Este) de Treinta y Tres, por haber permitido el desarrollo del presente trabajo.

A José A. Terra, Manejo y Conservación de Suelos, Programa Cultivos de Verano, del INIA Treinta y Tres, por llevar a cabo la tarea diaria de dirección de la misma.

De la Facultad de Agronomía, a:

Fernando García Préchac, de la Cátedra de Conservación de Suelos y Aguas, por aportes varios;

Pablo Amarante, de la Cátedra de Conservación de Suelos y Aguas, por la ayuda prestada en la resolución de aspectos prácticos;

Vilfredo Ibáñez, de la Unidad de Estadística y Cómputos, por consultas en tal tema;

A la directora y todo el personal del Departamento de Biblioteca.

A los funcionarios de la Unidad Experimental de Palo a Pique Daniel Souza y Wilson Silvera y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron con éste trabajo.

A Ana María Fagalde por su invaluable colaboración en ceder tiempo, espacio y herramientas para que esta tesis fuera posible.

<u>TABLA DE CONTENIDO</u>	Página
PAGINA DE APROBACION .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES .....	VII
1. <u>INTRODUCCION</u> .....	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u> .....	3
2.1 <u>IMPLANTACION BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE</u> <u>LABOREOS</u> .....	3
2.1.1 <u>Efecto sobre el número de plantas</u> .....	3
2.1.2 <u>Efecto de la temperatura del suelo sobre el crecimiento</u> <u>inicial</u> .....	4
2.1.3 <u>Efecto de la compactación sobre el crecimiento inicial</u> .....	5
2.1.4 <u>Efecto de los microorganismos sobre el crecimiento inicial</u> .....	7
2.2 <u>FERTILIZACION N DE VERDEOS DE INVIERNO</u> .....	7
2.2.1 <u>Efecto del sistema de laboreo sobre la dinámica del N</u> .....	7
2.2.1.1 <u>Cambios en el suelo y su efecto sobre la dinámica del</u> <u>N</u> .....	8
2.2.1.1.1 <u>Mineralización</u> .....	8
2.2.1.1.2 <u>Inmovilización</u> .....	9
2.2.1.1.3 <u>Nitrificación</u> .....	9
2.2.1.1.4 <u>Denitrificación</u> .....	10
2.2.1.1.5 <u>Lixiviación</u> .....	11
2.2.1.1.6 <u>Erosión</u> .....	11
2.2.1.1.7 <u>En resumen</u> .....	11
2.2.1.2 <u>Respuesta esperable bajo diferentes sistemas de</u> <u>laboreo</u> .....	12
2.2.2 <u>Efecto de la historia anterior sobre la respuesta a la</u> <u>fertilización</u> .....	14
2.2.2.1 <u>Créditos de N de una leguminosa o fase de pasturas</u> <u>para el cultivo siguiente</u> .....	14
2.2.2.2 <u>Efecto de la siembra directa sobre esos créditos</u> .....	15
2.2.3 <u>Uso del nitrato del suelo como indicador de la respuesta</u> .....	17
2.2.3.1 <u>Niveles de respuesta en las etapas iniciales de</u> <u>crecimiento</u> .....	17

2.2.3.2	Uso del valor de nitrato del suelo en etapas de crecimiento avanzado.....	17
2.2.4	Dosis de N recomendadas.....	18
2.2.5	Producción de forraje según nivel de fertilización.....	19
2.3	EVALUACION DE PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO.....	20
2.3.1	Efecto de la historia anterior.....	20
2.3.1.1	Efecto del sistema de laboreo anterior.....	20
2.3.1.1.1	Estabilidad de agregados.....	20
2.3.1.1.2	Porosidad y densidad aparente.....	21
2.3.1.1.3	Resistencia a la penetración.....	24
2.3.1.1.4	Infiltración.....	25
2.3.1.1.5	En general.....	26
2.3.1.2	Efecto de la rotación con pasturas .....	27
2.3.2	Efecto del pisoteo animal sobre las propiedades físicas del suelo y la utilización de forraje.....	30
2.3.3	Niveles de erosión como indicador de las propiedades físicas.....	34
2.3.3.1	Propiedades físicas que afectan la erosión.....	34
2.3.3.2	Erosión bajo diferentes sistemas de laboreo.....	35
2.3.3.3	Efecto residual de las pasturas sobre la erosión.....	35
2.4	PRODUCCION DE MATERIA SECA.....	37
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
3.1	INTRODUCCION.....	38
3.2	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	38
3.2.1	Experimento 1 .....	39
3.2.2	Experimento 2.....	39
3.2.3	Experimento 3.....	39
3.3	TRATAMIENTOS EVALUADOS.....	40
3.3.1	Laboreo .....	40
3.3.2	Fertilización.....	41
3.4	VARIABLES MEDIDAS o DETERMINACIONES.....	42
3.4.1	Análisis de suelos .....	42
3.4.2	Medidas de implantación.....	43
3.4.3	Medidas de materia seca.....	43
3.4.4	Propiedades físicas del suelo.....	44
3.4.4.1	Resistencia mecánica.....	44
3.4.4.2	Rugosidad.....	45
3.4.4.3	Densidad aparente.....	45
3.4.4.4	Estabilidad estructural y escurrimiento.....	46
3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	46
3.6	LLUVIAS OCURRIDAS DURANTE EL PERÍODO.....	47

4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	49
4.1 <u>IMPLANTACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL</u> .....	49
4.1.1 <u>Implantación</u> .....	49
4.1.2 <u>Crecimiento inicial</u> .....	51
4.2 <u>PROPIEDADES FÍSICAS</u> .....	53
4.2.1 <u>Estabilidad estructural</u> .....	53
4.2.2 <u>Resistencia a la penetración</u> .....	56
4.2.3 <u>Efecto del pisoteo animal sobre las propiedades físicas</u> .....	61
4.2.4 <u>Efecto del pisoteo animal sobre el porcentaje de utilización</u> ....	68
4.2.5 <u>Resistencia a la penetración de setiembre previo al segundo     pastoreo</u> .....	71
4.2.6 <u>Resistencia a la penetración de noviembre, al final del     experimento</u> .....	74
4.2.7 <u>Otras propiedades físicas</u> .....	76
4.3 <u>EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE NITRATOS EN EL     SUELO DURANTE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO</u> .....	81
4.4 <u>PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA Y FERTILIZACIÓN     NITROGENADA</u> .....	88
4.4.1 <u>Producción de materia seca en función del sistema de laboreo</u> .....	88
4.4.2 <u>Respuesta a la fertilización nitrogenada</u> .....	91
4.4.3 <u>Efecto del sistema de laboreo sobre la curva de respuesta a la     fertilización nitrogenada</u> .....	94
4.4.4 <u>Uso del análisis de nitratos como indicador de respuesta a la     fertilización nitrogenada</u> .....	100
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	103
6. <u>RESUMEN</u> .....	105
7. <u>SUMMARY</u> .....	106
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	107
9. <u>ANEXOS</u> .....	114

## Lista de cuadros e ilustraciones

### Lista de cuadros

Cuadro	Pág.
1: Conjunto de tratamientos factoriales obtenidos a partir de la combinación del sistema de laboreo y la dosis de N agregada.....	40
2: Detalle de los laboreos y aplicaciones realizadas en los tres experimentos durante la preparación del suelo, para la siembra de los verdes.....	41
3: Fertilizaciones realizadas.....	41
4: Resumen de las fechas y momento de muestreo, análisis realizado a cada muestra y parcela de la cual fue extraída (laboreo o fertilización).....	43
5: Variables analizadas por fecha de muestreo y herramienta utilizada en el mismo para los cortes.....	44
6: Resumen de las fechas de medición de resistencia mecánica para cada experimento.....	45
7: Contrastes realizados para determinar la significancia de la respuesta al sistema de laboreo.....	47
8: Contrastes realizados para determinar la significancia de la respuesta a la fertilización nitrogenada.....	47
9: Contrastes realizados para determinar la significancia de la respuesta diferencial a los sistemas de laboreo e interacciones.....	47
10: Precipitaciones ocurridas durante el ciclo.....	48
11: Análisis de varianza y valor de DMS para las variables nitrato a la siembra, nitrato al macollaje y crecimiento inicial del experimento 1.....	52
12: Correlación lineal entre la resistencia a la penetración (Rp) de los 2 primeros intervalos de profundidad y la rugosidad en los tres experimentos.....	63

13: Diseño de los contrastes realizados para comparar la evolución de la resistencia a la penetración entre los sistemas de laboreo.....	64
14: Nivel de significancia de los contrastes realizados con la resistencia a la penetración ( $R_p$ ) y valor del estimador de la diferencia de las variaciones en resistencia a la penetración.....	65
15: Utilización (%) y MS rechazada (kg/há) al primer pastoreo, según sistema de laboreo, para los 3 experimentos.....	69
16: Utilización (%) y MS rechazada (kg/há) en el segundo pastoreo, según sistema de laboreo, para los 3 experimentos.....	71
17: Comparación de medias del contenido de nitratos existente en el suelo en los primeros muestreos según sistema de laboreo en el experimento 1...	86
18: Respuesta a la fertilización nitrogenada por experimento en los distintos crecimientos.....	91
19: Parámetros de las funciones de respuesta por sistema de laboreo para cada experimento.....	100

### Lista de figuras

#### Figura

1: Comparación del nivel de implantación logrado en función del sistema de laboreo para los tres experimentos (21 de mayo).....	49
2: Efecto de 6 cultivos seguidos con distintas intensidades de laboreo sobre la estabilidad estructural (erosión) previo al inicio del ensayo experimento 1 (19 de marzo).....	54
3: Efecto de la intensidad de laboreo y la historia de chacra sobre el % de carbono orgánico previo a la siembra del verdeo (30 de marzo).....	54
4: Efecto de 6 cultivos seguidos con diferentes intensidades de laboreo sobre el % de escurrimiento previo al inicio del ensayo (experimento 1)....	55
5: Efecto de 6 cultivos consecutivos con diferentes intensidades de laboreo sobre la resistencia a la penetración previo al inicio del ensayo en el experimento 1 (12 de marzo).....	57

6: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la resistencia a la penetración en el experimento 1 previo al primer pastoreo (26 de julio).....	58
7: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la resistencia a la penetración previo al primer pastoreo en el experimento 2 (26 de julio).....	59
8: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la resistencia a la penetración previo al primer pastoreo en el experimento 3 (26 de julio).....	60
9: Medidas de rugosidad (11/8) y resistencia a la penetración (26/7) en superficie por sistema de laboreo, para los tres experimentos.....	62
10: Variación de la resistencia a la penetración (entre el 26/7 y el 7/9) luego del pisoteo animal sufrido durante el primer pastoreo (experimento 1) en función del sistema de laboreo.....	65
11: Variación de la resistencia a la penetración (entre el 26/7 y el 7/9) luego del pisoteo animal sufrido durante el primer pastoreo (experimento 2) en función del sistema de laboreo.....	66
12: Variación de la resistencia a la penetración (entre el 26/7 y el 7/9) luego del pisoteo animal sufrido durante el primer pastoreo (experimento 3) en función del sistema de laboreo.....	66
13: Resistencia a la penetración pre y post pastoreo en el experimento 1 para el primer intervalo de profundidad según el sistema de laboreo.....	67
14: Resistencia a la penetración pre y post pastoreo en el experimento 2 para el primer intervalo de profundidad según el sistema de laboreo.....	67
15: Resistencia a la penetración pre y post pastoreo en el experimento 3 para el primer intervalo de profundidad según el sistema de laboreo.....	68
16: Medidas de la resistencia a la penetración en el perfil del suelo en el experimento 1 según intensidad de laboreo (7 de setiembre).....	72
17: Medidas de la resistencia a la penetración en el perfil del suelo en el experimento 2 según intensidad de laboreo (7 de setiembre).....	72
18: Medidas de la resistencia a la penetración en el perfil del suelo en el experimento 3 según intensidad de laboreo (7 de setiembre).....	73

19: Medidas de la resistencia a la penetración del perfil del suelo en el experimento 2 según intensidad de laboreo (30 de noviembre).....	75
20: Medidas de la resistencia a la penetración del perfil del suelo en el experimento 3 según intensidad de laboreo (30 de noviembre).....	75
21: Comparación de estabilidad estructural (erosión) y escurrimiento entre laboreo intensivo y siembra directa, al final del ciclo productivo del verdeo (experimento 1).....	77
22: Comparación de estabilidad estructural (erosión) y escurrimiento entre laboreo intensivo y siembra directa, al final del ciclo productivo del verdeo (experimento 2).....	78
23: Comparación de estabilidad estructural (erosión) y escurrimiento entre laboreo intensivo y siembra directa, al final del ciclo productivo del verdeo (experimento 3).....	78
24: Comparación de densidad aparente entre laboreo intensivo y siembra directa, al final del ciclo productivo del verdeo en los tres experimentos.....	80
25: Medidas del contenido de carbono orgánico (%) existente en el suelo, realizadas al final del ciclo productivo del verdeo en los tres experimentos.	80
26: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la evolución del contenido de nitratos del suelo, durante el ciclo productivo del verdeo (experimento 2)..	82
27: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la evolución del contenido de nitratos del suelo, durante el ciclo productivo del verdeo (experimento 3)..	84
28: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la evolución del contenido de nitratos del suelo, durante el ciclo productivo del verdeo (experimento 1)..	85
29: Evolución del contenido de nitratos del suelo, durante el ciclo productivo del verdeo, según historia de chacra anterior.....	87
30: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la producción de materia seca, para los tres periodos de crecimiento (experimento 1).....	89

31: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la producción de materia seca, para los tres períodos de crecimiento (experimento 2). .....	89
32: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la producción de materia seca, para los tres períodos de crecimiento (experimento 3).....	90
33: Respuesta a N durante el primer período de crecimiento según historia de chacra previa.....	92
34: Respuesta a N durante el segundo período de crecimiento según historia de chacra previa.....	93
35: Respuesta a N durante el tercer período de crecimiento según historia de chacra previa.....	93
36: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 1 <sup>er</sup> crecimiento (experimento 1).....	95
37: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 2 <sup>do</sup> crecimiento (experimento 1).....	95
38: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 3 <sup>er</sup> crecimiento (experimento 1).....	96
39: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 1 <sup>er</sup> crecimiento (experimento 2).....	96
40: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 2 <sup>do</sup> crecimiento (experimento 2).....	97
41: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 3 <sup>er</sup> crecimiento (experimento 2).....	97
42: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 1 <sup>er</sup> crecimiento (experimento 3).....	98
43: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 2 <sup>do</sup> crecimiento (experimento 3).....	98
44: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 3 <sup>er</sup> crecimiento (experimento 3).....	99

45: Rendimiento relativo al máximo vs nivel de nitratos a la implantación..	101
46: Rendimiento relativo al máximo vs nivel de nitratos al macollaje.....	101

## 1. INTRODUCCIÓN

Los experimentos que dieron motivo a este trabajo de tesis, se basan en dos premisas básicas. La primera se refiere a la estacionalidad de producción forrajera de las pasturas naturales del Uruguay y que muchas de las alternativas tecnológicas hoy propuestas, como son los mejoramientos de campo y las praderas convencionales, se caracterizan por un gran déficit invernal. La segunda se refiere, a que la solución a dicho problema sea tecnológicamente sustentable.

Sobre los suelos de lomadas del este, las pasturas naturales se caracterizan por una limitada oferta de forraje con una marcada estacionalidad y variabilidad entre años, como consecuencia del dominio de especies de ciclo estival y de variaciones climáticas respectivamente (Ayala y Carambula, 1995).

Los verdes invernales puros, en mezclas o consociados, son los únicos capaces de producir buen forraje en cantidad y calidad, en el período comprendido desde fines de otoño hasta principios de primavera, entonces son los únicos capaces de cubrir el déficit invernal que se da en las pasturas naturales y también en los mejoramientos de campo y praderas (Carambula et al, 1996).

Por otro lado, los suelos de las lomadas del este, tienen como principales limitantes de uso el alto riesgo de erosión, los problemas de drenaje en invierno, y el alto riesgo de sequía en verano. De acuerdo a la clasificación por capacidad de uso del USDA son de clase III (arables con limitaciones) y IV (no arables, excepto con prácticas de manejo especiales) (Terra y García, 1998).

Por esas razones, cualquier posible solución, por más alta productividad que presente, debe ser sustentable para ser recomendada. Al respecto se define como práctica o tecnología agrónomicamente sustentable aquella que, manteniendo o mejorando la calidad de los productos y la productividad, preserva los recursos naturales y mantiene o mejora la calidad del ambiente (Terra y García, 1998).

Enmarcadas en esos antecedentes, las razones que justifican la realización de estos experimentos son varias. Por un lado la importancia que representa equilibrar la oferta de forraje a lo largo del año con las necesidades de los ciclos biológicos de los animales, en el manejo de una empresa agropecuaria basada en la producción bajo pastoreo. Por otro lado, también se justifica por la apuesta a largo plazo que deben presentar las nuevas tecnologías a proponer a los productores, tendientes a la conservación del recurso suelo sobre el que se sustenta la producción forrajera, lo que aseguraría el cumplimiento del equilibrio mencionado, pero incluso con un horizonte temporal que va más allá de un ciclo productivo.

Entonces, el primer objetivo de este trabajo es determinar los niveles de producción de estos verdes bajo diferentes sistemas de laboreo cuando son sometidos a pastoreo directo por animales (forma en que se usan en la mayoría de las situaciones productivas), buscando además determinar la respuesta a la fertilización nitrogenada en situaciones de historias de chacra anteriores contrastantes.

El segundo objetivo de esta tesis es determinar como evolucionan algunas propiedades físicas y químicas del suelo bajo pastoreo y con distintas intensidades de laboreo.

Referente a la fertilización nitrogenada, la hipótesis que se intentará demostrar implica la existencia de una alta respuesta a la fertilización, dadas las típicas condiciones invernales del país (exceso de humedad, baja temperatura, etc). Pero se espera que la forma de dicha respuesta sea diferente según el sistema de laboreo utilizado y la historia anterior, caracterizada por el sistema de rotación.

No solamente importa determinar el nivel de producción de forraje que se obtiene con un determinado sistema de laboreo y una determinada dosis de fertilizante, sino también la utilización que los animales logran del mismo. Al respecto se plantea la hipótesis que bajo siembra directa, al presentar el suelo más "piso", permite mayores porcentajes de utilización, lo que podría implicar que incluso con menores niveles de producción de materia seca, el forraje utilizado sea igual o mayor.

Por último, se considera que la siembra directa podría ser la mejor alternativa de manejo de suelos que diera sustentabilidad al uso de estos en forma intensiva. Como esta hipótesis interacciona con la intensidad de uso del suelo que distintas rotaciones pueden tener (cantidad de cultivos seguidos sin que se realice una etapa de pasturas), no se descarta que incluso bajo este sistema de no laboreo, la sustentabilidad se vea amenazada, aunque se esperaría que fuese a una menor velocidad que en sistemas de laboreo que implican la remoción del suelo.

## 2.REVISION BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 IMPLANTACIÓN BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE LABOREO

La implantación del stand de plantas de un cultivo se considera el estado más importante en el ciclo de vida del mismo. Considerando la fisiología de la germinación y los riesgos de falla a la implantación, también se considera la etapa más vulnerable del desarrollo. Así, la principal función de la preparación de la cama de siembra es crear un ambiente para el rápido crecimiento inicial del cultivo, ya que el vigor y la sobrevivencia de las jóvenes estructuras seminales va a influenciar el desarrollo del cultivo a través de su vida entera. Esta es una de las razones que lleva a pensar en el laboreo por su efectividad en el establecimiento del cultivo (Sprague, 1986).

Varios son los factores que la afectan. Griffith et al (1986) reconocen que un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo contribuyen a la productividad del mismo. El cambiar desde métodos de laboreo tradicionales hacia otros métodos, puede alterar muchos de esos factores y como resultado, alterar la productividad.

En ese sentido, Ernst et al (1997) dicen que el no laboreo del suelo determina un ambiente diferente para el crecimiento vegetal, que puede resumirse como más compactado, con mayor humedad, menor temperatura media y amplitud térmica, presencia de material orgánico en descomposición con liberación de toxinas, y mayores posibilidades de anoxia. La respuesta vegetal a este cambio en el ambiente se traduce en una menor tasa de crecimiento inicial (primeros 30 a 40 días post-emergencia). Cuando la estación de crecimiento es corta, esto puede limitar la producción de biomasa y por consiguiente el rendimiento en grano.

Boosalis et al (1986) agregan que, el dejar los residuos en superficie, altera también el tipo y los niveles de las poblaciones microbianas, y estos cambios a nivel de suelo se deberían, sobre todo, al mayor contenido de materia orgánica y agua.

#### 2.1.1 Efecto sobre el número de plantas

Varios son los factores que afectan el número de plantas que se logran establecer.

Al respecto Izaurralde et al (1986) establecen que los pobres stands de plantas obtenidos en siembra directa, se deben al uso de inapropiados trenes de siembra. Los autores encontraron que en caso de usar un abresurco de monodisco, hubo una alta correlación negativa entre densidad aparente (más alta bajo no laboreo, al igual que la resistencia a la penetración) y el rendimiento de trigo, desapareciendo dicha correlación cuando una sembradora experimental fue utilizada. El detalle era que esta última permitía una adecuada colocación de la semilla en condiciones de no laboreo.

Por su parte Karlen et al (1987), al evaluar diferentes sistemas de laboreo sobre la producción de trigo, encontraron en forma consistente, que el número de plantas que se

establecieron fue inferior en siembra directa que en los tratamientos con laboreo. Descartaron posibles efectos fitotóxicos del rastrojo de maíz, al no obtener diferencias en el stand de plantas, cuando el mismo fue agregado en un suelo laboreado. Citan, como la causa más probable, el pobre contacto semilla suelo, consecuencia del uso de un tren de siembra no adecuado para un rastrojo de maíz.

Similares resultados obtuvieron Blanco et al (1996) al evaluar el efecto del sistema de laboreo sobre el stand de plantas de verdeos de invierno 20 días post siembra. Encontraron que el tratamiento de siembra directa logró un número de plantas estadísticamente inferior a los obtenidos con laboreo reducido e intensivo, logrando estos dos últimos, niveles de plantas similares.

Siguiendo la misma serie de ensayos, Terra et al (1997) encontraron resultados opuestos al año siguiente, con un mayor stand logrado en los tratamientos de siembra directa (en este caso el verdeo fue de avena). La explicación que dan es que, al tratarse de un año muy seco, el factor limitante para la implantación fue el contenido de humedad, el cual fue superior en siembra directa, debido a su vez, a un mayor nivel de cobertura vegetal.

Chan et al (1987), en un experimento con tres sistemas de laboreo, convencional, siembra directa sin barbecho químico, y siembra directa con barbecho químico, encontraron que el porcentaje de germinación fue similar en los tres tratamientos para trigo. La absorción de agua por las semillas en los tres tratamientos fue similar. Al medir el número de plantas de trigo a los 14, 40, y 64 días post siembra, tampoco encontraron diferencias.

En ese sentido, Kirkegaard et al (1994) encontraron que el stand de plantas no fue afectado ni por el tipo de laboreo, entre siembra directa y laboreo de inversión, ni por el tipo de tratamiento del rastrojo, entre incorporado, quemado, dejado y retirado.

Otros son los factores citados por Martino (1997). El establece que la acción de hongos patógenos puede afectar negativamente la implantación de cultivos en siembra directa. Tanto para trigo como para cebada, el stand de plantas que se logró implantar, fue inferior cuando el cultivo anterior fue maíz que cuando fue girasol. La razón para dicha diferencia podría encontrarse en la presencia de hongos del género *Fusarium* en el rastrojo de maíz.

### 2.1.2 Efecto de la temperatura del suelo sobre el crecimiento inicial

La temperatura es uno de los factores que se indica afectan el crecimiento inicial. Al respecto, Ernst et al (1997) establecen que bajo no laboreo el régimen térmico del suelo tiene una menor amplitud térmica, afectado fundamentalmente por la máxima diaria, lo que determina una temperatura media inferior. Para los cultivos gramíneos (cereales), el

meristemo apical y la zona de crecimiento se ubican por debajo de la superficie del suelo desde la siembra hasta fin del macollaje. Al irse acumulando las pequeñas diferencias diarias, determinan una marcada diferencia en los grados día acumulados hasta la cobertura del suelo por el cultivo, momento a partir del cual éste comienza a gobernar la variación térmica del suelo.

Estos autores, en base a información adaptada de Russells y Botton, muestran como la menor temperatura del suelo produce un incremento del número de días necesarios para llegar desde siembra a 70% de emergencia para trigo y cebada, siendo estos mayores en siembra directa.

Esos trabajos también demuestran el efecto principal de la temperatura, retrasando la aparición de los macollos, al aislar el efecto del tipo de laboreo, es decir llevar un suelo laboreado al régimen térmico de uno no laboreado y viceversa. La temperatura también modificó el estado nutricional de las plantas a los 23 días post emergencia, independiente del sistema de laboreo. Esto se tradujo en pesos de plantas 25% inferiores en dicho momento, sólo por efecto de la menor temperatura del suelo en siembra directa. Concluyen, que la menor temperatura del suelo, determinada por el no laboreo y la cobertura del suelo por rastrojo, retrasan el desarrollo de los cultivos de invierno y de verano (gramíneos).

Por su parte, Kirkegaard et al (1994) observaron que el crecimiento inicial de trigo fue menor al dejar el rastrojo en superficie. En dicho experimento no hubo efecto significativo ni en la densidad de plantas, ni en la concentración de N mineral en el suelo, ni efecto de ataque por enfermedades, y sí una consistente reducción en la temperatura, lo que explicaría la reducción. Pero establecen, que es posible que las estructuras seminales hayan estado expuestas a compuestos fitotóxicos lavados desde el rastrojo en descomposición, lo que también pudo haber afectado el crecimiento.

### 2.1.3 Efecto de la compactación sobre el crecimiento inicial

Diversos efectos han sido descriptos respecto a como es afectado el crecimiento por la compactación. Ernst et al (1997) determinaron que el efecto de la compactación del suelo bajo no laboreo sobre el desarrollo inicial de los cultivos fue comparativamente menor al de la temperatura. Aclaran que los trabajos que llevaron a dichas conclusiones fueron realizados sobre situaciones con más de cinco años bajo siembra directa, que representan condiciones de compactación substancialmente diferentes a las encontradas normalmente en los cultivos cabeza de rotación, por lo que no es posible descartar su efecto en dichas situaciones.

En cambio, Chan et al (1987) encontraron importantes diferencias en el crecimiento inicial medido como materia seca de trigo, con ratios de 3.2:1.8:1.0 para

laboreo convencional, siembra directa con barbecho químico y siembra directa sin barbecho químico respectivamente, medido a los 64 días post siembra. Establecen, que la mayor densidad aparente para los dos tratamientos de siembra directa en el suelo entre líneas, con valores de  $1.66 \text{ g/cm}^3$  encontrados entre los 5 y 10 cm de profundidad, se aproxima al valor límite para el crecimiento radicular que es de  $1.7 \text{ g/cm}^3$ , reportado por Russel. Indican además que, los valores de resistencia a la penetración de 0.0655 Mpa para la misma capa de suelo, también en siembra directa, tomados a un contenido de humedad cercano a capacidad de campo, son superiores al valor de 0.065 Mpa, reportado como limitador del crecimiento radicular de cebada; opinan que esto podría agravarse al incrementarse la resistencia a la penetración con el secado del suelo. Aclaran que, no toda la reducción del crecimiento se debería a propiedades físicas, sino también a efectos biológicos.

Por el contrario, otros fueron los resultados obtenidos por Chan et al (1992). Ellos evaluaron el crecimiento radicular en siembra directa vs laboreo, pero eliminando posibles efectos biológicos a través de la fumigación de las parcelas. Encontraron que, a pesar de una mayor densidad aparente y de una mayor resistencia a la penetración de las parcelas de siembra directa, el crecimiento radicular (cuando el suelo fue fumigado), no fue menor al de las parcelas laboreadas, e incluso, en la capa superficial (0 a 5 cm.) dicho crecimiento fue significativamente superior al del suelo laboreado, sugiriendo condiciones menos favorables para el crecimiento de las raíces en este último, básicamente debido a un deterioro físico de la estructura del suelo.

Aunque en dicho trabajo, cuando el suelo laboreado fue compactado artificialmente, efectivamente se produjo una reducción en el crecimiento radicular, siendo los niveles de densidad aparente y resistencia a la penetración estadísticamente iguales a aquellos de los tratamientos de siembra directa, ambos fumigados. Sugieren que ello sería reflejo de la diferente condición estructural de los suelos bajo los distintos tratamientos, con las raíces de trigo creciendo, posiblemente usando viejos canaliculos radiculares u otros macroporos continuos presentes en los suelos bajo siembra directa. Esto podría explicar porque los diámetros de las raíces encontradas en laboreo sin compactar y en siembra directa fumigada fueron similares y solo la mitad que en laboreo compactado, debido a que las raíces cuyo crecimiento es mecánicamente impedido, tienden a ser más gruesas. Aclaran que existió una fuerte relación entre crecimiento radicular y parte aérea.

El valor de densidad aparente al cual el crecimiento radicular se hizo cercano a cero en el suelo laboreado compactado fue de  $1.73 \text{ g/cm}^3$ .

Por su parte Kinkegaard et al (1994), opinan que valores de resistencia a la penetración de 2Mpa en las parcelas de siembra directa durante el crecimiento inicial, están en niveles que han demostrado reducir el crecimiento de raíces de trigo en un 50%. En diferentes bloques del experimento, la reducción del crecimiento fue similar a pesar de diferencias importantes en la incidencia de Rhizoctonia.

#### 2.1.4 Efecto de los microorganismos sobre el crecimiento inicial

Chan et al (1992), encontraron que el crecimiento radicular bajo siembra directa, fue significativamente más pobre que en laboreo, y se tradujo en menor crecimiento de plántulas. Esto no estaba causado por las propiedades físicas del suelo, sino por factores biológicos, porque la fumigación eliminó completamente el pobre crecimiento aéreo, y porque el largo y la densidad radicular aumentaron.

Compartiendo los conceptos anteriores, Kirkegaard et al (1994) establecen que, bajo siembra directa, el crecimiento inicial de trigo se redujo en un 15%. Dicha reducción se debería parcialmente a un incrementado nivel de Rhizoctonia, hecho que pudo verse, al interrumpirse violentamente los manchones de enfermedad entre las parcelas de siembra directa y las de laboreo. Aclaran que reducciones de crecimiento igualmente ocurrieron en ausencia de síntomas obvios. Sugieren que, basándose en sus resultados y a datos anteriores contrastantes, la importancia relativa de fenómenos biológicos y físicos, podría esperarse que sea específica de cada sitio.

En ese sentido Kirkegaard et al (1995), en un ensayo de laboratorio con muestras de suelo removidas del campo intactas, observaron que la parte aérea de trigo crecida sobre las muestras de siembra directa presentaban una reducción de 25 a 65% respecto a aquellas de suelo laboreado. Dichas reducciones fueron ampliamente superadas al esterilizar el suelo con radiación gamma o al fumigar con methyl bromide, lo que indicaría el rol dominante de los factores biológicos en determinar la respuesta de las plantas al manejo del suelo.

## 2.2 FERTILIZACIÓN N DE VERDEOS DE INVIERNO

Una de las condiciones fundamentales para obtener una buena producción de materia seca, es que los verdeos dispongan de un alto nivel de nutrientes, de lo contrario su producción será baja y despreciable (Carámbula, 1977).

Uno de los principales nutrientes es el N, cuya disponibilidad no sólo afecta la producción total de forraje, sino al ciclo de las especies, promoviendo un desarrollo inicial mayor. Dentro de las gramíneas, las especies de ciclo anual pueden responder mejor al N que las perennes; y dentro de las anuales, se ha encontrado mayor respuesta del raigrás que de la avena (Carámbula, 1977).

### 2.2.1 Efecto del sistema de laboreo sobre la dinámica del N

Las condiciones asociadas con el no laboreo, que afectan la disponibilidad de N para las plantas, son un ambiente de suelo modificado, que influencia la actividad

microbiana y el movimiento del N inorgánico, además de reducir la capacidad de incorporar al N que está en formas potencialmente volatilizables. Las principales salidas y entradas al pool de N inorgánico genera un marco para discutir los procesos afectados por la eliminación del laboreo y su influencia en la disponibilidad de N para las plantas (Fox et al, 1986).

El laboreo convencional y la siembra directa son los dos extremos entre los diferentes grados de laboreo que se conocen. Las reacciones y transformaciones que ocurran en el suelo en dichos casos serán intermedias entre esos dos extremos (Fox et al, 1986).

#### 2.2.1.1 Cambios en el suelo y su efecto sobre la dinámica del N

##### 2.2.1.1.1 Mineralización.

Predecir como los cambios en el ambiente del suelo afectan la tasa de mineralización neta es difícil, porque los principales efectos de no laborear, que son un incremento en el contenido de agua y una menor temperatura, tienen un efecto contrastante en la tasa de mineralización. El óptimo contenido de agua es aproximadamente capacidad de campo, entonces, los suelos laboreados, normalmente más secos, tendrían una menor tasa de mineralización que los no laboreados, si todos los demás parámetros permanecieran constantes. La temperatura óptima para la mineralización sería de entre 40 y 60 °C, entonces los suelos no laboreados, normalmente más fríos, tendrían menor tasa de mineralización si la temperatura fuera el factor limitante. La menor concentración de oxígeno y la superficie del suelo más ácida de los suelos no laboreados, también tendrían un efecto depresor en la tasa de mineralización (Fox et al, 1986).

Tomando al conjunto de factores, la evidencia empírica indica que la mineralización sería menor o no afectada cuando el laboreo es eliminado. Probablemente los efectos netos varíen entre diferentes suelos y condiciones ambientales (Fox et al, 1986).

Pero en particular, cuando la siembra directa se realiza durante unos cuantos años, el patrón de mineralización puede ser afectado, ya que el contenido de materia orgánica en los primeros 7,5 cm del suelo puede ser mayor que el contenido encontrado después de un proceso de labores convencionales (Bakermans et al y Free, citados por Dowdell et al, 1975).

El clima también afectaría los resultados. Así en condiciones templadas se encontró un incremento de la mineralización del N en suelos laboreados (Arnott y Clement, citados por Dowdell et al, 1975). En cambio Tomlinson (citado por Dowdell,

1975), no encontró diferencias significativas en el contenido de nitratos del suelo entre siembra directa y laboreo convencional.

Pero si se consideran las situaciones dentro del año, la concentración de nitratos en los primeros 30cm de profundidad de un suelo arcilloso, fue considerablemente mayor luego de un laboreo convencional, que de una siembra directa durante el invierno y la primavera temprana, pero esa diferencia desapareció hacia finales de primavera. La principal razón de esto fue la menor mineralización de N orgánico ocurrida en el período corto de otoño, siguiente a la siembra. La mineralización se incrementó más tarde como respuesta a temperaturas del suelo más altas y mejor aireación (Dowdell et al, 1975).

Trabajando en Argisoles del Este, Blanco et al (1996) encontraron efectos significativos del sistema de laboreo sobre el nivel de nitratos en los primeros quince centímetros del suelo al momento de la siembra, siendo menor en siembra directa. Lo explican como consecuencia de una menor tasa de mineralización de materia orgánica, y por consiguiente menor disponibilidad de N para el verdeo. Indican que esto reafirma el concepto comúnmente manejado, que cultivos y verdeos en siembra directa requieren mayores niveles de N a la siembra, ya que dispondrán de un menor aporte del suelo.

#### 2.2.1.1.2 Inmovilización.

Hay evidencia que indica mayor inmovilización del N en siembra directa, pero la información es insuficiente para ser certera. Si bien hay una mayor actividad microbiana en el suelo no laboreado, el que se produzca un aumento en la inmovilización depende de la relación carbono-N en la materia orgánica de la capa superficial. Como dicha relación es alta en los cultivos gramíneos, hay un potencial para mayor inmovilización en dichas situaciones (Fox et al, 1986).

Martino (1997), considerando ambos procesos, establece que la mineralización de la materia orgánica se ve reducida y la inmovilización incrementada bajo siembra directa, lo que explica una (generalmente) menor disponibilidad de N para los cultivos.

Por su parte, Jacobsen et al (1980) establecen que el grado de incorporación de los residuos es el causante de cambios en la concentración de nitrato en las plantas de trigo. Así, en siembra directa y en laboreo reducido, la disponibilidad de este nutriente en el suelo fue disminuida al inmovilizarse el N aplicado como fertilizante en cobertura, por los residuos presentes en superficie.

#### 2.2.1.1.3 Nitrificación

La investigación indica que la tasa de nitrificación, en la mayoría de los suelos no laboreados, no difiere marcadamente de la tasa encontrada en los laboreados. Entonces,

cualquier cambio en la respuesta de los cultivos a la fertilización N o al N liberado de la materia orgánica del suelo, sería mejor explicado por alteraciones en alguno de los otros procesos que afectan al N (Fox et al, 1986).

#### 2.2.1.1.4 Denitrificación

Se cree que el mayor contenido de agua, la mayor proporción de espacio poroso lleno de agua, y la significativamente mayor población de bacterias anaerobias facultativas y denitrificantes en los suelos no laboreados, llevarían a mayor denitrificación. Los resultados también sugieren que la probabilidad de una mayor denitrificación real es mucho mayor en suelos mal drenados (Fox et al, 1986).

Similar opinión tiene Martino (1997), ya que establece que la denitrificación es mayor en suelos no laboreados. Las causas de ello serían una mayor abundancia de compuestos de carbono fácilmente descomponibles como fuente energética, las más frecuentes condiciones de exceso de humedad y la falta de oxígeno.

En experimentos de King et al (1992), se evaluó el efecto de distintos sistemas de laboreo sobre la denitrificación que se producía luego de matar una pastura de trébol blanco. La denitrificación fue importante 15 días luego de aplicados los tratamientos, pero fue mínima de allí en adelante. En orden, la denitrificación fue mayor en laboreo superficial, luego no laboreo con herbicida y por último laboreo de inversión. En base a la bibliografía, ellos citan que cuando fueron encontradas diferencias, la denitrificación fue mayor en siembra directa que en laboreo convencional, con el mayor contenido de humedad del no laboreo como causa principal. Contrariamente, en su estudio, no se encontró correlación entre la denitrificación y el contenido de humedad, ni tampoco con el contenido de nitratos.

Opinan que la cantidad de carbono rápidamente disponible luego que una pastura de trébol blanco es matada, estimula la respiración microbiana, lo que a su vez, crea la condición de anaerobiosis requerida para la denitrificación. La denitrificación fue superior en aquellos tratamientos en que la parte aérea del trébol blanco permaneció en una fina capa, lo que produjo condiciones favorables para la anaerobiosis, como resultado de alta respiración microbiana. Cuestionan que la denitrificación no fuera superior en el tratamiento con arado, donde la parte aérea de trébol se concentró en una banda a los 15 cm de profundidad por debajo de la superficie, ya que se esperaría que esta zona fuera más anaerobia. Reconocen que no están en condiciones de identificar las razones de la aparente menor denitrificación bajo laboreo convencional. Suelos no laboreados, usualmente son más compactados y tienen contenidos mayores de agua que aquellos que fueron laboreados recientemente. Estas condiciones pueden favorecer la denitrificación (Dowdell et al, 1975).

#### 2.2.1.1.5 Lixiviación

El nitrato es un ion muy soluble en agua y por su carga negativa no es atraído por las superficies de intercambio catiónico, que también son negativas. Como consecuencia, el nitrato es particularmente susceptible de ser lixiviado. Se piensa que la mayor pérdida que se da en siembra directa por esta razón, sería por un incremento en el movimiento del agua, explicado éste, por un mayor contenido de humedad por la menor evaporación y mayor infiltración, y en segundo lugar por un mayor número de poros continuos que se desarrollan con el no laboreo, y que llevan a un rápido y canalizado movimiento de agua, y de nitrato con ella, hacia abajo en el perfil. Pero el usualmente mayor contenido de nitrato en los suelos labrados, llevaría a potenciar las pérdidas en estos suelos, si hubiera suficiente agua en ambos como para que ocurra percolación profunda (Fox et al, 1986).

Similares conceptos vierte Martino (1997), ya que afirma que una mayor lixiviación de N ocurre en siembra directa, explicado por una mayor capacidad de infiltración, debida a la continuidad del sistema de poros. Agrega que este proceso sería de escasa importancia en suelos con horizontes impermeables, como los del litoral del Uruguay, aunque carece de corroboración experimental.

Coincidentemente, Baumer (citado por Dowdell et al , 1975) establece que en siembra directa, los canales o poros en el suelo son más continuos, y como consecuencia, aparentemente el drenaje es más rápido. Debido a esto, las pérdidas de N por lixiviación pueden verse aumentadas (Blevins et al , citado por Dowdell et al , 1975)

#### 2.2.1.1.6 Erosión

Una de las grandes ventajas de la siembra directa es reducir la erosión. Con una erosión reducida, también habrá menores pérdidas de N desde el suelo. Se han reportado casos en que la pérdida de N (total) por erosión en siembra directa, ha sido un 11 a 12% de aquella que ocurre en laboreo convencional, en mediciones realizadas durante tres años (Fox et al, 1986).

#### 2.2.1.1.7 En Resumen

La tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo es reducida en condiciones de siembra directa, por lo que el aporte de N y fósforo a los cultivos sería menor que con laboreo del suelo, especialmente en los primeros años en que se establece el sistema de siembra directa (Dowdell et al, citado por Martino, 1994). Sin embargo, la disponibilidad de N aumenta con el tiempo bajo cero laboreo, debido a un incremento de la materia orgánica del suelo y al cabo de algunos años supera incluso a la disponibilidad

del sistema tradicional (Campbell et al, Follet y Schimel, Tracy et al, citados por Martino, 1994).

En ese sentido Wells (1984), establece que el nivel de N de un suelo se incrementa en siembra directa continua, a pesar que también aumentan el potencial de nitrificación y lixiviación de nitrato. Aparentemente, basado en los pocos estudios reportados, ese incremento de N resulta del incremento de materia orgánica cerca de la superficie, y por consiguiente dicho N estará en forma orgánica. También hay indicios que la mineralización del pool orgánico es lo suficientemente lenta en siembra directa como para permitir que el contenido de N total se incremente, y sea lentamente disponible para los cultivos siguientes. Aclara que por esas razones, el test de nitratos de suelo, no indica la presencia de ese N lábil en el pool orgánico.

Cuando las mismas medidas fueron realizadas al macollaje, la tendencia anterior se revirtió, obteniéndose los más altos valores en siembra directa. Básicamente lo explican por las pérdidas que se pudieron haber producido en los sistemas bajo laboreo, debido a la rápida liberación de N acompañada de una baja utilización por el cultivo en sus etapas iniciales, lo que incrementó el riesgo de pérdidas.

#### 2.2.1.2 Respuesta esperable bajo diferentes sistemas de laboreo

Fox et al (1986), proponen las siguientes razones para explicar los ampliamente divergentes efectos de eliminar el laboreo, sobre la respuesta a la fertilización N en diferentes ambientes climáticos y suelos. En ambientes cálidos y secos, donde usualmente la humedad deficiente es lo que limita el rendimiento, la mayor disponibilidad de agua con el no laboreo, incrementará el rendimiento potencial, y raramente se darán las condiciones húmedas, deficientes en oxígeno que resultan en pérdidas de N por denitrificación; consecuentemente, en esas condiciones, la eficiencia del fertilizante N será igual o superior con siembra directa para la mayoría de las dosis de N.

Para las condiciones opuestas, de clima frío y húmedo, y en suelos pobremente drenados, el ambiente bajo siembra directa será más conducente a pérdidas de N por lixiviación y denitrificación y a una mineralización reducida de N orgánico en el suelo; en estas condiciones, la eficiencia de uso del fertilizante N, y a lo mejor el rendimiento, se espera sean inferiores con el no laboreo en todas las dosis (Fox et al. 1986).

Por su parte, Martino (1997) establece que si la productividad de los cultivos no es afectada por el sistema de laboreo, las necesidades de N bajo siembra directa son similares que en laboreo convencional. Considerando que la mineralización puede verse limitada en los suelos con no laboreo, si no se incrementan las dosis de N con respecto al esquema tradicional, la dependencia del N del suelo sería muy alta. Aclara que, esto no implica una

mayor demanda como fertilizante N, ya que, la capacidad de suministro de N del suelo podría ser suficiente en muchos casos, a pesar de tratarse de un suelo no laboreado.

Pero a nivel de investigación sobre situaciones de fertilización los resultados son variables. Así, para trigo sobre rastrojo de maíz, Karlen et al (1987), encontraron que, independientemente del sistema de laboreo, siempre hubo respuesta a la fertilización N. Pero aclaran, que para la siembra sin laboreo, las dosis de N deberían ser incrementadas entre un 25% y un 50%, aunque reconocen que mayor investigación se requiere al respecto.

También otros investigadores han medido un mayor requerimiento de N en siembra directa con respecto a laboreo convencional, debido a mayores rendimientos en siembra directa (L egg et al, Meisinger et al y Evanylo, citados por Stecker et al, 1995). La recomendación se ha visto incrementada entre un 10 y un 25 por ciento cuando se trata de siembra directa (Wells y Bicki et al, citados por Stecker et al, 1995).

También Hoffman et al (1997), para la fertilización de cebada cervecera, establecen que por debajo del nivel crítico, la seguridad de la respuesta a la fertilización N es mayor en una chacra en siembra directa respecto a una en laboreo convencional, entre otros factores. Esto interacciona con la edad de la chacra, el tipo de rastrojo y el tipo de suelo.

En cambio, Jacobsen et al (1988), encontraron que la respuesta en grano de trigo a la fertilización N, fue similar en laboreo convencional, laboreo reducido, y siembra directa. Establecen que una buena respuesta se encontró a bajas dosis para todos los tratamientos, para topearse en un óptimo, finalmente decreciendo a dosis más altas. Dicho óptimo varió con los años, pero fue el mismo para todos los sistemas de laboreo estudiados.

En esa misma línea, pero para verdes de invierno, Blanco et al (1996), al evaluar la respuesta a la fertilización N, encontraron respuesta hasta la dosis más alta en todos los tratamientos (laboreo convencional, laboreo reducido y siembra directa), sin diferencia en la forma de la respuesta entre ellos. Aclaran que, el cultivo bajo siembra directa pareció tener algún otro tipo de restricción además de la menor disponibilidad de N, ya que el agregado de N no logró eliminar las diferencias con los tratamientos de laboreo, aunque esto es difícil de corroborar ya que, en todos los tratamientos, hubo respuesta hasta las dosis mayores.

Más aún, se han encontrado situaciones de clara interacción. Así, en muchos estudios de cultivo continuo de maíz, una observación común ha sido rendimientos en grano menores en siembra directa con respecto a laboreo convencional, cuando las dosis de N eran subóptimas. En cambio, con dosis altas de N, los rendimientos en grano en

siembra directa eran iguales o mayores que en laboreo convencional (Thomas et al, Bandel et al, Moschler y Martens, Blevins et al y Meisinger et al, citados por Stecker et al, 1995).

Otro caso de interacción se describe para trigo. Allí el rendimiento en grano de trigo, cuando se fertilizó con menos de 90 kg/há de N, fue 39% menor en siembra directa con respecto a laboreo convencional, y la absorción de N por parte del trigo fue 41% menor en la siembra directa. Cuando se fertilizó con 135 kg/há de N no hubo diferencias entre sistemas de laboreo en N absorbido y rendimiento en grano (Knowles et al, 1993).

## 2.2.2 Efecto de la historia anterior sobre la respuesta a la fertilización

### 2.2.2.1 Créditos de N de una leguminosa o fase de pasturas para el cultivo siguiente

Martino (1997), establece que aquellos suelos que se encuentren en rotación con pasturas que incluyen leguminosas de alta productividad, tienen elevados potenciales de mineralización de N independiente del sistema de laboreo, llegando en caso de condiciones ambientales favorables, a aportar la totalidad del N mineral requerido por el cultivo.

En ese sentido Triplett et al (1979), no observaron respuesta a la fertilización N en un cultivo de maíz en 2 de 3 años, cuando este fue realizado luego de una pastura de alfalfa que presentaba un buen stand de plantas. Los dos años en que no hubo respuesta incluyen un año de bajo potencial de rendimiento y uno de alto potencial. En el año restante, la respuesta fue hasta 56 unidades de N/há. pero no a dosis mayores. Concluyeron que una pastura de leguminosas con un buen stand de plantas, puede aportar la mayor parte, si no todo, del N requerido por el cultivo siguiente.

También Lory et al (1995), en ensayos con alfalfa manejada para heno durante al menos tres años, observaron que para el maíz siguiente a la alfalfa, hecho en laboreo convencional, el crédito de N varió entre 180 y 210 kg/há. de N. Pero destacan, que al segundo año (nuevamente en un cultivo de maíz), dichos créditos fueron de entre 0 y 70 kg/há de N.

Coincidentemente se observó, para un cultivo de maíz siguiendo a una alfalfa en dos sitios diferentes, con laboreo convencional y siembra directa, que los requerimientos de N de ese cultivo fueron nulos en un sitio y de 83 y 88 kg/há de N en el otro sitio para siembra directa y laboreo convencional respectivamente (Levin et al, 1987). También se comparó el rendimiento de un maíz plantado sin fertilizar a continuación de una leguminosa o sin leguminosa previa, y se observó que a continuación de una leguminosa, el maíz rendía 116% más (Stute et al, 1995).

Pero no todos los resultados son tan claros. Westermann et al (1993), reconocen que muchos estudios han destacado que el fertilizante N puede ser no necesario para un cultivo siguiente a una leguminosa. Contrariamente, ellos encontraron respuesta en rendimiento de trigo de hasta 112 kg/há de N en un trigo de invierno, y hasta 268 kg/há en uno de primavera. Argumentan que la alta absorción de N por otros cultivos es posterior a la del trigo, lo que da más tiempo para que el nitrato se acumule en la zona radicular por mineralización, lo que explica en dichos casos, la no respuesta.

Pero estos efectos interaccionan con la duración de la pastura de leguminosas. Al respecto Baldock et al (1981), al medir los créditos de la alfalfa sobre el maíz, observaron que estos eran inferiores cuando la alfalfa duraba solo un año, respecto a alfalfas de dos años de duración. Independiente de ello, dicho efecto siempre fue mayor en el primer cultivo post alfalfa, reduciéndose en gran manera hacia el segundo, y prácticamente desapareciendo en el tercero. Se aclara que todos los experimentos fueron realizados en laboreo convencional.

A pesar de ello, ya en cultivos de leguminosas anuales se notan estos efectos. Así Mitchel et al (1977), al evaluar cultivos de leguminosa como cultivos de cobertura invernal para un sistema de maíz en siembra directa, observaron que, los rendimientos a las dosis menores de fertilizante N, siempre fueron superiores cuando efectivamente había una leguminosa como antecesora del maíz.

Coincidentemente, a dosis de N por debajo del óptimo, el rendimiento en trigo que seguía a un cultivo de soja fue mayor que el de un trigo siguiendo a un sorgo granífero. Los análisis de regresión de rendimiento como una función del total de N agregado, muestran que se necesitan entre 15 y 35 kg/há más de N, para alcanzar el mismo rendimiento en un trigo a continuación de sorgo granífero en relación a uno que se planta a continuación de una soja (Hargrove et al.1983).

En cambio Mc Guire et al (1998), al evaluar el efecto de un cultivo de una leguminosa (*vicia villosa*) como abono verde, sustituyendo a un largo barbecho para un siguiente cultivo de trigo, encontraron que no hubo diferencia en rendimiento en grano cuando se incorporó la leguminosa o se fertilizó el trigo con 28 o 112 kg/há de N. Además, cuando parte de la materia aérea de la leguminosa fue removida por cortes, se redujo el rendimiento con respecto a cualquiera de los tratamientos antes mencionados.

#### 2.2.2.2 Efecto de la siembra directa sobre esos créditos

Los resultados sobre el efecto que el laboreo tiene sobre los créditos de las pasturas de leguminosas son variables. Por un lado se establece que los mismos no se afectan mayormente con el tipo de laboreo. Así, Triplett et al (1979), establecen que la mineralización de N obtenida con siembra directa o laboreo convencional, luego de una

pastura de alfalfa, fue estadísticamente equivalente bajo los dos sistemas de laboreo. Cuando las parcelas sin N fueron deficitarias, el laborear no mejoró el rendimiento del maíz. Tampoco encontraron, en dicho año, interacción laboreo por N, lo que indica que los tipos de respuesta fueron similares.

Coincidentemente Levin et al (1987), en dos años de investigación, observaron que no hubo diferencias en respuesta a fertilización N de maíz siguiendo a un cultivo de alfalfa, cuando éste se sembró con laboreo convencional o en siembra directa.

Por otro lado, hay que han encontrado efectos diferenciales. Al respecto, Westermann et al (1993), al evaluar el crédito de N de alfalfa sobre trigo en siembra directa, y observar alta respuesta a la fertilización N, concluyen (sin ser parte de su experimento) que un laboreo temprano en el otoño, con la consiguiente incorporación de la leguminosa, puede incrementar el tiempo y la tasa de mineralización de N, llevándolo a un nivel suficiente, como para eliminar la aplicación de fertilizante N para un óptimo rendimiento.

En ese sentido, King et al (1992) encontraron que, luego de matar una pastura de trébol blanco, ya sea con laboreo de inversión, superficial o sin laboreo (herbicida), el contenido de nitrato fue superior sin laboreo, luego el laboreo convencional y por último el superficial, si bien la dinámica fue diferencial en los tratamientos. A los 23 días de aplicados los tratamientos, el nivel de nitratos a los 7.5 cm de profundidad era superior en laboreo superficial e igual en los otros dos tratamientos. Más en profundidad, el efecto de introducir la parte aérea del trébol en el perfil empezaba a evidenciar mayor nitrato en el sistema con laboreo convencional. Pero a partir del día 37 y hasta el 70, el nitrato incrementó dramáticamente en el tratamiento con herbicida solamente. En estos momentos el laboreo convencional predominaba a mayores profundidades.

También durante dos años, se observó que la cantidad de N en planta, para el primer corte de un sudangrás siguiendo a una alfalfa, fue mayor en aquellos tratamientos en que la alfalfa se incorporó con mayores intensidades de laboreo. La mayor incorporación de la alfalfa estimuló más la mineralización del N y aparentemente, cuando no hubo laboreo, ese N estuvo disponible para el sudangrás más tarde en la estación de crecimiento (Groya et al.1985).

En particular, Mitchel et al (1977), establecen que aproximadamente un tercio del N de una leguminosa anual era liberado al maíz en la estación siguiente, cuando éste era sembrado sin laboreo.

### 2.2.3 Uso del nitrato del suelo como indicador de la respuesta

#### 2.2.3.1 Niveles de respuesta en las etapas iniciales de crecimiento

Varios son los trabajos sobre niveles críticos de nitratos y sobre todo para cultivos de grano. Bordoli y García (citados por Terra et al, 1998), trabajando con trigo y cebada, ubican el nivel de nitratos, en muestras de suelo de 20 cm de profundidad por encima del cual la respuesta a la fertilización N es casi nula, en 18ppm. Terra et al (1998), establece que dicho valor puede ser un buen nivel crítico para verdeos en su primer crecimiento.

Por su parte, Casanova (citado por Terra et al 1998) indica que con valores superiores a 25 ppm de nitrato en los primeros 20 cm del suelo, es escasa la probabilidad de respuesta en cualquier crecimiento de un verdeo, y que valores algo inferiores suelen ser suficientes en el crecimiento inicial. También indica que con niveles inferiores a 5 ppm, la respuesta es segura.

En sus estudios de fertilización N de cultivos de invierno, Hoffman et al (1997), basados en 30 experimentos realizados en cebada, encontraron que los niveles críticos de nitrato se ubican en un rango de 15 a 18 ppm a la siembra y entre 12 y 15 ppm a Z 22, con el muestreo realizado hasta 20 cm de profundidad. Para el caso de la siembra, establecen que por debajo del crítico, la seguridad de respuesta en producción de grano depende de otros factores, relacionados al aporte potencial del suelo (dependiendo sobre todo de su historia anterior) y del potencial de rendimiento del cultivo.

Para el caso de verdeos en particular, en un experimento de raigrás bajo riego con corte se observó que, si a continuación del corte en el suelo había entre 10 y 20 ppm de nitratos en los primeros 60 cm, éste no necesitaba N extra para asegurar el rendimiento máximo de forraje en el siguiente periodo de un mes (Ehlig et al, 1982).

Por último, Terra et al (1998) establecen, que los niveles críticos para suelos labrados y en siembra directa serían los mismos.

#### 2.2.3.2 Uso del valor de nitratos del suelo en etapas de crecimiento avanzado.

Son coincidentes los datos en indicar, que para cultivos de grano, poca relación existe entre este indicador y la respuesta a N en estados avanzados de crecimiento. Al respecto Hoffman et al (1996), trabajando sobre la refertilización de cebada cervecera, encontraron que en el estado de Z 30, el porcentaje de N en planta sería un buen indicador de suficiencia, donde valores superiores a 4% permitirían alcanzar más del 90% del rendimiento potencial. En dicho experimento no se encontró relación alguna entre el contenido de N en planta y los niveles de nitrato en el suelo (0 a 20 cm de profundidad),

aclarando a su vez, que el contenido de nitrato en suelo no guardó relación con la respuesta obtenida.

Concuerda con lo dicho anteriormente, el aporte de Unkovich et al (1998). Ellos al evaluar el efecto del trébol subterráneo sobre subsecuentes cultivos de avena, triticale y canela, observaron que al inicio de la estación de crecimiento de los cultivos, se alcanzaron altos niveles de nitrato, con diferencias significativas entre ellos, como resultado de diferentes pastoreos anteriores (vieron que pastoreo intensivo durante la etapa de pastura, llevaba a más liberación de N y más rendimiento de materia seca por los cultivos siguientes al trébol subterráneo). A pesar de ello, en plena estación de crecimiento, setiembre y octubre, encontraron que la concentración de nitratos cayó a niveles inferiores a 10 ppm. Ellos sugieren, que las tasas de absorción de N de los cultivos tienen igual velocidad que la mineralización en todos los tratamientos. A esta altura del cultivo no hubo diferencias en el nivel de nitratos entre los tratamientos.

#### 2.2.4 Dosis de N recomendadas.

Aunque varios son los factores que afectan la respuesta a fertilizar con N, resulta interesante tener una idea de los niveles a los que se ha reportado la misma, que no hace más que confirmar la afirmación anterior. Así, para Ehlig et al (1982), la aplicación de 90 kg/há de N presiembra y 112 kg/há después de cada corte o cada periodos de tiempo de un mes, producen cerca del rendimiento máximo de la pastura de raigrás bajo riego y mantiene la concentración de nitratos en planta dentro de los niveles no tóxicos para el ganado.

En cambio, para una pastura mezcla de trigo, centeno y raigrás realizada durante 14 años se observó que había una respuesta lineal de producción de forraje en el período otoño-invierno hasta dosis de N agregado de 224 kg/há, siendo la producción mayor cuando el agregado era en otoño, en relación al agregado en la primavera previa o particionado. Para el período de producción de forraje de primavera también se observó una respuesta lineal hasta 224 kg/há pero en este caso la máxima producción se registró con el agregado de N en primavera. Aunque la producción total anual de forraje, no varió estadísticamente entre los tres tipos de agregados de N, hubo una tendencia a que en los niveles más altos de fertilización (168 - 224 kg/há) la producción de forraje fuera mayor con fertilizaciones de otoño o fraccionada en relación a la de primavera. Estos resultados indican que se requieren más de 224 kg/há de N para lograr el máximo forraje producido en esta mezcla (Altom et al, 1996).

Por su parte Vera (1964), en un ensayo sobre fertilización N de raigrás, encontró que, en aplicaciones de otoño e invierno (11 de mayo y 18 de junio respectivamente) hubo respuesta significativa en producción de materia seca (MS) a la fertilización con hasta 120

unidades de N. En la aplicación de primavera (2 de octubre), la respuesta fue diferente a las anteriores, no respondiendo a la fertilización. Al considerar el rendimiento total anual, se encontró que aún la menor dosis de 40 unidades de N, ya presentaba respuesta significativa, pero la tendencia era clara hasta las 120 unidades, exceptuando si se realizó la aplicación en primavera. Aclaran que, por cada aumento en la dosis, si bien hubo un aumento en el rendimiento, cada vez fue proporcionalmente menor, es decir el incremento no es lineal, sino decreciente.

Para los suelos en los que se realizaron los experimentos de esta tesis, Blanco et al (1996), al evaluar la respuesta a la fertilización N en MS de un verdeo de trigo (Estanzuela Federal), encontraron respuesta hasta 150 unidades de N, independiente del sistema de laboreo, cuando dicho N fue aplicado al macollaje (los sistemas de laboreo evaluados fueron convencional, reducido y siembra directa). Cuando se realizó la refertilización de dichas parcelas, hubo respuesta hasta 60 unidades de N, independiente de la fertilización anterior y del sistema de laboreo. Esta segunda fertilización fue realizada luego del primer corte y se aclara que en ambos casos, la respuesta fue hasta la máxima dosis probada. Terra et al (1997), siguiendo la misma serie de experimentos, encontraron respuesta en producción de MS hasta 100 unidades de N aplicado luego del primer pastoreo, con la salvedad que en siembra directa, se produjo una disminución de la producción con 150 unidades de N.

Por último, al año siguiente y para el mismo sitio Terra et al (1997), no encontraron respuesta a la fertilización N en ninguno de los tratamientos de laboreo al primer corte. Explican que, al tratarse de un año seco, los suelos presentaban altos niveles de nitrato a la siembra y, aunque si bien los valores fueron significativamente superiores en los tratamientos laboreados respecto a los de siembra directa, en todos los casos se superaban los valores críticos manejados para la fertilización de cultivos de invierno graníferos. Cuando se refertilizaron las parcelas, no hubo respuesta significativa a la refertilización, pero sí se expresó la fertilización anterior, es decir, rindieron significativamente más aquellas parcelas que tenían 150 unidades de N al macollaje que las que habían recibido 0 unidades.

### 2.2.5 Producción de forraje según nivel de fertilización

Con 224 kg/há de N la producción total anual de la pastura mezcla de raigrás, centeno y trigo durante 14 años fue de aproximadamente 10000 kg/há de MS (Altom et al, 1996).

Menores fueron los niveles medidos en un ensayo de respuesta a fertilización N de una mezcla de avena y raigrás. Este se fertilizó a mediados de mayo y mediados de julio con un total de 100 kg/há de urea, y no se encontró respuesta a la fertilización N en la

producción otoñal. Esto se explicaría porque el tiempo entre la aplicación de N y el momento de corte fue muy breve, lo que no permitió que la respuesta se expresara, rindiendo igual que el testigo, unos 700 kg/há de MS. Durante el invierno, en que sí se vio la respuesta al fertilizante, la producción de MS fue de 2000 kg/há para el testigo y 2600 kg/há de MS para el fertilizado. Durante la primavera, la respuesta residual de la mezcla fue de 700 kg/há, similar a la del invierno, siendo la producción del testigo de 1300 kg/há y la del fertilizado de 2000 kg/há de MS. La respuesta máxima para el período otoño-invierno fue de 20 y la mínima de 10 kg de MS por kg de N agregado. Para la producción total anual, la mínima fue de 12 y la máxima de 32 kg de MS por kg de N agregado (Rebuffo, 1994).

## 2.3 EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

De las innumerables propiedades físicas del suelo que podrían evaluarse, solo cuatro afectan el crecimiento de las plantas. Ellas son: disponibilidad de oxígeno, disponibilidad de agua, temperatura, y resistencia mecánica al desarrollo de órganos subterráneos. La densidad aparente, estabilidad de agregados, textura, conductividad hidráulica, densidad de partículas, etc., afectan indirectamente el desarrollo vegetal a través de sus efectos sobre los cuatro parámetros fundamentales antes mencionados (Martino, 1996).

### 2.3.1 Efecto de la historia anterior

#### 2.3.1.1 Efecto del sistema de laboreo anterior

##### 2.3.1.1.1 Estabilidad de agregados

La estabilidad de agregados en agua, es usada como un índice de resistencia del suelo a dispersarse, susceptibilidad a la compactación, grado de aireación, drenaje, tasa de absorción de agua, susceptibilidad a erosionarse y emergencia de plantas. Por lo tanto, es un excelente indicador de la condición física del suelo (Griffith et al, 1986).

Blevins et al(1993), coinciden con los autores anteriores al destacar la importancia de este indicador. Establece que los agregados del suelo, en especial los agregados estables en agua son responsables de una alta infiltración de agua y buena estructura del suelo, ambas determinantes de la calidad del suelo e influyentes en la conservación del mismo y del agua (Blevins et al, 1993).

Uno de los factores que la afectan es la adición de material vegetal sobre la superficie, que tiene un efecto positivo sobre el porcentaje de macroporos, la estabilidad de agregados y el tamaño de estos. Todo eso resulta en un mejor movimiento del agua y del aire. Parte de ese efecto es debido a la pulverización y mezclado que realiza la fauna

del suelo; por ejemplo las lombrices de tierra producen excretas que son estructuralmente fuertes y por consiguiente, agregados del suelo estables. Pero también hay efectos por aumento en la materia orgánica del suelo, debido a la lenta descomposición de los residuos y además, porque la cobertura de superficie protege los agregados de ser rotos por la energía de las gotas de lluvia (Blevins et al, 1984). Los resultados obtenidos por Douglas et al (citados por Blevins et al, 1993) confirman dicha afirmación. Ellos encontraron que luego de varios ciclos en siembra directa, se incrementaba la materia orgánica de la superficie del suelo y eso, junto a la falta de disturbancia mecánica del mismo, sería responsable de un mayor porcentaje de agregación.

Así es que Ernst et al (1995), en un ensayo de rotaciones que compara distintas secuencias, observaron que luego de tres cultivos posteriores a la fase de pasturas con laboreo convencional, la estabilidad relativa de los agregados era solo un 58% de aquella en que la misma secuencia fue realizada en siembra directa.

En ese sentido Mannering (citado por Griffith 1986), encontró que en sistemas de cinco años de maíz continuo, el índice de agregación del suelo duplicaba en siembra directa al de laboreo convencional para los primeros 5 cm de suelo, pero también era superior entre los 5 y los 15 cm de profundidad. También encontró que en las parcelas de siembra directa que luego de tres años fueron roturadas, para luego no laborearse nuevamente, el índice de agregación en los primeros 5 cm fue similar al de laboreo continuo.

Coincidentemente, Ehlers dice que el no laboreo mejora la estabilidad de los agregados de la superficie del suelo, debido a un aumento de la concentración de materia orgánica en dicha zona. Esto resulta en menores pérdidas durante fuertes lluvias (citado por Blevins et al, 1993).

#### 2.3.1.1.2 Porosidad y densidad aparente

La investigación sobre el efecto del laboreo o no sobre la densidad aparente y la porosidad, muestra resultados contrastantes, cuando se considera un amplio rango de suelos y condiciones climáticas (Blevins et al, 1984).

Según Blevins et al (1993), las propiedades físicas están influenciadas por el drenaje interno y superficial del suelo, por la naturaleza y cantidad de arcilla, el clima, el tráfico vehicular y el sistema de manejo del suelo y los cultivos. Además, debido a la variabilidad del clima y los suelos no es nada raro encontrar una gran contradicción en la literatura acerca de la relación entre el sistema de laboreo, la densidad aparente y la compactación. Por ejemplo estos autores no encontraron efectos significativos sobre la densidad aparente luego de 20 años de producir maíz en siembra directa o en laboreo

convencional. Resultados similares obtuvieron Hill et al (citados por Blevins et al, 1993). En cambio Gantzer et al (citados por Blevins et al, 1993), encontraron densidades aparentes significativamente mayores en siembra directa con respecto al laboreo convencional. En otro estudio de estos autores, se reportó una mayor proporción de macroporos en una zona no huelleada de siembra directa en relación a parcelas de laboreo convencional.

Griffith et al (1986), observaron que en el espacio entre hileras, la densidad aparente, tres semanas luego de la siembra, fue superior en siembra directa que en laboreo convencional. Pero medidas realizadas luego de la cosecha en esos mismos suelos, muestran que la densidad aparente bajo siembra directa era apenas superior que con laboreo, luego de muchos años bajo el mismo sistema.

Coincidentemente Ne Smith et al (1987), al evaluar el efecto de distintos sistemas de laboreo sobre ciertas propiedades físicas del suelo, encontraron que la densidad aparente era superior en no laboreo que en laboreo convencional, tanto en superficie como entre 15 y 25 cm de profundidad, llegando a valores superiores a 1.7 g/cm<sup>3</sup>, lo que efectivamente redujo el crecimiento radicular. Concluyen que, para esos suelos de pobre estructura, parece necesario descompactar las suelas de arada, previo a iniciar un sistema de no laboreo, ya que éste tendería a conservar la condición física, con la densidad aparente reducida o incluso mantenida, debido al desarrollo y mantenimiento de macroporos estables.

Conceptos similares vierten Gantzer et al (1978). Ellos establecen que luego de seis años de mantener parcelas bajo laboreo convencional o siembra directa, la densidad aparente de los suelos fue superior en este último sistema hasta los 30 cm de profundidad. Aclaran que, cinco meses luego de la época de laboreo, las diferencias se habían reducido ampliamente, debido al incremento en la densidad aparente de los suelos laboreados. Al medir los poros del suelo, observaron que el número de canales de más de un milímetro de diámetro, creados por gusanos de tierra y por raíces en descomposición, fueron consistentemente mayores en el no laboreo.

También en una rotación de tres años de girasol y trigo, se vio que la densidad aparente fue siempre mayor en el laboreo conservacionista en relación al convencional, principalmente después del laboreo. En el conservacionista era entre un 10 y un 24% mayor. Los resultados muestran que la densidad aparente no se incrementa con los años dentro de un mismo tratamiento, luego de que éste se ha establecido (Moreno et al, 1997).

La explicación según Voorhees et al (citados por Hammel, 1989), podrían ser las reducidas perturbaciones del suelo bajo labores conservacionistas, ya que pueden incrementar la densidad aparente en relación a labores de mayor intensidad.. En un experimento llevado a cabo en Idaho en el cual se comparó mínimo laboreo, laboreo

convencional y siembra directa, los cambios más importantes entre tratamientos se produjeron en los primeros 30 cm de profundidad. Dentro de ésta zona, la densidad aparente de la siembra directa fué igual a la del mínimo laboreo, pero mayor a la del laboreo convencional (Hammel, 1989).

Lo que si es diferencial es la forma en que la densidad aparente evoluciona a lo largo de un ciclo de cultivo. Al respecto, en un cultivo de trigo en siembra directa se observó que casi al final del cultivo la densidad superficial, había disminuido un 5.4%, mientras que en laboreo convencional, se había incrementado un 4.8%. En ambos casos la densidad se incrementa en profundidad (> 15cm), pero para la siembra directa hubo efectivamente un descenso de la densidad aparente en y por debajo de una vieja capa restrictiva (> 20cm) (Dao, 1996).

Pero no todos los trabajos coinciden con lo expresado por los autores anteriores. Así, Maddalena (1994), al estudiar el efecto del sistema de laboreo sobre la densidad aparente, no encontró diferencias en la misma entre laboreo convencional y siembra directa hasta los 7 cm de profundidad. Pero para el rango entre 7 y 14 cm, la misma fue superior en laboreo convencional, explicándolo por la pérdida de materia orgánica del suelo y la erosión del mismo, lo que llevó a una disminución en su microporosidad. No pudo ser explicada, dicha diferencia, por la mayor presencia de bioporos esperable en siembra directa, ya que no hubo diferencias en la macroporosidad. Aclara que, ninguna de las diferencias anteriores fue estadísticamente significativa, sino que lo observado fueron tendencias.

Interacciones entre el sistema de laboreo y la profundidad también son reportadas. En un experimento en que se compararon los efectos de la siembra directa y convencional entre otros, se encontró que la densidad aparente era mayor en siembra directa en los primeros 10 cm de suelo, probablemente debido a la compactación durante cultivos anteriores. A los 30 cm de profundidad la densidad aparente del laboreo convencional era mayor, probablemente debido a la existencia de una suela de arada (Ogunremi et al. 1986).

Tampoco es claro lo encontrado en un trabajo llevado a cabo en tres sitios diferentes de Maryland, donde se observó que en los suelos no labreados (siembra directa), la densidad aparente generalmente se incrementaba con la profundidad, en cambio en los suelos con laboreo convencional este patrón no era tan claro. En dos de esos lugares, en todo el perfil del suelo, la densidad aparente fue mayor en siembra directa y en el tercer lugar sólo hubo diferencias significativas a los 13.75 cm de profundidad. En uno de los sitios, sin importar la profundidad o el tipo de suelo, la diferencia entre convencional y siembra directa fue entre 0.21 y 0.25 g/cm<sup>3</sup> de densidad y en el otro sitio la diferencia fue menor a la mitad de la anterior (Hill, 1990).

### 2.3.1.1.3 Resistencia a la penetración

Los resultados citados, sobre el efecto que el sistema de laboreo tiene sobre la resistencia a la penetración, son variables. Al respecto Izaurralde et al (1986), encontraron que las lecturas de penetrómetro, fueron superiores en las parcelas de siembra directa respecto a las de laboreo convencional. Aclaran, que dichas medidas no fueron corregidas por humedad, entonces, como la dureza del suelo se incrementa al disminuir la humedad, la resistencia medida para las parcelas no laboreadas fue sobrestimada, porque dichas parcelas contenían en forma invariable, mayor contenido de humedad que las laboreadas.

Coincidentemente Maddalena (1994), al evaluar el efecto del laboreo sobre la resistencia a la penetración, en un ensayo con ya 10 años de duración, encontró que la misma era mayor en todo el perfil (hasta los 45 cm de profundidad que se evaluaron) en el tratamiento bajo siembra directa. Para ese caso, cuando el suelo estuvo seco, en casi todo el perfil la resistencia a la penetración estuvo por encima de los niveles críticos (1.5-2.0 Mpa). Con el suelo húmedo, dichos valores solo superaron el crítico por debajo de los 15 cm de profundidad. Aclara la autora de la tesis, que una de las posibles razones para explicar las diferencias, fue el mayor contenido de humedad del suelo bajo laboreo convencional en este caso. No logra explicar las razones que llevaron a un mayor contenido de humedad en laboreo convencional.

También se encontraron resultados similares en un experimento de tres años de una rotación girasol-trigo. Allí se vio que la resistencia a la penetración era siempre mayor en el laboreo conservacionista en relación al convencional, pero no siempre fue significativa esa diferencia. El primer año del experimento, al momento de la siembra del girasol, solo había diferencias significativas entre los laboreos a los 25 cm de profundidad y en el tercer año fue significativamente mayor el conservacionista entre los 10 y los 25 cm de profundidad, siendo esa diferencia de 2 Mpa (aproximadamente 3 vs 1) y posiblemente un factor limitante para el crecimiento radicular. Cuando el girasol estaba florecido en el primer y tercer año, también se midió la resistencia a la penetración y había aumentado en los dos sistemas de laboreo. Para el primer año entre los 20 y los 40 cm de profundidad las diferencias eran significativamente mayores en el conservacionista, en cambio en el tercer año a esa profundidad no hubo diferencias (Moreno et al, 1997).

Una posible explicación es establecida por Voohees et al (citados por Hammel, 1989). Ellos dicen que la poca perturbación del suelo de los laboreos conservacionistas aumenta la resistencia a la penetración.

Pero varios autores indican efectos diferenciales con la profundidad a la que se mide la resistencia a la penetración. Así Carter (1988), al utilizar el penetrómetro para determinar el grado de soltura que se logra con distintos sistemas de laboreo encontró que, inmediatamente posterior al laboreo, el arado de reja logra aflojar el suelo más que

cualquiera de los otros laboreos, y hasta una profundidad mayor (33-36 cm), hecho que se reducía para laboreo superficial y no laboreo a unos 26 cm de profundidad. La profundidad a la que el suelo se afloja, se redujo un 30% luego de cinco meses con el arado de reja. También se demostró, que bajo un sistema secuencial de no laboreos, un aflojamiento del suelo debería ser realizado (por ejemplo con paraplow), para mantener una estructura óptima, en caso contrario, la siembra directa continua, resultará en una capa poco profunda de suelo flojo, y por consiguiente una reducción en la profundidad explorable por raíces.

Por su parte Blanco et al (1996), observaron que la resistencia a la penetración fue superior en los primeros 10 centímetros de suelo en siembra directa y laboreo reducido respecto al tratamiento laboreado intensivamente. Entre los 10 y 20 cm, la resistencia a la penetración fue superior en laboreo intensivo respecto a los otros tratamientos, explicando que esto pudo deberse a la presión ejercida por algún implemento a dicha profundidad.

En Idaho, un experimento mostró que el mínimo laboreo y la siembra directa tenían valores de resistencia a la penetración que superaban los 1,5 Mpa a una profundidad entre 5 y 15 cm, la cual era entre 0.5 y 1.0 Mpa mayor que la del laboreo convencional (Hammel, 1989).

En Escocia, se observaron valores de resistencia a la penetración y densidad aparente mayores en siembra directa. Luego de tres años de este sistema, aunque la densidad aparente se equilibró, la resistencia a la penetración en el subsuelo siguió incrementándose. Lo mismo ocurrió en otros sistemas de laboreo (Pidgeon et al, citados por Culley et al, 1987).

En contraposición a todos los autores anteriores, Ogunremi (1986) no encontró diferencias en resistencia a la penetración entre laboreo convencional y siembra directa.

Se agrega por parte de Bauder et al, Pidgeon et al, y Voorhees et al (citados por Hammel, 1989), que la resistencia a la penetración era más sensible que la densidad aparente a los diferentes sistemas de laboreo.

#### 2.3.1.1.4 Infiltración

En una rotación girasol-trigo de tres años, las tasas de infiltración fueron cerca de un 35% mayores en el laboreo convencional en relación al laboreo conservacionista, al momento de la siembra del girasol en el primer y tercer año (Moreno et al, 1997).

Por su parte, Ehlers (citado por Blevins, 1993) reporta que el laboreo convencional mejora la infiltración debido a un aumento de la porosidad total y el no

laboreo debido a una mejora de la continuidad de los macroporos que conectan a la superficie del suelo con el subsuelo.

En cambio, según Hill (1990), estudios realizados en suelos parecidos a los de Maryland, han indicado que bajo laboreo convencional las tasas de escurrimiento son mayores que en siembra directa, y por lo tanto, mayores son las tasas de infiltración en esta última.

Pero esto no estaría solo afectado por el sistema de laboreo. Así lo muestran Rao et al (1998), comparando un sistema de laboreo superficial (hasta 10 cm), otro más profundo (hasta 20 cm) y otro de no laboreo. Encontraron que cada año el escurrimiento disminuía a cero después del laboreo en el superficial y luego de unas pocas lluvias quedaba en una situación de escurrimiento igual o mayor a la de no laboreo. Cuanto dura el efecto del laboreo en disminuir el escurrimiento depende mucho de la intensidad de la lluvia. Por ejemplo, en 1993 y 1994 años en que la mayoría de las lluvias fueron de menos de 20 milímetros, el efecto del laboreo duró 60 días, en cambio en 1989 a los 5 días post laboreo y luego de una lluvia de 115 milímetros, la mayoría del efecto se había perdido. Observaron que el escurrimiento en mínimo laboreo y no laboreo era similar después de 150 milímetros de lluvia caídos luego del laboreo. El escurrimiento total de los laboreos hasta profundidades de 10 y 20 cm fue un 93 y 80 % respectivamente de los niveles alcanzados en siembra directa.

También se encuentran variantes dentro de los sistemas laboreados. Un suelo al poco tiempo de haber sido laboreado disminuye su tasa de infiltración. Sin embargo la velocidad con que se produce ese descenso varía con el sistema de laboreo. En el caso del laboreo con arado la mejoría de infiltración puede ser por un corto plazo, ya que la lluvia puede ocasionar un encostramiento de la superficie, el cual reduce la tasa de infiltración. En cambio, la infiltración en no laboreo o laboreo con cincel es más probable que se mantenga en el tiempo que dura el cultivo. Dos factores mayores contribuyen a que persista más la tasa de infiltración en laboreos conservacionistas. Por un lado la mejor estabilidad de los agregados del suelo y por otro el rastrojo de los cultivos que cubren al suelo. El rastrojo protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia e impide el encostramiento. Además disminuye la velocidad del escurrimiento superficial, mejorando la infiltración (Blevins et al, 1993).

#### 2.3.1.1.5 En general

García (1992b), al evaluar el efecto de la duración de una fase de cultivos realizados con laboreo convencional sobre las propiedades físicas del suelo encontró que, tanto la densidad aparente, la macroporosidad como la resistencia mecánica (medida como el número de golpes necesarios para introducir los anillos medidores de densidad

aparente), presentaron una tendencia a deteriorarse con el correr de los años. Esto implica aumento de la densidad aparente, disminución de la macroporosidad y aumento de la resistencia mecánica. Estas tendencias se volvieron significativas estadísticamente luego del cuarto año bajo cultivos en laboreo convencional.

En ese mismo sentido, Díaz et al (1980), establecen que el deterioro que se produce en las propiedades físicas y químicas como resultado del laboreo y la siembra de cultivos anuales, es consecuencia principalmente de la mineralización de la materia orgánica o su pérdida por erosión. La disminución del contenido de materia orgánica, no es consecuencia del cultivo *per se*, pensando que los cultivos anuales aportan menos materia orgánica que las pasturas artificiales o naturales, sino principalmente por los procesos de oxidación acelerados por el laboreo en la preparación de suelos convencional.

#### 2.3.1.2 Efecto de la rotación con pasturas

El beneficio de rotar con leguminosas históricamente se ha dividido en dos categorías. En primer lugar, los efectos del N de la rotación, en cuyo caso, las diferencias en rendimiento podrían ser superadas por fertilización N. En segundo lugar, los efectos no debidos a N, que son efectos de rotar con leguminosas que persisten incluso bajo condiciones de N no limitante. Dichos efectos, si bien no se especifican, llevan a mayor rendimiento frente a un mismo nivel de N disponible en el suelo. El caso evaluado corresponde a una situación en que la leguminosa predecesora es alfalfa (Lory et al, 1995).

Al respecto Baldock et al (1981), al evaluar el efecto residual de la alfalfa sobre cultivos sucesivos, encontraron que parte de ese efecto no era eliminado por la fertilización N. Llamaron a este efecto "efecto adicional de la leguminosa". Observaron que fue importante en el primer cultivo luego de roturada la pastura, pero fue muy menor en los siguientes. Al citar las causas de este efecto, entre otras, citan el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo.

Así es que Robinson et al (citados por Karlen et al, 1994), dicen que las rotaciones de cultivos que incluyen leguminosas y/o gramíneas son beneficiosas para la estabilidad de agregados y formación de la estructura del suelo.

Coincidentemente García (1992a), al proponer los factores que explican el efecto residual de las pasturas en disminuir la erosión, establece que éste se explica por la desaparición del laboreo y la permanente cobertura del suelo, pero que ese efecto es complementado por la mejora de la estructura que reduce la erodabilidad, y por el mejor crecimiento y producción de los cultivos siguientes.

Dicho efecto también se afectaría, según reporta Bullock (citado por Karlen et al. 1994) por el largo de la rotación. Establece que el pasar de rotaciones largas a cortas tiene como consecuencia la degradación de la estructura del suelo medida como estabilidad de agregados, densidad aparente, tasa de infiltración y erosión del suelo y esto se debe a una disminución de la materia orgánica del suelo.

Está generalmente aceptado, que la siembra de pasturas para ser utilizadas como abono verde, una vez incorporadas, mantendrán o aumentarán el contenido de materia orgánica del suelo o los niveles de N de ese suelo. La acumulación o mantenimiento de la materia orgánica del suelo, depende de una serie de factores tales como la naturaleza química del material agregado, factores climáticos y del suelo, ya que estos afectan la actividad microbiana y prácticas culturales. Por ejemplo, Leuken et al (citados por MacRae et al, 1985), concluyeron que el contenido de N de la planta incorporada era muy importante en determinar el grado de acumulación de materia orgánica.

Si un abono verde es capaz de incrementar la materia orgánica del suelo, entonces se podría esperar que las condiciones físicas del mismo mejoren. En ese sentido la materia orgánica es conocida en jugar un rol primario en la estabilización de agregados del suelo, no siendo tan importante en la formación de los mismos. También se conoce que la materia orgánica tiene una alta y negativa correlación con la densidad del suelo.

En cuanto a que pastura es mejor para lograr los objetivos, trabajando sobre un suelo arcilloso, se vio que en una rotación abono verde-trigo-maíz-trigo, cuando el abono verde era una leguminosa, el rango de pérdida de carbono orgánico era de 6.1 hasta 30.7%; y cuando ese abono verde no era leguminosa las pérdidas estaban en un rango bastante mayor desde 26.3 hasta 37.8% (Payser et al. citado por MacRae et al, 1985).

Desde el punto de vista de la estabilidad de los agregados, la pregunta que surge es qué tipo de pastura es mejor, si gramínea o leguminosa. Al respecto hay bastante desacuerdo entre los investigadores. Martensen et al (citado por MacRae, 1985) encontró que solo había mejoras en la estabilidad de los agregados cuando el abono verde era una gramínea, no habiendo efecto con los tréboles utilizados. Similares resultados obtuvieron Guttay et al (citados por MacRae, 1985). Por el contrario Bowren et al (citado por MacRae, 1985) encontraron que los agregados de los primeros 15cm del suelo más grandes y más estables en agua, ocurrían cuando la rotación incluía una leguminosa.

Kay (citado por Karlen et al, 1994) aporta que las características de las especies sembradas, la secuencia de diferentes especies y la frecuencia de cosecha son aspectos de los sistemas de agricultura que afectan la estructura del suelo, influenciando la formación de bioporos por las raíces de las plantas y la fauna del suelo. A su vez, la red de poros determina la cantidad y la distribución de la materia orgánica a través del suelo.

Por su parte García (1992b), establece que en general, con la duración de la fase de pasturas, se observa que las propiedades físicas mejoran (se midió densidad aparente, macroporosidad y resistencia mecánica). También existió correlación entre la mejora de las propiedades físicas medidas y el nivel de producción de la pastura. Dicha correlación se incrementa si se evalúa el componente MS de gramíneas de esa pastura. Concluye que la recuperación de la estructura del suelo durante la fase de pastura de la rotación, depende de la productividad de las mismas, principalmente de la productividad del componente gramíneo.

Similares opiniones tienen Díaz et al (1980), ya que establecen que el efecto principal sobre las propiedades físicas que tiene una pastura se debe a su contenido de gramíneas. Ellas son especies de alta producción de MS y con una alta relación carbono N. Por dicha razón, es menos atacable por los microorganismos y su ritmo de mineralización es menor. Se puede entonces decir que afectará sobre todo a las propiedades físicas. La leguminosa presenta menor producción y con una relación de carbono N baja, por lo que estos residuos presentan una tasa de mineralización mayor, al ser más degradados por los microorganismos. Esto libera cantidades importantes de N y otros nutrientes, por lo que se afirma que las leguminosas afectan primordialmente las propiedades químicas de fertilidad del suelo.

Varias serían las causas que explican estos fenómenos, ya que donde el desarrollo de pasturas tiene como consecuencia acumulaciones significativas de materia orgánica comúnmente ocurren cambios asociados. Citando a varios autores, Haynes et al (1993), incluyen dentro de esos cambios a un incremento en la estabilidad de agregados, una disminución de la densidad aparente, un aumento de la porosidad total y de la cantidad de aire que se encuentra llenando poros cuando el suelo está a capacidad de campo, y una mayor capacidad de retención de agua dentro del rango de -10 a -1500 Kpa. La porosidad aumenta debido al extenso y ramificado sistema radicular que se encuentra en la superficie del suelo. La actividad y el crecimiento radicular incrementa la porosidad mediante el movimiento de unidades estructurales de suelo, prolongación de los poros existentes y agrietamiento causado por encogimiento e hinchazón del suelo debido a la extracción de agua.

Otro aporte al respecto realizan Syers et al (citados por Haynes et al, 1993). Ellos dicen que el alto nivel de actividad de las lombrices en las pasturas contribuye a aumentar la porosidad debido a la construcción de galerías que forman poros a través de una considerable profundidad del suelo.

Además Tisdall et al (citados por Haynes et al, 1993) agregan, que en la fase de pasturas, los agregados están estabilizados debido a la acción obligatoria de los constituyentes de la materia orgánica. Dentro de los agentes orgánicos estabilizadores, estos autores, incluyen pegamentos mucilaginosos producidos por las raíces de las plantas

y por la microflora de la rizósfera, sustancias húmicas del suelo las cuales forman complejos estables persistentes con componentes minerales del suelo y por último incluyen a finas raíces e hifas de micorrizas asociadas, las cuales atrapan en forma de red a partículas del suelo.

### 2.3.2 Efecto del pisoteo animal sobre las propiedades físicas del suelo y la utilización de forraje

Las pezuñas de los animales causan grandes estreses al suelo, dependiendo el daño a la estructura del contenido de humedad en el momento del pisoteo. Dos procesos pueden ocurrir como consecuencia del pisoteo, la compactación del suelo, que afecta la forma de la estructura por la pérdida de espacio poroso, y el remodelado del suelo, que afecta la estabilidad estructural, a través del progresivo debilitamiento de los agregados del suelo, al ser incorporada el agua de lluvia y distorsionadas las uniones entre partículas (Proffitt et al, 1995).

Los mismos autores realizaron un ensayo en el cual, para dos historias de laboreo contrastantes, evaluaron el efecto del pisoteo ovino sobre las propiedades físicas del suelo. Al evaluar el efecto del sistema de laboreo sobre la evolución de los agregados estables en agua, observaron en primer lugar, que bajo mínimo laboreo, la misma fue superior a la del suelo laboreado en forma tradicional, sin considerar el pisoteo. Cuando fueron sometidos a éste, el porcentaje de reducción de los agregados fue mayor con laboreo tradicional, y este efecto incrementado con aumentos en la carga animal. Concluyen también, al comparar con una pastura no pastoreada, que hay mayor caída de la condición estructural, como consecuencia del pisoteo, en un suelo mal estructurado que en uno que inicialmente estaba en mejor condición.

Al considerar la resistencia del suelo a la penetración, observaron que esta se incrementa al disminuir el contenido de humedad, pero la tasa de incremento es menor en el tratamiento no pastoreado que en el pastoreado.

En cambio, en otro experimento, Proffitt et al (1993) no encontraron diferencias en densidad aparente, entre tratamientos pastoreados por ovinos y no pastoreados, a pesar que se observaron huellas de pezuña de hasta 20 milímetros de profundidad. Aducen que, la razón podría ser el uso de una profundidad de muestreo muy superior a esa, lo que pudo enmascarar los resultados.

Así es que Abaye et al (1997), al evaluar el efecto del pisoteo sobre la densidad aparente, observaron que la misma era menor al inicio de la temporada de pastoreo que al final. También destacan, que el pisoteo por ovinos solamente, resultó en una mayor densidad aparente en el horizonte A que cuando se pastoreo solo con vacunos. Los

manejos de cargas implicaban la equivalencia que una vaca adulta es igual a cinco ovejas, ambos con sus correspondientes crías.

Pero los resultados del pisoteo no solo dependen de la especie animal sino también de la carga. Aumentos en la carga animal se han asociado con menores tasas de infiltración (Giffard et al), mayor densidad aparente (Langlands et al) y mayor resistencia del suelo a la penetración ( Proffitt et al) (citados por Greenwood et al, 1998).

En ese sentido, Greenwood et al (1997) encontraron que una pastura pastoreada con diferentes cargas por 30 años, presentaba similares propiedades físicas dentro de ese rango de cargas, pero que comparado con el suelo de una pastura que no se había pastoreado por 20 años, presentaba mayor densidad aparente y menor conductividad hidráulica.

Los mismos autores (1998) reportaron valores de densidad aparente en los primeros 8 centímetros del suelo de 1.19 g/cm<sup>3</sup> y 1.25 g/cm<sup>3</sup> para áreas sin pastorear y pastoreadas con ovinos respectivamente, no encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos de carga, los cuales eran de 4Ug (alto), 3Ug (medio) y 2Ug (bajo), dentro de las parcelas de pastoreo. Las mayores diferencias de densidad aparente entre el tratamiento de pastoreo y el de no pastoreo se registraron en los primeros 4 centímetros del suelo. Además concluyeron que 2.5 años después de haberse retirado el pastoreo, ya no se encuentran diferencias significativas en densidad aparente entre las parcelas con pastoreo y una que no se había pastoreado por 27 años, siendo las medidas de 1.2, 1.18, 1.18 y 1.17 g/cm<sup>3</sup> para carga alta, media, baja y sin pastoreo respectivamente.

Por su parte, Krenzer et al (1989) evaluaron el efecto del pisoteo vacuno sobre algunas propiedades físicas del suelo de trigos doble propósito. Encontraron, para las tres localidades evaluadas, que tanto la densidad aparente como la resistencia a la penetración se incrementaban como consecuencia del pisoteo. Los incrementos en densidad aparente fueron superiores en la primer pulgada de profundidad, siendo de 15.4%, 16.7%, y 14.8% para los tres sitios. Si se considera una profundidad de 2.5 pulgadas, los incrementos fueron de 14%, 14.6% y 12.7% para los mismos sitios. Destacan que los efectos de aumento de la densidad aparente llegaron hasta profundidades de 8 pulgadas en el peor de los casos.

Al ser medida la resistencia a la penetración, los incrementos por el pastoreo en los tres sitios fueron de 221%, 127.9% y 159.9% en las cuatro pulgadas superficiales. Observaron que los efectos podían ser detectados, aunque en montos menores, hasta 13 pulgadas de profundidad, en uno de los sitios. Aclaran que, la resistencia a la penetración, es el resultado de la acción conjunta de la densidad aparente y del contenido de humedad. Ella tiende a aumentar con densidades aparentes mayores y contenidos de humedad menores. En sus experimentos, el pastoreo produjo una disminución del contenido de

humedad de los suelos respecto al no pastoreo. Ellos lo explican por una posible reducción en los macroporos, porosidad total, cambio en la forma de los poros y la cantidad y disminución de los mismos, lo que en conjunto habría afectado la habilidad del agua para penetrar el perfil.

Concluyen que, el pisoteo puede compactar el suelo en una pastura de trigo incluso por debajo de la profundidad a que trabajan las herramientas tradicionales, como por ejemplo un arado de reja, lo que indicaría el posible problema de la acumulación en el largo plazo de este fenómeno.

Resultados similares obtuvieron Wilkins et al (1986). Según ellos, los efectos adversos del pisoteo sobre la pastura, son normalmente acompañados por cambios en la densidad aparente y estructura del suelo, efectos que se acentúan si el suelo está húmedo cuando es pastoreado. La compactación que ocurre en la superficie, resulta en un incremento en la densidad aparente, y en una reducción del espacio poroso. Esto a su vez, reduce la infiltración, lo que afecta el crecimiento de las plantas al reducir la aereación e incrementar las pérdidas de N por denitrificación.

También los sistemas de pastoreo llevan a efectos diferenciales. Al respecto Proffitt et al (1995b), al evaluar el efecto de tres sistemas de pastoreo (continuo, controlado y no pastoreo) sobre las propiedades físicas del suelo, encontraron que luego del período de pastoreo (mayo a noviembre), en todos los tratamientos la densidad aparente se había incrementado, pero el nivel de ese incremento fue superior en las parcelas pastoreadas en forma continua. Similar ocurrió con la capacidad de infiltración, que se redujo en todos los tratamientos, pero la reducción fue máxima en pastoreo continuo. Destacan que el suelo bajo pastoreo controlado presentaba una estructura de la capa superior mucho mejor que en pastoreo continuo, pero además con características similares a la de la parcela no pastoreada. La explicación de esto implica que en el pisoteo, si los contenidos de humedad del suelo son bajos a medios, las pezuñas compactan el suelo reduciendo la macroporosidad, pero si el contenido de humedad es mayor aun, el remoldeado continuo del suelo lo debilita. Cuando se realizó pastoreo controlado (retiro de los animales cuando el suelo se acercaba al nivel de plasticidad), el primer proceso predominaría, en cambio, en pastoreo continuo, se dan los dos procesos.

Estos autores opinan que la extensión de la deformación del suelo es lo que determina la tasa en que la capacidad de infiltración se reduce, lo que a su vez aumenta la acumulación de agua libre en superficie, incrementando aún más la susceptibilidad del suelo a mayor daño por pisoteo. Se piensa que la destrucción de los macroporos creados por la fauna del suelo, lo que fue determinado por imágenes de suelo, representaría el principal efecto.

Ellos también aclaran que, el pisoteo no solo daña la estructura del suelo, sino que el efecto cortante puede destruir hojas, puntos de crecimiento y raíces de las plantas, y depositar mugre (tierra o estiércol) sobre el follaje, lo que disminuye el crecimiento y la palatabilidad, reduciendo el porcentaje de utilización. Además, en condiciones secas incluso puede ocurrir daño físico a las plantas. Se ha demostrado que puede haber una depresión en el crecimiento de las plantas, en ausencia de daño a la estructura del suelo.

También destacan la importancia de la fuerza del suelo para soportar pesos, y establecen que la misma es reducida cuando el contenido de agua en la capa superficial es alto o se ve incrementado por el remoldeado del suelo. Para evitar el efecto del pisoteo, indican que una de las medidas más acertadas sería drenar el suelo, lo que reduciría el período con exceso de agua en la superficie. Aproximaciones para incrementar la resistencia del suelo (fuerza del suelo) a través de la adición de fibras sintéticas o mezclas de productos químicos, sería poco adecuado para agricultura extensiva.

Dicha fuerza se afectaría también por el sistema de laboreo. Al respecto, Blanco et al (1996) encontraron que en verdes realizados en siembra directa y laboreo reducido, la resistencia a la penetración en los primeros 10 cm de suelo fue superior al tratamiento de laboreo convencional. Esto implicaría más piso para el ganado en pastoreo y, por consiguiente, menos daño de plantas y menor deterioro del terreno por pisoteo animal.

Así es que Terra et al (1997), destacan que, para comparar sistemas de laboreo, siempre se han presentado resultados de producción de MS. Estos valores han indicado desde el comienzo, que en siembra directa la producción es igual o menor que en laboreo, lo que en la realidad enmascara el hecho que, al ser mejores las condiciones de piso bajo dicho sistema, la utilización del forraje en condiciones de suelo húmedo es superior.

En sus ensayos, tanto al primer pastoreo, como al segundo, encontraron que el porcentaje de MS rechazada por los animales, fue significativamente superior en los tratamientos laboreados que en siembra directa, lo que se explica por una mayor resistencia a la penetración en los primeros 10 cm de suelo.

Pero la compactación también puede producirse por tráfico de maquinaria. Así es que el efecto del tráfico de la maquinaria sobre la infiltración inmediatamente después de la siembra fue mayor que el propio efecto del laboreo, pero no hubo efecto del tráfico de la maquinaria cuando se trataba de siembra directa (Bauder et al, citados por Culley et al, 1987).

En cambio Voorhees (citado por Blevins et al, 1993), dice que en muchos casos, el tráfico por maquinaria en siembra directa ha causado compactación, resultando en densidades aparentes mayores e infiltraciones menores en la zona de pasaje de la maquinaria.

Esto también fue evaluado en un experimento llevado a cabo por Culley et al (1987). Allí se vio que a finales de junio la resistencia a la penetración indicaba que el solo pisoteo por maquinaria al momento de la siembra y aplicación de herbicida, alcanzaba para eliminar las reducciones de resistencia a la penetración que se le atribuyen al laboreo primario y secundario. En cambio la densidad aparente fue esencialmente incambiada en profundidad bajo siembra directa.

### 2.3.3 Niveles de erosión como indicador de las propiedades físicas

La erosión del suelo requiere que ocurran dos procesos. Por un lado la separación de las partículas del suelo y por otro el transporte del material del suelo por agentes erosivos como el viento y el agua (Hussain, citado por Karlen et al, 1994).

En particular la erodabilidad, se vincula al primer proceso, ya que representa el potencial de erosión de un suelo determinado, en condiciones de laboreo y topografía estandar. Este factor, es estimado a través de un modelo simple que implica su textura, porcentaje de materia orgánica, su estructura, y la permeabilidad del suelo (García 1992).

#### 2.3.3.1 Propiedades físicas que afectan la erosión

La erodabilidad de un suelo, factor inherente a él, es una propiedad compleja que depende tanto de su capacidad de infiltración como de su capacidad de resistir a la desagregación, transporte por las gotas de lluvia y escurrimiento (Wischmeier et al, 1969).

Las propiedades de un suelo, que contribuyen en forma significativa para afectar las diferencias que se dan en pérdidas de suelo incluyen: porcentaje de arena, limo, arcilla y materia orgánica; ph, estructura y densidad aparente de la capa arable y del subsuelo; pendiente y concavidad de la loma; espacio poroso lleno por aire; efecto residual de los tapices de los cultivos anteriores; la agregación; material parental del suelo; y varias interacciones de estas variables. Algunas de estas variables afectan la capacidad del suelo de infiltrar lluvia y por consiguiente, determinan el monto y la tasa de escurrimiento. Algunos afectan la capacidad de resistir la desagregación de partículas y el transporte, por las fuerzas erosivas de las gotas y del agua fluyente, entonces determinan el contenido de suelo en el agua escurrida. Ningún parámetro o término de interacción por sí solo, probó ser capaz de predecir la resistencia del suelo a la erosión por lluvia y escurrimiento (Wischmeier et al, 1969).

De todos ellos, el principal factor, en determinar la erodabilidad es la textura del suelo, siendo que suelos ricos en limo y pobres en arcilla son los más erodables. En general existe una relación negativa, tanto para el índice de agregación como para la materia orgánica, con la erodabilidad, es decir, a mayor valor de estos factores, menor

erodabilidad. Pero aclara el autor que estas relaciones pierden fuerza cuando la fracción arcilla se vuelve importante. (Wischmeier et al, 1969)

En sus trabajos, los test de laboratorio, demostraron que la permeabilidad de las capas superiores del suelo, disminuían con incrementos de densidad aparente entre otras propiedades, pero en algunos suelos, el hecho que se reduzca la permeabilidad, decrecía también la desagregación de las partículas, y entonces disminuía el contenido de suelo en el agua escurrida. Para el caso de la densidad aparente esta relación no se cumplió, es decir, si bien mayor densidad aparente decrecía la tasa final de infiltración, aumentaba el contenido de suelo en el agua escurrida, pero ninguna de estas correlaciones fue significativa con un 95% de confianza. Por su parte, la fortaleza de la estructura se relacionó negativamente con la erodabilidad cuando el contenido de limo fue superior al 60% (Wischmeier et al, 1969).

#### 2.3.3.2 Erosión bajo diferentes sistemas de laboreo

Choudhary et al (1997), evaluaron el efecto de tres sistemas de laboreo (laboreo convencional, laboreo con cincel, y siembra directa), aplicados durante treinta y dos años de maíz continuo, sobre la erodabilidad del suelo. Previo a la realización del experimento, se aclara que los residuos de maíz fueron retirados de las muestras de suelo a tratar, para evitar posibles efectos confusos en la evaluación de las propiedades del suelo. Sus resultados indican que la erosión luego de 50 milímetros de lluvia, de una intensidad de 50 milímetros por hora, fue superior en laboreo convencional, luego el laboreo con cincel y mínima en la siembra directa. Lo mismo ocurrió con la cantidad de suelo que fue desagregado y salpicado en las gotas de lluvia. Los ratios en que se dieron las pérdidas de suelo fueron de 4,4:2,9:1 para los tres laboreos en el orden previamente citado. Indican que la baja erodabilidad del suelo en siembra directa sería el reflejo de la mayor estabilidad de los agregados y del mayor contenido de materia orgánica en superficie.

#### 2.3.3.3 Efecto residual de las pasturas sobre la erosión

Diversos autores coinciden en declarar que un suelo luego de una etapa de pasturas se encuentra menos erodable que luego de cultivos. Al respecto, Díaz et al (1980), establecen que, hay abundantes evidencias bibliográficas del marcado efecto que tienen las pasturas en disminuir las pérdidas por erosión de un suelo, tanto en el propio período de pastura, como en los cultivos con laboreo subsiguientes.

Así es que García (1992), al proponer factores para computar el efecto residual de las pasturas, establece que las mismas serían efectivas en reducir la erosión si al menos han durado un año, y no distingue entre pasturas de diferente duración por encima de dicho período. El efecto es más importante en el primer año luego de concluida la pastura, reduciendo la erosión esperable sin su existencia previa entre un 30% y un 75%.

dependiendo de la etapa del cultivo (más reducción en el periodo de barbecho rugoso y menos en el periodo de rastrojo dejado por el cultivo), y del nivel de producción de la pastura, el cual cuanto mayor sea, mayor es la reducción. Para un segundo año luego de la pastura, los niveles de reducción son inferiores, variando entre un 0% y un 25%, el segundo valor para el periodo de establecimiento y el primero para el barbecho rugoso y para el rastrojo del cultivo.

Un claro ejemplo es proporcionado por Wilson y Browning (citados por Diaz et al 1980), quienes encontraron que las pérdidas de suelo en parcelas de maíz continuo fueron de 38.3 toneladas por acre y por año, contra 18.4 toneladas cuando dicho maíz seguía a una pastura, y que, el parámetro del suelo que más se correlacionó con esas pérdidas fue la estabilidad de la estructura en la capa arable. Aclaran que, el efecto de disminuir las pérdidas por erosión en el cultivo siguiente, desaparece con el número de cultivos sucesivos luego de la pastura.

Otros ejemplos son los de Hussain y Johnson et al (ambos citados por Karlen et al, 1994). El primero dice que la tasa de separación por las gotas de lluvia (splash) era mayor en los sistemas de maíz continuo que en suelos en rotación con pasturas. Por ejemplo encontraron que la tasa era de 48 mg/cm<sup>3</sup> para el maíz continuo y de 31 para una rotación de maíz y una pastura mezcla de avena y trébol rojo. El segundo, al evaluar durante 9 años un sistema continuo de maíz, una rotación maíz-avena-trébol rojo y una pastura de pasto azul, vieron que las pérdidas de suelo fueron 793, 202 y 42 t/ha respectivamente.

Diaz et al (1980), concluyen que la inclusión de una pastura en una rotación reduce las pérdidas por erosión en relación directa con su duración, y que los efectos se deben a un mejor estado de la estructura, que le hace al suelo resistir más los golpes de las gotas de lluvia y mejora la infiltración. También se deben a la cobertura del suelo mientras la pastura esta instalada, al retardo del escurrimiento por ser las propias plantas barreras al mismo, y a la eliminación del laboreo en dicha fase. Como los últimos tres efectos desaparecen con el laboreo, cuanto más larga la pastura se traduce en efectos reductores de la erosión en el sistema de rotación, pero no necesariamente mejora el efecto residual de las pasturas sobre la erosión de cultivos siguientes.

Pero ese efecto residual dura solamente un cierto periodo. Al respecto, Wischmeier et al (1978), establecen que el efecto residual, para reducir la erosión de cultivos siguientes, de una pastura de gramíneas y leguminosas desaparece gradualmente a lo largo de los años luego de laboreada. En general, los resultados muestran que la efectividad para reducir la erosión de estas pasturas depende directamente del nivel de producción de MS. Las mezclas de gramíneas y leguminosas fueron mas efectivas en reducir la erosión que las leguminosas por sí solas, así es que el efecto residual de una alfalfa en la cual las gramíneas se establecen bien, tuvo mayor duración que cuando la alfalfa estuvo sola.

En ese sentido, Mannering (citado por Diaz et al 1980), encontró que la disminución de la erosión del suelo bajo maíz, luego de una pastura, en relación a maíz continuo, fue 47%, 17%, 10% y 3% en el primero, segundo, tercero y cuarto maíz tras la pastura respectivamente.

Por último se establece que prácticas de manejo del suelo tales como dejar en el lugar los residuos de cosecha, agregar abono animal o hacer rotación de cultivos, tiene efectos directos e indirectos sobre las propiedades físicas del suelo que afectan el proceso de separación de las partículas del suelo (Bullock, citado por Karlen et al, 1994).

## 2.4 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

Carámbula et al (1996), en sus evaluaciones de verdes de invierno puros encontraron que, para trigo, la producción otoño-invernal, varió entre 792 y 851 kg de MS por hectárea, siendo superiores a los valores obtenidos para raigrás, que variaron entre 510 y 680 kg/há de MS. La producción primaveral, en cambio, fue superior para el raigrás, con valores que variaron entre 3800 y 4208 kg/há de MS, en relación a la de trigo que varió entre 1242 y 1552 kg/há de MS. La producción total anual de los verdes puros que se obtuvo fue entre 4310 y 4889 kg/há de MS y 2092 a 2344 kg/há de MS, para raigrás y trigo respectivamente.

Por su parte, Vera (1964) obtuvo producciones totales anuales de verdes de raigrás de entorno a 2655 kg/há de MS sin fertilización N, pero llegando a 4690 kg/há, cuando se fertilizó con 120 unidades de N. En este experimento, la estación de crecimiento evaluada fue desde la siembra, el 16 de marzo, hasta el último corte, el 11 de diciembre.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En la Unidad Experimental de Palo a Pique de INTA Treinta y Tres, se viene llevando a cabo desde 1995 un experimento de rotaciones de larga duración, el cual contrasta cuatro intensidades de uso del suelo. Las mismas, ordenadas de menor a mayor intensidad de uso son:

- a) una de mínima intensidad, representada por mejoramientos extensivos del campo natural.
- b) una de moderada intensidad de uso, que consiste en dos años de doble cultivo y cuatro años de pasturas.
- c) una de intensidad de uso intermedia, que consiste en dos años de doble cultivo y dos años de pasturas y
- d) una de máxima intensidad, representada por dos cultivos por año y que no incluye pasturas.

Dentro del experimento de larga duración, se realizan otros de mediana y corta duración, cuyos períodos de tiempo comprenden a un cultivo o más y dentro de los cuales se llevan a cabo los experimentos que dan motivo a esta tesis.

Con el fin de lograr los objetivos planteados en esta tesis, se instalaron tres experimentos similares, los cuales difieren entre sí en el uso previo del suelo sobre el cual se instalaron. Estos tres experimentos se llevan a cabo en el cultivo cabeza de rotación (verdeo de invierno) de las situaciones de intensidad de uso moderada (b), intermedia (c) y máxima (d), respectivamente.

#### 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

En los tres experimentos el diseño experimental fue de parcelas divididas, en cuatro bloques al azar. Las parcelas grandes contienen tres tratamientos de laboreo (laboreo intensivo, laboreo reducido y siembra directa) y las chicas cuatro niveles de fertilización nitrogenada (0, 50, 100, y 150 kg/há de N), resultando en doce tratamientos.

Debido a que uno de los objetivos de la tesis es comparar el efecto que las diferentes historias previas de chacra tienen sobre las variables en estudio, los experimentos fueron situados, dentro de cada potrero, en posiciones topográficas (pendiente suave) y de suelo similares. Este detalle no hace que los experimentos sean estadísticamente comparables, ya que los mismos carecen de repeticiones de la historia de

chacra anterior, pero sí permite realizar observaciones desde un punto de vista agronómico.

### 3.2.1 Experimento 1

Este experimento se ubica en el potrero 11 del sistema de rotaciones, en cultivo continuo (CC) desde 1995; cada parcela ha recibido el mismo tratamiento de laboreo desde el inicio del mismo. En este experimento el cultivo antecesor fue un maíz para silo, el cual se cortó el 12 de marzo de 1998.

Las dimensiones de las parcelas son las siguientes:

Parcela grande: 10m \* 40m (bordes 1m)

Parcela chica: 10m \* 10m (bordes 1m)

### 3.2.2 Experimento 2

Este experimento se llevó a cabo en el potrero 4 del sistema de rotaciones de larga duración, el cual forma parte de la rotación larga (4 años de pradera, RL).

En febrero de 1998 finalizó en este potrero la etapa de pasturas, para dar comienzo la etapa de cultivos, con un verdeo de invierno como cabeza de rotación

Las dimensiones de las parcelas son las siguientes:

Parcela grande: 6m \* 20m (bordes 50cm)

Parcela chica: 6m \* 5m (bordes 50cm)

### 3.2.3 Experimento 3

En este experimento las dimensiones de las parcelas son iguales a las del experimento 2, siendo la única diferencia entre ambos la historia de chacra previa a la instalación del verdeo, ya que este experimento se llevó a cabo en el potrero 8, el cual forma parte de la rotación corta (2 años de pradera, RC). En febrero de 1998 finalizó la etapa de pasturas, dando comienzo la de cultivos.

### 3.3 TRATAMIENTOS EVALUADOS

Los tratamientos evaluados (Cuadro 1) en forma simultánea fueron laboreo y fertilización nitrogenada.

Cuadro 1: Conjunto de tratamientos factoriales obtenidos a partir de la combinación del sistema de laboreo y la dosis de N agregada.

Nivel de fertilización	Laboreo intensivo Li	Laboreo reducido Lr	Siembra directa Sd
0	Li 0	Lr 0	Sd 0
50	Li 50	Lr 50	Sd 50
100	Li 100	Lr 100	Sd 100
150	Li 150	Lr 150	Sd 150

Este conjunto de tratamientos permite evaluar la contribución relativa de ambos factores sobre cada una de las variables evaluadas, las cuales serán detalladas en el siguiente punto.

Se aclara que la siembra de todas las parcelas (independientemente del sistema de laboreo), se realizó con una sembradora de siembra directa modelo Semeato TD 220A. El tren de siembra es de doble disco y la distancia entre líneas es de 17.5 centímetros. A pesar de haberse realizado la siembra del trigo y del raigrás con la misma máquina y al mismo tiempo, las semillas del primero se colocaron en la línea y las del segundo al voleo.

#### 3.3.1 Laboreo

Los tres sistemas de laboreo evaluados fueron: Intensivo y Siembra Directa como sistemas claramente contrastantes y Laboreo Reducido como un sistema intermedio entre los dos anteriores. Los detalles de operación y labores realizadas según sistema y por potrero se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2: Detalle de los laboreos y aplicaciones realizadas en los tres experimentos durante la preparación del suelo, para la siembra de los verdes.

Exp N°	Tipo de laboreo	12/2	23/3	6/4	4/5
1	Intensivo	-----	2 vibros	2 excéntricas	1.5 l. glifos
1	Reducido	-----	1 l. glifos.	1 excéntrica	1.5 l. glifos
1	S. Directa	-----	4 l. glifos.	-----	1.5 l. glifos
2	Intensivo	3.3 l gli.+1 l 24Da	2 vibros	2 excéntricas	1.5 l. glifos
2	Reducido	3.3 l gli.+1 l 24Da	1 vibro	1 excéntrica	1.5 l. glifos
2	S. Directa	3.3 l gli.+1 l 24Da	2 l. glifos.	-----	1.5 l. glifos
3	Intensivo	3.3 l gli.+1 l 24Da	2 vibros	2 excéntricas	1.5 l. glifos
3	Reducido	3.3 l gli.+1 l 24Da	1 vibro	1 excéntrica	1.5 l. glifos
3	S. Directa	3.3 l gli.+1 l 24Da	2 l. glifos.	-----	1.5 l. glifos

Nota: La profundidad de trabajo de la excéntrica fue de 15cm y la del vibro de 10cm

Las diferencias del experimento 1 con respecto al 2 y al 3, se deben a que en el primero hubo un maíz para silo hasta el 12 de marzo, momento en que se cortó, por lo tanto la duración del barbecho difirió con el de los otros dos experimentos.

La aplicación de un litro y medio de glifosato el 4 de mayo, se realizó para matar las pocas plantas que habían nacido de una siembra que falló debido a las lluvias torrenciales que ocurrieron en la noche inmediata a la siembra y que se prolongaron durante quince días.

### 3.3.2 Fertilización

En el cuadro 3 se detallan los momentos, dosis y fórmula de los fertilizantes utilizados en los experimentos. Se aclara que las fertilizaciones en las siembras fueron realizadas a modo de fertilización basal y por lo tanto no forman parte de los tratamientos de fertilización. Las mismas fueron realizadas en la línea.

Cuadro 3: Fertilizaciones realizadas.

Fecha	Momento	Dosis (kg/há)	Fórmula
7/4	Primer siembra fallida	100	25-25-0
7/5	Siembra	100	25-25-0
10/6	Macollaje	0,100,200,300	46-0-0 (Urea)
10/8	Después del primer pastoreo	0,100,200,300	46-0-0
16/9	Después del segundo pastoreo	0,100,200,300	46-0-0

Cabe aclarar que en los tres experimentos, la parcela que se fertilizó la primera vez con 0, 50, 100 o 150 kg/há de N, después sistemáticamente en cada refertilización recibió la misma dosis de fertilizante. En todas las oportunidades la refertilización se realizó en forma manual, con previo delimitado de las parcelas, para evitar solapar el fertilizante de una parcela con el de la otra.

### 3.4 VARIABLES MEDIDAS o DETERMINACIONES

Las variables que fueron medidas en los tres experimentos, siguen un patrón similar en lo que refiere a las herramientas y metodología utilizadas para determinarlas.

A excepción del muestreo inicial de suelos, en el cual se extrajeron más muestras del experimento 1 por tener mayores dimensiones que los otros dos experimentos, en los sucesivos muestreos el número fue el mismo. El detalle de la metodología utilizada para la determinación de los valores de las variables, se describe a continuación.

#### 3.4.1 Análisis de suelos

A partir de las muestras de suelo, se determinaron los valores de las variables contenido de nitratos y carbono orgánico. La variable contenido de nitratos se determinó todas las veces que se obtuvieron muestras, en cambio el contenido de carbono orgánico se determinó en los dos primeros muestreos y en el último. Dichos análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Suelos de INIA La Estanzuela.

Las muestras de suelo se obtuvieron mediante el uso de caladores cilíndricos, siendo la profundidad de muestreo los primeros quince centímetros.

En los primeros muestreos realizados previo al tratamiento de fertilización, se tomaron 10 submuestras por parcela de laboreo en los experimentos 2 y 3. En el caso del experimento 1 por tratarse de parcelas de mayor superficie se tomaron 12 submuestras. Una vez realizado el tratamiento de fertilización, el número de submuestras por parcela de fertilización se redujo a 5 ya que la superficie de las mismas es un cuarto de las de laboreo. Con esas submuestras se realizó una muestra compuesta, la cual se secó en estufa a 60 °C y luego se enviaron al laboratorio.

Con los muestreos de nitratos se intentó representar la evolución del aporte de N del suelo a lo largo del experimento. Como muestra el cuadro 4, los muestreos se realizaron a la siembra, al macollaje y como criterio general previo a cada pastoreo y después de los mismos, pero antes de la refertilización. Si el período comprendido entre el

retiro de los animales y el siguiente pastoreo fue muy extenso, se realizó un muestreo extra con el objetivo de que esos periodos fuesen similares.

Cuadro 4: Resumen de las fechas y momento de muestreo, análisis realizado a cada muestra y parcela de la cual fue extraída (laboreo o fertilización).

Fecha	Momento	Análisis	Por parcela de:
30/3	1ª siembra fallida	N-NO <sub>3</sub> y C org.	Laboreo
7/5	Siembra	N-NO <sub>3</sub> y C org.	Laboreo
21/5	Implantación	N-NO <sub>3</sub>	Laboreo
10/6	Macollaje	N-NO <sub>3</sub>	Laboreo
26/7	Primer corte	N-NO <sub>3</sub>	Laboreo * N
9/8	Final 1er pastoreo	N-NO <sub>3</sub>	Laboreo * N
8/9	Segundo corte	N-NO <sub>3</sub>	Laboreo * N
16/9	Final 2º pastoreo	N-NO <sub>3</sub>	Laboreo * N
30/11	Final de ensayos	N-NO <sub>3</sub> y C org.	Laboreo * N

#### 3.4.2 Medidas de implantación

Para evaluar la implantación se realizó un conteo del número de plantas en un metro lineal 5 veces por parcela de laboreo, (ya que el conteo de las mismas fue previo a la refertilización). Se realizó un promedio de esas muestras y se calculó el número de plantas por metro cuadrado, teniendo en cuenta para esto una distancia entre hileras de 17.5 cm. Se contaron exclusivamente las plantas de trigo emergidas al 21 de mayo; las plantas de raigrás (que se sembró al voleo) no fueron tomadas en cuenta.

#### 3.4.3 Medidas de Materia Seca

Todas las medidas de MS, tanto las de disponible como las de rechazo, fueron realizadas por parcela chica, o sea por tratamiento de laboreo y fertilización nitrogenada.

Para determinar la variable MS disponible en los dos primeros pastoreos, se hicieron 4 cortes con tijeras de aro antes de que ingresaran los animales al experimento (Cuadro 5). Cada corte tenía una superficie igual al área de un cuadro de hierro de 50 cm de lado y era realizado al ras del suelo. La materia verde de los 4 cortes se unió formando una muestra compuesta, se pesó y luego se secó hasta peso constante en estufas a 105°C. Una vez seca la muestra y con el dato del peso de la materia verde, se calculó el

porcentaje de MS. Posteriormente con el peso seco de la muestra y el dato de la superficie de los 4 cuadros, se calculó la MS disponible por hectárea.

Para determinar la MS disponible en el tercer pastoreo, los cortes se realizaron con una cortadora de césped recolectora y autopropulsada. La superficie cortada por parcela estaba dada por un corte en diagonal de la misma de 2.55 metros de largo y un ancho de 0.55 metros. La altura de corte fue de 2.5 cm. El procedimiento para calcular el porcentaje de MS y MS disponible por hectárea fue el mismo que en los dos primeros pastoreos.

Para determinar la variable MS del rechazo de los dos primeros pastoreos, se hicieron 3 cortes con tijera de aro al ras del suelo luego que se retiraron los animales del experimento. Los cuadros y el procedimiento para calcular el porcentaje de MS y MS rechazada fueron los mismos que se utilizaron en el disponible.

Cuadro 5: Variables analizadas por fecha de muestreo y herramienta utilizada en el mismo para los cortes.

Fecha	Muestreo	Variable analizada	Herramienta utilizada
22/7	Primer disponible	MS/há y %MS	Tijera de aro
9/8	Primer rechazo	MS/há y %MS	Tijera de aro
6/9	Segundo disponible	MS/há y %MS	Tijera de aro
15/9	Segundo rechazo	MS/há y %MS	Tijera de aro
17/10	Tercer disponible	MS/há y %MS	Maquina cortadora

La variable crecimiento de MS se determinó en tres periodos. El criterio utilizado en el primer periodo fue la MS acumulada hasta que se determinó la MS del primer disponible. En el segundo periodo el criterio utilizado fue la diferencia entre la MS del segundo disponible y la MS del primer rechazo. En el tercer periodo el crecimiento se calculó como la diferencia entre la MS del tercer disponible y la del segundo rechazo.

El crecimiento del tercer periodo podría verse afectado por el hecho de que el método de corte utilizado para calcular el tercer disponible y el segundo rechazo no fue el mismo.

### 3.4.4 Propiedades físicas del suelo

#### 3.4.4.1 Resistencia mecánica

La variable resistencia mecánica fue medida con un penetrómetro de cono. Se realizaron 4 medidas por parcela de laboreo y el valor obtenido para cada intervalo de profundidad fue el promedio de las mismas. Las medidas se hicieron hasta los 40 cm de profundidad, efectuándose una lectura por cada uno de los 8 intervalos de 5 cm.

En los tres experimentos, para los dos primeros pastoreos, las medidas se realizaron antes de que ingresaran los animales. Además, en el experimento 1 se realizó una medida al inicio del mismo y en los experimentos 2 y 3 una medida al final (Cuadro 6).

El diámetro de las puntas utilizadas varió entre fechas de medición, según dureza del suelo, pero todas fueron transformadas a unidades equivalentes.

Cuadro 6: Resumen de las fechas de medición de resistencia mecánica para cada experimento.

Fecha	Experimento N°	Momento
12/3	1	Antes de inicio de ensayos
26/7	1, 2 y 3	Previo al 1 <sup>er</sup> pastoreo
7/9	1, 2 y 3	Previo al 2 <sup>do</sup> pastoreo
30/11	2 y 3	Final de ensayos

#### 3.4.4.2 Rugosidad

Esta variable representa el grado de deformación que sufre la superficie del suelo como consecuencia del pisoteo animal.

El 11 de agosto, por única vez, en los tres experimentos después del primer pastoreo se hicieron tres lecturas con el rugosímetro por parcela de laboreo. Se tomaron 31 medidas a lo largo de un metro desde una barra horizontal fija hasta la superficie del suelo. Se calculó el desvío estándar de esas medidas y se realizó el promedio del desvío de las tres lecturas para obtener el valor de rugosidad de ese suelo.

Se tuvo la precaución de realizar las medidas en el mismo sentido que las líneas de siembra para evitar que la rugosidad debida al propio sistema de laboreo afectara los resultados. Otra solución hubiera sido la realización de una medición previa al pastoreo, para luego realizar una corrección de los resultados posteriores al mismo a través de un análisis de covarianzas, medida que fue desechada por no observarse mayores diferencias de rugosidad al mes de julio entre las parcelas de laboreo

#### 3.4.4.3 Densidad aparente

Esta variable se midió el 3 de noviembre, al final del período de tiempo que duró el trabajo de campo, una vez que cada experimento había sido pastoreado en tres oportunidades.

Se extrajeron dos muestras imperturbadas de suelo, por parcela de laboreo, con las cuales se formó una muestra compuesta. El volumen de suelo de cada una de esas submuestras era el de un cilindro de 5 centímetros de diámetro y 6 centímetros de altura efectiva, ya que el suelo de los dos primeros centímetros del perfil que ocupaba el volumen de 2 anillos de 1 centímetro de altura cada uno era eliminado. O sea que la densidad aparente que se estudió corresponde al intervalo de perfil del suelo comprendido entre los 2 y 8 centímetros de profundidad. Las muestras se secaron en una estufa a 105 grados para obtener el peso seco, que junto al dato del volumen del cilindro se utilizó para calcular el valor de densidad aparente de las diferentes parcelas.

#### 3.4.4.4 Estabilidad estructural y escurrimiento

Estas variables se midieron mediante el uso de un microsimulador de lluvias tipo LUN (Kamphrost, 1987), en las parcelas de laboreo. Las medidas se realizaron el 3 de noviembre al final del trabajo de campo en los tres experimentos y ya había sido realizada el 19 de marzo, previo al inicio del ensayo, en el experimento 1 para evaluar el efecto del sistema de laboreo aplicado durante los 4 años anteriores. En ambas oportunidades el procedimiento fue el mismo.

Una superficie de suelo de 0.0625 metros cuadrados, que es el área que ocupa dicho aparato, fue previamente limpiada de todo material vegetal y humedecida homogéneamente, con el fin de que la cobertura no interfiriera en la determinación. Inmediatamente después se puso en marcha el microsimulador, el cual arrojó 21.6 milímetros de lluvia durante 3 minutos.

El agua que escurrió junto con la tierra que se erosionó, fueron colectadas en recipientes y selladas inmediatamente para evitar pérdidas. Previamente a que los recipientes se metieran en la estufa para evaporar el agua, se pesaron para poder calcular el escurrimiento y luego se volvieron a pesar para obtener el peso de la tierra seca con el cual se pudo calcular la erosión.

### 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos de cada una de las variables estudiadas en los experimentos realizados en esta tesis, fueron analizados estadísticamente usando el programa SAS (Sas Institute Inc.).

Las medias se compararon según los contrastes ortogonales que se describen a continuación. Los mismos son diferentes según el tipo de diseño experimental de la variable (Cuadro 7, 8 y 9). Cuando se presenta la diferencia mínima significativa (DMS) es como medida del error experimental.

Cuadro 7: Contrastes realizados para determinar la significancia de la respuesta al sistema de laboreo.

Nombre del contraste	Laboreo intensivo	Laboreo reducido	Siembra directa
SD vs Otros	-1	-1	2
LI vs LR	1	-1	0

Cuadro 8: Contrastes realizados para determinar la significancia de la respuesta a la fertilización nitrogenada.

Nombre del contraste	N 0	N 50	N 100	N 150
N 0 vs Otros	3	-1	-1	-1
N 50 vs Otros	0	2	-1	-1
N 100 vs N 150	0	0	1	-1

Cuadro 9: Contrastes realizados para determinar la significancia de la respuesta diferencial a los sistemas de laboreo e interacciones.

Nombre del contraste	Laboreo intensivo				Laboreo reducido				Siembra directa			
	0	50	100	150	0	50	100	150	0	50	100	150
Dosis de N	0	50	100	150	0	50	100	150	0	50	100	150
SD vs Otros, N 0 vs N otros	-3	1	1	1	-3	1	1	1	6	-2	-2	-2
SD vs Otros N 50 vs N otros	0	-2	1	1	0	-2	1	1	0	4	-2	-2
SD vs Otros N100 vs N 150	0	0	-1	1	0	0	-1	1	0	0	2	-2
LI vs Lr N 0 vs N otros	3	-1	-1	-1	-3	1	1	1	0	0	0	0
LI vs Lr N 50 vs N otros	0	2	-1	-1	0	-2	1	1	0	0	0	0
LI vs Lr N 100 vs N 150	0	0	1	-1	0	0	-1	1	0	0	0	0

Este análisis fue realizado en todos aquellos casos en que no se especifique lo contrario en la sección de discusión y resultados.

### 3.6 LLUVIAS OCURRIDAS DURANTE EL PERÍODO

Sistematicamente luego de cada lluvia, se midió la magnitud de las mismas mediante un pluviómetro que se encuentra situado dentro del mismo campo experimental de I.N.I.A. Treita y Tres. Las cantidades de agua caída en cada una de esas lluvias se muestra en el cuadro 10.

Cuadro 10: Precipitaciones ocurridas durante el ciclo.

FECHA	mm	FECHA	mm	FECHA	mm
2-mar	8,3	29-abr	2,1	7-jul	0,8
3-mar	7,1	4-may	1,3	20-jul	11,9
9-mar	36,5	12-may	1,9	21-jul	0,8
10-mar	12,3	18-may	32,4	25-jul	115,7
19-mar	29	24-may	91	3-ago	1,6
20-mar	0,8	27-may	1,6	5-ago	4,3
27-mar	1,5	8-jun	12,9	11-ago	3,5
7-abr	64,5	9-jun	16,8	24-ago	49,5
13-abr	14,7	10-jun	5,8	25-ago	40,1
16-abr	1,5	11-jun	4,5	2-sep	38,5
19-abr	171	15-jun	1,8	8-sep	1
24-abr	29,7	18-jun	18	14-sep	6,8
26-abr	2,5	1-jul	50,3	26-sep	9,8
28-abr	1,7	6-jul	33,5		

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 IMPLANTACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL

#### 4.1.1 Im lantación

La bibliografía no cita ningún efecto contundente que pudieran tener los diferentes sistemas de laboreo sobre el número de plantas logradas, por el contrario, los efectos han sido muy variables. Por ejemplo, algunos autores dicen que el uso de inadecuados trenes de siembra (Izaurre et al., 1986; Karlen et al., 1987) y la presencia de microorganismos patógenos que sobreviven en el rastrojo de cultivos anteriores (Martino 1997), han determinado menor número de plantas en siembra directa con respecto al laboreo convencional.

Por otro lado se cita que en años secos, el mayor contenido de humedad de los suelos bajo siembra directa lleva a un número de plantas establecidas mayor. Además se establece que en otro importante número de situaciones, no hay diferencias estadísticamente significativas en implantación (Terra et al., 1997).

En los tres experimentos llevados a cabo (experimento 1 CC, experimento 2 RL, experimento 3 RC) los resultados obtenidos en el análisis de varianza y en todos los contrastes realizados, muestran que no hubieron diferencias significativas en el momento en que se realizó el conteo (Figura 1; Anexo I. 1, 2 y 3).

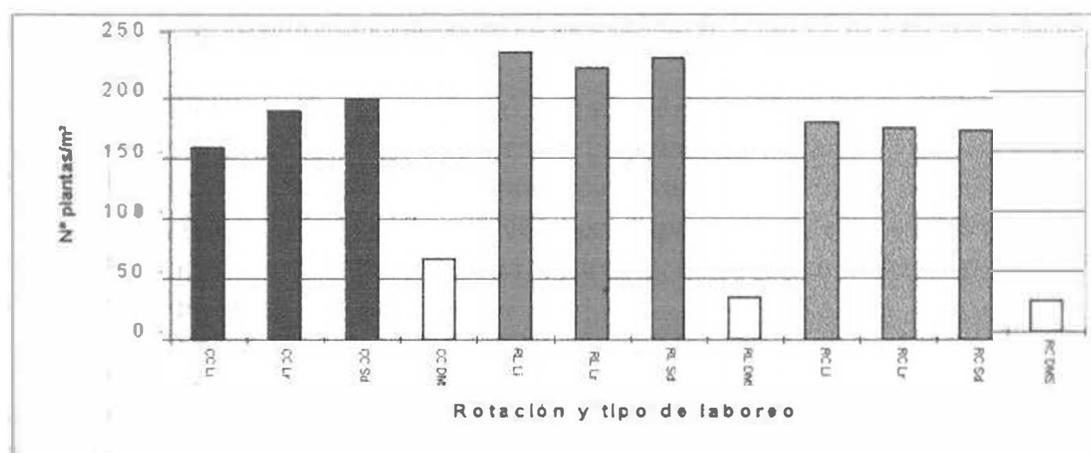


Figura 1: Comparación del nivel de implantación logrado en función del sistema de laboreo para los tres experimentos (21 de mayo).

Estos resultados se pueden explicar por varios factores. En primer lugar, la utilización de una sembradora de siembra directa, con un adecuado tren de siembra para colocar la semilla en un correcto contacto con el suelo, incluso en aquellas parcelas de cero laboreo, contribuye en gran medida a eliminar diferencias entre los tres tratamientos.

También se considera menor el efecto que pudieran haber tenido los microorganismos patógenos en las parcelas de siembra directa. Esto se explica por el hecho que los cultivos antecesores al verdeo en los experimentos 2 y 3 estaban constituidos por especies diferentes al trigo, ya que eran praderas. El hecho de ser de especies diferentes tiene como consecuencia que sean hospederos de distintos microorganismos, y eso implica que la posibilidad de enfermedades en común sea menor. Como además dichas praderas se pastorearon, se redujo en gran medida el nivel de rastrojo que quedó sobre el suelo, el cual podría haber sido vehículo de infección de esos microorganismos.

En el experimento 1, en cambio, los cultivos antecesores de la secuencia tales como maíz, avena, trigo y raigrás, tienen huéspedes en común con el trigo que se plantó en este ensayo y por lo tanto serían más apropiados para propagar a esos microorganismos en el tiempo. Sin embargo el hecho que esos verdeos hayan sido pastoreados y el maíz cortado para ensilar y por lo tanto el nivel de rastrojo haya sido reducido, tendría como consecuencia una minimización del efecto de aquel.

La no existencia de diferencias estadísticamente significativas en el experimento 1 relativiza el efecto que las propiedades físicas tendrían sobre la implantación. Tal es así que mientras las parcelas de siembra directa podrían estar mostrando los beneficios o mejoras citadas por la bibliografía, las de laboreo intensivo estarían mostrando las severas consecuencias de un manejo tan poco conservacionista.

Los elementos indicadores de la degradación que han sufrido las parcelas de laboreo intensivo son entre otros una menor cantidad de materia orgánica, una menor estabilidad de agregados y factores de apreciación visual tales como pequeños surcos de erosión, que podrían estar indicando una clara predisposición de esos suelos a encostrarse, causando una menor implantación. Esta aparente contradicción hace pensar que se requeriría mayor investigación al respecto.

En los experimentos 2 y 3, no sería lógico pensar en diferencias en la condición física del suelo tan contrastantes entre los sistemas de siembra directa y laboreo intensivo, ya que el verdeo en ambos experimentos fue cabeza de rotación. Por lo tanto el suelo todavía tendría una buena condición física en todos los sistemas de laboreo, considerando que aún se conservan las propiedades mejoradas heredadas de la etapa de pasturas, por lo que sería lógico que no se afecte la implantación por esta causa.

#### 4.1.2 Crecimiento inicial

La bibliografía cita que el crecimiento inicial de un cultivo, generalmente es menor en siembra directa en relación a los otros sistemas de laboreo, aunque hay algunas situaciones en las que esto no ocurre. Los principales factores que explican dicho comportamiento son la temperatura, la compactación, los microorganismos del suelo (enfermedades) y el estatus nutricional.

Desde el punto de vista de la temperatura, ésta suele ser menor en siembra directa que en los otros sistemas de laboreo, lo cual implica un desarrollo más lento de la fase vegetativa. Dicho efecto se debe a una menor acumulación de grados día en el ápice de las plantas y a una depresión del estatus nutricional debido a cambios en la dinámica de N (Ernst et al., 1997).

Con respecto a la compactación su efecto es menor al de la temperatura (Ernst et al., 1997) y provoca un crecimiento radicular más lento cuando se superan los niveles críticos de densidad aparente y resistencia a la penetración, 1.7 g/cm<sup>3</sup> (Chan et al., 1992) y 2 Mpa respectivamente (Kirkegaard et al., 1994). En sistemas de siembra directa que ya tienen años de funcionamiento, el hecho de que haya más macroporos continuos contrarrestaría dicho efecto (Chan et al., 1987).

Por último, se cita que las reducciones del crecimiento inicial en las parcelas de siembra directa, por la acción de microorganismos causantes de enfermedades que se encuentran en el rastrojo, pueden ser de hasta un 65% (Kirkegaard et al., 1995). Este factor es considerado uno de los principales, ya que en algunos experimentos en los que se esterilizó el suelo, esas diferencias desaparecieron (Chan et al., 1992).

Al no haber interacción entre el sistema de laboreo y la fertilización nitrogenada en los tres experimentos de esta tesis (Anexo VIII. 1, 4 y 7), y por lo tanto no ser la respuesta al laboreo diferencial para cada dosis de N, se pudo estudiar el efecto que el laboreo tiene sobre el crecimiento inicial.

En ninguno de los tres experimentos existieron diferencias significativas en dicha variable (Anexo VIII. 1, 4 y 7 y cuadro 11), pero si hubo una tendencia en el experimento 1. Esta tendencia puede visualizarse a través del resultado que arroja el contraste que compara el crecimiento inicial bajo siembra directa contra el ocurrido en el promedio de los otros dos sistemas de laboreo, que establece que la primera presenta menor producción que el promedio de los otros con un 0.12 de probabilidad de error de tipo I.

Cuadro 11: Análisis de varianza y valor de DMS para las variables nitrato a la siembra (ppm), nitrato al macollaje (ppm) y crecimiento inicial del experimento 1.

Tipo de laboreo	N-NO <sub>3</sub> (Siembra)	N-NO <sub>3</sub> (Mac.)	Crecimiento inicial (kgMS/há)
Laboreo intensivo	10.77	10.038	1550.7
Laboreo reducido	7.17	6.3	1461.95
Siembra directa	6.52	6.25	1403.98
DMS	2.43	2.95	159.6
Sd y otros (Pr>F)	0.0294	0.1162	0.12
Lvs Lr	0.011	0.0213	0.22

En términos generales (sobre todo en los experimentos 2 y 3) los resultados no concuerdan con la bibliografía, pero los mismos fundamentos citados en ella para explicar las diferencias pueden ser considerados para explicar esta situación particular.

En siembra directa la temperatura es menor debido a que el rastrojo aísla al suelo del ambiente, su color claro no absorbe la radiación y la mayor humedad consecuencia de ese rastrojo, provoca un aumento del calor específico del suelo y por lo tanto se requiere más energía para calentarlo. Entonces, las diferencias de temperatura del suelo entre los tratamientos pueden haber sido mínimas debido a la presencia de un rastrojo de menor volumen que el de los trabajos citados por la bibliografía y por lo tanto un efecto aislante menor. Esto sería producto del pastoreo que existió en los experimentos 2 y 3 y al corte del maíz para silo del experimento 1. Además durante el período de crecimiento inicial, las precipitaciones fueron tan abundantes que el contenido de humedad del suelo fue alto sin importar el sistema de laboreo.

Con respecto al efecto que los microorganismos del suelo pudieron tener, se piensa que dicho efecto no operó en los experimentos 2 y 3 ya que las praderas antecesoras en ambos, no eran hospederos de las mismas enfermedades que atacan al trigo y al raigrás. Que este efecto no haya sido considerable en el experimento 1, en el cual los cultivos antecesores sí eran hospederos de enfermedades en común, se explica por las mismas razones detalladas para la implantación. De todas maneras, la tendencia observada en este experimento, de un menor crecimiento inicial en las parcelas de siembra directa podría explicarse parcialmente por un mayor ataque microbiano. Esta tendencia también puede ser explicada por el nivel de N-NO<sub>3</sub> en el suelo al momento de la siembra y del macollaje, ya que en los tratamientos de laboreo intensivo fue estadísticamente superior (Cuadro 11), concordando con la bibliografía que cita que el crecimiento inicial se beneficia con un mejor estatus nutricional (Anexos VII. 4 y 10).

Con respecto a la resistencia a la penetración medida previo al corte, ésta fue significativamente superior en los tratamientos de siembra directa en los primeros 10 cm de suelo (Anexo III. 2 y figura 6).

Sin embargo, las diferencias en la compactación tampoco habrían afectado al crecimiento inicial. Esto se puede explicar por el hecho de que en ningún caso los valores registrados alcanzaron a los citados por la bibliografía como limitantes para el desarrollo radicular. Los resultados obtenidos en el experimento 2 ejemplifican claramente esta situación, ya que en él, en las parcelas de siembra directa el 26 de julio (Anexo III. 2, 3 y 4) se registraron los valores más altos de resistencia a la penetración en los primeros cm del suelo y sin embargo fue en éstas donde se midió el mayor crecimiento inicial (Anexo VIII. 1, 4 y 7) (esta afirmación toma en cuenta la información de todos los experimentos).

## 4.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Previo al inicio de los experimentos correspondientes al trabajo de campo de esta tesis, en el experimento 1, fueron realizadas medidas de estabilidad estructural a través de la resistencia a la erosión, de escurrimiento y de resistencia a la penetración del suelo.

Estas medidas se realizaron por parcela de laboreo, para ver si reflejan el efecto que ha tenido el manejo previo sobre el suelo. En éste experimento, previo al inicio de este ensayo (marzo de 1998), los sistemas de laboreo estudiados ya habían sido repetidos en 6 oportunidades, desde el invierno de 1995, a razón de dos cultivos por año.

### 4.2.1 Estabilidad estructural

La bibliografía indica que en sistemas de siembra directa, la estabilidad de los agregados es superior a las que se ha medido en sistemas labrados. Según la misma esto se explica por mayor contenido de materia orgánica (Choudhary et al., 1997), escaso daño directo de las gotas de lluvia sobre el suelo durante los periodos de barbecho (por tener cobertura vegetal) (Díaz et al., 1980) y por la agregación y mezclado del suelo que realiza su fauna. Cabe aclarar que toda esta información proviene de experimentos con cultivos graníferos y sin pastoreo, lo cual difiere de la situación existente en los experimentos de la presente tesis.

En el experimento 1, al medir, como indicador de estabilidad estructural la erosión que era provocada por la lluvia aplicada con un micros simulador, se observó una tendencia similar a lo que ocurre en sistemas de producción de grano a pesar de tratarse de un sistema forrajero (Anexo II. 1 y figura 2).

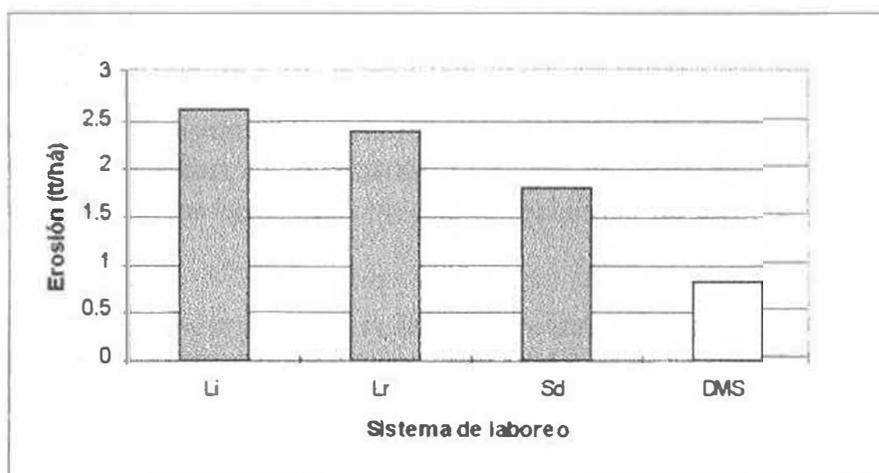


Figura 2: Efecto de 6 cultivos seguidos con distintas intensidades de laboreo sobre la estabilidad estructural (erosión) previo al inicio del ensayo en el experimento 1 (19 de marzo).

La diferencia queda evidenciada por los resultados obtenidos al contrastar siembra directa contra los sistemas laboreados. En dicho análisis en siembra directa la erosión es menor al promedio de los sistemas laboreados con un 0.053 de probabilidad de error (Anexo II. 1)

Con respecto al contenido de carbono orgánico, al comparar los sistemas de laboreo y las rotaciones, los resultados se muestran en el gráfico 3.

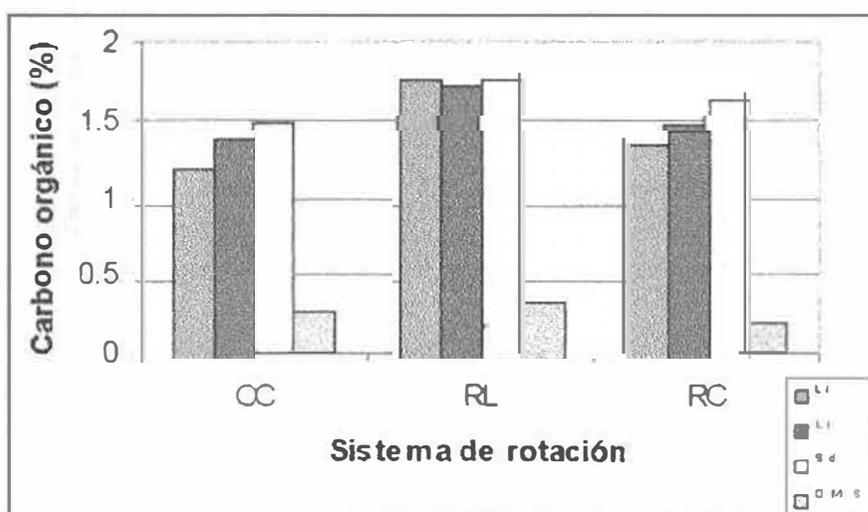


Figura 3: Efecto de la intensidad de laboreo y la historia de chacra sobre el % de carbono orgánico previo a la siembra del verdeo (30 de marzo).

El pastoreo produce daño directo sobre la estructura del suelo y retira material orgánico, evitando que este sea incorporado al suelo. Esto podría explicar porqué las diferencias observadas en el experimento 1 no fueron tan contundentes como las citadas por la bibliografía para sistemas de laboreo establecidos hace varios años en cultivos de grano, aunque de todas formas el contenido de carbono orgánico en siembra directa fue superior al promedio de los otros dos con una probabilidad de error de 0.1476 (Figura 3 y anexo II. 3).

Con respecto al escurrimiento se indica que inmediatamente después del laboreo y por poco tiempo más (dependiendo dicho período del nivel de lluvias), el escurrimiento es menor en laboreo intensivo que en siembra directa, pero luego de un período de tiempo los escurrimientos se igualan, e incluso en la gran mayoría de los estudios (Backer, citado por García 1997) la infiltración en siembra directa es mayor, lo cual estaría indicando un menor escurrimiento.

En el experimento 1, según las medidas realizadas previo al inicio del ensayo, luego de un cultivo de maíz para silo que no fue pastoreado, no hubieron diferencias significativas en escurrimiento entre los sistemas de laboreo (el contraste "sd vs otros" indica que serían diferentes con una significancia de 0.32). Si bien el escurrimiento en la siembra directa del ensayo de la presente tesis fue el menor, no se observa ninguna tendencia clara (Anexo II. 2 y figura 4).

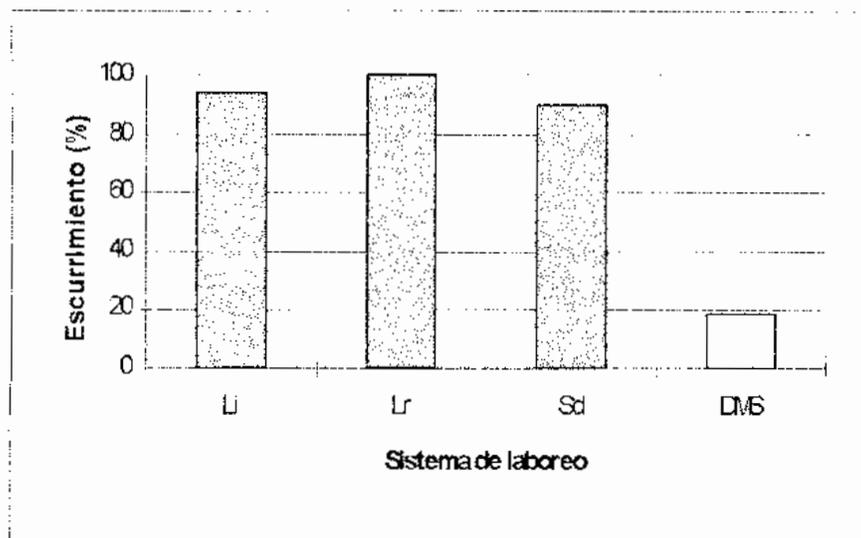


Figura 4: Efecto de 6 cultivos seguidos con diferentes intensidades de laboreo sobre el % de escurrimiento previo al inicio del ensayo (experimento 1)

Diversos efectos podrían ser la causa de la ausencia de diferencias. La más probable es que la precisión de la determinación (número de repeticiones) no fue

suficiente. Además, en este caso en que el cultivo anterior a la medición no fue pastoreado pero sí los cultivos previos al mismo, una mayor infiltración en las parcelas de siembra directa explicada por un mayor número de macroporos continuos no sería esperable. Esto se debe a que el pisoteo ocurrido durante los cultivos previos no permitió que se exprese la mejoría en el número y largo de macroporos esperable bajo siembra directa.

Al momento de realizarse las medidas, se podría haber visto algún efecto residual del laboreo del suelo (mayor rugosidad) en las parcelas sometidas a dicho tratamiento, disminuyendo el escurrimiento en relación a la siembra directa, ya que desde el laboreo hasta la fecha en que se realizó la medición no fueron pisoteadas por animales. Sin embargo las intensas lluvias ocurridas durante todo el ciclo del cultivo de maíz hicieron desaparecer ese efecto, e incluso mientras el cultivo no cubrió el suelo, por acción de las gotas de lluvia que provocan desagregación de partículas, podría haber ocurrido un encostramiento del mismo, el cual aumentaría el escurrimiento. El balance de todos estos efectos, sumado a que en todas las parcelas se retiró el material vegetal de la superficie previo a la medición, podrían explicar la ausencia de diferencias en escurrimiento entre los sistemas de laboreo.

#### 4.2.2 Resistencia a la penetración

La información bibliográfica acerca del efecto que tienen los diferentes sistemas de laboreo sobre la resistencia a la penetración del suelo a lo largo del perfil del mismo, es variable. El rango de variación de dicha información comprende desde investigadores que no han encontrado diferencias hasta aquellos que sí han observado diferencias en los primeros 30 cm de profundidad.

En general, cuando los resultados muestran diferencias, se indica que la resistencia a la penetración es mayor en siembra directa en los primeros cm del perfil de suelo.

Estudiando que sucede a mayor profundidad, hay autores que dicen que la tendencia se continúa, en cambio hay otros que indican que entre los 10 y 25 cm de profundidad en los sistemas bajo laboreo, la presión que ejercen los implementos de labranza lleva a una zona más compactada y por ende mayor resistencia a la penetración (Blanco et al., 1996).

En general, por debajo de los 30 cm de profundidad, no se detectan diferencias entre los sistemas de laboreo.

En las mediciones realizadas en el mes de marzo en el experimento 1, luego de 6 cultivos consecutivos sembrados aplicando los diferentes sistemas de laboreo durante 4

años (Figura 5), se destaca la existencia de diferencias estadísticamente significativas en resistencia a la penetración hasta los 10 cm de profundidad (Anexo III. 1).

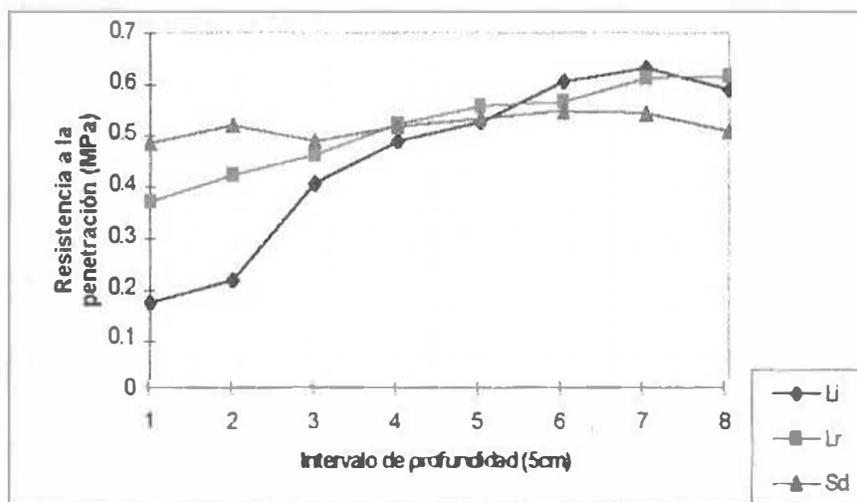


Figura 5: Efecto de 6 cultivos consecutivos con diferentes intensidades de laboreo sobre la resistencia a la penetración previo al inicio del ensayo en el experimento 1 (12 de marzo).

Dichas diferencias presentan una clara interacción con la profundidad. Hasta los 10 cm, el sistema de siembra directa es el que presenta mayores niveles de resistencia a la penetración. Al contrastar siembra directa contra el promedio de los sistemas laboreados, la primera presenta mayor resistencia a la penetración con una probabilidad de error de 0.0001 y 0.0034 (Anexo III. 1) para el intervalo de 0-5 cm y el de 5-10 cm de profundidad respectivamente. Este hecho se explica porque en los otros dos sistemas de laboreo, el suelo fue aflojado en la primavera anterior, no sufrieron pisoteo desde entonces y por lo tanto mantienen un claro efecto residual en este aspecto, a pesar de las fuertes lluvias ocurridas en el verano.

Por debajo de los 10 cm de profundidad, ya no se detectan diferencias estadísticas en resistencia a la penetración entre los diferentes laboreos y tampoco se observa la presencia de zonas de mayor compactación (debido al uso de implementos de laboreo).

Estos resultados son relativamente coincidentes con los de la bibliografía, es decir aparecen claras diferencias de resistencia a la penetración en superficie que desaparecen al aumentar la profundidad. Pero sería esperable que los suelos poco estructurados, marginalmente agrícolas (como el argisol de la Unidad Alférez donde se llevo a cabo este experimento), sean más susceptibles a daño por laboreo que los suelos de mayor aptitud

agrícola, donde habitualmente se llevan a cabo éste tipo de experimentos de sistemas de laboreo en cultivos, que generan la mayoría de la información consultada.

Cuando 4 meses más tarde (26 de julio), luego de haber aplicado los tratamientos de laboreo a las parcelas se midió nuevamente esta variable, los resultados obtenidos difirieron de los anteriores (Figura 6). Al realizar un nuevo ciclo de laboreo, se vio que hasta los 10 cm de profundidad, el tratamiento de siembra directa seguía presentando los mayores niveles de resistencia a la penetración y el tratamiento de laboreo intensivo los menores (Anexo III. 2), concordando con lo ocurrido en la fecha anterior. En cambio, entre los 10 y los 30 cm de profundidad, los resultados se invirtieron, siendo el laboreo intensivo el de mayores niveles de resistencia a la penetración, lo cual podría estar indicando la formación de una zona de compactación como consecuencia del laboreo. Por debajo de dicha profundidad no se observaron diferencias en resistencia mecánica.

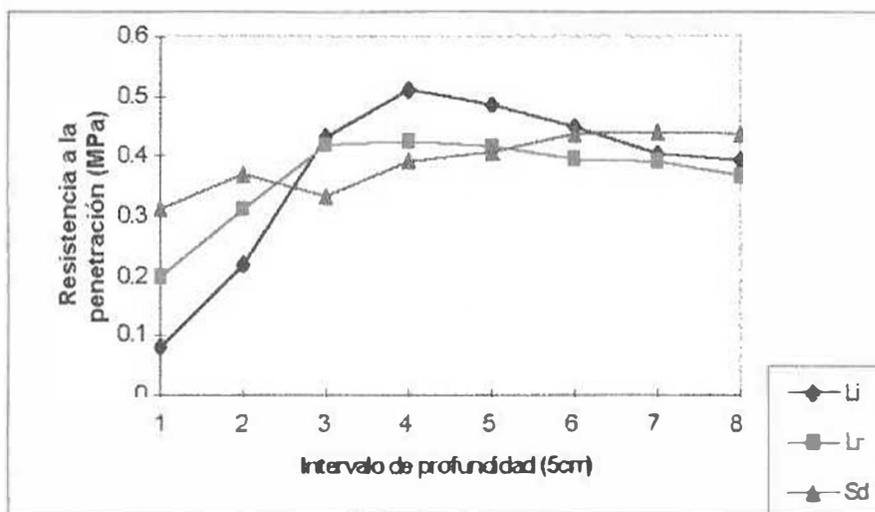


Figura 6: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la resistencia a la penetración en el experimento Iprevio al primer pastoreo (26 de julio)

Así es que para los dos primeros intervalos de profundidad, la siembra directa presenta mayor resistencia a la penetración que el promedio de las parcelas laboreadas con una probabilidad de error de 0.0013 y 0.0127 respectivamente. En cambio, en los dos intervalos siguientes (de 10 a 15 y de 15 a 20 cm), la resistencia a la penetración en siembra directa es menor a la del promedio de los sistemas laboreados, con una probabilidad de error de 0.0127 y 0.0824 respectivamente (Anexo III. 2). Para los dos primeros intervalos se destaca además que el laboreo reducido se encuentra con mayor resistencia a la penetración que el laboreo intensivo.

Esta aparente contradicción entre las medidas del 12/3 y el 26/7 puede deberse a que el laboreo realizado para implantar el verdeo haya causado una pequeña zona

compactada en las parcelas de laboreo intensivo. En el mes de julio, cuando se realizó esa medición con el penetrómetro, el suelo estaba saturado de agua en los tres tratamientos, lo cual permite compararlos entre sí. Sin embargo no se puede concluir si los niveles de resistencia a la penetración medidos en la zona compactada en el mes de julio, restringen el crecimiento radicular o si son un problema grave en estos suelos, ya que el valor absoluto no sería interpretable.

En el mes de marzo, las condiciones de homogeneidad de humedad a lo largo del perfil y entre parcelas de laboreo no estarían dadas, lo cual hace que la interpretación de las medidas efectuadas en dicho momento sea limitada. Esto podría afirmarse a pesar que los niveles de humedad en aquel momento eran importantes, en torno a capacidad de campo, pero posiblemente no eran homogéneos en el perfil.

Cuando se evaluó en el mes de julio, para los experimentos 2 y 3 la resistencia a la penetración (Figuras 7 y 8 respectivamente), con las mismas condiciones de humedad que las existentes en el experimento 1, solo se encontraron diferencias significativas hasta los 10 cm de profundidad y por debajo no se observó tendencia alguna (Anexo III. 3 y 4). Los contrastes muestran que en los primeros 5 cm las parcelas de siembra directa presentaban mayor resistencia a la penetración que el promedio de las laboreadas con una probabilidad de error de 0.0028 y 0.0001 para los experimentos 2 y 3 respectivamente; además en el experimento 2 bajo laboreo reducido la resistencia a la penetración era mayor a la del laboreo intensivo. Para el intervalo de 5 a 10 cm se observaron diferencias en el mismo sentido que en el intervalo anterior, pero las probabilidades de error eran de 0.057 y 0.044 para los experimentos 2 y 3 respectivamente.

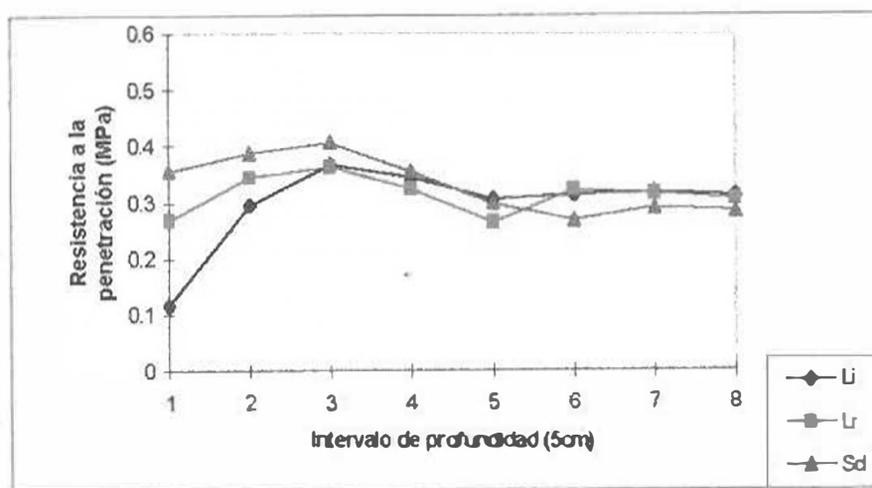
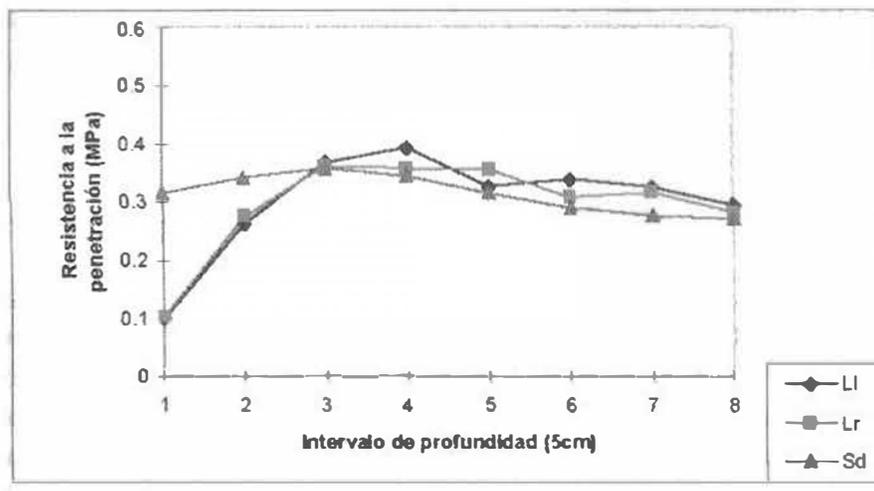


Figura 7: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la resistencia a la penetración previo al primer pastoreo en el experimento 2 (26 de julio)



**Figura 8:** Efecto de la intensidad de laboreo sobre la resistencia a la penetración previo al primer pastoreo en el experimento 3 (26 de julio).

Estos resultados confirman que la resistencia a la penetración en los primeros cm de suelo en siembra directa es mayor que en los otros sistemas evaluados, independientemente de la historia de chacra anterior, ya que estos resultados se repitieron en los tres experimentos. Las diferencias entre los experimentos están dadas por lo que sucede por debajo de los 10 cm de profundidad. Al respecto, se ve que en los experimentos 2 y 3, cuyos cultivos antecesores fueron pasturas, entre los 10 y los 30 cm, no hubo diferencias de resistencia a la penetración entre tratamientos de laboreo. Esto se podría explicar por el hecho que en los experimentos 2 y 3, los resultados obtenidos corresponden al primer tratamiento diferencial de laboreo luego de la fase de pasturas. Por lo tanto no ha habido la acumulación de pequeños efectos diferenciales en compactación que ocurren de un ciclo de cultivo al siguiente por efecto del laboreo. Además, al ser los verdes cabeza de rotación, se parte de suelos con la estructura relativamente recuperada, por lo que se presentan menos susceptibles a ser degradados o compactados por un solo ciclo de laboreo, en tal magnitud que se expresen en diferencias significativas.

Además, se vio que independientemente del sistema de laboreo en ambos experimentos, entre los 15 y los 20 cm de profundidad hay una zona de mayor compactación (Figuras 7 y 8). Que no existan diferencias entre laboreos en resistencia a la penetración por debajo de los 15 cm, lleva a pensar que este fenómeno refleja una condición inherente al suelo o a la historia del mismo previo a la instalación de los experimentos. Por lo tanto, la existencia de una zona compactada, originada por el uso de estos suelos con cultivos de soja bajo laboreo convencional, podría explicar ese aumento de la resistencia a la penetración entre los 15 y 20 cm de profundidad.

Por debajo de los 30 cm, en estos dos experimentos al igual que en el 1, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, coincidiendo con lo citado por la bibliografía.

#### 4.2.3 Efecto del pisoteo animal sobre las propiedades físicas

La información existente indica que las pezuñas de los animales causan grandes perturbaciones al suelo. Los procesos vinculados a esas perturbaciones incluyen a la compactación, por lo tanto una disminución del espacio poroso, y al remodelado de ese suelo que debilita a los agregados (Proffitt et al., 1995). La magnitud de estos daños está dada por la fuerza que es capaz de ejercer el suelo para contrarrestar el peso de los animales (Wilkins et al., 1986) y depende, entre otras cosas, del contenido de humedad y del sistema de laboreo empleado. Cuanto mayor sea el contenido de humedad, menor será la resistencia a la penetración y por lo tanto mayor será el daño (Proffitt et al., 1995). Con respecto al sistema de laboreo, se ha visto que el aumento de resistencia a la penetración y de densidad aparente, cuando las parcelas se someten al pisoteo, es mayor en sistemas de laboreo intensivo que en los de siembra directa. También se asocia el nivel de deformación que sufre el suelo con la disminución de la capacidad de infiltración, ya que una mayor deformación provoca una mayor reducción de la infiltración. La disminución de la infiltración lleva a incrementar el nivel de agua libre en la superficie y como consecuencia se retroalimenta la susceptibilidad del suelo al daño por pisoteo (Proffitt et al., 1995).

Con respecto a la densidad aparente la bibliografía cita que como consecuencia del pisoteo animal, ésta se incrementa entre un 14 y un 17% en la primera pulgada de suelo, registrándose aumentos de la misma hasta los 20 cm de profundidad (Krenzer et al., 1997). En cuanto a la resistencia a la penetración, la bibliografía cita aumentos de hasta un 220% registrados en los 10 primeros cm del suelo, como consecuencia de dicho fenómeno. Ese aumento, se explica en parte por un incremento de la densidad aparente y por descensos del contenido de humedad debido a la disminución de la infiltración. Además se ha visto que dicho efecto persiste hasta los 33 cm de profundidad, aunque sea mucho menor la magnitud del mismo.

En los tres experimentos que forman parte de esta tesis se realizaron medidas de rugosidad. Para analizar los datos obtenidos, el razonamiento utilizado fue que cuanto más rugosa se encontró la superficie del suelo, mayor fue la deformación consecuencia del pisoteo y por lo tanto mayor el daño que recibió el mismo. Los resultados obtenidos muestran que en los experimentos 2 y 3 (Figura 9) hubo un claro efecto de la intensidad de laboreo frente al pisoteo en lo que respecta a rugosidad, en cambio no hubo diferencias significativas en el experimento 1 (Anexo IV. 1, 2 y 3). En los experimentos 2 y 3, la siembra directa presenta menor deformación como consecuencia del pisoteo que el

promedio de los sistemas laboreados (0.0014 y 0.0063 de probabilidad de error del contraste para los experimentos 2 y 3 respectivamente).

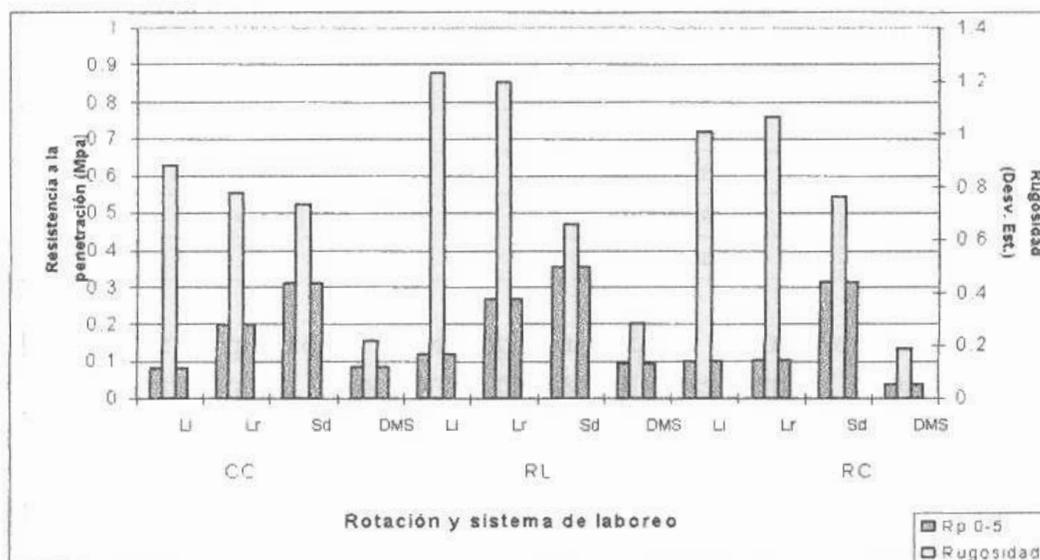


Figura 9: Medidas de rugosidad (11/8) y resistencia a la penetración (26/7) en superficie por sistema de laboreo, para los tres experimentos.

En ninguno de los experimentos se vio que el laboreo reducido haya sufrido menor deformación que el intensivo, ya que al comparar a ambos sistemas a través de un contraste se ve que serían diferentes con una probabilidad de error de 0.2839, 0.7861 y 0.4933 para los experimentos 1, 2 y 3 respectivamente. Esto indicaría que el hecho de que sea un laboreo más conservacionista, no necesariamente representa una menor susceptibilidad al daño por el pisoteo animal.

Coincidiendo con lo citado por la bibliografía, se vio que existió una fuerte relación entre la resistencia a la penetración del 26/7 (Anexo III. 2, 3 y 4) en los primeros 5 cm del suelo previo al primer pastoreo y el nivel de rugosidad (Anexo IV. 1, 2 y 3) alcanzado en los diferentes sistemas de laboreo posterior a ese pastoreo (Cuadro 12). La figura 9 muestra que a menor intensidad de laboreo, mayor resistencia a la penetración, o sea mayor fuerza ejercida por el suelo para soportar el peso animal y por lo tanto menor rugosidad.

Cuadro 12: Correlación lineal entre la resistencia a la penetración (Rp) de los 2 primeros intervalos de profundidad y la rugosidad en los tres experimentos.

Exp. N°	Variable independiente	Variable dependiente	R <sup>2</sup>
1	Rp 0-5 de julio	Rugosidad	<b>0.2478</b>
1	Rp 5-10 de julio	Rugosidad	0.2082
2	Rp 0-5 de julio	Rugosidad	<b>0.476</b>
2	Rp 5-10 de julio	Rugosidad	0.381
3	Rp 0-5 de julio	Rugosidad	<b>0.653</b>
3	Rp 5-10 de julio	Rugosidad	0.3155

El otro factor que según la bibliografía afecta a la rugosidad es la humedad del suelo. Cuando se realizaron los pastoreos en los tres experimentos, el suelo se encontraba a muy alto contenido de agua, o sea en las condiciones de más susceptibilidad al daño por pisoteo, lo cual indica que los resultados obtenidos podrían ser el daño potencial que pueden sufrir esos suelos.

Resulta difícil explicar porqué en el experimento 1 no se encontraron diferencias claras de rugosidad. Esto se contradice con lo esperable desde el punto de vista agronómico, ya que en este experimento, debido a su historia anterior, es donde hay mayor diferencia en propiedades físicas (estructura) entre los laboreos. Esto, junto a las diferencias en resistencia a la penetración, harían esperable diferencias en rugosidad entre laboreos mayores a las esperables en los otros experimentos.

También se estudió en que forma pudo haber afectado el pisoteo animal a la compactación. Ese análisis se basó en medidas de resistencia a la penetración realizadas antes y después del primer pastoreo.

Para el análisis, también debe ser considerado que entre esas dos medidas de resistencia a la penetración hay un mes de diferencia, lo cual implica diferentes niveles de humedad en el suelo en una y otra medición. Como consecuencia es incorrecto sacar conclusiones sobre la evolución de esta variable en términos absolutos. En cambio, sí se considera correcto comparar los sistemas de laboreo desde el punto de vista de la diferencia de resistencia a la penetración que hubo en cada uno de ellos entre las dos fechas de medición. Este análisis considera cierta la hipótesis de que la evolución del contenido de humedad entre las dos medidas fue similar en los tres sistemas de laboreo, o sea no hay interacción entre ambas variables. Como ese período, comprendido entre las dos medidas de resistencia a la penetración coincide con la etapa de máximo crecimiento del verdeo (momento en el cual es el cultivo el que determina el régimen hídrico) y como la producción fue similar, dicha hipótesis se considera válida.

Para realizar este análisis la variable resistencia a la penetración de los dos primeros intervalos de profundidad fue evaluada usando un diseño de parcelas divididas en el tiempo. Las parcelas grandes contenían a los tratamientos de laboreo y las chicas fueron las fechas (26/7 y 7/9). Lo primero que se analizó fue la significancia estadística de la interacción entre el laboreo y la fecha, ya que en caso de existir, indica que efectivamente el comportamiento evolutivo de la resistencia a la penetración entre los laboreos de un mismo experimento fue diferencial.

Los resultados obtenidos, muestran que la interacción entre el laboreo y la fecha existió hasta los 10 cm de profundidad en los experimentos 1 y 3 (Anexo X. 1,2,5 y 6). La probabilidad de dicha interacción en el experimento 1 fue de 0.0022 y 0.0394 para los intervalos de profundidad de 0 a 5 y de 5 a 10 cm respectivamente. En el caso del experimento 3 de 0.0314 y 0.0161 para dichos intervalos en forma respectiva. No se observó interacción en ningún intervalo del experimento 2 (Anexo X. 3 y 4), lo cual implica que no se pudieron detectar diferencias en la evolución de la resistencia a la penetración entre laboreos en este experimento, contrariamente a lo citado por la bibliografía.

Para poder comparar los sistemas de laboreo entre sí, se realizaron una serie de contrastes ortogonales, los cuales se aplicaron a los 2 primeros intervalos de profundidad del perfil, en los que se vio interacción. Los contrastes se realizaron tomando los laboreos de a pares en las tres combinaciones posibles (Cuadro 13). Si la resta (estimador en MPa) entre las diferencias que existieron entre fechas en el par evaluado no es significativa, implica que no es distinta de cero y por lo tanto el pisoteo ocurrido durante el pastoreo produjo un incremento en resistencia a la penetración similar en los dos sistemas de laboreo contrastados.

Cuadro 13: Diseño de los contrastes realizados para comparar la evolución de la resistencia a la penetración entre los sistemas de laboreo.

Laboreo Momento	Laboreo intensivo		Laboreo reducido		Siembra directa	
	1	2	1	2	1	2
Li vs Lr	-1	1	1	-1	0	0
Li vs Sd	-1	1	0	0	1	-1
Lr vs Sd	0	0	-1	1	1	-1

Cuadro 14: Nivel de significancia de los contrastes realizados con la resistencia a la penetración (Rp) y valor del estimador de la diferencia de las variaciones en resistencia a la penetración.

		Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
Variable	Contraste	Pr > F	Estimador	Pr > F	Estimador	Pr > F	Estimador
Rp 0-5	Li vs Lr	0.0216	0.2987	0.9848	0.00125	0.0258	0.2712
Rp 0-5	Li vs Sd	0.0007	0.5487	0.5585	0.0387	0.0173	0.2962
Rp 0-5	Lr vs Sd	0.0454	0.25	0.5711	0.0375	0.8115	0.025
Rp 5-10	Li vs Lr	0.1251	0.2237	0.0732	-0.127	0.052	0.1437
Rp 5-10	Li vs Sd	0.0133	0.4067	0.3371	-0.063	0.1689	0.0587
Rp 5-10	Lr vs Sd	0.2011	0.1825	0.3371	0.0637	0.0587	-0.085

En el cuadro 14, se puede observar que en las parcelas de laboreo intensivo hubo mayor compactación por pisoteo, coincidiendo con lo citado por la bibliografía. Esto se explica por la menor resistencia a la penetración que había previo al pastoreo, la cual también explicaba la mayor rugosidad. El laboreo reducido ocupa una posición intermedia entre el intensivo y la siembra directa, ya que en ésta última fue donde ocurrieron los menores cambios entre las dos medidas de resistencia a la penetración. Estas afirmaciones son válidas para los experimentos 1 y 3 y no para el experimento 2 (Figura 10, 11 y 12).

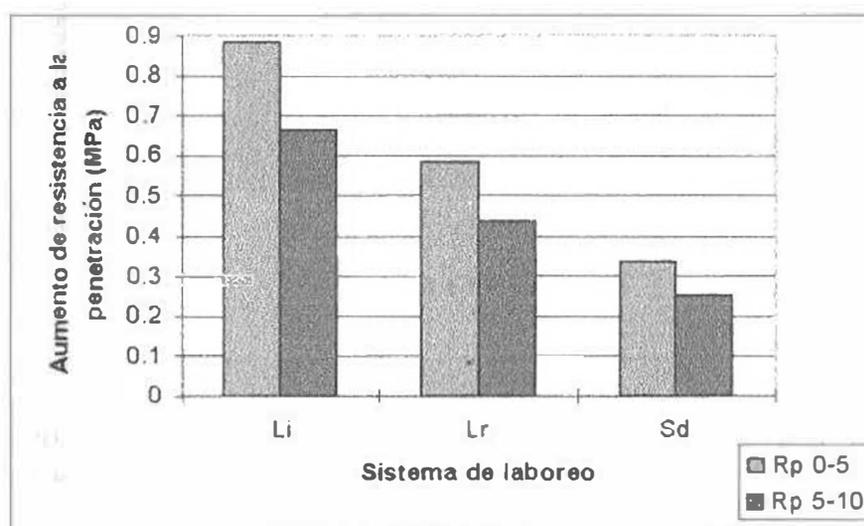


Figura 10: Variación de la resistencia a la penetración (entre el 26/7 y el 7/9) luego del pisoteo animal sufrido durante el primer pastoreo (experimento 1) en función del sistema de laboreo.

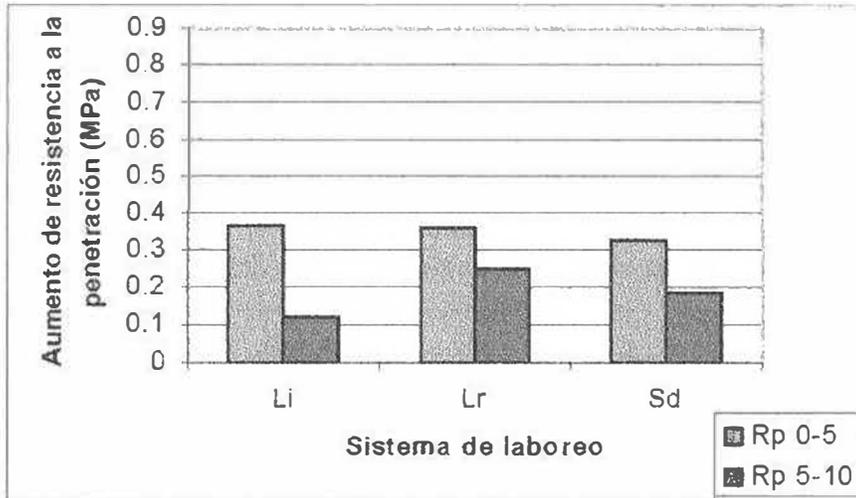


Figura 11: Variación de la resistencia a la penetración (entre el 26/7 y el 7/9) luego del pisoteo animal sufrido durante el primer pastoreo (experimento 2) en función del sistema de laboreo.

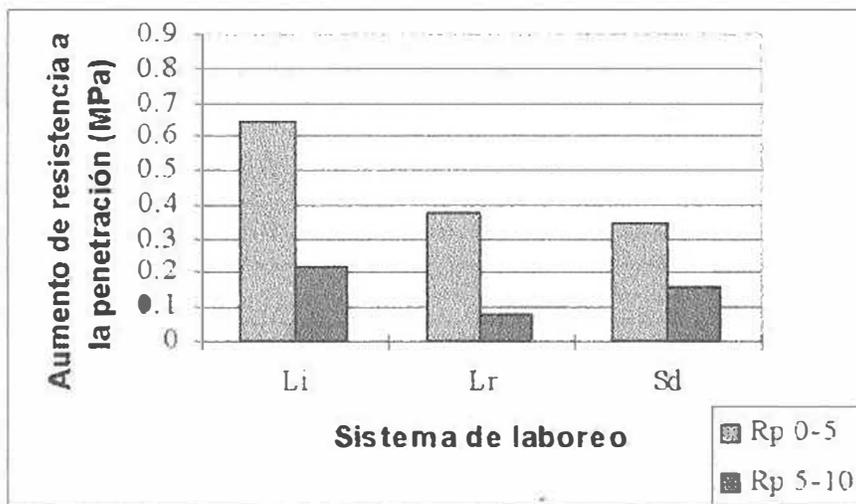


Figura 12: Variación de la resistencia a la penetración (entre el 26/7 y el 7/9) luego del pisoteo animal sufrido durante el primer pastoreo (experimento 3) en función del sistema de laboreo.

El estimador del contraste es el verdadero valor de la diferencia en variación de resistencia a la penetración, como consecuencia del pisoteo, ocurrida entre dos ratamientos de laboreo, ya que se estaría dejando de lado el efecto de la disminución de humedad que efectivamente ocurrió en el suelo entre las dos medidas.

En resumen, el pisoteo causó mayor rugosidad y compactación en las situaciones de mayor intensidad de laboreo.

A pesar de que el análisis anterior marca cierta diferencia en los resultados obtenidos en los experimentos 1 y 3 con respecto al 2, observaciones agronómicas que se expresan en las figuras 13, 14 y 15 permiten concluir que la tendencia a mayor compactación en las parcelas laboreadas también se cumple en este último.

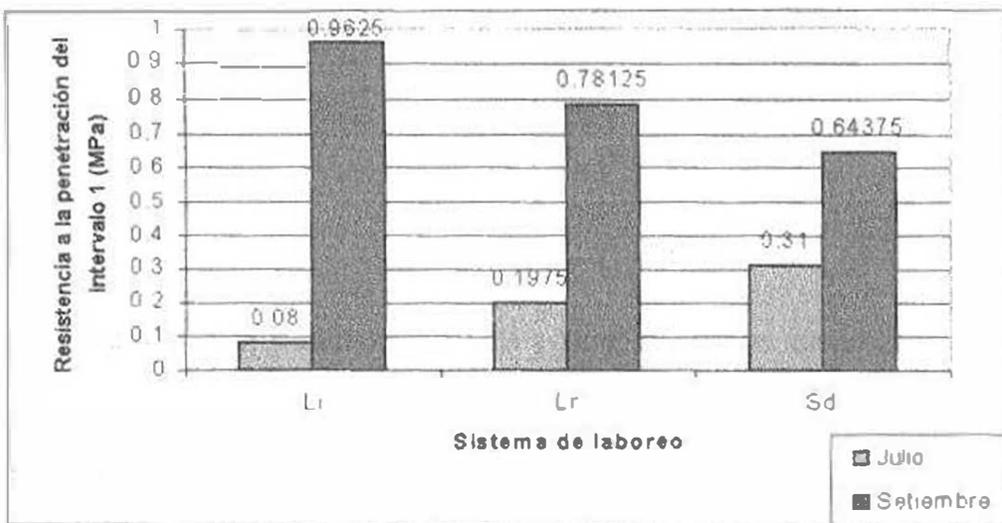


Figura 13: Resistencia a la penetración pre y post pastoreo en el experimento 1 para el primer intervalo de profundidad según el sistema de laboreo.

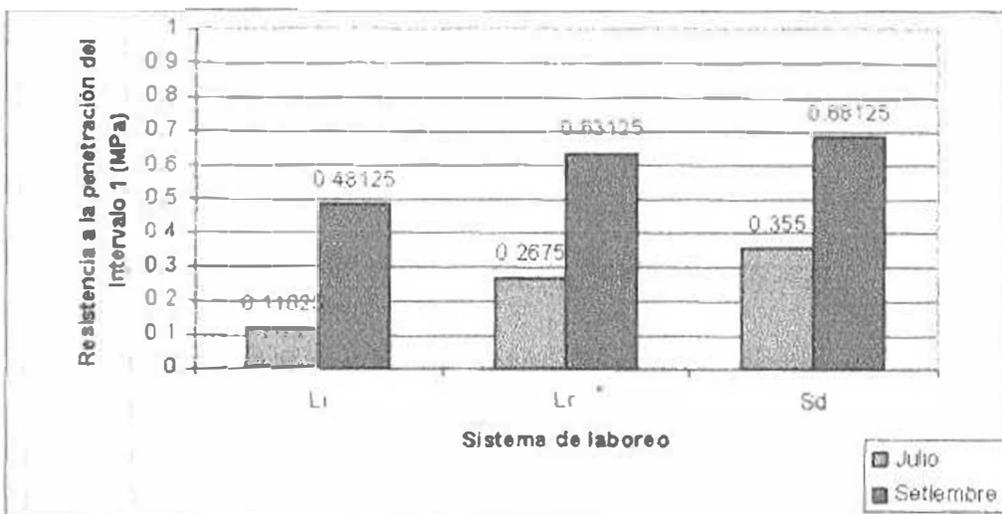


Figura 14: Resistencia a la penetración pre y post pastoreo en el experimento 2 para el primer intervalo de profundidad según el sistema de laboreo.

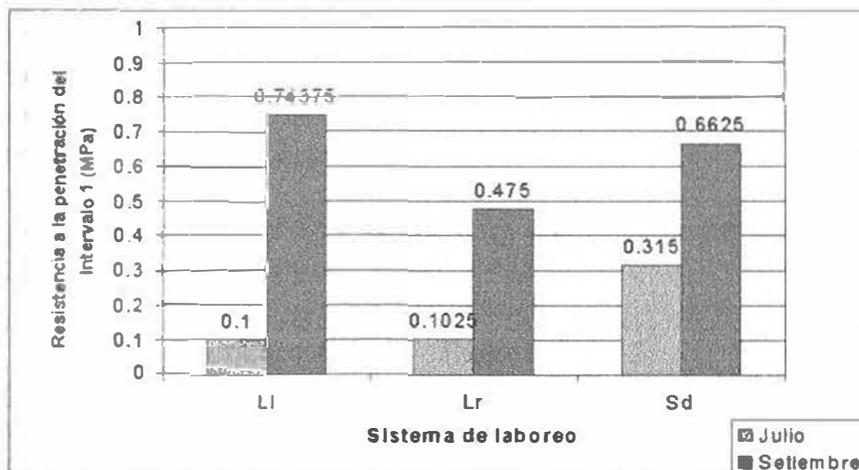


Figura 15: Resistencia a la penetración pre y post pastoreo en el experimento 3 para el primer intervalo de profundidad según el sistema de laboreo.

Las figuras 13, 14 y 15 muestran que el número de veces que aumenta la resistencia a la penetración en las parcelas bajo laboreo intensivo es invariablemente superior que el de las de laboreo reducido y este a su vez mayor que el de siembra directa. Esta observación es más contundente en los experimentos 1 y 3 que en el 2. Este fenómeno no fue corroborado estadísticamente, pero una posible explicación del mismo es la diferente intensidad de los sistemas de rotaciones que representan cada uno de los experimentos. Así es que la rotación menos intensa representada por el experimento 2, presentaría un suelo con mejor condición física que le permite tolerar mejor al pisoteo, entre otras cosas explicado por un mayor contenido de carbono orgánico en relación a las rotaciones más intensas (Figura 3).

#### 4.2.4 Efecto del pisoteo animal sobre el porcentaje de utilización

Con respecto al efecto que el pisoteo animal tiene sobre el porcentaje de utilización, la bibliografía cita que en los sistemas de laboreo menos intensivos, el efecto negativo es menor debido a la existencia de un mejor “piso”, y por lo tanto se realiza una mejor utilización de la pastura (Terra et al., 1997). Una de las principales razones, por las cuales el rechazo de materia seca en siembra directa es menor al de sistemas laboreados, es que la pastura no es tan enterrada y ensuciada (Proffitt et al., 1995b). Esto es consecuencia directa de una menor desagregación y deformación del suelo bajo siembra directa, debido a su mejor condición estructural.

Considerar solamente el porcentaje de utilización como variable indicadora del provecho que se obtiene de una pastura tiene ciertos inconvenientes, ya que por la propia

conducta de pastoreo animal, dicho porcentaje se ve afectado por la cantidad de materia seca disponible. O sea, que si el disponible es grande, un mayor porcentaje será utilizado, lo cual no implica que la pastura se haya aprovechado bien, ya que el rechazo puede ser grande también. Para evitar estos efectos es que se considera analizar al porcentaje de utilización junto con la cantidad de materia seca rechazada. Los resultados obtenidos en el primer pastoreo se muestran en el cuadro 15 (Anexo V. 1 al 6).

Cuadro 15: Utilización (%) y MS rechaza (kg/há) al primer pastoreo, según sistema de laboreo, para los 3 experimentos.

Tipo de laboreo	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	Utilización.	MS. rech.	Utilización.	MS. rech.	Utilización.	MS. rech.
Laboreo intensivo	50.57	746.1	60.83	518.5	56.3	628.3
Laboreo reducido	53.25	654.8	70.63	389.3	50.41	623.5
Siembra directa	58.35	568.3	61.68	535.3	53.8	580.7
DMS	11.28	164.56	16.375	212.28	17.88	203
Sd vs Otros (Pr > F)	0.1578	0.0638	0.5085	0.3206	0.9531	0.5524
Lr vs Li (Pr > F)	0.5817	0.2236	0.1929	0.1871	0.4481	0.9562

Los resultados obtenidos muestran que prácticamente no hubieron diferencias estadísticamente significativas en los tres experimentos, para las dos variables analizadas. El experimento 1 es el que se ajusta más a lo expresado por la bibliografía ya que hay una tendencia a que en siembra directa la utilización sea mayor que en los otros sistemas evaluados y el rechazo menor (Anexo V. 1 y 2). Dicha tendencia se expresa en el contraste que indica que la siembra directa presenta menor rechazo que los otros sistemas de laboreo con una probabilidad de error de 0.06. En el caso del porcentaje de utilización, la tendencia que muestra el contraste que compara a la siembra directa con el promedio de los sistemas laboreados tiene una probabilidad de error de 0.1578. O sea que, ambas tendencias apoyan la hipótesis de que el aprovechamiento del forraje es mayor en siembra directa. Este resultado se explicaría principalmente por las claras diferencias de resistencia a la penetración observadas en dicho experimento. En una situación en la que el perfil del suelo de todas las parcelas se encontraba saturado de agua, el mejor piso existente en la siembra directa permitió, que a pesar del pisoteo, el forraje se encontrara más limpio y menos dañado que en los otros sistemas de laboreo.

Otro factor de gran relevancia que puede explicar los resultados obtenidos en el experimento 1 es la diferencia observada en agregación y estabilidad estructural entre los sistemas de laboreo como consecuencia del uso intenso que se hizo de ese suelo desde el año 1995 (ver análisis de estabilidad estructural y figura 2). Dichas diferencias de agregación y estabilidad tendrían como consecuencia que en las parcelas laboreadas, las plantas del tapiz estén más sucias de tierra, producto del arrastre y salpicado que hace la

pezuña del animal mientras éste pastorea, quitándoles palatabilidad en relación a las de siembra directa.

El método utilizado para recolectar la materia seca rechazada tiene el inconveniente de que mucho forraje que se encontraba enterrado dentro de las huellas, no era recuperado. Esto podría haber falseado los resultados ya que la cantidad de forraje que se encontraba enterrado, dependía mucho del grado de deformación sufrido por el suelo durante el pastoreo. Como las diferencias de rugosidad observadas en el experimento 1, fueron las menores y estadísticamente no significativas, en realidad este fenómeno no estaría explicando la tendencia observada en dicho experimento.

En los experimentos 2 y 3 no se observó ninguna diferencia para las dos variables analizadas (Anexo V. 3 al 6) y esto podría explicarse por dos aspectos importantes. En primer lugar y a diferencia del experimento 1, en los experimentos 2 y 3 si existieron diferencias en rugosidad (Anexo IV. 2 y 3), que pudieron haber contribuido a incrementar el error experimental, ya que como se aprecia en el DMS, al considerarlo como indicador del mismo (Cuadro 15), los errores de MS rechazada y % de utilización fueron superiores a los del experimento 1. O sea, que si efectivamente en las parcelas de laboreo hubo mayor rechazo de MS, ese forraje de más podría no haberse medido ya que se encontraba enterrado en el suelo dentro de las huellas de las pezuñas. El segundo aspecto importante en estos dos experimentos, es que para los tres tratamientos de laboreo, el verdeo fue cabeza de rotación después de una fase de pasturas. Esto puede tener como consecuencia que las diferencias en agregación y estabilidad existentes entre los laboreos no sean tan grandes como las que se pueden encontrar en sistemas establecidos hace más tiempo. O sea, que este aspecto podría ser la explicación de por qué el pisoteo no produjo mayor desagregación del suelo y la pastura se conservó con buena palatabilidad por estar más limpia, aún en las parcelas laboreadas. Un indicio de que esta hipótesis podría tener cierta validez es que las parcelas laboreadas del experimento 2 (rotación menos intensa) presentan mayor utilización y menor rechazo que las parcelas laboreadas de los experimentos 1 y 3 (rotaciones más intensas). Se requeriría de mayor investigación para saber el verdadero impacto que pueden tener estos dos aspectos sobre el porcentaje de utilización y el volumen de forraje rechazado, al igual que la importancia que puede tener el método de recolección del rechazo.

Los autores opinan que la humedad que había en el suelo cuando se realizaron las mediciones, era la óptima para que se expresaran los efectos del pisoteo y para ver la susceptibilidad diferencial de los diferentes sistemas de laboreo, ya que estaban dadas todas las condiciones para que ocurriera salpicado de tierra que ensuciara la pastura y enterrado de la misma por pisoteo. Tal vez, realmente existieron y en toda su posible magnitud, pero por las razones mencionadas en los párrafos anteriores no pudieron ser detectadas.

Para el segundo pastoreo se repitieron las medidas, pero en este caso no se realizó la medición de la rugosidad que adquirió el suelo durante ese pastoreo. Los resultados obtenidos (Cuadro 16) en los experimentos 1 y 3 son similares a los del primer pastoreo (Anexo V. 7, 8, 11 y 12). Por resultado similar se entiende que en el experimento 3 no se encontraron diferencias y en el 1. para la variable MS rechazada, siembra directa es menor que en el promedio de los otros dos sistemas con una probabilidad de error de 0.029, no siendo así para el porcentaje de utilización, donde no se observaron diferencias. Por lo tanto, la discusión que se realizó para el primer pastoreo, se ajusta al segundo. En cambio en el experimento 2 se observó un gran rechazo, acompañado por un bajo porcentaje de utilización en las parcelas de siembra directa (Anexo V. 9 y 10).

Cuadro 16: Utilización (%) y MS rechazada (kg/há) en el segundo pastoreo, según sistema de laboreo para los 3 experimentos.

Tipo de laboreo	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	Utilización.	MS. rech.	Utilización.	MS. rech.	Utilización.	MS. rech.
Laboreo intensivo	51.25	908.6	44.37	838	41.85	717.4
Laboreo reducido	51.15	850.5	44.77	871	43.44	728.8
Siembra directa	52.22	767.17	<b>34.55</b>	<b>1169.25</b>	49.91	786.2
DMS	7.72	111.5	17.035	225.84	26.06	276.94
Sd vs Otros (Pr > F)	0.722	0.0293	0.1473	0.0077	0.4607	0.5436
Li vs Li (Pr > F)	0.9757	0.2496	0.9559	0.7553	0.8861	0.9235

#### 4.2.5 Resistencia a la penetración de setiembre previo al segundo pastoreo

Independientemente de la evolución de la resistencia a la penetración que haya tenido el suelo en los diferentes sistemas de laboreo debido al pisoteo, resulta interesante analizar la conformación del perfil del suelo luego del proceso de pisoteo. Cuando se analizó la conformación del perfil previo al primer pastoreo, se indicó que el tratamiento de siembra directa era el que consistentemente tenía mayores valores en superficie, seguido por el laboreo reducido y el de menor resistencia era el laboreo intensivo. También se destacó la existencia de una zona de compactación por laboreo en el tratamiento de laboreo intensivo del experimento 1. Dichas comparaciones fueron hechas en condiciones de humedad homogéneas entre los tratamientos y los experimentos.

Como se observa en las figuras 16, 17 y 18 la tendencia cambia luego del primer pastoreo (Anexo III. 5, 6 y 7). En el experimento 1 se observaron diferencias estadísticamente significativas solo en los primeros 5 cm del suelo, pero se notó una tendencia hasta los 20 cm de profundidad.

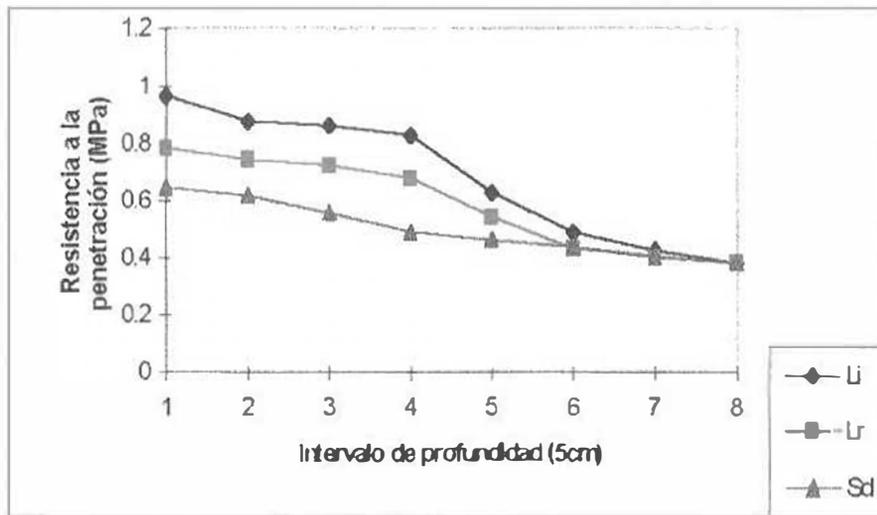


Figura 16: Medidas de la resistencia a la penetración en el perfil del suelo en el experimento 1 según intensidad de laboreo (7 de setiembre).

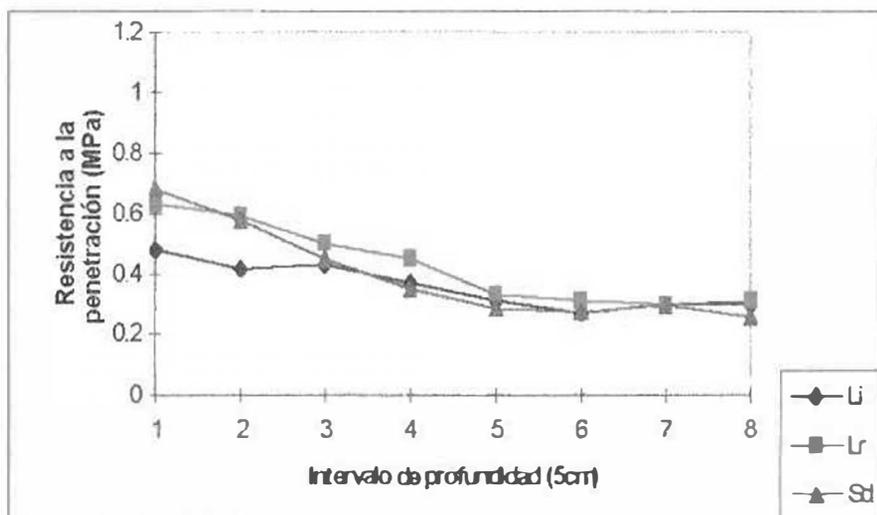
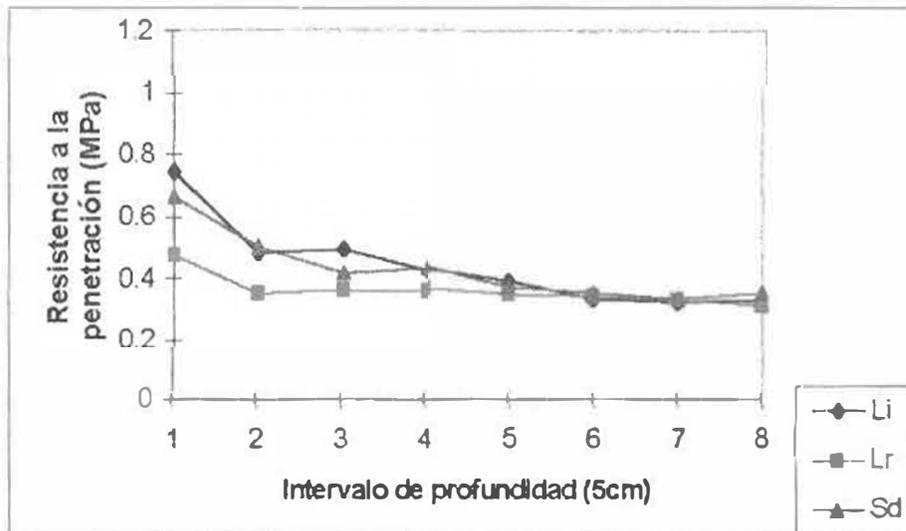


Figura 17: Medidas de la resistencia a la penetración en el perfil del suelo en el experimento 2 según intensidad de laboreo (7 de setiembre).



**Figura 18:** Medidas de la resistencia a la penetración en el perfil del suelo en el experimento 3 según intensidad de laboreo (7 de setiembre).

En el primer intervalo evaluado del experimento 1 (0-5 cm de profundidad) el orden de resistencia a la penetración en que se presentan los tratamientos ( $Li > Lr > Sd$ ) es inverso a el orden observado previo al pastoreo (Figura 6). Esto implica que en situaciones como las del experimento 1, donde los tratamientos evaluados se han aplicado durante varios ciclos de cultivo y las diferencias estructurales del suelo se expresan al máximo, los suelos con laboreo intensivo, luego de un pastoreo, presentan mayor compactación que los de siembra directa, contrariamente a lo que sucede previo al pisoteo. Por debajo de esos 5 cm y hasta los 20 cm, la tendencia en el orden de resistencia continúa, presentando la siembra directa menor resistencia a la penetración que el promedio de los sistemas laboreados con probabilidades de error de 0.08, 0.069 y 0.0422 para los intervalos de 5-10, de 10-15 y de 15-20 respectivamente (Anexo III. 5). Esas diferencias se explican por la zona de compactación que como ya se dijo existe en las parcelas de laboreo intensivo.

Si se analiza como sería la curva de resistencia a la penetración del perfil del suelo del tratamiento de laboreo intensivo, veríamos que dicha curva no es la típica de un suelo que presenta una zona de compactación por laboreo entre los 15 y 25 cm de profundidad, con valores pequeños en los primeros cm y los máximos en la profundidad mencionada. Este comportamiento se debe a que la humedad no era homogénea a lo largo del perfil del suelo al momento de realizarse las medidas, estando dicho perfil muy seco en superficie y más húmedo en profundidad, por lo cual los valores de resistencia a la penetración en superficie eran mayores aún que los existentes en la zona compactada por los implementos de laboreo. Cabe aclarar que nunca se realizaron medidas de la humedad existente en el suelo al momento de realizarse las medidas de resistencia a la penetración y la discusión se

basa en lo que los autores pudieron observar a nivel de campo y en el registro de precipitaciones ocurridas durante el ciclo del verdeo.

La observación de las figuras 16, 17 y 18 de resistencia a la penetración del mes de setiembre, muestra que en la superficie del suelo el resultado obtenido en los experimentos 1 y 3 son diferentes. En el experimento 3, el tratamiento de laboreo intensivo se igualó al de siembra directa y el de laboreo reducido es el que presenta menor compactación (Anexo III. 7). La mejor condición estructural que adquieren los suelos cuando se incluye pasturas en la rotación como en el caso de dicho experimento, sería la explicación de porqué la compactación bajo laboreo intensivo o reducido no es mayor que la de siembra directa, hecho que también pudo comprobarse en el experimento 2 (Anexo III. 6). Pero resulta difícil explicar porqué en el experimento 3 el laboreo reducido es el que presenta la menor compactación, con una tendencia estadísticamente fuerte, ya que en general el mismo se entiende como una situación intermedia entre el laboreo intensivo y la siembra directa; posiblemente la mejor condición estructural de las parcelas de laboreo reducido en relación a las del laboreo intensivo, haga que las de este último se hayan compactado más, alcanzando un nivel similar al de las parcelas de siembra directa. Tampoco se encuentra explicación lógica a las diferencias estadísticamente significativas observadas en el experimento 3 entre los 10 y 25 cm de profundidad.

Por último, se destaca que la mayor resistencia a la penetración en superficie respecto a la observada a mayor profundidad, no se explica exclusivamente por la compactación causada por el pisoteo, sino que es el efecto conjunto del mismo con el menor contenido de humedad en la capa superficial del suelo que había en los tres experimentos en el momento que se tomaron las medidas.

#### 4.2.6 Resistencia a la penetración de noviembre, al final del experimento.

Cuando se analizó esta variable en los experimentos 2 y 3 al finalizar el ciclo del verdeo (Figuras 19 y 20), no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de laboreo en resistencia a la penetración en el experimento 3, pero sí en el experimento 2 (Anexo III. 8 y 9). En este último, para los intervalos de profundidad que van desde los 5 hasta los 20 cm, los contrastes indican que la siembra directa presenta menor resistencia a la penetración que el promedio de los otros dos sistemas. A pesar de ello la magnitud en que se diferencian carece de importancia agronómica.

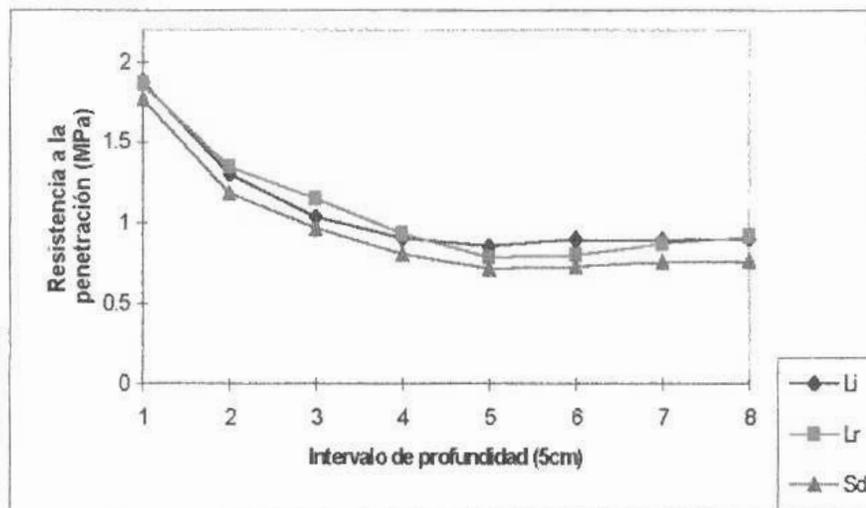


Figura 19: Medidas de la resistencia a la penetración del perfil del suelo en el experimento 2 según intensidad de laboreo (30 de noviembre).

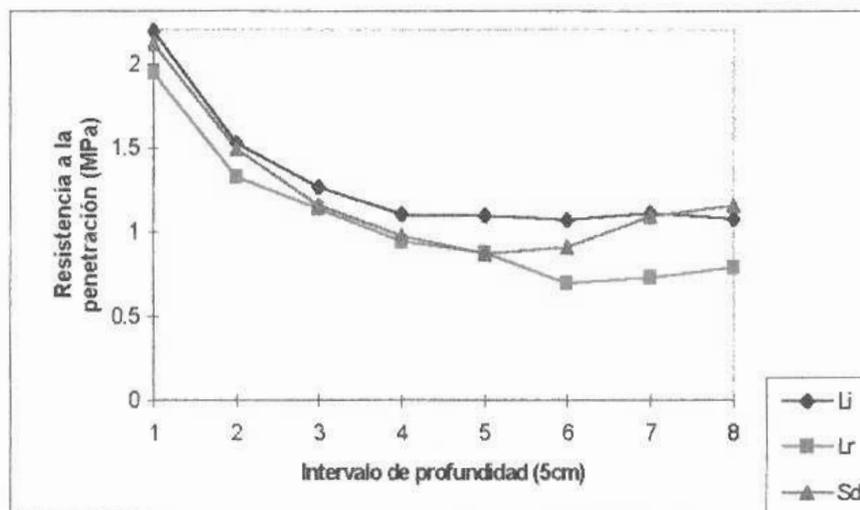


Figura 20: Medidas de la resistencia a la penetración del perfil del suelo en el experimento 3 según intensidades de laboreo (30 de noviembre).

En ambos experimentos el laboreo intensivo, que era el que tenía menor resistencia a la penetración al inicio de esta serie de medidas, al final de las mismas, no presentaba diferencias con los otros sistemas (Figuras 19 y 20). Una de las causas de porqué se igualaron las resistencias a la penetración en los tratamientos de laboreo al final del ciclo fue el pisoteo. El tratamiento de siembra directa que era el más compactado al inicio de las medidas, fue el que sufrió menor compactación por el pisoteo. Otra de las causas, de acuerdo a lo que dice la bibliografía, podría ser el clima durante el propio paso del tiempo. Al respecto se cita que las diferencias en compactación que existen entre sistemas

laboreados y de siembra directa, aún sin incidencia de pastoreos, tienden a igualarse luego de cumplido el ciclo productivo.

Al igual que para las medidas de resistencia a la penetración de setiembre, en esta nueva medida es cuestionable la comparación de la resistencia a la penetración entre profundidades diferentes del perfil. Nuevamente la humedad heterogénea existente en el perfil limita el alcance de las conclusiones, ya que se observa claramente que la resistencia a la penetración al final del ciclo en superficie es casi el doble de la existente en profundidad. Esto no debería ser considerado como si la compactación en superficie también duplicara a la existente en profundidad, ya que el mayor contenido de humedad en profundidad perturba los resultados. Los valores alcanzados en superficie son de entorno a 2 MPa, los cuales limitarían seriamente el crecimiento radicular, pero los mismos se deben al déficit hídrico que existía al momento de realizar las medidas.

En la sección anterior se destacó que el daño en la estructura de las parcelas de laboreo intensivo del experimento 1, en el cual dicho laboreo se ha hecho en forma sucesiva, habría llevado a que luego de un pisoteo estas parcelas se encontrarán más compactadas en superficie que las de los tratamientos de siembra directa, cuyo suelo estaba menos degradado. Teniendo en cuenta esto, si también se hubieran realizado las medidas de resistencia a la penetración del mes de noviembre en el experimento 1, sería lógico pensar que en ese experimento si hubiera sido mayor la compactación del laboreo intensivo con respecto a los otros dos tratamientos de laboreo. Esto se infiere a partir del hecho que una peor estructura (más degradada), entre otras cosas disminuye la capacidad de retención de agua lo cual llevaría a una resistencia a la penetración en superficie aún mayor que la observada en los experimentos 2 y 3.

#### 4.2.7. Otras propiedades físicas

La bibliografía indica que al finalizar el ciclo de un cultivo bajo laboreo convencional, sin pastoreo, la densidad aparente tiende a igualarse a la de ese mismo cultivo bajo siembra directa. Se establece también que este tipo de efecto sería esperable hasta unos 25 cm de profundidad.

Con respecto a la estabilidad de agregados (estructura), se indica que en siembra directa la misma se ve incrementada debido al mezclado que realiza la fauna del suelo y al incremento de materia orgánica y residuos que se va dando en forma acumulativa a medida que se van cumpliendo los ciclos. Además se tiene el efecto adicional de que durante los barbechos la cobertura del suelo por el rastrojo, protege a los agregados y por lo tanto permite capitalizar las mejoras en la estructura (Blevins et al., 1984).

Desde el punto de vista de la infiltración, la bibliografía establece, que inmediatamente después de las labores, es mayor bajo laboreo convencional que bajo los

otros sistemas. Después de unas pocas lluvias la situación cambia, ya que el sistema laboreado pasa a ser el que tiene mayor escurrimiento (Rao et al., 1998). Este fenómeno interacciona con la compactación causada por el pisoteo animal. Al respecto se cita que la mayor deformación que ocurre en el laboreo intensivo, determina una reducción de la infiltración, siendo el principal efecto la destrucción de los macroporos del suelo, lo cual trae aparejado una reducción de la densidad aparente y de la estabilidad estructural.

En las figuras 21, 22, 23 y 24 se muestran las medias de densidad aparente, erosión y escurrimiento para los distintos experimentos tomadas al final del ciclo productivo del verdeo. Se aprecia que el resultado obtenido para estas variables, fue independiente del sistema de laboreo (Anexo VI. 4 al 12).

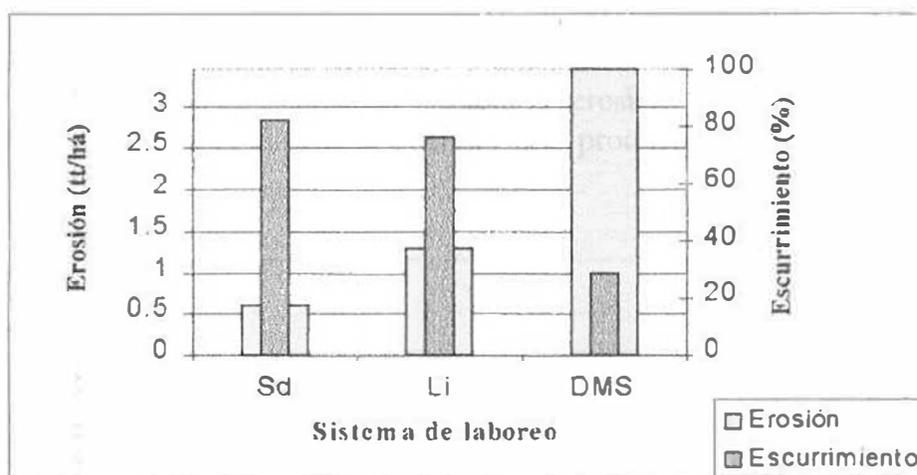


Figura 21: Comparación de estabilidad estructural (erosión) y escurrimiento entre laboreo intensivo y siembra directa, al final del ciclo productivo del verdeo (experimento 1).

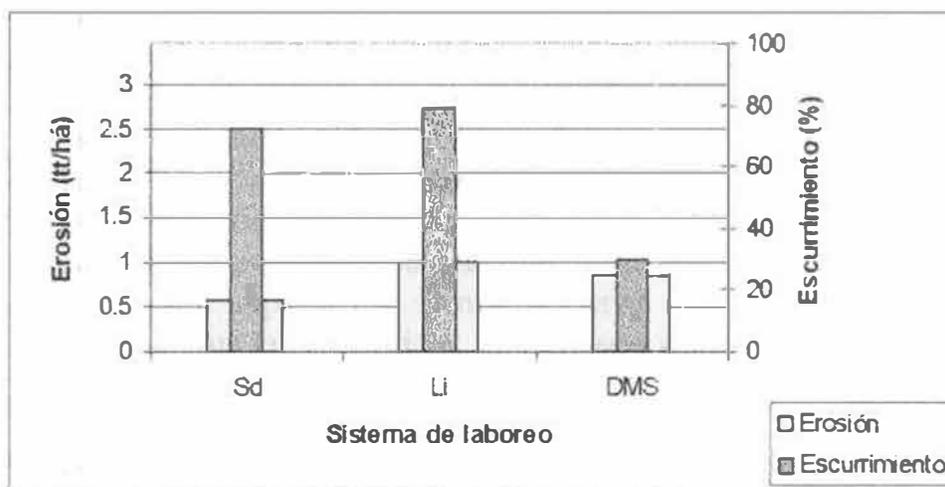


Figura 22: Comparación de estabilidad estructural (erosión) y escurrimiento entre laboreo intensivo y siembra directa, al final del ciclo productivo del verdeo (experimento 2).

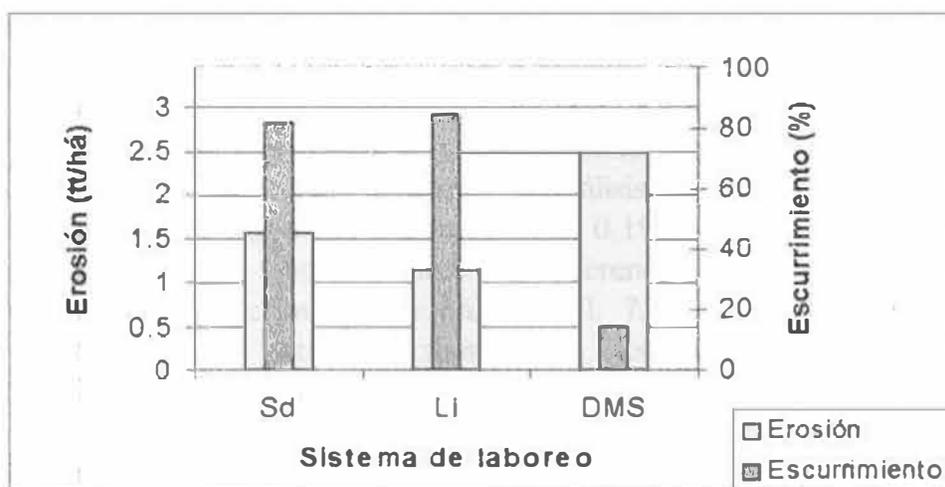


Figura 23: Comparación de estabilidad estructural (erosión) y escurrimiento entre laboreo intensivo y siembra directa, al final del ciclo productivo del verdeo (experimento 3).

Analizando la estabilidad estructural del suelo, medida a través de su susceptibilidad a ser erosionado (Anexo VI. 10, 11 y 12), no mostró diferencias significativas entre tratamientos, a pesar de que se observaron diferencias de una magnitud tal que agrónomicamente son importantes, pero que el diseño experimental y la forma en

que se midió la variable no permitieron detectarlas. Acciones tales como aumentar el número de repeticiones, realizar más mediciones por parcela y mejorar la homogeneidad del sistema de medición, permitirían disminuir la variabilidad y el error experimental, lográndose así captar esas diferencias si es que realmente existen. La magnitud que adquirió el error experimental puede visualizarse a través del valor que tomó la diferencia mínima significativa para esta variable (Figuras 21, 22 y 23). Uno de los aspectos que los autores utilizaron con dicha intención, fue el de corregir los valores por el efecto de la pendiente a través de un análisis de covarianzas. Básicamente esta medida no alteró los resultados por el escaso impacto que la misma ejerció sobre la erosión. El análisis de covarianzas estableció que la probabilidad de equivocarse si se dice que la erosión fue afectada por la pendiente es de 0.9769.

A pesar de lo dicho en el párrafo anterior las tendencias observadas son contradictorias. En los experimentos 1 y 2 los valores de erosión observados para siembra directa son casi la mitad de los observados para el laboreo intensivo, en cambio en el experimento 3 los valores de laboreo intensivo son menores a los de siembra directa (Anexo VI. 10, 11 y 12). Cuestionar el método utilizado para realizar las medidas y el número de repeticiones, sería el análisis lógico que surge para explicar este hecho, ya que desde un punto de vista agronómico se esperaba que los tres experimentos tuviesen resultados similares, es decir que la estabilidad estructural fuese superior en las parcelas de siembra directa en relación a las laboreadas.

El escurrimiento tampoco fue diferencial entre los tratamientos de laboreo al final del ciclo. A esta variable también se la corrigió por la pendiente existente en el terreno donde fueron tomadas las medidas mediante un análisis de covarianza, observándose que el efecto de la misma era significativo a un nivel de 0.1966. Los datos una vez corregidos no dejaron entrever alguna tendencia clara y la diferencia entre ellos tampoco es de una magnitud agronómicamente importante (Anexo VI. 7, 8 y 9). Además se observaron valores absolutos similares entre los experimentos. Esto lleva a pensar que el pisoteo homogeneiza al escurrimiento entre los tratamientos.

Los resultados de densidad aparente muestran (Figura 24) que dos situaciones (tratamientos de laboreo) que inicialmente eran diferentes (aunque esto no fue determinado), al finalizar el ciclo tienen valores similares. En el experimento 1, si bien las diferencias son estadísticamente significativas ( $S_d > L_i$ ), desde el punto de vista agronómico son despreciables (Anexo VI. 4). Otro hecho para destacar es el valor absoluto que toman estas variables, independientemente de los tratamientos y la historia anterior, ya que se encuentran en torno al valor de  $1.7 \text{ gr/cm}^3$  que cita la bibliografía como valor límite, por encima del cual se limita el crecimiento radicular.

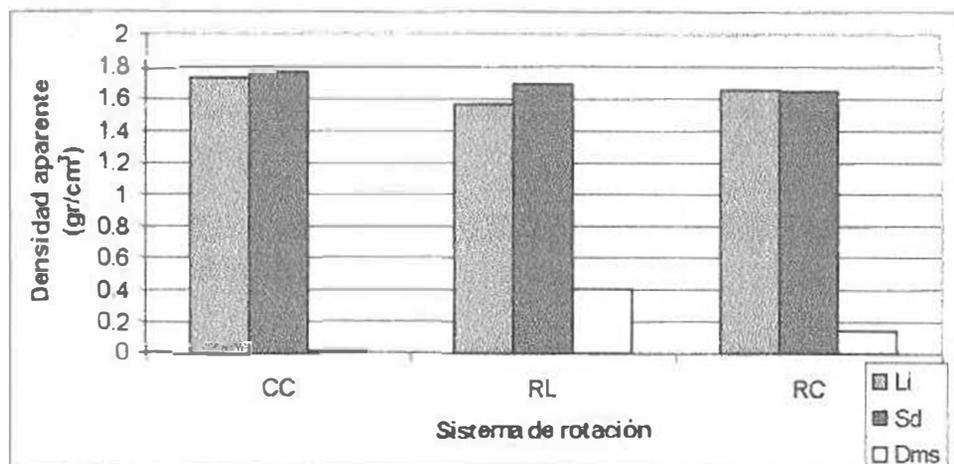


Figura 24: Comparación de densidad aparente entre laboreo intensivo y siembra directa, al final del ciclo productivo del verdeo en los tres experimentos.

Con respecto al contenido de carbono orgánico del suelo al final del ciclo, coincidentemente con lo citado por la bibliografía, tendió a ser mayor en siembra directa que en el laboreo intensivo y sería parte de la explicación de los resultados obtenidos en erosión debido a una mayor fortaleza de los agregados. Estas diferencias en el contenido de carbono orgánico solo fueron estadísticamente diferentes en el experimento 1 (Figura 25 y anexo VI. 1, 2 y 3), lo cual se explica por ser el experimento que más tiempo ha tenido tratamientos diferenciales de laboreo, hecho que no ocurre en los experimentos 2 y 3, en los cuales el verdeo sembrado fue cabeza de rotación luego de praderas.

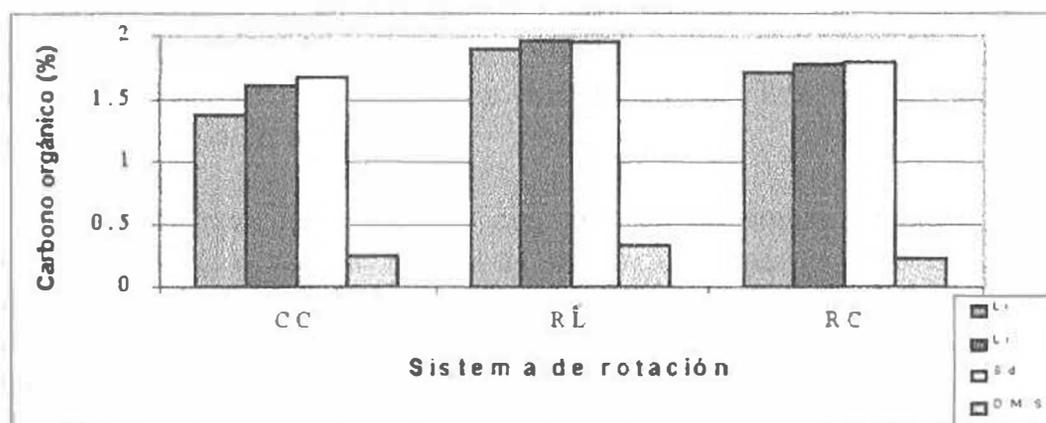


Figura 25: Medidas del contenido de carbono orgánico (%) existente en el suelo, realizadas al final del ciclo productivo del verdeo en los tres experimentos.

Al igual que en los resultados de carbono orgánico obtenidos al inicio del ciclo, se observó que en la rotación menos intensa (RI) fue donde hubo mayores contenidos de carbono orgánico, incluso luego de aplicar los tratamientos de laboreo y haber sido sometido a dos pastoreos.

#### 4.3 EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE NITRATOS EN EL SUELO DURANTE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO

La bibliografía cita que en los primeros años de implementarse un sistema de siembra directa, el nivel de nitratos esperable en ese suelo es menor que el existente en sistemas laboreados.

Son varios los procesos que se modifican en la siembra directa y que explican esa diferencia. Por ejemplo, la mineralización suele ser mayor en el laboreo convencional que en la siembra directa, aunque esto se relativiza con el contenido de humedad y temperatura existentes. En general el suelo bajo laboreo convencional presenta mayor temperatura, lo que favorece la mineralización. Con respecto a la humedad, es mayor en siembra directa y por lo tanto mayor sería la mineralización en este caso. En condiciones templadas el efecto del laboreo predomina sobre el de la humedad. La inmovilización que es otro de los procesos afectados, depende de la cantidad de residuos que se incorporen. Como en la siembra directa los residuos se concentran sobre la superficie del suelo, se cita que la inmovilización de nitratos en la superficie en dicho sistema es mayor, sobre todo cuando se aplican fertilizantes nitrogenados en cobertura (Jacobsen et al., 1980). El proceso de denitrificación es mayor en siembra directa, debido a un mayor contenido de humedad, a un mayor contenido de bacterias anaerobias facultativas y denitrificantes (Fox et al., 1986) y también se cita que la mayor abundancia de compuestos carbonados proveyería más energía para dicho proceso (Martino 1997). Por último se cita que la lixiviación de nitratos también sería mayor en siembra directa, debido al mayor movimiento de agua en profundidad.

Por otro lado, la bibliografía cita, que en las etapas de pleno crecimiento del cultivo, es él el que determina el nivel de nitratos existentes en el suelo, ya que la tasa de absorción del mismo se acompasa con la tasa de liberación de nitratos (Unkovich et al., 1998). Es por esta razón que a partir del inicio de la elongación de entrenudos, el nivel de nitratos del suelo ya no es un buen indicador de la necesidad de fertilización.

A partir de la fecha 26/7 el diseño experimental pasa a ser de parcelas divididas (para la variable nitratos en el suelo) y como no hay interacción entre el nitrógeno y el laboreo, a excepción del muestreo del 26/7 del experimento 3, en el cual la magnitud de las diferencias carece de importancia agronómica (Anexo VII. 13 al 24), se puede analizar el efecto de parcela grande (laboreo) como tal.

En el experimento 2, que representa la rotación con pasturas de larga duración, el nivel de nitratos de todas las fechas no varió entre laboreos (Anexo VII. 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23 y 26). Además, como se puede ver en la figura 26 de la evolución de nitratos del experimento 2, casi hasta que finalizó el ciclo de la pastura con la aplicación de glifosato en octubre, no se observan grandes cambios en el nivel de nitratos, manteniéndose en niveles muy bajos.

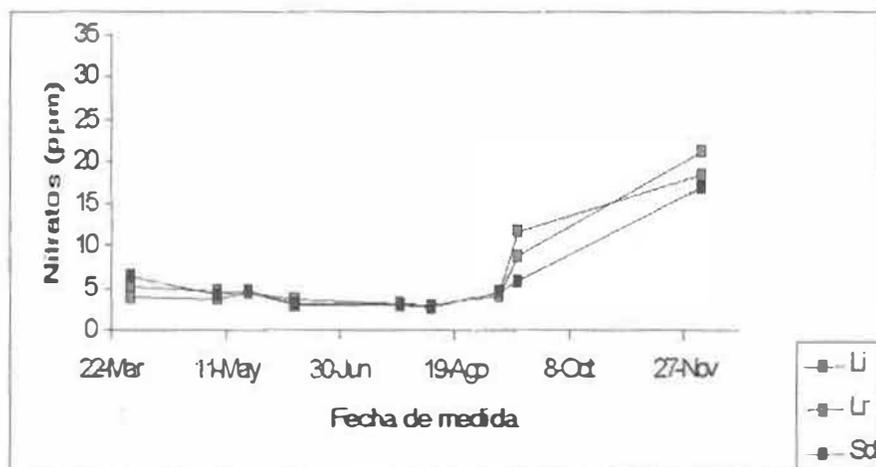


Figura 26: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la evolución del contenido de nitratos del suelo, durante el ciclo productivo del verdeo (experimento 2)

Se observa que a partir de setiembre hay un gran incremento del nivel de nitratos existentes en el suelo, pero esto se debe a que las muestras de suelo obtenidas el 16/9 no fueron secadas correctamente, por lo tanto esa suba del nivel de nitratos no debe ser considerada y se puede decir que no hubo cambios hasta que finalizó el ciclo en octubre.

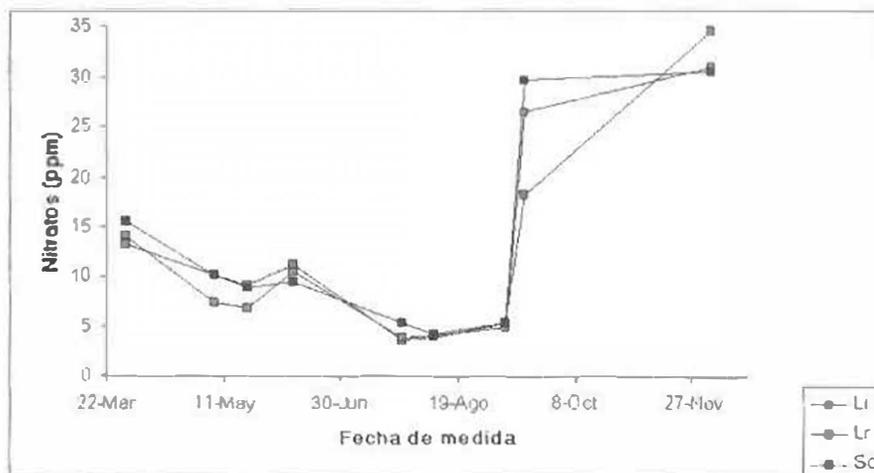
Los resultados obtenidos se pueden explicar por varios motivos. Si se piensa en el hecho que el primer muestreo se realizó a inicios del otoño a continuación de una pradera de leguminosas, lo lógico hubiera sido observar niveles mayores de nitratos en dicho momento. Los autores entienden que los bajos niveles observados se deben a que dicha pradera tenía una gran infestación de gramilla (*Cynodon dactylon*), lo cual le confirió al rastrojo características muy diferentes al de una pradera en buen estado. La alta relación C/N de la gramilla le dio a dicho rastrojo un gran poder de inmovilización, contrariamente a lo que podría esperarse de un rastrojo de pradera que se encuentre con una buena proporción de leguminosas. Por lo tanto el proceso que predominó en dicho período fue el de inmovilización neta y eso sería responsable de los bajos niveles de nitratos observados. Posteriormente al muestreo del 30/3 ocurrieron una serie de precipitaciones muy importantes que totalizaron 219 mm en el corto periodo de tiempo comprendido entre el 30/3 y el 7/5, momento en el cual se realizó el segundo muestreo. Esas lluvias podrían

haber provocado grandes pérdidas de nitratos por lixiviación, lo cual explicaría el bajo nivel de nitratos observados en el segundo muestreo realizado previo a la segunda siembra. Del segundo muestreo en adelante los bajos niveles estarían explicados por una baja mineralización, debido a las bajas temperaturas existentes normalmente desde fines de otoño en adelante, a grandes pérdidas por lavado debidas a las frecuentes lluvias que siguieron ocurriendo durante todo el invierno (Cuadro 10) y por el activo crecimiento del verdeo cuya tasa de absorción es equivalente a la de liberación de nitrógeno.

El incremento del nivel de nitratos que ocurre a partir de octubre (y no a partir de setiembre como muestra la figura 26) como ya se explicó antes, se debe a que en dicho momento se realizó la aplicación de glifosato y por lo tanto, con la muerte del verdeo finalizó la absorción de nutrientes por parte del mismo. Además a esto se le suma el efecto de las altas temperaturas que comienzan en esa época y que provocan mayor mineralización del suelo.

Como ya se dijo, no se encontraron las diferencias entre los laboreos citadas por la bibliografía, durante el periodo comprendido entre el inicio del barbecho y el inicio del crecimiento activo del verdeo. Cuando se encuentran diferencias, generalmente estas se explican por temperatura del suelo, nivel de humedad y movimiento de agua en el perfil. En éste experimento en particular hay que considerar además el efecto inmovilizador que pudo tener el tipo de rastrojo al inicio del ciclo, el cual determina la evolución de los otros procesos involucrados. Con respecto a la temperatura, las diferencias que habitualmente existen entre los sistemas de laboreo debido a la presencia de rastrojo, en este caso serían muy pequeñas como consecuencia del escaso rastrojo existente debido al pastoreo animal. Desde el punto de vista de la humedad, posiblemente las abundantes precipitaciones que existieron enmascararon las diferencias que generalmente se dan entre los sistemas de laboreo e impidieron una correcta mineralización. El mayor lavado que podría haber existido en siembra directa por tener más bioporos en contraposición a los sistemas laboreados, no se habría dado debido a que la cantidad de nitratos en la solución del suelo habría sido escasa como consecuencia de la gran inmovilización ejercida por el rastrojo. Para entender correctamente las causas de los niveles y evolución de los nitratos encontrados, teniendo en cuenta que hay involucrados procesos químicos, físicos y biológicos, se tendría que haber hecho un seguimiento más profundo de los mismos que sustentara las conclusiones obtenidas.

En el experimento 3 (Figura 27, RC), tampoco se encontraron mayores diferencias entre laboreos para todas las fechas, pero la evolución del contenido de nitratos del suelo es diferente a la observada en el experimento 2. Dicha diferencia radica básicamente en que al inicio del ciclo, los niveles de nitratos alcanzados son mayores que los del experimento 2 y que los alcanzados en este mismo experimento durante la etapa de máximo crecimiento del verdeo (Anexo VII. 3,6,9,12,15,18,21 y 24).



**Figura 27:** Efecto de la intensidad de laboreo sobre la evolución del contenido de nitratos del suelo, durante el ciclo productivo del verdeo (experimento 3)

A partir del muestreo del 10/6 se produce un descenso del nivel de nitratos, llegando a los valores más bajos de todo el periodo, coincidiendo con la etapa de máxima absorción del cultivo y de condiciones ambientales menos favorables para su acumulación. Al igual que en el experimento 2, la notoria subida que se registra en setiembre, no es real debido a los errores de secado del muestreo del 16/9.

Al inicio del ciclo, los niveles de nitratos medidos en este experimento, eran superiores a los registrados en los experimentos 1 y 2. Esto se debe a que en el experimento 3 el proceso dominante durante el barbecho efectivamente fue el de mineralización. En este caso, al tratarse de una rotación con pasturas de trébol rojo de corta duración, y que al momento de matarse, la misma se encontraba en muy buenas condiciones con un escaso engramillamiento, posibilitó entonces la presencia de un rastrojo con baja relación C/N, que lleva a una rápida liberación del N. Las abundantes lluvias ocurridas en el mes de abril, entre el primer y segundo muestreo de suelos, serían la causa del descenso del nivel de nitratos a la siembra, ya sea por lavado o por denitrificación. A partir del segundo muestreo, el efecto del cultivo en crecimiento pasaría a ser más importante como depresor del nivel de nitratos del suelo. En el muestreo realizado el 10/6 se produce un pico de nitratos, que de no deberse a un error de muestreo o secado es muy difícil de explicar.

Al igual que en el experimento 2, en el experimento 3 no aparecen diferencias claras entre sistemas de laboreo, contrastando con lo citado por la bibliografía, registrándose diferencias estadísticamente significativas solo en el muestreo realizado el 21/5 (Anexo VII. 9). De acuerdo al resultado de los contrastes, la siembra directa y laboreo intensivo presentan niveles de nitratos superiores al tratamiento de laboreo

reducido. Esa diferencia difícil de explicar es de solo 2 ppm, lo cual a estos niveles no tiene importancia agronómica.

La explicación de por qué no hubo diferencias entre los laboreos en este experimento podría ser la facilidad para mineralizarse que tuvo el rastrojo de trébol rojo, la cual enmascaró las contras o beneficios que tienen los diferentes sistemas de laboreo para favorecer la mineralización. Nuevamente se desestima que las diferencias en temperatura y humedad tengan un efecto mayor sobre el resultado, debido a la escasa cobertura vegetal, consecuencia del pastoreo animal, y a las abundantes lluvias que eliminan las posibles diferencias de contenido de humedad entre los laboreos. La adecuada duración del barbecho químico en las parcelas de siembra directa, podría ser otra razón para explicar la ausencia de diferencias en las mediciones realizadas desde la siembra en adelante. Pero no es argumento para explicar porqué no hubo diferencias de nitratos en la primera fecha de muestreo.

Con respecto al experimento 1 (Figura 28, CC), se observa la misma tendencia general que en los otros dos experimentos, siendo el nivel de nitratos del suelo en el momento inicial del ciclo, intermedio al de los experimentos 2 y 3.

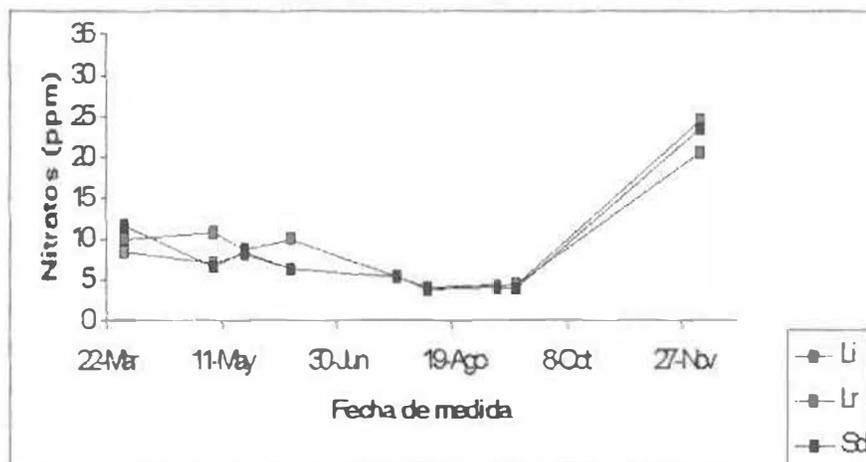


Figura 28: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la evolución del contenido de nitratos del suelo, durante el ciclo productivo del verdeo (experimento 1)

En este experimento se producen efectos significativos entre intensidades de laboreo en los primeros muestreos (Anexo VII. 1,4,7,10), coincidiendo con la bibliografía en el hecho de que como aún la tasa de absorción del verdeo no es importante, permite que esas diferencias que ejercen los diferentes sistemas de laboreo sobre la dinámica del N se expresen (Cuadro 17).

Cuadro 17: Comparación de medias del contenido de nitratos existente en el suelo en los primeros muestreos según sistema de laboreo en el experimento 1.

Sistema de laboreo	N-NO <sub>3</sub> (ppm) del 30/3	N-NO <sub>3</sub> (ppm) del 7/5	N-NO <sub>3</sub> (ppm) del 21/5	N-NO <sub>3</sub> (ppm) del 10/6
Laboreo int.	9.95	10.775	8.57	10.038
Laboreo red.	8.52	7.175	8.2	6.3
Siembra dir.	11.45	6.52	8.55	6.25
DMS	2.203	2.434	1.887	2.45
Sd vs otros (Pr > F)	0.0297	0.0294	0.8158	0.1162
Li vs Lr (Pr > F)	0.1648	0.0111	0.644	0.0213

A diferencia de los otros dos experimentos, en el experimento 1 cada tratamiento de laboreo no solo representa el efecto de lo sucedido en este ciclo productivo, sino que también representa la sumatoria de efectos de los 6 ciclos de cultivos anteriores. O sea que el hecho de que los tratamientos de laboreo evaluados en este ciclo no tengan la misma historia de chacra anterior (como sucede en los experimentos 2 y 3), sería la causa de porqué en este experimento sí aparecen diferencias estadísticamente significativas. Los resultados obtenidos en el muestreo del 30/3 (Cuadro 17), estarían indicando que en aquellas situaciones donde la siembra directa se ha realizado en forma continua durante varios ciclos productivos y la condición del suelo se ha deteriorado menos, en lo que respecta al contenido de materia orgánica, al compararla con la de los sistemas laboreados, el aporte de nitratos por el suelo es mejor. Ese aumento, superaría incluso a una posible liberación de nitratos que ocurre en el suelo al ser laboreado, por cambios en la dinámica del N cuando se realiza la roturación del mismo. También existe la posibilidad de que la incorporación del rastrojo de maíz en las parcelas de laboreo, haya ejercido cierta inmovilización de N, reduciendo el nivel encontrado en dichas parcelas al momento del muestreo.

En el muestreo efectuado a la siembra (7/5) la situación se revierte, siendo el laboreo intensivo el que tiene mayor contenido de nitratos y en una cantidad similar a la del muestreo anterior. En cambio, en los otros dos tratamientos el nivel de nitratos disminuyó. La explicación de este hecho, podría ser el lavado de nitratos que pudo ocurrir por lixiviación, siendo la mayor cantidad y largo de los macroporos de la siembra directa la causa principal. Al no haber tantos macroporos continuos en las parcelas de laboreo, debido a que el mismo interrumpe el largo de los poros, dicho fenómeno se minimizó a pesar de las abundantes lluvias ocurridas. Esto no quita que se haya perdido N por erosión, ya que a nivel de campo se observaban pequeños surcos consecuencia de esta, dentro de las cuales se evitaba extraer muestras. Otra posible explicación del decremento del nivel de nitratos en las parcelas de siembra directa con respecto al muestreo anterior, podría ser, que como consecuencia del pasaje de la sembradora en la primera siembra

fallida, los restos de tallos de maíz que se encontraban aún en pie (y por esa razón no habían afectado mayormente la dinámica del N) pasaron a estar en mayor contacto con la superficie del suelo. Este hecho podría haber llevado a que el proceso de inmovilización, que habría ocurrido en todos los sistemas de laboreo, se produjera en forma desfasada, siendo otra de las posibles causas de los menores niveles de nitratos medidos en siembra directa en este muestreo.

En el tercer muestreo (implantación) ya no se observan diferencias. Pero en el cuarto muestreo (macollaje) nuevamente se observan diferencias, las cuales son difíciles de explicar, sobre todo si se tiene en cuenta que en esa fecha el verdeo ya había cubierto al suelo y estaba en activo crecimiento. Vale aclarar, que a los niveles de nitratos que se presentaron en todos los casos analizados, las diferencias no son de magnitudes agronómicamente importantes.

La figura 29 muestra la evolución de nitratos en los tres experimentos, o sea el promedio de nitratos por fechas, independientemente del sistema de laboreo y el nivel de fertilización. El mismo es una simplificación ya que los experimentos no son estadísticamente comparables entre sí y porque el hecho de realizar una media total ignora la interacción que hay entre la historia anterior y el sistema de laboreo, la cual podría invalidar la comparación.

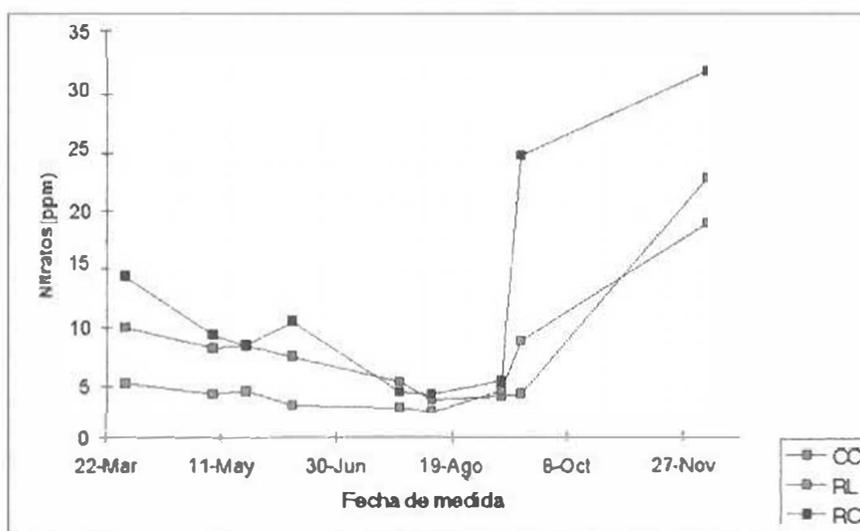


Figura 29: Evolución del contenido de nitratos del suelo, durante el ciclo productivo del verdeo, según historia de chacra anterior

En la fase inicial del período se puede observar el efecto de las tres situaciones de rastrojo contrastantes (debidas a los sistemas de rotación) que serían la explicación de las diferencias. El experimento 3 es el que presenta los valores iniciales de nitratos superiores

debido a que en el mismo predominó un proceso de mineralización neta como consecuencia de un buen rastrojo de leguminosas. En el otro extremo se encuentra el experimento 2, el cual estaba precedido por una pradera vieja con una gran proporción de gramilla, responsable de un posible proceso de inmovilización neta. El experimento 1 está en una situación intermedia y dentro del mismo hay una gran variabilidad. Se destaca también que una vez finalizado el ciclo las diferencias que había al inicio se mantuvieron, siendo el experimento 3 (RC) el que tenía mayor capacidad de mineralización.

Todas las causas hipotéticas, utilizadas en esta sección para explicar los fenómenos ocurridos están respaldadas por pocos parámetros objetivos, hecho el cual limita su alcance y remarca la necesidad de realizar mayores mediciones de distintos parámetros físicos, químicos y biológicos que permitan entender mejor los procesos.

#### 4.4 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA

##### 4.4.1 Producción de materia seca en función del sistema de laboreo

Analizando los resultados previos en ensayos de verdeos realizados en INIA Treinta y Tres desde 1995 hasta 1997, se observó que solamente en el primer año la siembra directa produjo menor cantidad de MS que los tratamientos laboreados. Terra y García (1998) establecen que aplicar el sistema de siembra directa a tierras con basta historia de laboreo, enmalezadas (gramilla) y degradadas, sumado a los escasos conocimientos sobre esta tecnología que se tenía en los primeros trabajos (en lo referente al largo de barbecho químico), constituyeron las causas de esa menor producción. Por el contrario, después de por lo menos dos ciclos de siembra directa y habiendo adquirido los conocimientos básicos de esta nueva tecnología, dichas diferencias desaparecieron.

En la bibliografía se citan criterios dispares sobre el potencial de producción de los distintos sistemas de laboreo. Se establece que la producción estará afectada por las condiciones ambientales de los distintos sitios en los que se aplican los sistemas. Condiciones de excesiva humedad y suelos mal drenados no aparecen como favorables para la siembra directa (Fox et al., 1986).

Las condiciones en las cuales se desarrollaron los experimentos de esta tesis, se ajustan a las descritas en el párrafo anterior. Las precipitaciones ocurridas durante un período de 5 meses que afectó a los dos primeros pastoreos, fueron de 867.2 milímetros, lo que implica una media mensual para dicho período de 144 milímetros, superando al promedio histórico nacional. Si a este hecho se le suma el pobre drenaje que tienen los suelos de la unidad Alférez, se dan las condiciones que podrían limitar la producción de forraje con siembra directa en relación a la de los otros dos sistemas de laboreo.

A pesar de ello, los resultados (Figuras 30, 31 y 32), concordando con los obtenidos a partir del segundo ciclo de siembra directa, muestran que no hubo diferencias de producción de MS entre intensidades de laboreo, independientemente de la historia de chacra anterior (Anexo VIII. 1 al 9).

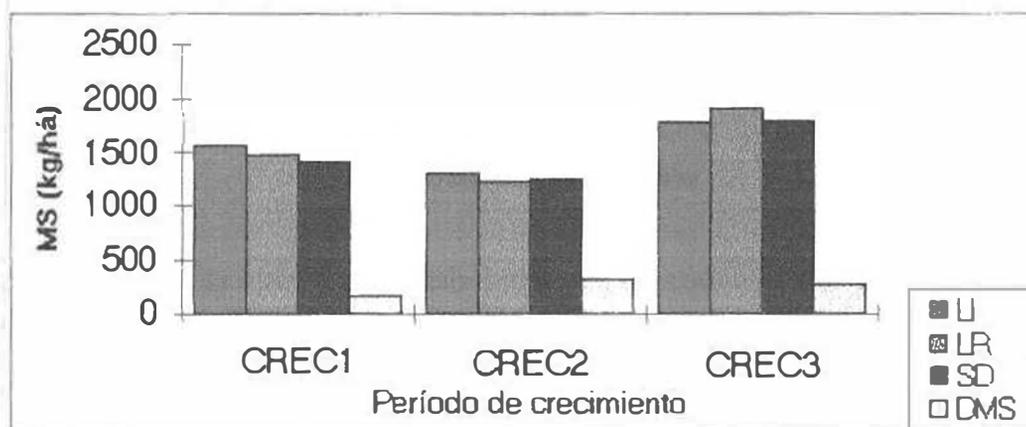


Figura 30: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la producción de materia seca, para los tres períodos de crecimiento (experimento 1).

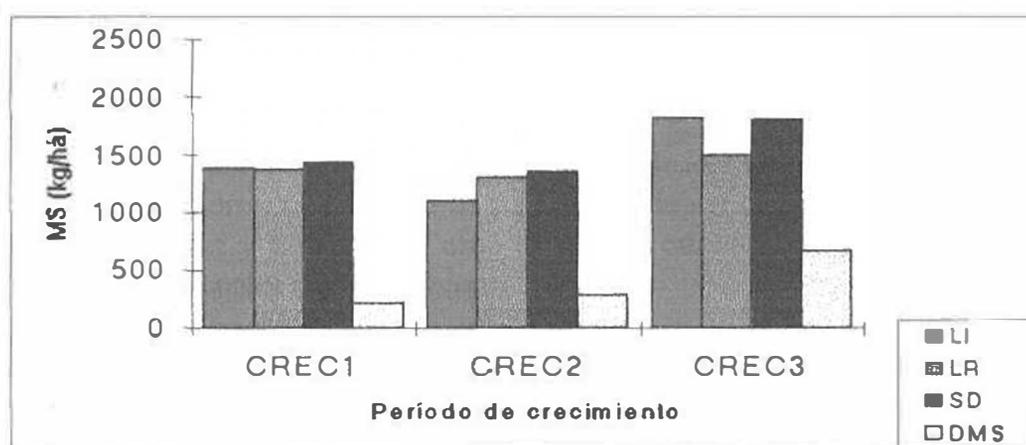


Figura 31: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la producción de materia seca, para los tres períodos de crecimiento (experimento 2).

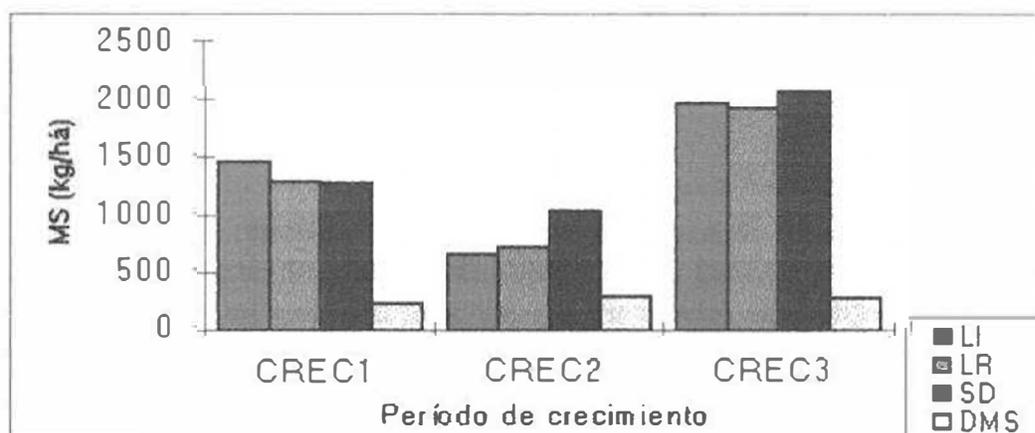


Figura 32: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la producción de materia seca, para los tres períodos de crecimiento (experimento 3).

Aunque parezca contradictorio, las excesivas precipitaciones (que perjudicarían a la siembra directa) pudieron haber sido la causa de ausencia de efectos de las intensidades de laboreo sobre la producción de MS. El exceso de precipitaciones pudo haber homogeneizado el contenido de humedad existente en las parcelas y que el mismo haya sido excesivo en todos los tratamientos, a tal punto que determinó las dinámicas de temperatura y N, impidiendo que existieran diferencias entre los tratamientos, lo que se tradujo en producciones de MS similares. Otro factor que pudo haber influido en estos resultados fue la adecuada duración del barbecho químico en el tratamiento de siembra directa (casi dos meses en el experimento 1 y más en el 2 y el 3, como consecuencia de la falla en la siembra de abril), imprescindible para una adecuada implantación y producción de forraje bajo este sistema de no laboreo.

Para el tercer período de crecimiento, las condiciones de humedad se revirtieron, es decir las precipitaciones fueron escasas y fue el verdeo el que dominó las dinámicas de temperatura, nutrientes y humedad. Como el verdeo estaba bien instalado en todos los tratamientos, las diferencias fueron mínimas.

Otro hecho que pudo haber minimizado las diferencias entre sistemas de laboreo para los tres períodos de crecimiento es el escaso mulch presente en las parcelas de siembra directa por tratarse de sistemas bajo pastoreo.

Se debe aclarar que los resultados del segundo pastoreo (segundo período de crecimiento) del experimento 3, no deben ser tomados en cuenta ya que por errores de coordinación, previo a la medición de disponibilidad de forraje, los animales ya habían efectuado un despunte a la pastura. También es importante destacar que por el hecho que

no existió interacción entre el laboreo y la dosis de N, dentro de cada figura fue posible comparar los tratamientos de laboreo entre sí (Anexo VIII. 1 al 9).

#### 4.4.2 Respuesta a la fertilización nitrogenada

En general se reportan importantes respuestas a la fertilización nitrogenada de verdeos de invierno, citándose al raigrás como una de las especies que mayor respuesta presenta. Aún así, la información en cuanto a los niveles de fertilización en los que se obtiene respuesta es muy variable y dependiente de condiciones particulares tales como sitios y años. Se mencionan situaciones desde no respuesta hasta respuestas incluso a dosis de 224 kg/há de N (Altom et al., 1996).

En los tres experimentos llevados a cabo en esta tesis y para los tres momentos en que se aplicó fertilizante nitrogenado (Urea), hubo respuesta a fertilizar, aunque no siempre la hubo a dosis. El cuadro 18 muestra las dosis a las que hubo respuesta por experimento para cada período.

Cuadro 18: Respuesta a la fertilización nitrogenada por experimento en los distintos crecimientos.

Exp. Nº	Crecimiento 1	Crecimiento 2	Crecimiento 3
	Resultado de contrastes	Resultado de contrastes	Resultado de contrastes
1 (CC)	0<50<100,150	0<50,100,150	0<50<100,150
2 (RI)	0<50<100,150	0<50,100,150	0<50,100,150
3 (RC)	0<50<100,150	0<50,100,150	0<50,100,150

En todos los experimentos en el primer período hay respuesta hasta 100 unidades de N, esto puede ser visualizado a través de los contrastes realizados (Anexo VIII). En el segundo período de crecimiento, la respuesta fue solamente hasta 50 unidades de N y en el tercer período hasta 50 en los experimentos 2 y 3 y hasta 100 unidades en el experimento 1. En un año particularmente lluvioso, donde se darían situaciones de escasez de aporte de N por el suelo y por consiguiente sería esperable una alta respuesta, la dosis de 150 unidades en ningún caso fue recomendable. La explicación de este hecho, sería que la razón que lleva al escaso aporte de N por el suelo es la misma que impide un aprovechamiento de altas dosis de fertilizante, ya que en caso de no ser absorbido inmediatamente por el verdeo (por excederse la capacidad de absorción del verdeo en un período corto inmediato a la aplicación) el N sobrante es susceptible de ser perdido (lixiviado, denitrificado, etc.). Más aún, en algunos momentos (pleno invierno representado por el segundo período de crecimiento) la dosis de 100 unidades de N ya fue

excesiva. Cabe aclarar que las dosis a partir de las cuales comienzan a ocurrir estos procesos, interacciona con el año y sobre todo con las precipitaciones que ocurran en el mismo.

Otro resultado que se destaca del cuadro 18 es la similitud de respuesta ocurrida en los tres experimentos (Figuras 33, 34 y 35) para los tres periodos de crecimiento. En los mismos los verdeos se desarrollan sobre suelos con historia de chacra contrastantes consecuencia de distintos sistemas de rotación. Al respecto, la bibliografía resalta el impacto o valor residual en N que una pradera de leguminosas tiene sobre el cultivo siguiente. Dicho efecto pudo ser visto cuando se analizó la evolución de los nitratos del suelo en secciones anteriores, donde se discutió las diferencias encontradas como consecuencia de historias anteriores contrastantes. Lo que llama la atención es que dichas diferencias no se hallan expresado en respuestas diferenciales al N (por ejemplo para la dosis de cero N, los niveles de producción promedio por experimento en el primer crecimiento son iguales). Se aclara que esto no es verificable estadísticamente, ya que los experimentos carecen de repeticiones.

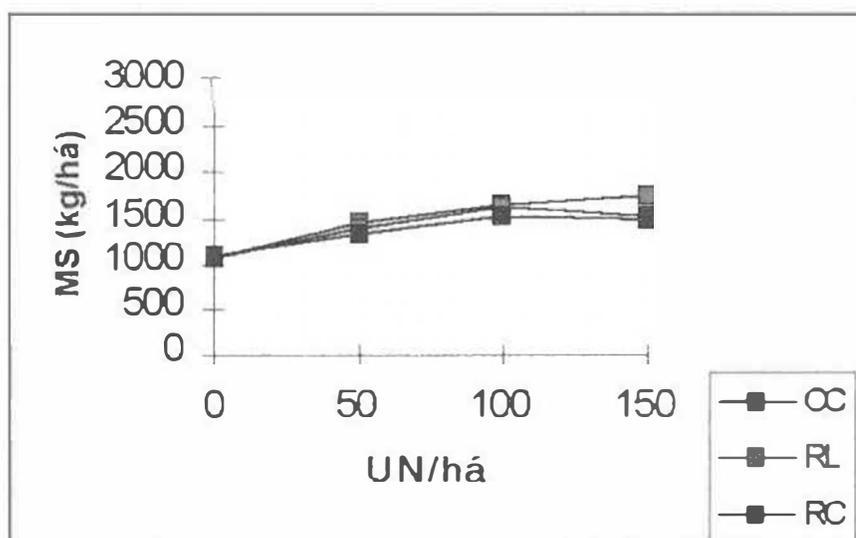


Figura 33: Respuesta a N durante el primer periodo de crecimiento según historia de chacra previa.

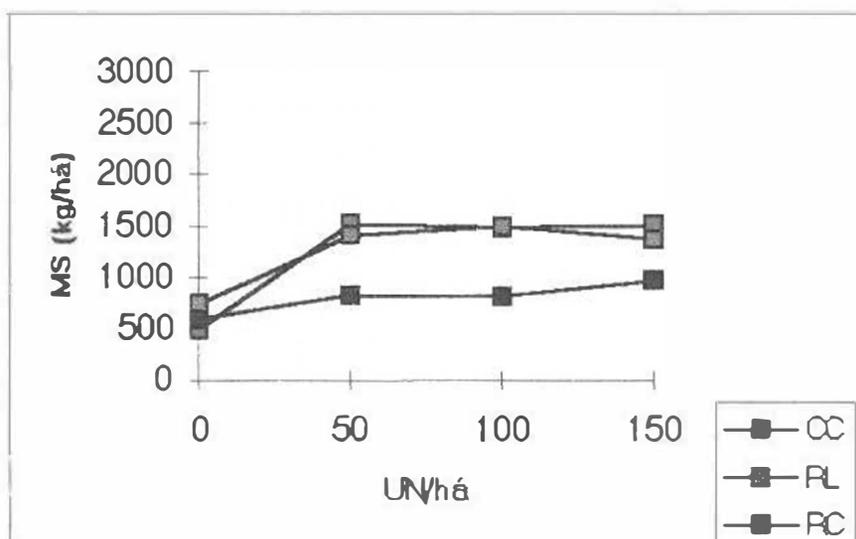


Figura 34: Respuesta a N durante el segundo período de crecimiento según historia de chacra previa.

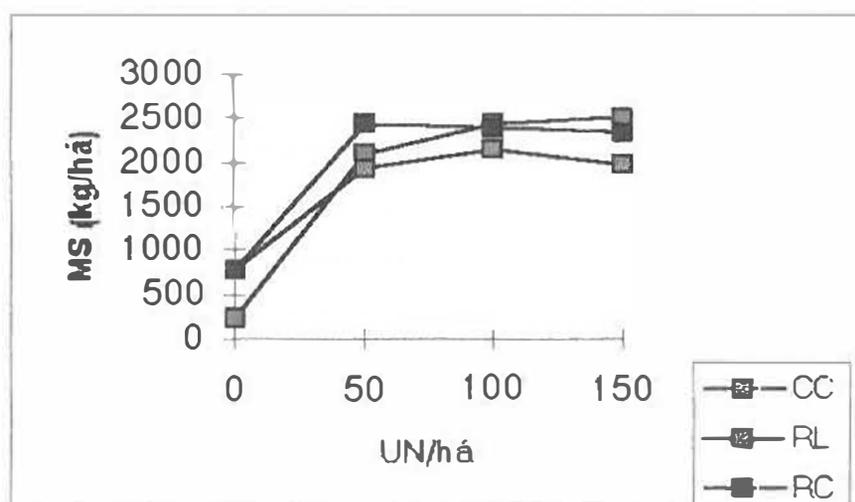


Figura 35: Respuesta a N durante el tercer período de crecimiento según historia de chacra previa.

Para el segundo y tercer período de crecimiento, las formas similares de respuesta observadas son razonables porque durante dichos períodos los niveles de nitratos encontrados en el suelo eran parecidos en los tres experimentos (Figura 29). En cambio, para el primer período de crecimiento, los resultados obtenidos no resultan lógicos ya que durante el mismo, los experimentos 3 y 1 presentaban niveles de nitrato superiores a los

del experimento 2 (Figura 29). La explicación de porqué los resultados son similares, podría deberse al efecto que tuvieron las abundantes precipitaciones ocurridas; otra explicación posible es que las diferencias de  $N-NO_3$  registradas, no eran de una magnitud importante y los valores de nitrato en todos los casos estaban por debajo de los niveles críticos. Se aclara que la curva de respuesta del segundo crecimiento del experimento 3 (RL) observada en la figura 34, está influenciada por el error de coordinación antes mencionado.

#### 4.4.3 Efecto del sistema de laboreo sobre la curva de respuesta a la fertilización nitrogenada.

La información sobre como se afecta la respuesta a N en sistemas de no laboreo es variable. Existe consenso por parte de distintos autores en que dicho efecto varía con diferentes ambientes. Pero en términos generales se establece la existencia de una clara interacción entre el laboreo y la dosis de N. Se entiende que cuando las dosis son bajas, el comportamiento de los sistemas no laboreados es deficitario en relación al de los laboreados. En cambio, cuando las dosis son altas los rendimientos se igualan (Thomas et al.; Baudel et al.; Moschler y Martens; Blevins et al. y Meisinger et al., citados por Stecker et al., 1995) e incluso, para algunos autores, la siembra directa por permitir mayor potencial, producirá rendimientos mayores (Legg et al., y Meisinger et al., citados por Stecker et al., 1995).

Como ya se mencionó, no hubo interacción entre el laboreo y la dosis de N durante los tres crecimientos en los tres experimentos (con  $\alpha = 0.05$ ), exceptuando el primer crecimiento del experimento 1 a las dosis más altas (Anexo VIII. 1, figura 36), en contraposición con lo indicado en la bibliografía. Son dos las razones que explicarían estos hechos. En primer lugar y siendo aparentemente la más importante, están las lluvias excesivas, homogeneizando lixiviación, temperatura del suelo y dinámica del N. En segundo lugar, se destaca que se está frente a un sistema de siembra directa donde el pastoreo hace que se reduzcan los niveles de rastrojo dejados en superficie, por lo que los efectos de éste sobre las dinámicas de agua y N y sobre la temperatura del suelo se minimizan en comparación con los sistemas de cultivos cerealeros.

Los datos mostrados desde la figura 36 hasta la 44 indican cuan similares son las respuestas a la dosis de N en los distintos sistemas de laboreo por experimento. No se incluyen dentro de esta afirmación los resultados obtenidos para el segundo período de crecimiento del experimento 3, por las razones ya mencionadas.

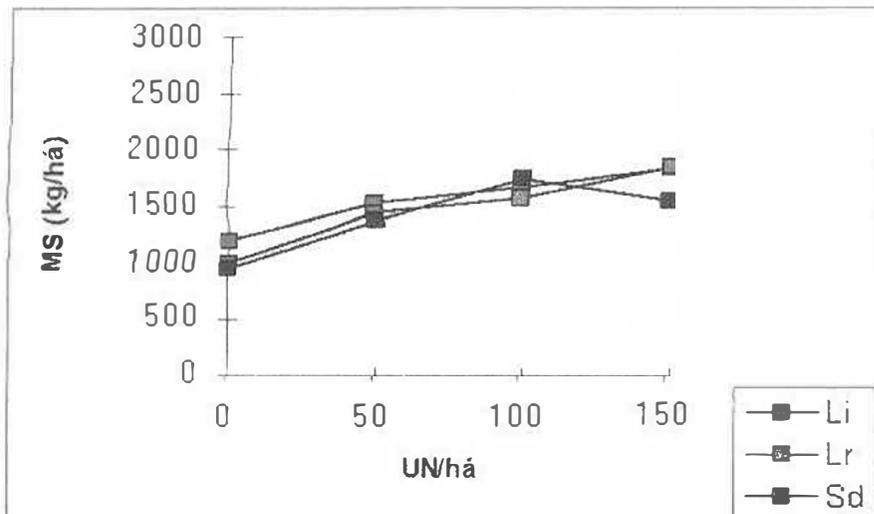


Figura 36: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 1<sup>er</sup> crecimiento (experimento 1).

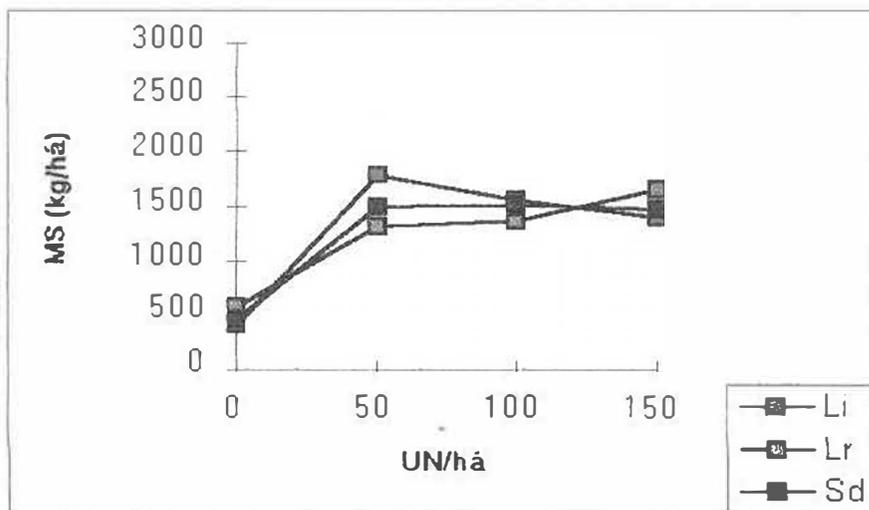


Figura 37: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 2<sup>do</sup> crecimiento (experimento 1).

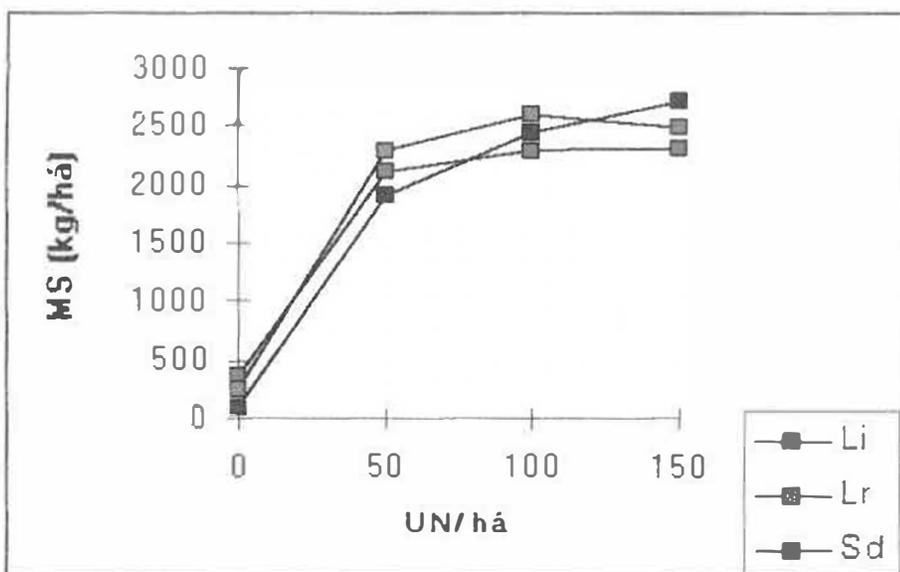


Figura 38: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 3<sup>er</sup> crecimiento (experimento 1).

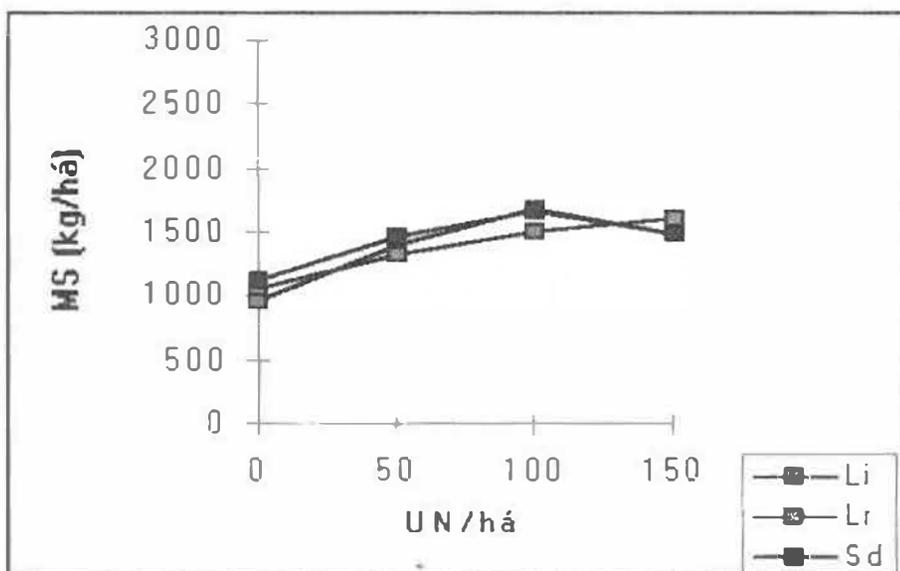


Figura 39: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 1<sup>er</sup> crecimiento (experimento 2).

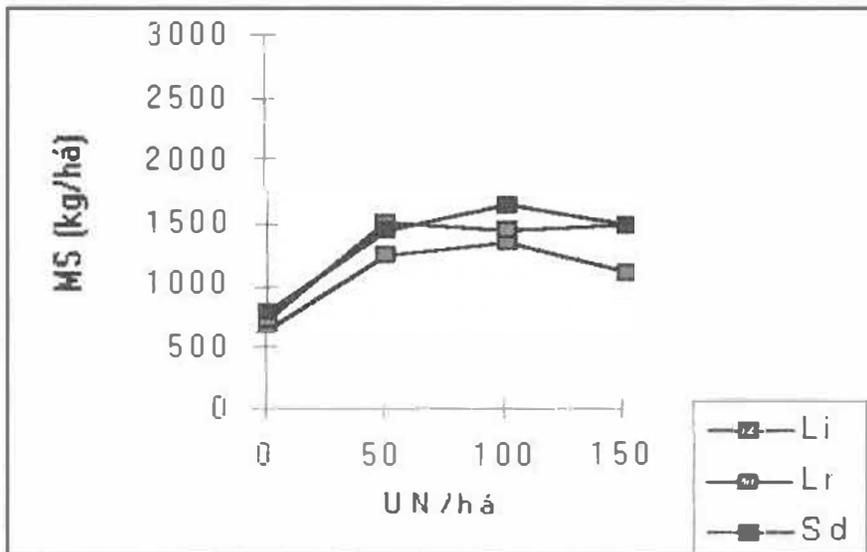


Figura 40: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 2<sup>do</sup> crecimiento (experimento 2).

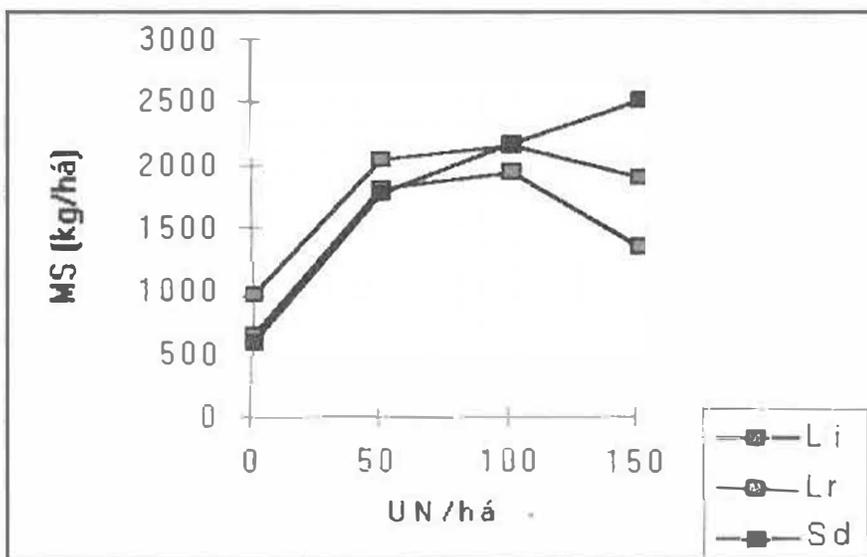


Figura 41: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 3<sup>er</sup> crecimiento (experimento 2).

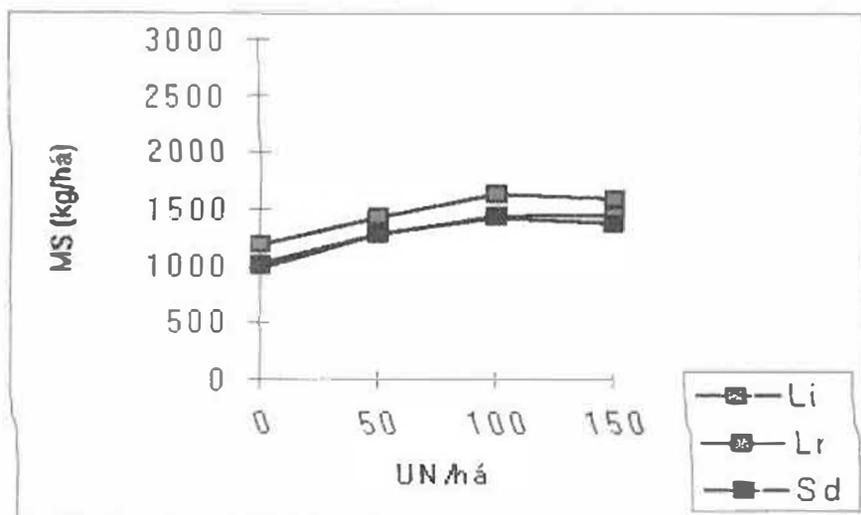


Figura 42: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 1<sup>er</sup> crecimiento (experimento 3).

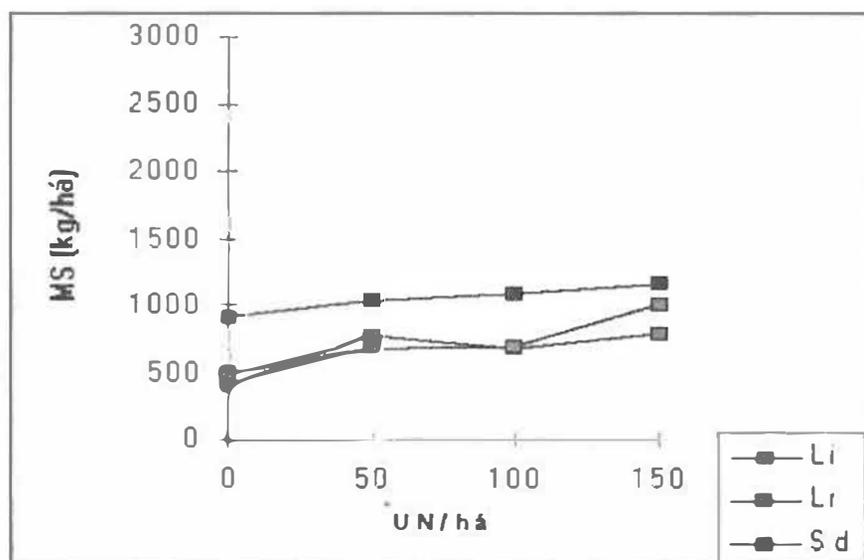


Figura 43: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 2<sup>do</sup> crecimiento (experimento 3).

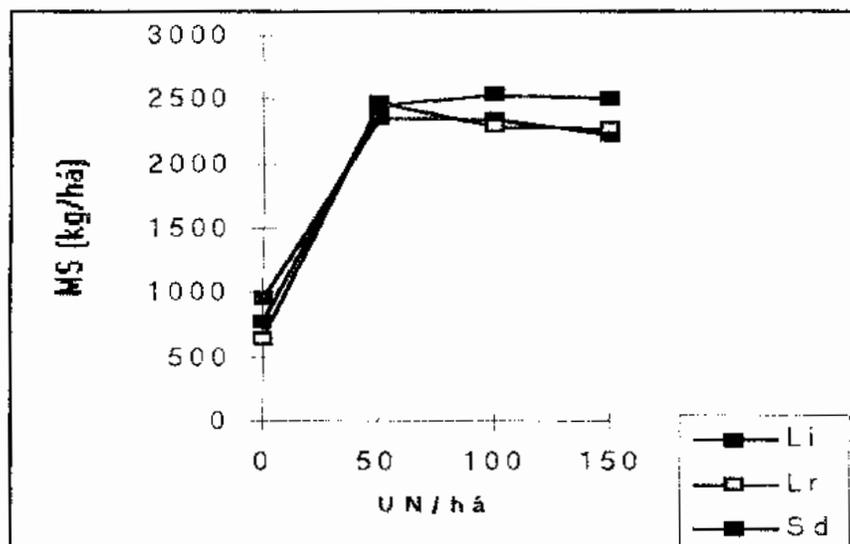


Figura 44: Efecto de la fertilización N y de la intensidad de laboreo sobre la producción de MS al 3<sup>er</sup> crecimiento (experimento 3).

Para cada situación de laboreo e historia anterior (experimento) se elaboró una curva que describe la forma de dicha respuesta (Anexo IX, 1 al 27). En el cuadro 19 se presentan los valores de los parámetros y la significancia de los mismos. A pesar que en algunos casos no es estadísticamente significativo el factor cuadrático de la función y en otros casos sí, esto no debería ser considerado como contradictorio con lo expresado sobre la similitud de las respuestas, ya que al no ser significativas las interacciones (con la excepción antes citada) entre el laboreo y el N, las diferencias en las curvas no serían de una magnitud tal que permitan concluir que existió diferencia en la respuesta a N entre los sistemas de laboreo dentro de cada experimento.

Se puede ver, que en la mayoría de las situaciones laboreadas (reducida o intensiva) para el primer período de crecimiento, el parámetro cuadrático es no significativo, no siendo este el caso de la siembra directa en los tres experimentos. A pesar de ello, solamente en el experimento 1 el contraste que muestra dicho efecto (denominado "siembra directa vs otros, N 100 vs N 150") es significativo (probabilidad de error de 0.0141). Allí en siembra directa, con una dosis menor de N se obtiene el crecimiento máximo, mientras en el promedio de los sistemas laboreados se obtendría con una dosis de N mayor. Una posible causa de estos resultados podría ser la tendencia a la depresión en el crecimiento con altas dosis de N observadas en las parcelas de siembra directa. Mayor investigación es requerida para determinar si estos hechos son reales y en caso afirmativo, encontrar explicación a los mismos.

Cuadro 19: Parámetros de las funciones de respuesta por sistema de laboreo para cada experimento.

Período de crecimiento	Exp. N°	Sistema de laboreo	Intercepto		Parámetro de primer orden		Parámetro de segundo orden	
			Estimador	Pr > F	Estimador	Pr > F	Estimador	Pr > F
Primero	1	Li	1195.89	0.0001	6.636	0.0209	-0.016	<b>0.3301</b>
Primero	1	Lr	1014.49	0.0001	8.043	0.0399	-0.018	<b>0.4431</b>
Primero	1	Sd	923.1	0.0001	13.765	0.0005	-0.063	0.0062
Primero	2	Li	960.63	0.0001	12.913	0.0014	-0.062	0.0088
Primero	2	Lr	1069.37	0.0001	6.006	0.0024	-0.017	<b>0.1229</b>
Primero	2	Sd	1113.57	0.0001	10.529	0.0006	-0.0052	0.0036
Primero	3	Li	1187.16	0.0001	6.904	0.0388	-0.028	<b>0.1755</b>
Primero	3	Lr	999.37	0.0001	7.14	0.0183	-0.027	<b>0.1327</b>
Primero	3	Sd	1027.2	0.0001	6.979	0.0224	-0.031	0.0172
Segundo	1	Li	500.3	0.0163	28.307	0.0003	-0.0153	0.0012
Segundo	1	Lr	633.25	0.0001	13.046	0.0034	-0.044	<b>0.0828</b>
Segundo	1	Sd	501.87	0.0032	22.398	0.0002	-0.108	0.0023
Segundo	2	Li	683.07	0.0030	14.924	0.0277	-0.08	0.0564
Segundo	2	Lr	796.48	0.0002	15.24	0.0095	-0.073	0.0402
Segundo	2	Sd	805.55	0.0006	16.886	0.0111	-0.083	0.0115
Segundo	3	Li	432.11	0.0048	6.254	<b>0.1501</b>	-0.029	<b>0.3073</b>
Segundo	3	Lr	509.33	0.0005	1.545	<b>0.6708</b>	+0.011	<b>0.6509</b>
Segundo	3	Sd	909.22	0.0001	2.47	<b>0.6231</b>	-0.006	<b>0.8487</b>
Tercero	1	Li	421.95	<b>0.1377</b>	37.977	0.0007	-0.172	0.0077
Tercero	1	Lr	320.28	<b>0.1424</b>	46.104	0.0001	-0.204	0.0002
Tercero	1	Sd	135.24	<b>0.5710</b>	39.973	0.0001	-0.154	0.0066
Tercero	2	Li	1048.84	0.0003	25.65	0.0024	-0.132	0.0096
Tercero	2	Lr	711.01	0.0115	30.85	0.0016	-0.175	0.0037
Tercero	2	Sd	681.83	0.0276	24.761	0.0149	-0.083	<b>0.1646</b>
Tercero	3	Li	1019.91	0.0003	30.50	0.0005	-0.153	0.0030
Tercero	3	Lr	750.09	0.0023	37.11	0.0001	-0.184	0.0006
Tercero	3	Sd	855.48	0.012	36.32	0.0020	-0.173	0.0601

#### 4.4.4 Uso del análisis de nitratos como indicador de respuesta a la fertilización nitrogenada.

Se cita comúnmente en la bibliografía niveles críticos de  $N-NO_3$  en el suelo de entorno a 18-20 ppm, por encima de los cuales no hay respuesta a la fertilización (Bordoli y García, citados por Terra et al., 1998); Hoffman et al., 1997). Dichos criterios son válidos en las etapas iniciales de crecimiento del cultivo y permitirían separar las situaciones de respuesta de las de no respuesta.

Las figuras 45 y 46 contrastan el rendimiento relativo al máximo (se entiende por éste el cociente entre la producción de MS sin fertilizante y la máxima producción independientemente de la dosis) para el primer pastoreo con los niveles de  $\text{N-NO}_3$  medidos a la implantación por un lado y al macollaje por otro. Se calculó además el coeficiente de correlación lineal entre ambas variables. Para esto fue considerada la información obtenida de todos los experimentos y todos los sistemas de laboreo.

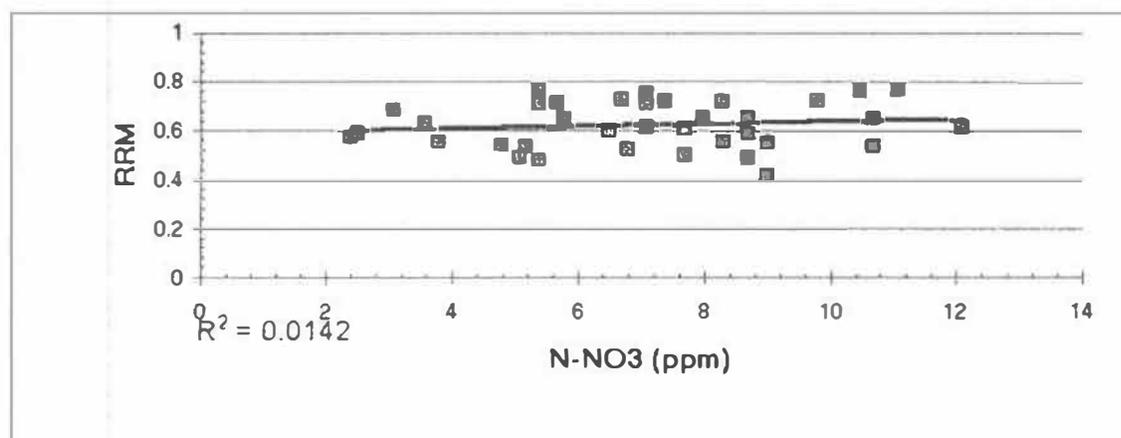


Figura 45: Rendimiento relativo al máximo vs nivel de nitratos a la implantación.

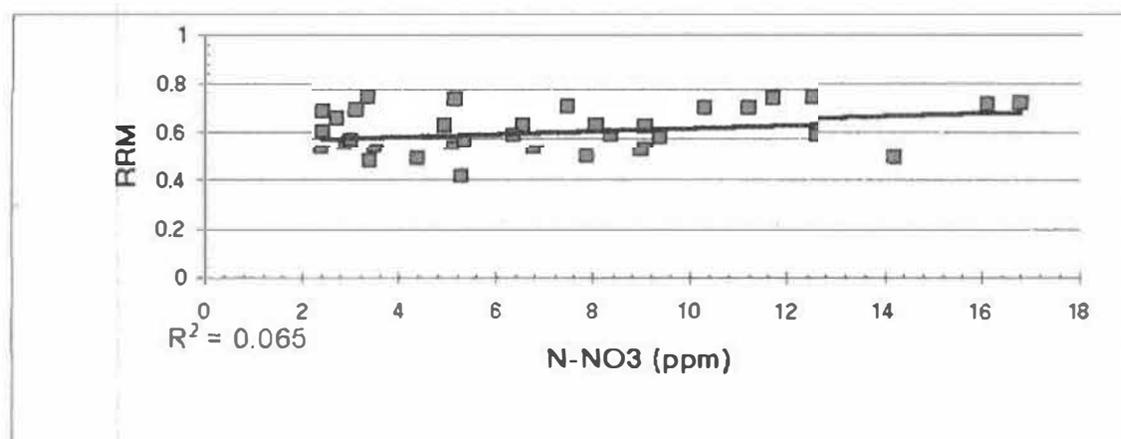


Figura 46: Rendimiento relativo al máximo vs nivel de nitratos al macollaje.

En primer lugar se pudo observar que en ninguna de las situaciones evaluadas se alcanzó el nivel crítico de 18 ppm. Coincidentemente con ello, en ningún caso las parcelas sin fertilizar rindieron la misma cantidad de MS que la de mayor rendimiento, en otras palabras, el rendimiento relativo al máximo no pasó de un 80% en ningún caso. A pesar de esa concordancia, resulta raro que, para un rango de valores de nitratos que varió entre

2.4 y 12.1 ppm a la implantación y entre 2.4 y 16.1 ppm al macollaje, no haya existido ninguna correlación con el rendimiento relativo (0.0142 a la implantación y 0.065 al macollaje). Esto indicaría que fue escasa la influencia que el nivel de nitratos existente en el suelo tuvo sobre el rendimiento relativo en los ensayos en cuestión, indicando la existencia de otros factores o procesos no medidos ni enumerados, que pudieron afectar dicha relación.

## 5. CONCLUSIONES

- El logro de una adecuada densidad de plantas no se vio condicionado por el sistema de laboreo utilizado, independientemente del uso anterior de los suelos.

- El crecimiento inicial (producción de MS al primer corte) no fue afectado por el sistema de laboreo empleado. De los factores medidos (compactación y disponibilidad de N mineral del suelo), solamente el estatus nutricional habría afectado la producción inicial. Para el resto del ciclo del cultivo, el sistema de laboreo no alteró la producción de MS.

- Se observó clara respuesta a la fertilización nitrogenada, pero esta no fue afectada ni por el sistema de laboreo ni por la historia de chacra anterior. Estas respuestas no son a las dosis máximas, sino a dosis intermedias dentro de las manejadas.

- Los suelos utilizados bajo siembra directa “ofrecen mejor piso” para el ganado que los utilizados bajo cualquier sistema que implique el laboreo. Esto se traduce en menor deformación del suelo como consecuencia del pisoteo animal, pero en estos experimentos no determinó siempre un mayor porcentaje de utilización y/o un menor rechazo. Un cuestionamiento del sistema utilizado para medir el rechazo de MS podría ser una de las causas de las escasas diferencias obtenidas.

- Aún en sistemas bajo pastoreo, el no laboreo del suelo reduce la degradación asociada al ciclo de cultivos de una rotación respecto a sistemas laboreados, hecho que fue evidente luego de muchos ciclos de cultivos. Esto se expresó en una mejor condición física o estructural luego de dos pastoreos durante el invierno. El pisoteo de la superficie del suelo pudo haber eliminado las posibles diferencias existentes en densidad aparente, debidas a distintos sistemas de laboreo.

- A pesar del gran retiro de MS, la siembra directa disminuyó la pérdida de carbono orgánico comparada con los tratamientos con laboreo. Pero quedó claro que en sistemas pastoriles, por sí sola la siembra directa no es suficiente para evitar la degradación (que se midió a través de la materia orgánica) de los suelos en rotaciones intensas, al compararlas con aquellos sistemas de rotación que incluyen praderas.

- Las diferencias en resistencia a la penetración entre sistemas de laboreo en superficie (hasta los 10 centímetros de profundidad) solamente están presentes en sistemas bajo pastoreo hasta que se produce pisoteo. La mayor compactación que sufre los suelos laboreados como consecuencia del mismo, lleva a que la resistencia a la penetración en superficie tienda a igualarse. El uso de la resistencia a la penetración como estimador de compactación, con la intención de predecir el efecto que la misma tiene sobre el crecimiento vegetal, debería ir acompañado por un estudio de la

interacción que existe entre la resistencia a la penetración y el contenido de la humedad del suelo.

-A pesar del cuestionamiento realizado al estimador de compactación (resistencia a la penetración) en el párrafo anterior, se puede concluir que el laboreo del suelo lleva a la formación de zonas compactadas subsuperficiales. Para que este fenómeno se vuelva evidente se requieren varios ciclos productivos, ya que en cultivos cabeza de rotación no se detectaron dichas zonas en suelos labreados al compararlos con los no labreados. Las mismas se ubican entre los 10 y 25 centímetros de profundidad.

- La siembra directa no afecta negativamente la producción de MS ni la dosis de N necesarias para lograr la máxima producción, comparada con los tratamientos con laboreo. Además, en algunas situaciones mejora el aprovechamiento del forraje. También disminuye la degradación del suelo en su uso bajo cultivos en pastoreo. Por lo tanto, para los suelos de lomadas del este, con alto riesgo de degradación y erosión, se considera que el uso de la tecnología de siembra directa sería recomendable en sistemas pastoriles.

- La condición de la pradera de leguminosas sobre la que se origina el barbecho (referido a la proporción de la composición botánica que ellas ocupan) afecta el nivel de nitratos que se mide en el suelo, en forma más importante que el sistema de laboreo realizado. A pesar de ello y de la adecuada duración de los barbechos, el efecto año es determinante de la magnitud y el efecto que el nivel de nitratos tiene sobre la respuesta a la fertilización nitrogenada de los verdeos de invierno.

## 6. RESUMEN

Durante el período invernal de 1998, en la Unidad Experimental Palo a Pique de INIA Treinta y Tres, Uruguay, se llevaron a cabo tres experimentos sobre Argisoles de la unidad Alférez que buscaban evaluar la implantación, producción, utilización y respuesta a la fertilización nitrogenada en verdeos de invierno bajo diferentes intensidades de laboreo. Cada experimento estaba inserto dentro de un sistema de rotación diferente. Las condiciones climáticas del período en cuestión se caracterizaron por abundantes precipitaciones al inicio (219 mm desde el 30/3 hasta el 7/5) y escasas al final (18 mm desde el 8/9 hasta el 26/9 y menores o casi nulas las registradas en octubre y noviembre). Los objetivos perseguidos fueron aumentar la producción y maximizar la utilización de los verdeos, con un seguimiento paralelo de la evolución de algunas propiedades del suelo, para evaluar la sustentabilidad de su uso bajo pastoreo. Cada experimento tuvo un diseño de parcelas divididas en 4 bloques al azar. Los tratamientos mayores fueron laboreo intensivo (Li), laboreo reducido (Lr) y siembra directa (Sd) y los menores 4 dosis de N (0, 50, 100 y 150 Unidades de N/há). Las dosis de N fueron aplicadas en tres oportunidades: al macollaje y luego del primer y segundo pastoreo. No se observaron diferencias en producción de materia seca en respuesta a la fertilización nitrogenada por efecto del laboreo o del sistema de rotación. Por otro lado, solamente en uno de los experimentos (rotación de cultivos continuos) pudieron observarse diferencias en utilización de forraje, siendo superior en las parcelas de Sd. La respuesta a la fertilización nitrogenada fue hasta 100 unidades para el primer período de crecimiento y hasta 50 unidades en los siguientes, no variando ni con el sistema de laboreo ni con la rotación; el efecto año (altas pérdidas de N) sería el determinante de estos resultados. Se encontró que al final del ciclo las diferencias en resistencia a la penetración del suelo observadas previo a los pastoreos desaparecen, finalizando en condición similar todos los tratamientos. No ocurrió lo mismo con la estabilidad estructural, que fue mayor bajo Sd, aunque esto no pudo ser corroborado estadísticamente. Propiedades como densidad aparente y escurrimiento no fueron diferentes entre sistemas de laboreo al final del ciclo. Se concluyó que la Sd es una alternativa tecnológica recomendable sobre suelos de lomadas del este, ya que no deprime la implantación ni la producción, no necesita de mayores niveles de fertilización nitrogenada para lograr una producción equivalente y en algunos casos permite mejorar la utilización. Además, ocurre un menor deterioro de las propiedades físicas, lo que asegura mayor sustentabilidad de los sistemas pastoriles

## 7. SUMMARY

Three experiments were conducted during the 1998 winter on the Argiudolls of Alférez, in the INIA-Treinta y Tres Experimental Unit "Palo a Pique". They intended to evaluate the effect that different soil tillage intensities had on the implantation, dry matter production and utilization of an annual winter wheat-ryegrass pasture. Each experiment was located on fields with different sequence of crops and pastures for grazing. The weather conditions during the period were characterized by a high level of rainfall at the beginning (219 mm from 30/3 to 7/5) and low rainfall at the end (18 mm from 8/9 to 26/9 and less during the months of october and november). The objectives were to achieve high production and utilization of the annual pasture, but studying at the same time the evolution of some soil properties, to evaluate the sustainability of the systems under grazing. Each trial had split-plot design in 4 completely randomized blocks. Major treatments were 3 tillage intensities (conventional, reduced and no-till), and the small plots had 4 nitrogen fertilizer doses (0, 50, 100 y 150 Kg of N/há). N treatments were applied in 3 times: at tillering and after the first and second grazing. There were no significant differences in dry matter production due to tillage systems. Besides, only in one of the trials (continuous double annual cropping) forage utilization with no-till was higher than with the other treatments. It was also found that at the end of winter grazing of the crop, the differences in cone index that existed before the pasture was grazed, had disappeared. But the structural stability of the soil, was higher with no-till. Other properties like bulk density or water run off were not different at the end of the grazing cycle. There was response to N fertilizer up to 100 Kg of N/há in the first growing period, and up to 50 kg in the other two growings. This response did not change with the tillage intensities nor with the rotation sequence. It was concluded that no-till is a technology suitable for grazing systems on the "Lomadas del Este" soils, because it had no depressive effect on implantation, dry matter production, and it did not need more N fertilizer than the tilled treatments to achieve an equivalent production, and in some cases it enhanced the grazing utilization of the dry matter. Besides, it produced relatively better physical properties, that ensure better sustainability.

## 8. BIBLIOGRAFIA

1. ABAYE A.O.; ALLEN V.G.; FONTENOT J.P. 1997. Grazing sheep and cattle together or separately: effect on soil and plants. *Agronomy Journal*. 89(3):380-386
2. ALTOM W.; ROGERS J.L.; RAUN W.R.; JOHNSON G.V.; TAYLOR S.L. 1996. Long-term Rye-Wheat-Ryegrass forage yields as affected by rate and date of applied nitrogen. *Journal of Production Agriculture*. 9(4):510-516
3. BALDOCK J.O.; HIGGS R.L.; PAULSON W.H.; JACKOBS J.A.; SHRADER W.D. 1981. Legume and mineral nitrogen effects on crop yields in several crop sequences in the upper Mississippi valley. *Agronomy Journal*. 73(5):885-890
4. BLANCO F.; TERRA J.A.; GARCIA F. 1996. Uso de elementos de la tecnología de la siembra directa en producción forrajera en suelos de lomadas del este. In *Producción animal, INIA Treinta y tres. Actividades de difusión* 110:pp17-32
5. BLEVINS R.L.; SMITH M.S.; THOMSA G.W. 1984. Changes in soil properties under no tillage. In *No-tillage agriculture, principles and practices*. Phillips S.H.; Phillips R.E. ed. New York. Van Nostrand Reinhold. pp. 190-230
6. BLEVINS R.L.; FRYE W.W. 1993. Conservation tillage: An ecological approach to soil management. *Advances in Agronomy*. 51: 45-52
7. BOOSALIS M.G.; MANNERING J.V.; DOUPNIK B.L.; WATKINS J.E. 1986. Effect of surface tillage on plant diseases. In *No-tillage and surface-tillage agriculture*. M. A. Sprague; G. B. Triplett ed. New York, JOHN WILEY & SONS. pp 389-408
8. CARAMBULA M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 464p
9. CARAMBULA M.; AYALA W.; BERMUDEZ R.; CARRIQUIRY E. 1996. Verdeos de invierno asociados. INIA Treinta y Tres. Boletín de divulgación N°. 58. 17p
10. CHAN K.Y. ; MEAD J.A.; ROBERTS W.P. 1987. Poor early growth of wheat under direct drilling. *Australian Journal of Agricultural Research*. 38 (5): 791-800
11. CHAN K.Y. ; MEAD J.A. 1992. Tillage-induced differences in the growth and distribution of wheat roots. *Australian Journal of Agricultural Research*. 43 (1):19-28

12. CHOUDHARY M.A.; LAI R.; DICK W.A. 1997. Long-term tillage effects on runoff and soil erosion under simulated rainfall for central Ohio soil. *Soil and Tillage Research*. 42(3):175-184
13. CULLEY J.L.B.; LARSON W.E.; RANDALL G.W. 1987. Physical properties of a typical Haplaquoll under conventional and No-tillage. *Soil Science Society of America Journal*. 51(6): 1587-1593.
14. DAO T.H.1996. Tillage system and crop residue effect on surface compaction of a paleustoll. *Agronomy Journal*. 88(2):141-148
15. DIAZ R.M.; GARCIA F.; BOZZANO A. 1980. Dinamica de la disponibilidad de nitrógeno y las propiedades físicas del suelo en rotación de cultivos y pasturas. In *Rotaciones*. CIAAB, La Estanzuela, Colonia. Miscelanea 24:1-25
16. DOWDELL R.J.; CANNELL R.Q. 1975. Effect of ploughing and direct drilling on soil nitrate content. *Journal of Soil Science*. 26(1):53-61
17. EHLIG C.F.; HAGEMANN R.W. 1982. Nitrogen management for irrigated annual ryegrass in Southwestern United States. *Agronomy Journal*. 74(5):820-823
18. ERNST O.; SIRI G. 1996. Siembra directa: Sus posibilidades en los sistemas pasturas cultivos. *CANGÜE*. 3:13-17
19. ERNST O.; SIRI G. 1997. Crecimiento inicial de cultivos sembrados sin laboreo I. Efecto de la temperatura. *CANGÜE*. (9):29-31
20. FOX R.II.; BANDEL V.A. 1986. Nitrogen utilization with no-tillage. In *No-tillage and surface-tillage agriculture*. M. A. Sprague; G. B. Triplett ed. New York, JOHN WILEY & SONS. pp 117-148
21. GANTZER C.J.; BLAKE G.R. 1978. Physical characteristics of Le seur clay loam soil following no-till and conventional tillage. *Agronomy Journal*. 70(5):853-857
22. GARCIA F. 1992a. Conservación de suelos: guía para la toma de decisiones en conservación de suelos, 3era aproximación. INIA (Uruguay). Serie técnica 26. 36p
23. GARCIA F. 1992b. Propiedades física y erosión en rotaciones de cultivos y pasturas. *Revista de INIA: Investigaciones Agronómicas* 1(Y):127-140
24. GARCÍA F. 1997. Aspectos básicos del comportamiento de suelos en siembra directa: propiedades físicas. In. *Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de*

- suelos. (1997, Bañados de Medina, Cerro Largo, Uruguay). Montevideo, Facultad de Agronomía, pp. 11-23
25. GREENWOOD K.L.; MACLEOD D.A.; SCOTT J.M.; HUTCHINSON K.J.1998. Changes to soil properties after grazing exclusión. *Soil Use and Management*.14: 19-24
  26. GRIFFITH D.R.; MANNERING J.V.; BOX J.E. 1986. Soil and moisture management whit reduced tillage. . *In* No-tillage and surface- tillage agriculture. M. A. Sprague; G. B. Triplett ed. New York, WILEY & SONS. pp 19-57
  27. GROYA F.L.; SHEAFFER C.C. 1985. Nitrogen from forage legume: harvest and tillage effect. *Agronomy Journal*. 77(1):105-109
  28. HAMMEL J.E.1989.Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. *Soil Science Society of América Journal*. 53(5): 1515-1519.
  29. HARGROVE W.L.; TOUCHTON J.T.; JOHNSON J. W. 1983. Previous crop influence on fertilizer nitrogen requirements for double-cropped wheat. *Agronomy Journal*. 75(6):855-859
  30. HAYNES R.J.; WILLIAMS P.H.1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*.49: 121-130
  31. HILL R.L.1990. Long-term conventional and No-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of América Journal*. 54(1): 161-166.
  32. HOFFMAN E.; ERNST O. 1996. Refertilización en cebada cervecera. *CANGÜE*. 6:15-20
  33. HOFFMAN E.; PERDOMO C.; ERNST O. 1997. Fertilización nitrogenada de cultivos de invierno. *CANGÜE* 10:33-36
  34. IZAURRALDE R.C.; HOBBS S.A.; SWALLOW C.W. 1986. Effects of reduced tillage practices on continuos wheat productionand on soil properties. *Agronomy Journal*. 78(5):787-791
  35. JACOBSEN J.S.; WESTERMANN R.L. 1988. Nitrogerm fertilization in winter wheat tillage systems. *Journal of Production Agriculture*. 1(3):235-239

36. KAMPHROST. 1987. A small rainfall simulator for the determination of soil erodability. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 35: 407-415
37. KARLEN D.L.; VARVEL G.E.; BULLOCK D.G.; CRUSE R.M. 1994. Crop rotations for the 21st century. *Advances in Agronomy*. 53: 22-31
38. KARLEN D.L.; GOODEN D.T. 1997. Tillage systems for wheat production in the south eastern coastal plains. *Agronomy Journal*. 79(3):582-587
39. KIRKEGAARD J.A.; ANGUS J.F.; GARDNER P.A.; MÜLLER W. 1994. Reduced growth and yield of wheat with conservation cropping I. Field studies in the first year of the cropping phase. *Australian Journal of Agricultural Research*. 45 (3):511-528
40. KIRKEGAARD J.A.; ANGUS J.F.; GARDNER P.A.; MUNNS R.; JAMES R.A. 1995. Reduced growth and yield of wheat with conservation cropping II. Soil biological factors limit growth under direct drilling. *Australian Journal of Agricultural Research*. 46 (1):75-88
41. KNOWLES T.C.; HIPP B.W.; GRAFF P.S.; MARSHALL D.S. 1993. Nitrogen nutrition of rainfed winter wheat in tilled and no-till sorghum and wheat residues. *Agronomy Journal*. 85(4):886-893
42. KRENZER E.G.; CHEE C.F.; STONE J.F. 1989. Effects of animal traffic on soil compaction in wheat pastures. *Journal of Production Agriculture*. 2(3):246-249
43. LEVIN A.; BEEGLE D.B.; FOX R.H. 1987. Effect of tillage on residual nitrogen availability from alfalfa to succeeding corn crop. *Agronomy Journal*. 79(1):34-38
44. LORY J.A.; RUSSELL M.P.; RANDALL G.W. 1995. A classification system for factors affecting crop response to nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*. 87(5):869-876
45. MACRAE R.J.; MEHUYS G.R. 1985. The effect of green manuring on the physical properties of temperate-area soils. In *Advances in soil science*. B.A. Stewart. Ed. 3:71-94
46. MADDALENA M.A. 1994. propiedades físicas del suelo en siembra directa y laboreo convencional y sus efectos sobre el desarrollo del trigo. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 85p.

47. MARTINO D.L. 1994. Agricultura sostenible y siembra directa en el litoral oeste uruguayo. In Manejo y fertilidad de suelos. INIA La Estanzuela. Serie técnica 42:77-82
48. MARTINO D.L. 1996. Propiedades físicas del suelo que afectan el desarrollo vegetal. In. Manejo y fertilidad de suelos. INIA La Estanzuela. Serie técnica 76, pp. 101-105
49. MARTINO D.L. 1997. Siembra directa en los sistemas agrícolas ganaderos del litoral. INIA. La Estanzuela, Uruguay. 28p
50. Mc GUIRE A.M.; BRYANT D.C.; DENISON R.F. 1998. Wheat yields, nitrogen uptake, and soil moisture following winter legume cover crop vs fallow. *Agronomy Journal*. 90(3):404-410
51. MITCHELL W.H.; TEEL M.R. 1977. Winter annual cover crops for no-tillage corn production. *Agronomy Journal*. 69(4):569-573
52. MORENO F.; PELEGRIN F.; FERNANDEZ J.E.; MURILLO J.M. 1997. Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in Southern Spain. *Soil and Tillage Research*. 41(1,2):25-42.
53. NeSMITH D.S.; HARGROVE W.L.; RADCLIFFE D.E.; TOLLNER E.W.; ARIOGLU H.H. 1987. Tillage and residue management effects on properties of an Ultisol and double-cropped soy bean production. *Agronomy Journal*. 79(3):570-576
54. OGUNREMI L.T.; LAL R.; BABALOLA O. 1986. Effects of tillage and seeding methods on soil physical properties and yields of upland rice for an Ultisol in Southeast Nigeria. *Soil and Tillage Research*. 6(4): 305-324.
55. PROFFITT A.P.B.; BENDOTTI S.; HOWELL M.R.; EASTHAN J. 1993. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a red- brown earth. *Australian Journal of Agricultural Research*. 44 (2):317-331
56. PROFFITT A.P.B.; BENDOTTI S.; McGARRY D. 1995b. A comparison between continuous and controlled grazing on a red duplex soil I. Effect on soil physical characteristics. *Soil and Tillage Research*. 35(4):199-210
57. PROFFITT A.P.B.; JARVIS R.J.; BENDOTTI S. 1995. The impact of sheep trampling and stocking rate on the physical properties of a red duplex soil with two initially different structures. *Australian Journal of Agricultural Research*. 46 (4):733-747

58. RAO K.P.C.; STEENHUIS T.S.; COGLE A.L.; SRINIVASAN S.T.; YULE D.F.; SMITH G.D. 1998. Rainfall infiltration and runoff from an Alfisol in semi-arid tropical India. II Tilled systems. *Soil and Tillage Research*. 48(1,2): 61-69.
59. REBUFFO M. 1994. Fertilización nitrogenada en pasturas mezcla. In *Nitrogeno en pasturas*. INIA La Estanzuela. Serie técnica 51:27-32
60. SPRAGUE M. A. 1986. Overview. . *In\_ No-tillage and surface- tillage agriculture*. M. A. Sprague; G. B. Triplett ed. New York, WILEY & SONS. pp 1-18
61. STECKER J.A.; BUCHHOLZ D.D.; HAUSON R.G.; WOLLENHAUPT N.C.; Mc VAY K.A. 1995. Tillage and rotation effects on corn yield response to fertilizer nitrogen on aqualf soils. *Agronomy Journal*. 87(3):409-415
62. STUTE J.K.; POSNER J.L. 1995. Legume cover crops as a nitrogen source for corn in an oat-corn rotation. *Journal of Production Agriculture*. 8(3):385-390
63. TERRA J.A.; GARCIA F. 1997. Siembra directa A: intensidad de laboreo y fertilización nitrogenada de cultivos forrajeros. In *Producción animal*, INIA Treinta y Tres. *Actividades de Difusión* 136:pp81-92
64. TERRA J.A.; GARCIA F. 1998. Uso y manejo sustentable de los suelos de lomadas del este. In. *Producción animal*. INIA Treinta y tres. *Serie de Actividades de Difusión*. 172, pp 49-65
65. TRIPLETT G.B.; HAGHIRI F.; VAN DOREN D.M. 1979. Plowing effect on corn yield response to N following alfalfa. *Agronomy Journal* 71(5):801-803
66. VERA R. 1964. Respuesta del Raigras (*Lolium multiflorum*) a dosis y fuentes de nitrógeno y a épocas de aplicación. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 53p.
67. WELLS K.L. 1984. Nitrogen management in the no-till system. In *Nitrogen in crop production*. RD. Hauck ed. ASA, Madison, Wisconsin, USA. pp535-550
68. WESTERMANN D.T.; CROTHERS S.E. 1993. Nitrogen fertilization of wheat no-till planted in alfalfa stuble. *Journal of Production Agriculture*. 6(3):404-408
69. WILKINS R.J.; GARWOOD E.A. 1986. Effect of treading, poaching and fouling on grassland production and utilization. In *Grazing; occasional symposium N°19*, British grassland society. J. Frame ed. Berkshire, BGS: pp19-31

70. WISCHMEIER W.H.; MANNERING J.V. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America Proceedings*. 33(1):131-137
71. WISCHMEIER W.H.; SMITH D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses- a guide to conservation tillage. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook nº537:58p

## 9. ANEXOS

*ANEXO I- EVALUACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN*

*ANEXO II- PROPIEDADES FÍSICAS AL INICIO DEL CICLO*

*ANEXO III -EVALUACION DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN*

*ANEXO IV- EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL SUELO*

*ANEXO V- EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN Y DE LA MATERIA SECA RECHAZADA*

*ANEXO VI-EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS AL FINAL DEL CICLO*

*ANEXO VII- EVALUACIÓN DEL NIVEL DE NITRATOS DEL SUELO*

*ANEXO VIII- EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA*

*ANEXO IX - FUNCIONES DE RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA*

*ANEXO X- COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ENTRE PASTOREOS*

## ANEXO I- EVALUACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN

### 1- Implantación en el experimento 1 (plantas de trigo por m<sup>2</sup>)

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	1128.180819	3.77	0.5515	Media	158.24	166.24	199.43
laborio	2	1813.603085	1.24	0.3540	Grupo	a	a	a
					Cv=1.09606		DMS=66.2 b	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs ctr	1	1927.219171	1.25	0.3069				
int vs red	1	1790.597	1.23	0.3102				

### 2- Implantación en el experimento 2 (plantas de trigo por m<sup>2</sup>)

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	2	1052.635005	2.64	0.1408	Media	237.05	224.12	292.65
laborio	2	187.197519	0.47	0.6485	Grupo	a	a	a
					Cv=3.5068		DMS=34.5465	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs ctr	1	8.0042253	0.02	0.88				
int vs red	1	566.0956817	0.92	0.3749				

### 3- Implantación en el experimento 3 (plantas de trigo por m<sup>2</sup>)

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	599.450289	4.27	0.0617	Media	178.50	174.7	172.64
laborio	2	35.559275	0.17	0.5481	Grupo	a	a	a
					Cv=8.27548		DMS=25.099	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs ctr	1	42.0555915	0.3	0.6705				
int vs red	1	38.223125	0.14	0.7022				

## ANEXO II- PROPIEDADES FÍSICAS AL INICIO DEL CICLO

### 1- Análisis de erosión de marzo en el experimento 1

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	Li	LR	SD
Bloque	3	3.670558	?	?	Media	2.623	2.3831	1.7993
Isibros	2	0.717128	3.14	0.1166	Grupo	a	a	a
					DMS=0.3167			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs ntr	1	1.91329	5.76	0.053				
nt vs red	1	0.11496	0.5	0.5045				

### 2- Análisis de escurrimiento de marzo en el experimento 1

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	Li	LR	SD
Bloque	3	5.781678	?	?	Media	24.555	26.158	23.525
Isibros	2	7.0393	0.92	0.4465	Grupo	a	a	a
					DMS=4.7731			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs ntr	1	8.9426	1.15	0.32				
nt vs red	1	5.13601	0.67	0.4429				

### 3- Análisis de carbono orgánico del 30 de marzo en el experimento 1

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	Li	LR	SD
Bloque	3	0.026837	?	?	Media	1.2225	1.41	1.47
Isibros	2	0.066675	2.92	0.1201	Grupo	a	a	a
					DMS=0.2814			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs ntr	1	0.0630375	2.75	0.1476				
nt vs red	1	0.0703125	3.08	0.1298				

### 4- Análisis de carbono orgánico del 30 de marzo en el experimento 2

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	Li	LR	SD
Bloque	3	0.117722	?	?	Media	1.7925	1.7625	1.8
Isibros	2	0.001575	0.04	0.9554	Grupo	a	a	a
					DMS=0.3747			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs ntr	1	0.00135	0.03	0.8674				
nt vs red	1	0.0018	0.04	0.8471				

5- Análisis de carbono orgánico del 30 de marzo en el experimento 3

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	0.0399416	?	?	Media	1.97	1.466	1.6475
laboreo	2	0.002756	8.23	0.0191	Grupo	b	b	a
					DMS=0.1869			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	0.1666	14.55	0.0004				
int vs red	1	0.01705	1.51	0.2518				

6- Análisis de carbono orgánico del 7 de mayo en el experimento 2

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	0.0674167	?	?	Media	1.8525	1.9325	2.0275
laboreo	2	0.007433	0.43	0.6667	Grupo	b	ab	a
					DMS=0.1321			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	0.045066	7.73	0.032				
int vs red	1	0.0068	1.66	0.2425				

7- Análisis de carbono orgánico del 7 de mayo en el experimento 3

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	0.039875	?	?	Media	1.715	1.6725	1.86
laboreo	2	0.031360	8.07	0.0362	Grupo	b	b	a
					DMS=0.1332			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	0.065114	11.51	0.0146				
int vs red	1	0.003012	0.64	0.4547				

### ANEXO III- RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

#### 1- Resistencia a la penetración del 12 de Marzo en el experimento 1

						DMS $\alpha=0.05$			
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	U	LR	SD
0-5	Bloque	3	47.298611	2.87	0.1256	Media	17.5	37.125	48.5
	laborio	2	95.3875	59.74	0.0001	Grupo	c	b	a
						Cv=11.89434	DMS=7.0266		
5-10	Bloque	3	35.6875	0.73	0.5713	Media	27	42.25	52.125
	laborio	2	943.356833	19.26	0.0024	Grupo	b	a	a
						Cv=18.04128	DMS=12.109		
10-15	Bloque	3	15.9444444	0.69	0.5908	Media	40.75	46.375	49.875
	laborio	2	69.0736833	2.99	0.1259	Grupo	a	a	a
						Cv=10.60914	DMS=8.3215		
15-20	Bloque	3	22.13194444	1.56	0.294	Media	48.875	52.375	51.875
	laborio	2	14.93333333	1.01	0.4186	Grupo	a	a	a
						Cv=7.361925	DMS=6.5187		
20-25	Bloque	3	82.9689889	4.3	0.0609	Media	52.75	55.75	53.5
	laborio	2	9.75	0.51	0.6247	Grupo	a	a	a
						Cv=8.101424	DMS=7.5094		
25-30	Bloque	3	65.6533333	2.43	0.1631	Media	60.625	55.5	54.875
	laborio	2	35.1458333	1.3	0.3393	Grupo	a	a	a
						Cv=9.133540	DMS=9.0039		
30-35	Bloque	3	26.3777778	0.5	0.6984	Media	53.25	61.375	54.375
	laborio	2	87.5208333	1.40	0.2998	Grupo	a	a	a
						Cv=12.67672	DMS=13.235		
35-40	Bloque	3	12.5763889	0.27	0.6434	Media	59	61.625	61
	laborio	2	122.5268333	2.85	0.1494	Grupo	a	a	a
						Cv=11.37006	DMS=11.755		
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Nota: datos expresados en N/cm <sup>2</sup>			
0-5	sd vs otr	1	1197.03375	72.7	0.0001				
	int vs red	1	779.26125	46.76	0.0005				
5-10	sd vs otr	1	1005.96667	21.76	0.0004				
	int vs red	1	820.125	16.74	0.0064				
10-15	sd vs otr	1	75.2604167	3.15	0.1213				
	int vs red	1	65.26125	2.74	0.1492				
15-20	sd vs otr	1	41.6586667	0.19	0.6675				
	int vs red	1	24.5	1.73	0.2369				
20-25	sd vs otr	1	1.3	0.08	0.7589				
	int vs red	1	18	0.94	0.3206				
25-30	sd vs otr	1	36.2604167	1.54	0.291				
	int vs red	1	34.35125	1.26	0.305				
30-35	sd vs otr	1	126.0194167	9.35	0.0426				
	int vs red	1	7.03125	0.12	0.7418				
35-40	sd vs otr	1	201.2604167	5.01	0.0665				
	int vs red	1	13.72125	0.3	0.6045				

## 2- Resistencia a la penetración del 26 de Julio en el experimento 1

Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	LMS: $\alpha=0.05$			
						Tratamiento	LI	LR	SL
0-5	Bloque	3	29.75	0.86	0.5103	Media	0.08	0.1074	0.21
	laboreo	2	529.9333333	21.97	0.0017	Grupo	c	b	a
							Cv=25.0548	DMS=0.0849	
5-10	Bloque	3	25.8888889	1.11	0.4155	Media	0.2175	0.31	0.3675
	laboreo	2	222.5833333	9.83	0.0128	Grupo	b	a	a
							Cv=16.18184	DMS=0.0035	
10-15	Bloque	3	16.6655557	0.95	0.4727	Media	0.4325	0.4175	0.33
	laboreo	2	122.5333333	6.26	0.034	Grupo	a	a	b
							Cv=11.25278	DMS=0.0766	
15-20	Bloque	3	16.75	0.47	0.715	Media	0.51	0.4225	0.32
	laboreo	2	154.3633333	4.31	0.0351	Grupo	a	ab	b
							Cv=13.56334	DMS=0.1055	
20-25	Bloque	3	26.7777778	1.53	0.2726	Media	0.485	0.415	0.405
	laboreo	2	71	4.52	0.081	Grupo	a	ab	b
							Cv=9.322341	DMS=0.0732	
25-30	Bloque	3	240.8722222	2.6	0.1476	Media	0.4475	0.395	0.435
	laboreo	2	197.5033333	2.13	0.2001	Grupo	a	b	ab
							Cv=24.00394	DMS=0.0509	
30-35	Bloque	3	249.3722222	2.6	0.1475	Media	0.4025	0.39	0.44
	laboreo	2	187.5033333	2.13	0.2001	Grupo	a	a	a
							Cv=23.66546	DMS=0.059	
35-40	Bloque	3	73.4444444	2.32	0.1763	Media	0.3625	0.365	0.465
	laboreo	2	35.5833333	1.12	0.3353	Grupo	a	a	a
							Cv=14.01635	DMS=0.0551	

Nota : datos expresados en Mpa

Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F
0-5	sd vs otr	1	752.0416667	32.47	0.0013
	int vs rec	1	275.125	11.47	0.0147
5-10	sd vs otr	1	267.0416667	12.32	0.0127
	int vs rec	1	171.125	7.04	0.0351
10-15	sd vs otr	1	240.8688889	10.29	0.0127
	int vs rec	1	4.5	0.23	0.6287
15-20	sd vs otr	1	155.0416667	4.04	0.0574
	int vs rec	1	153.125	4.28	0.0838
20-25	sd vs otr	1	54	3.28	0.1199
	int vs rec	1	56	5.56	0.0504
25-30	sd vs otr	1	70.0416667	0.75	0.4154
	int vs rec	1	325.125	3.5	0.1104
30-35	sd vs otr	1	210.0416667	2.61	0.1444
	int vs rec	1	210.125	2.62	0.1444
35-40	sd vs otr	1	66.6666667	2.1	0.1973
	int vs rec	1	4.5	0.14	0.7193

3- Resistencia a la penetración del 26 de Julio en el experimento 2

					LMS en 06			
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F	Tratamiento	LR	LR
3-5	Bloque	3	430	1.45	0.3181	Perla	11.625	15.75
	laboral	2	563.6625	18.41	0.0024	Grupo	a	a
						Cv=22.2827	DMS=8.4687	28.5
		2	20.565565		0.4835	Media	28.5	24.25
						Grupo	a	ab
						Cv=12.9771	DMS=8.2627	38.75
6-10	Bloque	3	55.563333	0.2	0.6677	Media	25.75	26.25
	laboral	2	6.305556	0.75	0.6857	Grupo	a	a
						Cv=15.04618	DMS=9.0726	40.75
10-15	Bloque	3	34.903333	0.28	0.518	Media	24.25	22.25
	laboral	2	29.777777	0.75	0.6425	Grupo	a	a
						Cv=19.40458	DMS=11.416	25.5
15-20	Bloque	3	16.15	0.59	0.3887	Media	30.5	28.25
	laboral	2	21	0.55	0.6042	Grupo	a	a
						Cv=21.35802	DMS=14.054	27.75
20-25	Bloque	3	32.75	0.32	0.518	Media	31.25	32
	laboral	2	9.222222	0.54	0.6171	Grupo	a	a
						Cv=19.93305	DMS=8.7254	26.75
25-30	Bloque	3	5.836667	0.25	0.6351	Media	31.75	31.5
	laboral	2	6.336667	0.28	0.6288	Grupo	a	a
						Cv=13.48214	DMS=7.183	36
30-35	Bloque	3	24.832222	0.33	0.3564	Media	31	30.5
	laboral	2	8.083333	0.33	0.6064	Grupo	a	a
						Cv=14.62129	DMS=7.5894	28.25
35-40	Bloque	3	1.9	0.03	0.969	Media		
	laboral	2	1.1	0.03	0.969	Grupo		
						Cv=14.62129	DMS=7.5894	28.25
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F	Nota: datos expresados en N/cm <sup>2</sup>		
3-5	sd vs dr	1	789.44079	23.8	0.0029			
	rt vs red	1	457.93125	13.73	0.008			
5-10	sd vs dr	1	128.0416887	5.53	0.057			
	rt vs red	1		1.06	0.7082			
10-15	sd vs dr	1	48.16816887	1.48	0.2895			
		1		0.02	0.9054			
15-20	sd vs dr	1			0.31	0.5877		
	rt vs red	1			0.12	0.6931		
20-25	sd vs dr	1	34.93667	1.12	0.7279			
	rt vs red	1	39.175	0.95	0.3087			
25-30	sd vs dr	1	63.375	2.16	0.1821			
	rt vs red	1			0.04			
30-35	sd vs dr	1			1.07			
	rt vs red	1	1.725		0.0415			
35-40	sd vs dr	1	16.175	0.61	0.9347			
	rt vs red	1	16.83666667	0.67	0.3154			
			0.5		0.3927			
		1	1.1	0.03	0.9289			

#### 4- Resistencia a la penetración del 26 de Julio en el experimento 3

						DMR: $\alpha=0.05$			
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SL
0-5	Bloque	3	22.305536	4.99	0.0454	Media	10	10.25	11.5
	laboreo	2	609.25	136.03	0.0001	Grupo	b	b	a
						Cv=12.2506 DMS=0.659			
5-10	Bloque	3	5.194444	0.25	0.9607	Media	25.25	27.5	31
	laboreo	2	59.25	3.29	0.1083	Grupo	a	a	a
						Cv=15.67728 DMS=7.3541			
10-15	Bloque	3	.29	1.27	0.3042	Media	36.75	38	39.75
	laboreo	2	1.06333333	0.05	0.9539	Grupo	a	a	a
						Cv=13.1881 DMS=8.2527			
15-20	Bloque	3	24.55555556	0.78	0.658	Media	39.25	39.75	34.5
	laboreo	2	24.25	0.75	0.6133	Grupo	a	a	a
						Cv=15.61217 DMS=9.0536			
20-25	Bloque	3	54.55555556	1.36	0.3424	Media	32.5	35.5	31.5
	laboreo	2	17.33333333	0.43	0.6565	Grupo	a	a	a
						Cv=19.12191 DMS=10.973			
25-30	Bloque	3	15.40972222	0.47	0.7138	Media	33.75	30.75	29.675
	laboreo	2	34.1875	0.74	0.5167	Grupo	a	a	a
						Cv=18.35443 DMS=9.8006			
30-35	Bloque	3	11.41666667	0.63	0.6763	Media	32.25	31.5	27.5
	laboreo	2	26.92333333	1.22	0.3596	Grupo	a	a	a
						Cv=15.21473 DMS=8.0072			
35-40	Bloque	3	50.90555556	1.01	0.4506	Media	29.25	28	27
	laboreo	2	5.08333333	0.17	0.8473	Grupo	a	a	a
						Cv=13.43444 DMS=9.4726			
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Nota: datos expresados en N/cm <sup>2</sup>			
0-5	sd vs otr	1	1218.375	272.43	0.0001				
	int vs red	1	0.125	0.03	0.8707				
5-10	sd vs otr	1	135.375	6.44	0.0442				
	int vs red	1	3.125	0.15	0.7132				
10-15	sd vs otr	1	1.341666667	0.05	0.8376				
	int vs red	1	1.125	0.05	0.8314				
15-20	sd vs otr	1	.24	0.74	0.423				
	int vs red	1	24.5	0.75	0.4184				
20-25	sd vs otr	1	16.66666667	0.41	0.5436				
	int vs red	1	.18	0.45	0.5234				
25-30	sd vs otr	1	30.375	0.93	0.3727				
	int vs red	1	.13	0.55	0.4864				
30-35	sd vs otr	1	30.375	0.38	0.3727				
	int vs red	1	.18	0.55	0.4064				
35-40	sd vs otr	1	7.041666667	0.23	0.6451				
	int vs red	1	3.125	0.1	0.7577				

### 5- Resistencia a la penetración del 7 de Setiembre en el experimento 1

Nota: datos expresados en N/cm<sup>2</sup>

Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	valor de f	Pr > F	DMS alfa=0.05			
						Tratamiento	Li	LR	SD
0-5	Bloque	3	259.027778	2.07	0.2056	Media	96.25	78.125	64.375
	laboreo	2	1622.395833	8.17	0.0184	Grupo	a	ab	b
							Cv=14.05235	DMS=19.358	
5-10	Bloque	3	234.027778	1.96	0.4316	Media	87.5	74.57	61.86
	laboreo	2	656.770833	2.93	0.1258	Grupo	a	a	a
							Cv=19.88544	DMS=25.051	
10-15	Bloque	3	620.130989	2.06	0.2029	Media	86.25	71.97	55.63
	laboreo	2	939.0625	3.12	0.1177	Grupo	a	ab	b
							Cv=24.24453	DMS=30.012	
15-20	Bloque	3	382.361111	3.21	0.1041	Media	82.5	67.5	48.75
	laboreo	2	1143.75	4.12	0.0749	Grupo	a	ab	b
							Cv=25.15723	DMS=28.837	
20-25	Bloque	3	418.576389	2.63	0.1449	Media	82.5	54.375	46.25
	laboreo	2	254.0625	1.56	0.267	Grupo	a	a	a
							Cv=23.20460	DMS=21.831	
25-30	Bloque	3	307.286111	1.64	0.2772	Media	48.75	43.125	43.75
	laboreo	2	36.0208333	0.68	0.6359	Grupo	a	a	a
							Cv=16.45138	DMS=12.878	
30-35	Bloque	3	43.5783333	2.64	0.1437	Media	42.5	40	40.625
	laboreo	2	6.7708333	0.41	0.6806	Grupo	a	a	a
							Cv=8.885225	DMS=7.0267	
35-40	Bloque	3	63.0208333	7.66	0.0184	Media	38.125	38.125	38.125
	laboreo	2	0	0	1	Grupo	a	a	a
							Cv=7.571807	DMS=4.8347	
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
0-5	sd vs otr	1	1587.762444	11.09	0.0158				
	int vs red	1	657.08125	5.25	0.0619				
5-10	sd vs otr	1	469.0104167	4.41	0.0806				
	int vs red	1	344.53125	1.57	0.2573				
10-15	sd vs otr	1	1464.84375	4.67	0.0695				
	int vs red	1	413.28125	1.37	0.2850				
15-20	sd vs otr	1	1837.5	6.61	0.0422				
	int vs red	1	450	1.62	0.2502				
20-25	sd vs otr	1	356.09375	2.49	0.1892				
	int vs red	1	132.00125	0.63	0.5976				
25-30	sd vs otr	1	1279.041667	3.25	0.0462				
	int vs red	1	63.28125	1.14	0.3262				
30-35	sd vs otr	1	1.041666667	0.06	0.81				
	int vs red	1	12.5	0.75	0.4175				
35-40	sd vs otr	1	0	0	1				
	int vs red	1	0	0	1				

6- Resistencia a la penetración del 7 de Setiembre en el experimento 2

Nota: datos expresados en N/cm<sup>2</sup>

						DMS $\alpha=0.05$			
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
0-5	Bloque	3	156.8541667	1	0.4535	Media	48.125	53.125	6.0125
	laboreo	2	433.3333333	2.74	0.143	Grupo	a	a	a
						Cv=0.104483 DMS=21.772			
5-10	Bloque	3	58.0277778	0.46	0.7103	Media	41.875	59.375	57.5
	laboreo	2	389.2708333	2.88	0.1329	Grupo	a	a	a
						Cv=0.2140516 DMS=19.593			
10-15	Bloque	3	81.0763889	2.61	0.1405	Media	43.125	50	45
	laboreo	2	50.5205333	1.63	0.2728	Grupo	a	a	a
						Cv=0.1210777 LMS=9.6454			
15-20	Bloque	3	143.5703669	5.78	0.0373	Media	35.875	45	35
	laboreo	2	113.0205333	4.55	0.0527	Grupo	ab	a	b
						Cv=0.1278958 LMS=9.521			
20-25	Bloque	3	179.0575	13.8	0.0042	Media	31.25	33.125	28.75
	laboreo	2	19.2708333	1.40	0.3003	Grupo	a	a	a
						Cv=0.113245 LMS=6.2454			
25-30	Bloque	3	197.4652778	10.15	0.0091	Media	26.875	31.25	27.5
	laboreo	2	22.3558333	2.11	0.2018	Grupo	a	a	a
						Cv=0.1140182 DMS=5.6305			
30-35	Bloque	3	95.2406556	2.05	0.2078	Media	30	30.75	29.375
	laboreo	2	0.5208333	0.01	0.3676	Grupo	a	a	a
						Cv=0.2162156 DMS=11.145			
35-40	Bloque	3	64.4357222	1.52	0.2869	Media	30	31.25	25.625
	laboreo	2	34.8358333	3.03	0.4635	Grupo	a	a	a
						Cv=0.196338 DMS=11.064			
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
0-5	sd vs otr	1	416.6266667	2.63	0.1559				
	nt vs red	1	450	2.84	0.1428				
5-10	sd vs otr	1	126.0416667	0.68	0.3699				
	nt vs red	1	612.5	4.77	0.0718				
10-15	sd vs otr	1	0.51041667	0.21	0.6635				
	nt vs red	1	94.53125	3.04	0.1318				
15-20	sd vs otr	1	94.0104167	3.73	0.0936				
	nt vs red	1	132.03125	5.32	0.0506				
20-25	sd vs otr	1	31.51041667	2.42	0.1768				
	nt vs red	1	7.03125	0.54	0.4901				
25-30	sd vs otr	1	0.51041667	0.01	0.4678				
	nt vs red	1	38.26125	3.61	0.106				
30-35	sd vs otr	1	1.04166667	0.00	0.8753				
	nt vs red	1	0	0	1				
35-40	sd vs otr	1	66.60566667	1.65	0.2406				
	nt vs red	1	3.125	0.08	0.7804				

### 7- Resistencia a la penetración del 7 de Setiembre en el experimento 3

Nota: datos expresados en N/cm<sup>2</sup>

						LMS: $\alpha=0.05$			
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	Li	LR	SD
0-5	Bloque	3	161.621944	0.68	0.5956	Media	14.57	47.6	36.25
	laboreo	2	759.835933	3.2	0.1134	Grupo	a	b	ac
						Cv=14.58472		DMS=26.374	
5-10	Bloque	3	8.8541617	0.38	0.5957	Media	48.125	35	50
	laboreo	2	267.1375	20.52	0.0021	Grupo	a	b	a
						Cv=8.151624		DMS=6.2454	
10-15	Bloque	3	51.3688389	3.12	0.1097	Media	49.375	36.25	41.875
	laboreo	2	173.4375	10.52	0.0109	Grupo	a	b	b
						Cv=9.555662		DMS=7.0257	
15-20	Bloque	3	47.8160567	3.02	0.0813	Media	47.5	35.025	43.125
	laboreo	2	53.2708333	5.32	0.0468	Grupo	a	b	a
						Cv=8.308027		DMS=5.2454	
20-25	Bloque	3	20.90272210	4.43	0.0573	Media	50.125	33.75	38.25
	laboreo	2	19.27363333	3.17	0.1149	Grupo	a	b	ac
						Cv=3.839389		DMS=4.2651	
25-30	Bloque	3	29.1650667	1.81	0.2482	Media	32.5	33.125	34.375
	laboreo	2	3.84583333	0.23	0.8044	Grupo	a	a	a
						Cv=11.05458		DMS=6.9524	
30-35	Bloque	3	24.10164444	0.58	0.6512	Media	31.25	31.875	31.5
	laboreo	2	1.5625	0.04	0.9636	Grupo	a	a	a
						Cv=20.29304		DMS=11.192	
35-40	Bloque	3	31.55	2.80	0.1208	Media	31.875	30	34.375
	laboreo	2	19.27363333	1.75	0.25	Grupo	a	b	a
						Cv=19.30812		DMS=5.7222	
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
0-5	sd vs otr	1	75.260417	0.32	0.594				
	int vs red	1	1444.53125	6.03	0.0488				
5-10	sd vs otr	1	189.84575	14.58	0.0088				
	int vs red	1	344.53125	26.46	0.0021				
10-15	sd vs otr	1	2.34375	0.14	0.7192				
	int vs red	1	344.53125	20.98	0.0038				
15-20	sd vs otr	1	44.31041667	3.39	0.1156				
	int vs red	1	94.53125	7.06	0.0658				
20-25	sd vs otr	1	0.26391667	0.04	0.8328				
	int vs red	1	36.23125	6.2	0.0450				
25-30	sd vs otr	1	6.51541667	0.4	0.5499				
	int vs red	1	0.78125	0.05	0.8332				
30-35	sd vs otr	1	2.34375	0.06	0.8208				
	int vs red	1	0.78125	0.02	0.8558				
35-40	sd vs otr	1	31.51041667	2.69	0.1406				
	int vs red	1	7.03125	0.64	0.4533				

8- Resistencia a la penetración del 30 de Noviembre en el experimento 2

Nota: datos expresados en N/cm<sup>2</sup>

						DMS: $\alpha/\alpha=0.05$			
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
0-5	Bloque	3	368.727431	3.22	0.1007	Media	187.812	136.662	176.562
	laboreo	2	150.083233	1.07	0.3228	Grupo	a	a	a
							Cv=5.230637	DMS=13.21	
5-10	Bloque	3	101.809722	1.47	0.213	Media	130	134.375	113.75
	laboreo	2	258.895233	3.78	0.0874	Grupo	ab	a	b
							Cv=6.50862	DMS=14.382	
10-15	Bloque	3	55.3385417	0.71	0.5813	Media	103.438	115.313	95.563
	laboreo	2	359.895233	4.61	0.0613	Grupo	ab	a	b
							Cv=8.402585	DMS=15.293	
15-20	Bloque	3	43.882053	0.05	0.6116	Media	90.625	32.5	90.213
	laboreo	2	172.265625	2.55	0.1158	Grupo	a	a	a
							Cv=9.361528	DMS=14.223	
20-25	Bloque	3	95.5602778	0.4	0.7591	Media	85.31	78.12	70.94
	laboreo	2	236.640625	0.96	0.4333	Grupo	a	a	a
							Cv=15.75216	DMS=25.348	
25-30	Bloque	3	151.171975	1.34	0.4389	Media	89.688	79.688	72.913
	laboreo	2	288.020633	1.36	0.2183	Grupo	a	a	a
							Cv=14.93210	DMS=20.857	
30-35	Bloque	3	132.8107639	0.54	0.6687	Media	89.06	66.67	75.02
	laboreo	2	297.3427783	0.85	0.4748	Grupo	a	a	a
							Cv=15.88637	DMS=27.126	
35-40	Bloque	3	18.2281667	0.16	0.9205	Media	90.625	81.25	76.35
	laboreo	2	288.020633	2.5	0.1021	Grupo	a	a	b
							Cv=12.46215	DMS=18.563	
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F				
0-5	sd vs otr	1	351.0416667	2.72	0.1503				
	int vs red	1	3.125	0.03	0.8721				
5-10	sd vs otr	1	481.5164167	6.97	0.0088				
	int vs red	1	35.76125	0.55	0.4548				
10-15	sd vs otr	1	417.7604167	5.6	0.0567				
	int vs red	1	252.03125	3.61	0.1052				
15-20	sd vs otr	1	537.5	4.88	0.0688				
	int vs red	1	7.06125	0.1	0.758				
20-25	sd vs otr	1	309.8069375	1.44	0.2747				
	int vs red	1	103.3203125	0.48	0.5137				
25-30	sd vs otr	1	376.0416667	2.59	0.1568				
	int vs red	1	230	1.36	0.2072				
30-35	sd vs otr	1	400.5161042	1.65	0.2459				
	int vs red	1	3.5703125	0.04	0.8501				
35-40	sd vs otr	1	575.2204167	5	0.0688				
	int vs red	1	0.78125	0.01	0.937				

9- Resistencia a la penetración del 30 de Noviembre en el experimento 3

Nota: datos expresados en N/cm<sup>2</sup>

Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	F <sub>0.05</sub>	DMS $\alpha=0.05$			
						Tratamiento	LI	LR	LI
0-5	Bloque	3	3154.891319	2.98	0.1181	Media	219.06	191.37	211.67
	laboreo	2	644.821075	0.51	0.574	Grupo	a	a	a
							Cv=15.80213	DMS=56.266	
5-10	Bloque	3	2465.451389	3.21	0.0265	Media	152.81	132.5	144.3
	laboreo	2	467.217708	1.18	0.3703	Grupo	a	a	a
							Cv=13.76213	DMS=94.467	
10-15	Bloque	3	1617.958542	5.64	0.0326	Media	126.25	113.75	115.64
	laboreo	2	178.255208	0.65	0.5551	Grupo	a	a	a
							Cv=13.95381	DMS=28.645	
15-20	Bloque	3	1017.836541	3.32	0.0984	Media	110.31	94.37	97.5
	laboreo	2	265.266458	0.93	0.4447	Grupo	a	a	a
							Cv=13.36440	DMS= 90.296	
20-25	Bloque	3	450.347722	0.23	0.8365	Media	109.69	97.5	86.55
	laboreo	2	665.285452	0.43	0.6951	Grupo	a	a	a
							Cv=42.21094	DMS=69.079	
25-30	Bloque	3	1372.522222	0.94	0.4731	Media	107.19	89.27	90.84
	laboreo	2	1438.192708	0.93	0.4256	Grupo	a	a	a
							Cv=42.3854	DMS=66.132	
30-35	Bloque	3	1453.164444	0.74	0.565	Media	110.94	72.61	130.75
	laboreo	2	1833.203125	0.93	0.4451	Grupo	a	a	a
							Cv=45.25694	DMS=76.853	
35-40	Bloque	3	581.449653	0.32	0.8133	Media	137.81	73.75	110.83
	laboreo	2	1619.266458	0.69	0.6374	Grupo	a	a	a
							Cv=40.44368	DMS=80.944	
Profundidad	Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	valor de f	F <sub>0.05</sub>				
0-5	sd vs otr	1	70.698437	0.07	0.8044				
	int vs red	1	1218.946310	1.15	0.3243				
5-10	sd vs otr	1	109.4411092	0.28	0.6135				
	int vs red	1	625.1953135	2.08	0.1494				
10-15	sd vs otr	1	44.0139167	0.15	0.7025				
	int vs red	1	312.5	1.14	0.3267				
15-20	sd vs otr	1	62.5651940	0.2	0.6774				
	int vs red	1	558.0078125	1.68	0.2455				
20-25	sd vs otr	1	386.0025012	0.24	0.6461				
	int vs red	1	814.5703125	0.92	0.4418				
25-30	sd vs otr	1	18.815164	0.01	0.9153				
	int vs red	1	2359.573125	1.95	0.2113				
30-35	sd vs otr	1	753.376	0.98	0.3519				
	int vs red	1	2907.03125	1.47	0.2794				
35-40	sd vs otr	1	1331.315124	0.61	0.4651				
	int vs red	1	1683.257812	0.77	0.4134				

## ANEXO IV- EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL SUELO

### 1- Rugosidad del suelo en el experimento 1

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	0.09644425	6.35	0.0382	Media	0.8782	0.7732	0.7579
labores	2	0.02461277	1.49	0.2829	Grupo	a	a	a
					Cv=16.01722		DMS=0.2199	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	0.02567173	1.59	0.2542				
int vs red	1	0.02255375	1.38	0.2639				

### 2- Rugosidad del suelo en el experimento 2

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	0.0110913	0.42	0.747	Media	1.229	1.196	0.657
labores	2	0.4128793	15.55	0.0042	Grupo	a	a	b
					Cv=15.8713		DMS=0.282	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	0.82052039	31.01	0.0014				
int vs red	1	0.00213822	0.78	0.3831				

### 3- Rugosidad del suelo en el experimento 3

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	0.01934663	1.72	0.2318	Media	1.0353	1.3625	0.76
labores	2	0.10353959	9.7	0.0169	Grupo	a	b	a
					Cv=11.56346		DMS=0.136855200	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	0.0075104	1.07	0.3063				
int vs red	1	0.00532812	0.52	0.4733				

**ANEXO V- EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN  
Y DE LA MATERIA SECA RECHAZADA**

**1- Porcentaje de utilización al primer pastoreo en el experimento 1**

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	299.772753	6.43	0.0019	<i>Tratamiento</i>	<i>U</i>	<i>LR</i>	<i>SD</i>	
LAB*	2	250.4367262	1.47	0.3921	Media	50.502	53.254	58.357	
BLO*LAB	6	170.260339	3.67	0.0096	Grupo	a	a	a	
NIT	3	459.264351	9.69	0.0001	DMS= 11.283				
LAB*NIT	6	3.825685	0.19	0.977	<i>Tratamiento</i>	<i>n0</i>	<i>n50</i>	<i>n100</i>	<i>n150</i>
n0 vs otr	1	1080.206144	23.4	0.0001	Media	45.02	52.853	58.13	59.436
n50 vs otr	1	281.358537	6.09	0.0205	Grupo	c	b	ab	a
n100 vs n150	1	10.328371	0.22	0.6426	DMS= 5.7072				
sd vs otr, n0 vs otr	1	15.363156	0.35	0.5574	Cv = 12.60348      n = 48				
sd vs otr, n50 vs otr	1	7.574953	0.16	0.6891					
sd vs otr, n100 vs n150	1	0.476371	0.01	0.9201					
int vs red, n0 vs ntr	1	7.527363	0.16	0.6904					
int vs red, n50 vs otr	1	12.301573	0.26	0.6109					
int vs red, n100 vs n150	1	8.678582	0.19	0.6609					
sd vs otr*	1	443.175735	2.8	0.1576					
int vs red*	1	57.955722	0.34	0.5817					

Nota : \* indica error =blo\*lab

**2- Materia seca rechazada luego del primer pastoreo en el experimento 1**

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	397.12.0521	5	0.0069	<i>Tratamiento</i>	<i>Lr</i>	<i>LR</i>	<i>SD</i>	
LAB*	2	126410.3341	3.43	0.0266	Media	745.06	304.63	568.33	
BLO*LAB	6	56109.5485	4.56	0.0026	Grupo	a	ab	b	
NIT	3	45407.7131	5.1	0.0026	DMS= 164.50				
LAB*NIT	6	7315.5172	0.32	0.4852	<i>Tratamiento</i>	<i>n0</i>	<i>n50</i>	<i>n100</i>	<i>n150</i>
n0 vs otr	1	145041.7063	18.09	0.0002	Media	561.67	621	686.45	567.56
n50 vs otr	1	882.0063	0.11	0.7416	Grupo	b	a	a	a
n100 vs n150	1	890.0761	0.11	0.7419	DMS= 34.645				
sd vs otr, n0 vs otr	1	1942.7243	0.24	0.6243	Cv = 19.57563      n = 48				
sd vs otr, n50 vs otr	1	840.4434	0.10	0.7334					
sd vs otr, n100 vs n150	1	29201.7555	3.58	0.0699					
int vs red, n0 vs otr	1	3163.3522	0.27	0.6068					
int vs red, n50 vs otr	1	3089.0415	0.41	0.5253					
int vs red, n100 vs n150	1	7281.7820	0.92	0.3458					
sd vs otr*	1	196060.1220	5.15	0.0338					
int vs red*	1	67612.5456	1.34	0.2236					

Nota : \* indica error =blo\*lab

3- Porcentaje de utilización al primer pastoreo en el experimento 2

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	303.696171	4.26	0.014	Tratamiento: LI LR SD				
LAB*	2	472.4869	1.32	0.3352	Media	60.825	70.534	61.657	
BLO*LAB	6	356.835375	4.99	0.0016	Grupo	a	a	a	
NIT	3	587.836339	8.22	0.0005	DMS= 16.375				
LAB*NIT	6	32.034752	0.45	0.8379	Tratamiento: n0 n50 n100 n150				
n0 vs otr	1	1367.600781	19.13	0.0002	Media	55.14	63.327	71.296	65.55
n50 vs otr	1	125.632953	3.16	0.0869	Grupo	c	b	a	a
n100 vs n150	1	109.982373	2.38	0.1347	DMS= 7.1687				
sd vs otr, n0 vs otr	1	0.012068	0	0.9397	Cv= 13.16210		n = 48		
sd vs otr, n50 vs otr	1	9.856757	0.12	0.7305					
sd vs otr, n100 vs n150	1	17.590031	0.25	0.6238					
int vs red, n0 vs otr	1	10.920121	0.15	0.699					
int vs red, n50 vs otr	1	0.000203	0	0.9387					
int vs red, n100 vs n150	1	158.227251	2.19	0.1509					
sd vs otr*	1	176.156817	0.49	0.5095					
int vs red*	1	766.70806	2.15	0.1923					

Nota : \* indica error =blo\*lab

4- Materia seca rechazada luego del primer pastoreo en el experimento 2

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	67493.6735	4.86	0.0379	Tratamiento: LI LR SD				
LAB*	2	102018.0366	1.69	0.261	Media	518.5	359.23	535.25	
BLO*LAB	6	50211.2239	4.34	0.0036	Grupo	a	a	a	
NIT	3	7631.3452	0.55	0.6528	DMS= 212.28				
LAB*NIT	6	7721.7912	0.56	0.7611	Tratamiento: n0 n50 n100 n150				
n0 vs otr	1	4518.8242	0.33	0.5731	Media	464.22	505.67	451.88	4504.4
n50 vs otr	1	3623.3612	0.47	0.436	Grupo	a	a	a	a
n100 vs n150	1	11851.854	0.85	0.3628	DMS= 98.718				
sd vs otr, n0 vs otr	1	35.6045	0	0.36	Cv= 24.49961		n = 48		
sd vs otr, n50 vs otr	1	3937.0487	0.29	0.586					
sd vs otr, n100 vs n150	1	6222.2502	0.46	0.4225					
int vs red, n0 vs otr	1	25034.5209	1.8	0.1908					
int vs red, n50 vs otr	1	31.1482	0	0.9626					
int vs red, n100 vs n150	1	8045.1126	0.58	0.4523					
sd vs otr*	1	70561.2087	1.17	0.3206					
int vs red*	1	132472.2256	2.22	0.1871					

Nota : \* indica error =blo\*lab

5- Porcentaje de utilización al primer pastoreo en el experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	296.634241	3.46	0.03	Tratamiento	LI	LR	SD	
LAB*	2	141.502502	0.39	0.7305	Media	56.344	53.413	53.757	
BLO*LAB	6	497.343183	4.98	0.0015	Grupo	a	a	a	
NIT	3	555.16804	6.43	0.0019	DMS = 17.854				
LAB*NIT	6	23.735737	0.28	0.9428	Tratamiento	n0	n50	n100	n150
n0 vs ctr	1	1079.242761	14.93	0.0002	Media	44.568	52.726	55.028	50.71
n50 vs ctr	1	254.730583	2.97	0.0981	Grupo	c	b	ab	a
n100 vs n150	1	131.5395771	1.54	0.226	DMS = 7.753				
sd vs otr, n0 vs otr	1	57.053998	0.79	0.3841	Cv = 17.29779	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	66.334717	1.77	0.1968					
sd vs otr, n100 vs n150	1	0.092098	0	0.9755					
int vs red, n0 vs ctr	1	5.327496	0.08	0.805					
int vs red, n50 vs otr	1	0.167819	0	0.665					
int vs red, n100 vs n150	1	3.469367	0.04	0.842					
sd vs otr*	1	1.50948	0	0.5531					
int vs red*	1	0.61395524	0.01	0.4481					

Nota : \* indica error =blo\*lab

6- Materia seca rechazada luego del primer pastoreo en el experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	118924.7045	7.33	0.001	Tratamiento	LI	LR	SD	
LAB*	2	12590.48859	0.2	0.8043	Media	628.25	623.5	680.67	
BLO*LAB	6	55061.7363	3.32	0.0127	Grupo	a	a	a	
NIT	3	13053.1169	0.8	0.5124	DMS = 203				
LAB*NIT	6	4917.8237	0.1	0.9236	Tratamiento	n0	n50	n100	n150
n0 vs ctr	1	6439.20738	0.4	0.5328	Media	590.67	625.33	643.03	577.33
n50 vs ctr	1	1033.27292	0.07	0.7887	Grupo	a	a	a	a
n100 vs n150	1	31565.64731	1.95	0.1744	DMS = 105.73				
sd vs otr, n0 vs otr	1	9523.72154	0.57	0.4561	Cv = 23.82055	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	8180.18552	0.5	0.4839					
sd vs otr, n100 vs n150	1	79.37003	0	0.9451					
int vs red, n0 vs ctr	1	11566.70789	0.7	0.4055					
int vs red, n50 vs otr	1	227.25647	0.02	0.8882					
int vs red, n100 vs n150	1	11.11039	0	0.9793					
sd vs otr*	1	0.030482305	0.4	0.5524					
int vs red*	1	180.49573	0	0.9552					

Nota : \* indica error =blo\*lab

7- Porcentaje de utilización al segundo pastoreo en el experimento 1

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	49.946495	0.46	0.7268	<i>Tratamiento</i>	<i>LI</i>	<i>LR</i>	<i>SD</i>	
LAB*	2	5.68671315	0.07	0.9351	Media	51.748	51.140	52.218	
BLO*LAB	6	79.808579	0.7	0.6507	Grupo	a	a	a	
NIT	3	330.007426	79.07	0.001	DMS= 7.7265				
LAB*NIT	6	51.251783	0.45	0.838	<i>Tratamiento</i>	<i>n0</i>	<i>n50</i>	<i>n100</i>	<i>n150</i>
n0 vs ctr	1	2753.695411	55.76	0.0001	Media	26.048	57.198	59.577	62.409
n50 vs otr	1	119.039077	1.05	0.3157	Grupo	b	a	a	a
n100 vs n150	1	45.453189	0.4	0.5326	DMS=8.9393				
sd vs ctr, n0 vs otr	1	110.544943	0.97	0.3329	Cv = 20.69296	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	12.343969	0.11	0.7394					
sd vs otr, n100 vs n150	1	0.480475	0.004	0.8524					
int vs red, n0 vs otr	1	30.642306	0.27	0.608					
int vs red, n50 vs otr	1	3.807536	0.03	0.8662					
int vs red, n100 vs n150	1	140.251596	1.29	0.2668					
sd vs ctr*	1	11.097124	0.14	0.722					
int vs red*	1	0.080307	0	0.8757					

Nota : \* indica error =blo\*lab

8- Materia seca rechazada luego del segundo pastoreo en el experimento 1

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	35395.1728	1.7	0.1907	<i>Tratamiento</i>	<i>LI</i>	<i>LR</i>	<i>SD</i>	
LAB*	2	80544.7835	4.87	0.0555	Media	905.59	850.5	767.17	
BLO*LAB	6	16612.2933	0.8	0.5802	Grupo	a	ab	b	
NIT	3	74799.4515	3.59	0.3264	DMS= 111.5				
LAB*NIT	6	13101.7431	0.63	0.7024	<i>Tratamiento</i>	<i>n0</i>	<i>n50</i>	<i>n100</i>	<i>n150</i>
n0 vs otr	1	135997.0259	6.59	0.0196	Media	746.69	939.22	859	620.22
n50 vs otr	1	79379.3297	3.81	0.0614	Grupo	b	a	ab	ab
n100 vs n150	1	6022.326	0.40	0.516	DMS= 120.99				
sd vs otr, n0 vs otr	1	2061.7396	0.19	0.6634	Cv = 17.12651	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	9387.4735	0.45	0.5077					
sd vs otr, n100 vs n150	1	19906.7741	0.93	0.3442					
int vs red, n0 vs otr	1	608.9064	0.04	0.8452					
int vs red, n50 vs otr	1	32509.5524	1.55	0.2237					
int vs red, n100 vs n150	1	13455.9826	0.65	0.4286					
sd vs ctr*	1	134760.2041	6.11	0.0293					
int vs red*	1	24989.3897	1.62	0.2496					

Nota : \* indica error =blo\*lab

9- Porcentaje de utilización al segundo pastoreo en el experimento 2

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)																		
ELO	3	266.935348	0.93	0.4407	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>LI</th> <th>LR</th> <th>SD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>44.375</td> <td>44.777</td> <td>34.647</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	LI	LR	SD	Media	44.375	44.777	34.647	Grupo	a	a	a			
Tratamiento	LI	LR	SD																				
Media	44.375	44.777	34.647																				
Grupo	a	a	a																				
LAB*	2	637.112598	1.98	0.3202																			
ELO*LAB	6	367.753393	1.25	0.2697																			
NIT	3	2165.80921	7.63	0.0008	DMS= 17.036																		
LAB*NIT	6	77.686975	0.27	0.9458	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>n0</th> <th>n50</th> <th>n100</th> <th>n150</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>21.731</td> <td>44.428</td> <td>52.277</td> <td>46.486</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>b</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	n0	n50	n100	n150	Media	21.731	44.428	52.277	46.486	Grupo	b	a	a	a
Tratamiento	n0	n50	n100	n150																			
Media	21.731	44.428	52.277	46.486																			
Grupo	b	a	a	a																			
n0 vs otr	1	8085.979156	21.2	0.0001																			
n50 vs ctr	1	192.776824	0.68	0.416																			
n100 vs n150	1	200.47151	0.7	0.4106																			
sd vs ctr, n0 vs otr	1	175.656443	0.61	0.4434																			
sd vs otr, n50 vs ctr	1	28.749555	0.1	0.7561																			
sd vs otr, n100 vs n150	1	128.013313	0.45	0.6093																			
nt vs red, n0 vs otr	1	3.635167	0.01	0.9112																			
nt vs red, n50 vs ctr	1	44.907251	0.16	0.6955																			
nt vs red, n100 vs n150	1	67.649104	0.31	0.5051																			
sd vs otr*	1	1072.955771	2.77	0.1473																			
nt vs red*	1	1109425	0	0.9559																			

Nota : \* indica error =blo\*lab

10- Materia seca rechazada luego del segundo pastoreo en el experimento 2

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)																		
ELO	3	116941.364	1.03	0.1334	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>LI</th> <th>LR</th> <th>SD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>839.42</td> <td>671.1</td> <td>1189.25</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>b</td> <td>b</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	LI	LR	SD	Media	839.42	671.1	1189.25	Grupo	b	b	a			
Tratamiento	LI	LR	SD																				
Media	839.42	671.1	1189.25																				
Grupo	b	b	a																				
LAB*	2	531760.357	7.8	0.0214																			
ELO*LAB	6	68146.772	1.16	0.3557																			
NIT	3	66621.103	1.13	0.3539	DMS= 225.84																		
LAB*NIT	6	20974.725	0.41	0.8673	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>n0</th> <th>n50</th> <th>n100</th> <th>n150</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>838.89</td> <td>1058</td> <td>605.03</td> <td>976.44</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	n0	n50	n100	n150	Media	838.89	1058	605.03	976.44	Grupo	a	a	a	a
Tratamiento	n0	n50	n100	n150																			
Media	838.89	1058	605.03	976.44																			
Grupo	a	a	a	a																			
n0 vs otr	1	58954.516	1	0.3255																			
n50 vs otr	1	110008.656	1.87	0.1826																			
n100 vs n150	1	31002.619	0.52	0.4768																			
sd vs otr, n0 vs otr	1	31961	1.55	0.2210																			
sd vs otr, n50 vs otr	1	4870.324	0.35	0.7756																			
sd vs otr, n100 vs n150	1	26275.64	1.45	0.5095																			
nt vs red, n0 vs otr	1	3459.997	1.36	0.8102																			
nt vs red, n50 vs otr	1	16115.652	0.38	0.6015																			
nt vs red, n100 vs n150	1	865.336	0.01	0.9043																			
sd vs otr*	1	1054373.058	15.48	0.0077																			
nt vs red*	1	9547.601	0.13	0.7352																			

Nota : \* indica error =blo\*lab

11- Porcentaje de utilización al segundo pastoreo en el experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS $\alpha=0.05$ )																		
BLO	3	667.695663	6.34	0.0013	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>LI</th> <th>LR</th> <th>SD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>41.85</td> <td>40.44</td> <td>49.91</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	LI	LR	SD	Media	41.85	40.44	49.91	Grupo	a	a	a			
Tratamiento	LI	LR	SD																				
Media	41.85	40.44	49.91																				
Grupo	a	a	a																				
LAB*	2	221.928368	0.32	0.7367	DMS= 29.662																		
BLO*LAB	6	307.529500	7.25	0.0001	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>n0</th> <th>n50</th> <th>n100</th> <th>n150</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>32.001</td> <td>40.012</td> <td>48.625</td> <td>51.019</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>b</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	n0	n50	n100	n150	Media	32.001	40.012	48.625	51.019	Grupo	b	a	a	a
Tratamiento	n0	n50	n100	n150																			
Media	32.001	40.012	48.625	51.019																			
Grupo	b	a	a	a																			
NIT	2	592.735211	7.94	0.0006	DMS= 9.3759																		
LAB*NIT	6	99.938656	0.8	0.5789	Cv = 24.61129      n = 48																		
n0 vs otr	1	2456.158509	19.09	0.0001																			
n50 vs otr	1	318.517779	2.55	0.1221																			
n100 vs n150	1	174.526345	1.4	0.2477																			
sd vs otr, n0 vs otr	1	0.609023	0	0.9449																			
sd vs otr, n50 vs otr	1	2.82601	0.02	0.8816																			
sd vs otr, n100 vs n150	1	31.07059	0.25	0.6192																			
int vs red, n0 vs otr	1	60.902913	0.41	0.5298																			
int vs red, n50 vs otr	1	459.810135	3.67	0.066																			
int vs red, n100 vs n150	1	54.004016	0.44	0.5132																			
sd vs otr*	1	533.601367	0.62	0.4607																			
int vs red*	1	20.25431	0.02	0.8861																			

Nota : \* indica error =blo\*lab

12- Materia seca rechazada luego del segundo pastoreo en el experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS $\alpha=0.05$ )																		
BLO	3	85340.5519	3.02	0.0473	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>LI</th> <th>LR</th> <th>SD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>717.4</td> <td>728.8</td> <td>726.2</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	LI	LR	SD	Media	717.4	728.8	726.2	Grupo	a	a	a			
Tratamiento	LI	LR	SD																				
Media	717.4	728.8	726.2																				
Grupo	a	a	a																				
LAB*	2	21757.8123	0.21	0.0147	DMS= 276.94																		
BLO*LAB	6	132475.2251	3.24	0.0157	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>n0</th> <th>n50</th> <th>n100</th> <th>n150</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>771.67</td> <td>774.67</td> <td>737.44</td> <td>697.07</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	n0	n50	n100	n150	Media	771.67	774.67	737.44	697.07	Grupo	a	a	a	a
Tratamiento	n0	n50	n100	n150																			
Media	771.67	774.67	737.44	697.07																			
Grupo	a	a	a	a																			
NIT	2	15944.5861	1.5	0.6826	DMS= 148.95																		
LAB*NIT	6	28807.3990	0.91	0.5019	Cv = 23.83694      n = 48																		
n0 vs otr	1	12143.9701	0.39	0.5406																			
n50 vs otr	1	29427.87389	0.9	0.3514																			
n100 vs n150	1	7256.36441	0.23	0.6357																			
sd vs otr, n0 vs otr	1	86702.3105	3.06	0.0917																			
sd vs otr, n50 vs otr	1	493.82106	0.02	0.9715																			
sd vs otr, n100 vs n150	1	36809.00562	1.17	0.2895																			
int vs red, n0 vs otr	1	2086.36855	0.13	0.7253																			
int vs red, n50 vs otr	1	33391.0302	1.07	0.305																			
int vs red, n100 vs n150	1	780.3658	0.02	0.7701																			
sd vs otr*	1	42448.06706	0.43	0.5436																			
int vs red*	1	1027.55744	0.02	0.9235																			

Nota : \* indica error =blo\*lab

**ANEXO VI-EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS  
AL FINAL DEL CICLO**

**1- Análisis de Carbono orgánico del 30 de noviembre en el experimento 1**

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F	CNS orgánico			
					U	LR	SD	
Bloque	5	0.001072	3.11	0.11	Medio	1.875	1.8	1.65
loteria	3	0.00785223	4.44	0.034	Grupo	a	a	a
					CNS=2.115	CNS=0.1435		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F				
sq vs st	1	0.00780417	4.42	0.039				
int vs red	3	0.0061126	5.45	0.0083				

**2- Análisis de Carbono orgánico del 30 de noviembre en el experimento 2**

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F	CNS orgánico			
					U	LR	SD	
Bloque	5	0.00202022	0.02	0.9815	Medio	1.833	1.557	1.95
loteria	3	0.00500205	0.05	0.9794	Grupo	a	a	a
					CNS=1.889	CNS=0.3305		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F				
sq vs st	1	0.00195807	0.06	0.808				
int vs red	3	0.00615	0.23	0.6477				

**3- Análisis de Carbono orgánico del 30 de noviembre en el experimento 3**

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F	CNS orgánico			
					U	LR	SD	
Bloque	5	0.002175	0.22	0.97	Medio	1.77	1.75	1.75
loteria	3	0.00315	0.31	0.8624	Grupo	a	a	a
					CNS=1.8308	CNS=0.1435		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F				
sq vs st	1	0.00315	0.31	0.5824				
int vs red	3	0.00315	0.31	0.8624				

#### 4- Análisis de densidad aparente de noviembre en el experimento 1

					DMS $\alpha=0.05$		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	SD
Bloque	3	0.01164715	20.1	0.0163	Media	1.72799	1.75865
Isobroo	2	0.00139358	24.00	0.0112	Grupo	b	a
					Cv=0.609023	DMS=0.02	

#### 5- Análisis de densidad aparente de noviembre en el experimento 2

					DMS $\alpha=0.05$		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	SD
Bloque	3	0.0269353	0.83	0.5502	Media	1.556	1.664
Isobroo	2	0.03301987	1.02	0.3689	Grupo	a	a
					Cv=1.1097	DMS=0.4049	

#### 6- Análisis de densidad aparente de noviembre en el experimento 3

					DMS $\alpha=0.05$		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	SD
Bloque	3	0.00884953	1.76	0.3269	Media	1.6495	1.6339
Isobroo	2	0.00194174	0.05	0.8374	Grupo	a	a
					Cv=0.792452	DMS=0.140414.242	

#### 7- Análisis de escurrimiento de noviembre en el experimento 1

					DMS $\alpha=0.05$		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	SD
Bloque	3	12.4015033	0.31	0.8191	Media	61.991	75.78
Isobroo	2	76.4801643	0.43	0.5280	Grupo	a	a
					Cv=16.02173	DMS=6.436	

8- Análisis de escurrimiento de noviembre en el experimento 2

					DMS alfa=0.05		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	U	SD
Bloque	3	179.9518156	1.03	0.4918	Media	78.991	71.907
laboreo	2	98.6752592	0.66	0.5077	Grupo	a	a
					Cv=17.54577		DMS=29.007

9- Análisis de escurrimiento de noviembre en el experimento 3

					DMS alfa=0.05		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	U	SD
Bloque	3	75.5209560	1.21	0.3039	Media	84.833	82.131
laboreo	2	14.6000136	0.32	0.5626	Grupo	a	a
					Cv=7.581192		DMS=14.242

10- Análisis de erosión de noviembre en el experimento 1

					DMS alfa=0.05		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	U	SD
Bloque	3	1.51171	1.17	0.4909	Media	1.236	0.502
laboreo	2	0.50711	0.39	0.5546	Grupo	a	a
					Cv=113.4467		DMS=3.4542

11- Análisis de erosión de noviembre en el experimento 2

					DMS alfa=0.05		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	U	SD
Bloque	3	0.02471246	0.32	0.5172	Media	1.006	0.572
laboreo	2	0.0140665	4.02	0.1827	Grupo	a	a
					Cv=35.40469		DMS=0.8195

12- Análisis de erosión de noviembre en el experimento 3

					DMS alfa=0.05		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	U	SD
Bloque	3	0.63844	0.97	0.543	Media	1.126	1.559
laboreo	2	0.65933	1	0.4218	Grupo	a	a
					Cv=30.956		DMS=2.165

**ANEXO VII- EVALUACIÓN DEL NIVEL DE NITRATOS  
DEL SUELO**

**1- Análisis de nitratos del 30 de marzo en el experimento 1**

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	2.92306	?	?	Media	2.95	8.025	11.45
laboreo	2	6.5575	5.27	0.0477	Grupo	ab	b	a
					DMS=2.2043			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	13.05375	8.04	0.0297				
int vs red	1	4.06125	2.5	0.1648				

**2- Análisis de nitratos del 30 de marzo en el experimento 2**

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	1.900633	?	?	Media	5.26	2.325	6.35
laboreo	2	5.8375	2.38	0.1732	Grupo	a	a	a
					DMS=2.7254			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	6.26375	3.34	0.1172				
int vs red	1	3.51125	1.42	0.2736				

**3- Análisis de nitratos del 30 de marzo en el experimento 3**

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	11.80306	?	?	Media	13.375	14.2	15.65
laboreo	2	5.33583	0.98	0.4263	Grupo	a	a	a
					DMS=4.0175			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	9.25041	1.72	0.2032				
int vs red	1	1.36125	0.25	0.6352				

#### 4- Análisis de nitratos del 7 de mayo en el experimento 1

					DMS alfa=0.05			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	4176368	?	?	Media	10.775	7.175	6.525
Isiureo	2	20.9633	10.59	0.0107	Grupo	a	b	b
					DMS=2.454			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	16.0056	6.09	0.0294				
int vs red	1	25.92	13.1	0.0111				

#### 5- Análisis de nitratos del 7 de mayo en el experimento 2

					DMS alfa=0.05			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	4.4905	?	?	Media	4.8	3.775	4.075
Isiureo	2	1.11083	0.43	0.5687	Grupo	a	a	a
					DMS=2.779			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	0.12041	0.05	0.8351				
int vs red	1	2.10125	0.81	0.4016				

#### 6- Análisis de nitratos del 7 de mayo en el experimento 3

					DMS alfa=0.05			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	13.7638	?	?	Media	10.225	7.5	12.3
Isiureo	2	10.16083	2.91	0.1802	Grupo	a	a	a
					DMS=3.6311			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	5.51041	1.55	0.2061				
int vs red	1	14.85125	3.87	0.116				

7- Análisis de nitratos del 21 de mayo en el experimento 1

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	4.54063333	4.15	0.0652	Media	8.575	8.2	0.56
laboreo	2	0.17563333	0.15	0.8665	Grupo	a	a	a
					Cv=12.91794		DMS=1.0660	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs ctr	1	0.07041667	0.06	0.8158				
int vs red	1	0.28125	0.24	0.544				

8- Análisis de nitratos del 21 de mayo en el experimento 2

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	5.37333333	6.81	0.0233	Media	4.375	4.525	4.6
laboreo	2	0.0525	0.07	0.9303	Grupo	a	a	a
					Cv=18.74112		DMS=1.537	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs ctr	1	0.06	0.08	0.782				
int vs red	1	0.045	0.06	0.8192				

9- Análisis de nitratos del 21 de mayo en el experimento 3

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	10.77	19.43	0.0017	Media	9.2	5.975	8.975
laboreo	2	5.00033333	10.83	0.0102	Grupo	a	b	a
					Cv=8.875805		DMS=1.238	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs ctr	1	2.19641667	3.79	0.0035				
int vs red	1	9.90125	17.07	0.0055				

10- Análisis de nitratos del 10 de junio en el experimento 1

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)			
BLO	3	1.08513644	0.51	0.6844	Tratamiento	LI	LR	SD
LAE*	2	37.73541267	6.47	0.0318	Media	10.038	6.3	5.25
BLO*LAB	6	5.23313444	1.77	0.2124	Grupo	a	b	b
NIT	1	0.06041027	0.03	0.7652	DMS= 2.8543			
LAE*NIT	6	3.32291507	0.05	0.9132	Tratamiento	n0	n150	
n0 vs n150	1	0.26041567	0.08	0.7652	Media	7.425	7.933	
int vs red, n0 vs n150	1	0.105525	0.03	0.562	Grupo	a	a	
sd vs cb*	1	13.63020039	3.37	0.1182	DMS= 1.6779			
int vs red*	1	55.675525	9.68	0.0213	Cv= 24.13033	n = 24		

Nota : \* indica error =blo\*lab

11- Análisis de nitratos del 10 de junio en el experimento 2

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	DMS alfa=0.05			
Bloque	3	1.3875	0.53	0.642	Tratamiento	LI	LR	SD
Isobros	2	0.31583333	0.39	0.6021	Media	2.85	3.8	3.225
					Grupo	a	a	a
					Cv=46.4638	DMS=2.6463		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	0.02656667	0.01	0.9185				
int vs red	1	1.605	0.77	0.4135				

12- Análisis de nitratos del 10 de junio en el experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	DMS alfa=0.05			
Bloque	3	40.4017222	5.05	0.0440	Tratamiento	LI	LR	SD
Isobros	2	3.6925	0.39	0.6353	Media	11.325	10.6	9.575
					Grupo	a	a	a
					Cv=26.94535	DMS=4.8953		
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs otr	1	5.1375	0.64	0.4533				
int vs red	1	1.05125	0.13	0.7295				

13- Análisis de nitratos del 26 de julio en el experimento 1

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)																		
BLO	3	2.81722222	1.53	0.2268	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>LI</th> <th>LR</th> <th>SD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>5.9</td> <td>5.369</td> <td>5.291</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	LI	LR	SD	Media	5.9	5.369	5.291	Grupo	a	a	a			
Tratamiento	LI	LR	SD																				
Media	5.9	5.369	5.291																				
Grupo	a	a	a																				
LAB*	2	0.03295832	0.01	0.9866	DMS= 1.482																		
BLO*LAB	6	2.85024722	1.6	0.1843	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>n0</th> <th>n50</th> <th>n100</th> <th>n150</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>5.125</td> <td>5.009</td> <td>5.825</td> <td>5.308</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	n0	n50	n100	n150	Media	5.125	5.009	5.825	5.308	Grupo	a	a	a	a
Tratamiento	n0	n50	n100	n150																			
Media	5.125	5.009	5.825	5.308																			
Grupo	a	a	a	a																			
NT	3	1.58111111	0.85	0.4793	DMS= 1.075																		
LAB*NT	6	0.93923611	0.51	0.7948	Cv = 24.34412      n = 48																		
n0 vs otr	1	0.58777778	0.32	0.5765																			
n50 vs otr	1	2.49328889	1.36	0.2544																			
n100 vs n150	1	1.60168667	0.87	0.3536																			
sd vs otr, n0 vs otr	1	0.67086806	0.36	0.5509																			
sd vs otr, n50 vs otr	1	0.70840273	0.39	0.54																			
sd vs otr, n100 vs n150	1	0.06020833	0.03	0.8578																			
int vs red, n0 vs otr	1	3.2634375	1.77	0.1939																			
int vs red, n50 vs otr	1	0.828875	0.45	0.5032																			
int vs red, n100 vs n150	1	0.105625	0.06	0.8124																			
sd vs otr*	1	0.03010417	0.01	0.9226																			
int vs red*	1	0.0278125	0.01	0.9136																			

Nota : \* indica error =blo\*lab

14- Análisis de nitratos del 26 de julio en el experimento 2

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)																		
BLO	3	1.30836667	2.25	0.1054	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>LI</th> <th>LR</th> <th>SD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>2.881</td> <td>3.175</td> <td>3.154</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	LI	LR	SD	Media	2.881	3.175	3.154	Grupo	a	a	a			
Tratamiento	LI	LR	SD																				
Media	2.881	3.175	3.154																				
Grupo	a	a	a																				
LAB*	2	0.49145833	0.89	0.4573	DMS= 0.6415																		
BLO*LAB	6	0.54079167	0.95	0.4736	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>n0</th> <th>n50</th> <th>n100</th> <th>n150</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>3.125</td> <td>3</td> <td>3.1</td> <td>3.108</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	n0	n50	n100	n150	Media	3.125	3	3.1	3.108	Grupo	a	a	a	a
Tratamiento	n0	n50	n100	n150																			
Media	3.125	3	3.1	3.108																			
Grupo	a	a	a	a																			
NT	3	0.01833333	0.07	0.9774	DMS= 0.6167																		
LAB*NT	6	0.418125	0.72	0.6371	Cv = 24.07903      n = 48																		
n0 vs otr	1	0.02777778	0.06	0.8285																			
n50 vs otr	1	0.03880556	0.15	0.7021																			
n100 vs n150	1	0.00441667	0	0.9798																			
sd vs otr, n0 vs otr	1	0.36003472	1.15	0.2836																			
sd vs otr, n50 vs otr	1	0.21006544	0.36	0.5526																			
sd vs otr, n100 vs n150	1	0.00206333	0	0.965																			
int vs red, n0 vs otr	1	0.1870417	0.67	0.4211																			
int vs red, n50 vs otr	1	0.06020833	0.21	0.75																			
int vs red, n100 vs n150	1	0.850625	1.64	0.2117																			
sd vs otr*	1	0.28280417	0.83	0.4972																			
int vs red*	1	0.6303125	1.26	0.3053																			

Nota : \* indica error =blo\*lab

15- Análisis de nitratos del 26 de julio en el experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	3.9426	4.32	0.0131	Tratamiento	LI	LR	SD	
LAB*	2	12.580126	2.93	0.1292	Media	3.813	3.967	5.431	
BLO*LAB	6	4.38222107	4.69	0.0022	Grupo	a	a	a	
NIT	3	2.79413667	3.36	0.0452	DMS= 1.7802				
LAB*NIT	6	2.870525	3.25	0.0155	Tratamiento	n0	n50	n100	n150
n0 vs otr	1	5.58027778	8.22	0.0191	Media	3.617	4.3	4.957	4.567
n50 vs otr	1	1.74222222	1.91	0.1786	Grupo	b	ab	a	ab
n100 vs n150	1	0.96	1.05	0.3144	DMS= 0.9476				
sd vs otr, n0 vs otr	1	8.57670139	9.39	0.0049	Cv = 25.71665	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	6.33361111	6.93	0.0138					
sd vs otr, n100 vs n150	1	2.7075	2.96	0.0958					
int vs red, n0 vs otr	1	0.0759275	0.08	0.7756					
int vs red, n50 vs otr	1	0.9075	0.01	0.9285					
int vs red, n100 vs n150	1	0.1225	0.13	0.7171					
sd vs otr*	1	24.9084975	5.82	0.0524					
int vs red*	1	0.2278125	0.05	0.8253					

Nota : \* indica error =blo\*lab

16- Análisis de nitratos del 9 de agosto en el experimento 1

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	7.37777778	9.45	0.0002	Tratamiento	LI	LR	SD	
LAB*	2	0.5925	3.82	0.0353	Media	3.387	3.612	3.725	
BLO*LAB	6	0.16527778	0.21	0.9714	Grupo	a	b	ab	
NIT	3	0.07222222	0.1	0.9813	DMS= 0.3408				
LAB*NIT	6	0.45388889	0.61	0.7231	Tratamiento	n0	n50	n100	n150
n0 vs otr	1	0.12777778	0.25	0.6206	Media	3.833	3.75	3.737	3.7
n50 vs otr	1	0.00222222	0	0.957	Grupo	a	a	a	a
n100 vs n150	1	0.02666667	0.04	0.8317	DMS= 0.6926				
sd vs otr, n0 vs otr	1	0.18055556	1.21	0.2771	Cv = 22.0678	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	0.19505556	0.25	0.6139					
sd vs otr, n100 vs n150	1	0.05625623	0.05	0.83					
int vs red, n0 vs otr	1	1.00666667	1.74	0.1978					
int vs red, n50 vs otr	1	0.07520533	0.1	0.7538					
int vs red, n100 vs n150	1	0.980625	1.27	0.2690					
sd vs otr*	1	0.06	0.34	0.5571					
int vs red*	1	1.125	7.25	0.036					

Nota : \* indica error =blo\*lab

17- Análisis de nitratos del 9 de agosto en el experimento 2

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	1.44743058	1.5	0.2363	Tratamiento	LI	LR	SD	
LAB*	2	0.499629	0.37	0.7037	Media	2.816	2.95	2.716	
BLO*LAB	6	1.30284722	1.35	0.2591	Grupo	a	a	a	
NIT	3	0.95076329	2.38	0.4130	DMS= 0.9875				
LAB*NIT	6	0.73704722	0.77	0.6331	Tratamiento	n0	n50	n100	n150
n0 vs otr	1	0.30173611	0	0.9664	Media	2.767	2.633	3.15	2.678
n50 vs otr	1	2.96680550	0.9	0.3512	Grupo	a	a	a	a
n100 vs n150	1	1.95375	2.08	0.1528	DMS=0.7977				
sd vs otr, n0 vs otr	1	0.05555556	0.02	0.812	Cv = 34.84270	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	0.04340278	0.05	0.8235					
sd vs otr, n100 vs n150	1	0.828975	0.98	0.3824					
int vs red, n0 vs otr	1	1.26041667	1.31	0.2627					
int vs red, n50 vs otr	1	0.35027633	0.36	0.5516					
int vs red, n100 vs n150	1	1.893625	1.98	0.1726					
sd vs otr*	1	0.06	0.05	0.8372					
int vs red*	1	0.91125	0.7	0.435					

Nota : \* indica error =blo\*lab

18- Análisis de nitratos del 9 de agosto en el experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	1.95809732	4.2	0.0146	Tratamiento	LI	LR	SD	
LAB*	2	0.47270833	3.41	0.0619	Media	4.05	4.225	4.354	
BLO*LAB	6	1.15743095	2.47	0.0493	Grupo	a	a	a	
NIT	3	0.69406722	1.35	0.2754	DMS= 0.8367				
LAB*NIT	6	0.78436722	1.67	0.1653	Tratamiento	n0	n50	n100	n150
n0 vs otr	1	1.34173611	2.86	0.1022	Media	3.933	4.2	4.452	4.267
n50 vs otr	1	0.25836558	0.55	0.4657	Grupo	a	a	a	a
n100 vs n150	1	0.30375	0.65	0.4279	DMS= 0.5025				
sd vs otr, n0 vs otr	1	0.51680556	1.1	0.3051	Cv = 17.17702	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	0.47640278	1.02	0.3214					
sd vs otr, n100 vs n150	1	0.676975	1.44	0.24					
int vs red, n0 vs otr	1	0.28163667	0.6	0.4451					
int vs red, n50 vs otr	1	0.13027633	0.24	0.6217					
int vs red, n100 vs n150	1	2.643625	5.63	0.025					
sd vs otr*	1	0.70041667	0.61	0.4662					
int vs red*	1	0.045	0.01	0.6617					

Nota : \* indica error =blo\*lab

19- Análisis de nitratos del 8 de setiembre en el experimento 1

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	1.17243056	1.83	0.1656	Tratamiento	LI	LR	SD	
LAB*	2	0.07645633	0.06	0.945	Media	4.137	4.081	4	
BLO*LAB	6	1.39951399	2.09	0.0877	Grupo	a	a	a	
NIT	3	3.26854167	5.1	0.0063	DMS= 1.0013				
LAB*NIT	6	0.59979167	0.84	0.4857	Tratamiento	n0	n50	n100	n150
n0 vs otr	1	0.47540278	0.75	0.3852	Media	3.9	3.792	3.75	4.85
n50 vs otr	1	2.06722222	3.13	0.0637	Grupo	b	b	b	a
n100 vs n150	1	7.26	11.33	0.0023	DMS= 0.661				
sd vs otr, n0 vs otr	1	0.00472139	0.01	0.9351	Cv = 19.54025	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	0.07111111	0.11	0.7415					
sd vs otr, n100 vs n150	1	1.2675	1.90	0.171					
int vs red, n0 vs otr	1	1.47510417	2.3	0.1408					
int vs red, n50 vs otr	1	0.14059393	0.22	0.643					
int vs red, n100 vs n150	1	0.84	1	0.3265					
sd vs otr*	1	0.12763417	0.1	0.768					
int vs red*	1	0.0253125	0.02	0.8952					

Nota : \* indica error =blo\*lab

20- Análisis de nitratos del 8 de setiembre en el experimento 2

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	3.1	1.12	0.3573	Tratamiento	LI	LR	SD	
LAB*	2	0.65145833	0.89	0.457	Media	4.744	4.5	4.631	
BLO*LAB	6	0.95145633	0.51	0.7957	Grupo	a	a	a	
NIT	3	25.63811111	10.69	0.0001	DMS= 0.8439				
LAB*NIT	6	1.45006944	0.77	0.5969	Tratamiento	n0	n50	n100	n150
n0 vs otr	1	9.91777778	5.24	0.0301	Media	3.775	3.857	3.842	5.75
n50 vs otr	1	16.54013883	9.75	0.0064	Grupo	b	b	b	a
n100 vs n150	1	53.75041667	27.1	0.0001	DMS= 1.113				
sd vs otr, n0 vs otr	1	0.83422139	0.45	0.5101	Cv = 23.35717	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	0.02006944	0.01	0.9183					
sd vs otr, n100 vs n150	1	0.00520833	0	0.9583					
int vs red, n0 vs otr	1	1.8354375	1.01	0.3229					
int vs red, n50 vs otr	1	0.361875	0.53	0.473					
int vs red, n100 vs n150	1	4.950625	2.64	0.1156					
sd vs otr*	1	0.12763417	0.13	0.7260					
int vs red*	1	1.5753125	1.66	0.2456					

Nota : \* indica error =blo\*lab

21- Análisis de nitratos del 8 de setiembre en el experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	4.80633333	1.18	0.2555	Tratamiento				
LAB*	2	1.3775	0.91	0.4615	LI	LR	SD		
BLO*LAB	6	1.5075	0.5	0.8022	Media	5.562	5.038	5.525	
NIT	3	32.45888889	10.78	0.0001	Grupo	a	a	a	
LAB*NIT	6	2.95805556	0.95	0.4771	DMS=1.0622				
n0 vs otr	1	28.09	9.33	0.005	Tratamiento				
n50 vs otr	1	53.405	19.73	0.0001	n0	n50	n100	n150	
n100 vs n150	1	9.88166667	3.28	0.0812	Media	4.05	4	6.063	7.367
sd vs otr, n0 vs otr	1	2.205	0.73	0.3936	Grupo	b	c	s	a
sd vs otr, n50 vs otr	1	0.93	0.03	0.864	DMS=1.4345				
sd vs otr, n100 vs n150	1	0.65933333	0.22	0.6451	CV = 32.13265      n = 48				
int vs red, n0 vs otr	1	1.70666667	0.57	0.458					
int vs red, n50 vs otr	1	2.25333333	0.75	0.3846					
int vs red, n100 vs n150	1	10.21	3.4	0.0762					
sd vs otr*	1	0.54	0.03	0.5714					
int vs red*	1	2.205	1.46	0.272					

Nota : \* indica error =blo\*lab

22- Análisis de nitratos del 16 de setiembre en el experimento 1

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	4.7100272	2.46	0.0833	Tratamiento				
LAB*	2	2.21933333	1.22	0.3584	LI	LR	SD		
BLO*LAB	6	1.8113889	0.65	0.4791	Media	4.513	4.556	3.834	
NIT	3	40.5724206	21.09	0.0001	Grupo	a	a	a	
LAB*NIT	6	9.0130556	4.71	0.0021	DMS=1.1543				
n0 vs otr	1	22.96706944	11.99	0.0018	Tratamiento				
n50 vs otr	1	43.55555556	22.75	0.0001	n0	n50	n100	n150	
n100 vs n150	1	54.63166667	28.62	0.0001	Media	3.125	3.167	2.962	7.068
sd vs otr, n0 vs otr	1	3.42847222	1.76	0.1923	Grupo	c	b	b	a
sd vs otr, n50 vs otr	1	4.80340278	2.51	0.1248	DMS=1.487				
sd vs otr, n100 vs n150	1	45.43526633	23.73	0.0001	CV = 50.60755      n = 48				
int vs red, n0 vs otr	1	0.13375	0.1	0.7591					
int vs red, n50 vs otr	1	0.081375	0.04	0.8292					
int vs red, n100 vs n150	1	0.140625	0.07	0.7834					
sd vs otr*	1	4.42041067	2.44	0.1636					
int vs red*	1	0.01125	0.01	0.9327					

Nota : \* indica error =blo\*lab

23- Análisis de nitratos del 16 de setiembre en el experimento 2

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)																		
BLO	3	253.3524306	8.6	0.0004	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>LI</th> <th>LR</th> <th>SD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>11.681</td> <td>8.756</td> <td>5.619</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	LI	LR	SD	Media	11.681	8.756	5.619	Grupo	a	a	a			
Tratamiento	LI	LR	SD																				
Media	11.681	8.756	5.619																				
Grupo	a	a	a																				
LAB*	2	147.0625	1.97	0.1202	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>n0</th> <th>n50</th> <th>n100</th> <th>n150</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>13.067</td> <td>7.917</td> <td>8.006</td> <td>8.983</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	n0	n50	n100	n150	Media	13.067	7.917	8.006	8.983	Grupo	a	a	a	a
Tratamiento	n0	n50	n100	n150																			
Media	13.067	7.917	8.006	8.983																			
Grupo	a	a	a	a																			
BLO*LAB	6	74.7291666	2.51	0.0466	DMS= 7.4735																		
NIT	3	10.0346528	0.36	0.7847	DMS= 4.9168																		
LAB*NIT	6	58.7011111	1.97	0.1057	Cv = 87.15254      n = 48																		
n0 vs ntr	1	34.8157461	0.94	0.3657																			
n50 vs ctr	1	4.2534722	0.14	0.7086																			
n100 vs n150	1	2.73375	0.09	0.7644																			
sd vs otr, n0 vs otr*	1	49.6672222	1.67	0.2078																			
sd vs otr, n50 vs otr	1	10.3469444	0.35	0.5607																			
sd vs otr, n100 vs n150	1	17.38	0.58	0.4531																			
int vs red, n0 vs otr	1	45.74	1.47	0.2363																			
int vs red, n50 vs otr	1	90.75	3.04	0.0824																			
int vs red, n100 vs n150	1	140.4725	4.71	0.032																			
sd vs otr*	1	216	2.89	0.14																			
int vs red*	1	78.125	1.05	0.340																			

Nota : \* indica error =blo\*lab

24- Análisis de nitratos del 16 de setiembre en el experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)																		
BLO	3	450.094167	2.69	0.0685	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>LI</th> <th>LR</th> <th>SD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>18.26</td> <td>26.41</td> <td>29.62</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	LI	LR	SD	Media	18.26	26.41	29.62	Grupo	a	a	a			
Tratamiento	LI	LR	SD																				
Media	18.26	26.41	29.62																				
Grupo	a	a	a																				
LAB*	2	549.095625	0.81	0.577	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>n0</th> <th>n50</th> <th>n100</th> <th>n150</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>26.793</td> <td>19.306</td> <td>26.333</td> <td>26.675</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	n0	n50	n100	n150	Media	26.793	19.306	26.333	26.675	Grupo	a	a	a	a
Tratamiento	n0	n50	n100	n150																			
Media	26.793	19.306	26.333	26.675																			
Grupo	a	a	a	a																			
BLO*LAB	6	894.276458	5.33	0.001	DMS= 25.871																		
NIT	3	169.029167	0.95	0.4311	DMS= 17.618																		
LAB*NIT	6	144.500625	0.90	0.535	Cv = 51.62042      n = 48																		
n0 vs otr	1	62.1469444	3.37	0.5477																			
n50 vs otr	1	474.2401389	2.47	0.1276																			
n100 vs n150	1	0.7004167	0	0.9439																			
sd vs otr, n0 vs otr	1	11.6017014	0.07	0.7926																			
sd vs otr, n50 vs otr	1	42.3581018	0.25	0.6139																			
sd vs otr, n100 vs n150	1	346.1503093	2.06	0.1622																			
int vs red, n0 vs otr	1	6.9876042	0.04	0.8397																			
int vs red, n50 vs otr	1	417.1302035	2.45	0.1264																			
int vs red, n100 vs n150	1	42.675125	0.25	0.6184																			
sd vs otr*	1	565.9956375	3.63	0.4602																			
int vs red*	1	532.1953125	0.6	0.4697																			

Nota : \* indica error =blo\*lab

25- Análisis de nitratos del 30 de noviembre en el experimento 1

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	2.93638589	0.04	0.9881	Media	20.5	24.35	22.425
laboreo	2	16.15523333	0.22	0.8104	Grupo	a	a	a
					Cv=37.34937		DMS=14.904	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs or	1	2.66366667	0.04	0.8559				
int vs rec	1	29.845	0.4	0.5506				

26- Análisis de nitratos del 30 de noviembre en el experimento 2

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	96.2075	4.13	0.9643	Media	18.5	21.15	16.975
laboreo	2	17.8525	0.78	0.5011	Grupo	a	a	a
					Cv=25.34503		MS=8.293525035	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs or	1	21.66	0.94	0.3631				
int vs rec	1	14.945	0.61	0.464				

27- Análisis de nitratos del 30 de noviembre en el experimento 3

					DMS $\alpha=0.05$			
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Tratamiento	LI	LR	SD
Bloque	3	14.86205556	0.1	0.9566	Media	34.6	30.325	30.45
laboreo	2	20.63583333	0.14	0.672	Grupo	a	a	a
					Cv=37.83517		DMS=21	
Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F				
sd vs or	1	14.26046667	0.1	0.7662				
int vs rec	1	37.0125	0.18	0.6834				

**ANEXO VIII- EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN  
DE MATERIA SECA**

**1- Experimento 1 primer crecimiento**

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F
BLO	3	87132.268	2.56	0.0755
LAB*	2	87591.3053	2.57	0.1565
BLO*LAB	6	34046.039	1	0.4446
NIT	3	1174270.493	34.54	0.0001
LAB*NIT	6	46821.300	1.32	0.2587
n0 vs otr	1	2965084.302	87.22	0.0001
n50 vs otr	1	518044.812	15.27	0.0006
n100 vs n150	1	38922.357	1.14	0.2858
sd vs otr, n0 vs otr	1	5212.42	0.15	0.6985
sd vs otr, n50 vs otr	1	436.322	0.01	0.9104
sd vs otr, n100 vs n150	1	234147.121	6.89	0.0141
int vs red, n0 vs otr	1	29453.003	0.87	0.3502
int vs red, n50 vs otr	1	1674.197	0.05	0.8261
int vs red, n100 vs n150	1	10862.273	0.3	0.5854
sd vs otr*	1	111751.128	3.25	0.072
int vs red*	1	63331.485	1.85	0.2226

Nota : \* indica error =blo\*lab

**Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)**

Tratamiento	LI	LR	SD
Media	1553.72	1481.85	1403.58
Grupo	a	a	a

DMS= 159.62

Tratamiento	n0	n50	n100	n150
Media	1041.73	1445.9	1660.47	1743.76
Grupo	c	b	a	a

DMS= 154.4

Cv = 12.52413      n = 48

**2- Experimento 1 segundo crecimiento**

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F
BLO	3	59360.253	0.92	0.4459
LAB*	2	18262.5598	0.13	0.8847
BLO*LAB	6	133087.154	2.09	0.0579
NIT	3	3104932.288	48.18	0.0001
LAB*NIT	6	116388.811	1.82	0.1236
n0 vs otr	1	9302431.263	144.34	0.0001
n50 vs otr	1	9128.414	0.14	0.7096
n100 vs n150	1	3228.565	0.05	0.8244
sd vs otr, n0 vs otr	1	2140.684	0.03	0.8567
sd vs otr, n50 vs otr	1	7690.091	0.12	0.7224
sd vs otr, n100 vs n150	1	18107.384	0.25	0.6212
int vs red, n0 vs otr	1	138835.451	2.15	0.1537
int vs red, n50 vs otr	1	380043.100	5.17	0.0312
int vs red, n100 vs n150	1	204036.194	3.17	0.0804
sd vs otr*	1	5231.536	0.04	0.8476
int vs red*	1	27290.484	0.21	0.6631

**Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)**

Tratamiento	LI	LR	SD
Media	1286.5	1225.1	1235.2
Grupo	a	a	a

DMS= 312.02

Tratamiento	n0	n50	n100	n150
Media	487.4	1526.6	1481.2	1504.4
Grupo	b	a	a	a

DMS= 212.65

Cv = 20.31027      n = 48

Nota : \* indica error =blo\*lab

### 3- Experimento 1 tercer crecimiento

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	1917930.66	6	0.0329	Tratamiento	Li	LR	SD	
LAB*	2	92734.6535	0.94	0.4122	Media	1762.6	1804.3	1765.2	
BLO*LAB	6	99296.33	0.56	0.7497	Grupo	a	a	a	
NIT	3	13615401.61	81.43	0.0031	DMS=272.66				
LAB*NIT	6	108353.24	0.76	0.6132	Tratamiento	n0	n50	n100	n150
n0 vs otr	1	43291220.43	237.49	0.0031	Media	220.5	2095.7	2439.9	2503.4
n50 vs otr	1	1130766.97	6.67	0.0158	Grupo	c	b	ab	a
n100 vs n150	1	24218.02	0.14	0.7085	DMS=345.02				
sd vs otr, n0 vs otr	1	107654.44	0.63	0.423	Cv = 22.68429	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	341230.15	2.01	0.1676					
sd vs otr, n100 vs n150	1	146411.75	0.86	0.3611					
int vs red, n0 vs n0	1	149931.25	0.88	0.3555					
int vs red, n50 vs otr	1	4667.32	0.03	0.8605					
int vs red, n100 vs n150	1	23104.47	0.12	0.7333					
sd vs otr*	1	24888.82	0.25	0.6338					
int vs red*	1	160580.48	1.62	0.2497					

Nota : \* indica error =blo\*lab

### 4- Experimento 2 primer crecimiento

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)				
BLO	3	17746149	0.3	0.4559	Tratamiento	Li	LR	SD	
LAB*	2	1772606.614	0.31	0.7447	Media	1380.49	1372.31	1433.22	
BLO*LAB	6	57224.985	2.69	0.3263	Grupo	a	a	a	
NIT	3	119077.845	36.15	0.0061	DMS=206.95				
LAB*NIT	6	26042.340	1.26	0.3063	Tratamiento	n0	n50	n100	n150
n0 vs otr	1	1370356.203	84.46	0.0001	Media	1053.55	1368.2	1612.9	1617.12
n50 vs otr	1	222736.287	11.05	0.0024	Grupo	c	b	a	a
n100 vs n150	1	54931.036	2.77	0.1074	DMS=117.28				
sd vs otr, n0 vs otr	1	4582.36	0.23	0.6340	Cv = 10.09409	n = 48			
sd vs otr, n50 vs otr	1	10576.267	0.53	0.4725					
sd vs otr, n100 vs n150	1	20544.343	1.04	0.3175					
int vs red, n0 vs otr	1	21451.005	1.33	0.2490					
int vs red, n50 vs otr	1	3421.096	0.17	0.681					
int vs red, n100 vs n150	1	23738.154	4.23	0.0495					
sd vs otr*	1	34925.479	0.61	0.4614					
int vs red*	1	532.643	0.01	0.9263					

Nota : \* indica error =blo\*lab

### 5- Experimento 2 segundo crecimiento

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)																		
ELO	3	591385.836	6.74	0.0015	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>Li</th> <th>LR</th> <th>SD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>1097.6</td> <td>1301.2</td> <td>1349.8</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	Li	LR	SD	Media	1097.6	1301.2	1349.8	Grupo	a	a	a			
Tratamiento	Li	LR	SD																				
Media	1097.6	1301.2	1349.8																				
Grupo	a	a	a																				
LAB*	2	286500.2762	2.52	0.1607																			
BLO*LAB	6	112707.434	1.3	0.2922																			
NIT	3	1401540.332	16.37	0.0001	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>n0</th> <th>n50</th> <th>n100</th> <th>n150</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>742.6</td> <td>1406.5</td> <td>1406.1</td> <td>1363</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>c</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	n0	n50	n100	n150	Media	742.6	1406.5	1406.1	1363	Grupo	c	a	a	a
Tratamiento	n0	n50	n100	n150																			
Media	742.6	1406.5	1406.1	1363																			
Grupo	c	a	a	a																			
LAE*NIT	6	27036.069	0.31	0.9272																			
n0 vs otr	1	1111366.674	45.80	0.0001																			
n50 vs otr	1	2609.501	0.03	0.8644																			
n100 vs n150	1	36945.321	1.04	0.3177																			
sd vs otr, n0 vs otr	1	14362.672	0.16	0.6891																			
sd vs otr, n50 vs otr	1	34719.49	0.4	0.5345																			
sd vs otr, n100 vs n150	1	5842.336	0.07	0.7983																			
int vs red, n0 vs otr	1	42432.966	0.48	0.4927																			
int vs red, n50 vs otr	1	312.344	0	0.3523																			
int vs red, n100 vs n150	1	84550.574	0.74	0.3906																			
sd vs otr*	1	241072.095	2.12	0.1958																			
int vs red*	1	331926.459	2.92	0.1385																			

Nota : \* indica error =blo\*lab

### 6- Experimento 2 tercer crecimiento

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)																		
ELO	3	78142.90	0.35	0.7837	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>Li</th> <th>LR</th> <th>SD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>1816</td> <td>1490.6</td> <td>1512.1</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	Li	LR	SD	Media	1816	1490.6	1512.1	Grupo	a	a	a			
Tratamiento	Li	LR	SD																				
Media	1816	1490.6	1512.1																				
Grupo	a	a	a																				
LAB*	2	552035.114	0.86	0.4352																			
BLO*LAB	6	582004.64	2.07	0.0367																			
NIT	3	4005682.42	21.05	0.0001	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamiento</th> <th>n0</th> <th>n50</th> <th>n100</th> <th>n150</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>787.8</td> <td>1921.1</td> <td>2142.4</td> <td>1973.7</td> </tr> <tr> <td>Grupo</td> <td>b</td> <td>a</td> <td>a</td> <td>a</td> </tr> </tbody> </table>				Tratamiento	n0	n50	n100	n150	Media	787.8	1921.1	2142.4	1973.7	Grupo	b	a	a	a
Tratamiento	n0	n50	n100	n150																			
Media	787.8	1921.1	2142.4	1973.7																			
Grupo	b	a	a	a																			
LaB*NIT	6	362236.1	1.86	0.1697																			
n0 vs otr	1	13496097.04	61.81	0.0001																			
n50 vs otr	1	150096.22	0.63	0.4142																			
n100 vs n150	1	170654.01	0.79	0.3842																			
sd vs otr, n0 vs otr	1	469005	2.24	0.1461																			
sd vs otr, n50 vs otr	1	760964.69	3.43	0.0729																			
sd vs otr, n100 vs n150	1	780522.38	3.59	0.0694																			
int vs red, n0 vs otr	1	15.43	0	0.9934																			
int vs red, n50 vs otr	1	27724.12	0.13	0.7244																			
int vs red, n100 vs n150	1	114753.97	0.53	0.4747																			
sd vs otr*	1	2688321.7	0.46	0.5221																			
int vs red*	1	947238.10	1.46	0.273																			

Nota : \* indica error =blo\*lab

7- Experimento 3 primer crecimiento

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F
BLO	3	47852.703	1.88	0.1391
LAB*	2	64179.349	2.27	0.1844
BLO*LAB	6	72204.828	3.01	0.0221
NIT	3	457911.757	19.06	0.0001
LAB*NIT	6	2737.851	0.11	0.994
n0 vs otr	1	175460.078	48.91	0.0001
n50 vs otr	1	193832.398	8.07	0.0085
n100 vs n150	1	4442.784	0.18	0.8706
sd vs otr, n0 vs otr	1	3540.541	0.15	0.7041
sd vs otr, n50 vs otr	1	6276.806	0.26	0.6134
sd vs otr, n100 vs n150	1	1929.359	0.09	0.7842
int vs red, n0 vs otr	1	2252.795	0.09	0.7618
int vs red, n50 vs otr	1	119.995	0	0.9442
int vs red, n100 vs n150	1	2395.393	0.1	0.7547
sd vs otr*	1	105375.191	1.47	0.2715
int vs red*	1	222353.507	3.09	0.13

Nota : \* indica error =blo\*lab

Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)

Tratamiento	LI	LR	SD
Media	1464.25	1297.52	1281.21
Grupo	a	a	a

DMS=232.6

Tratamiento	n0	n50	n100	n150
Media	1076.62	1334.24	1503.5	1476.22
Grupo	c	b	a	a

DMS= 129.85

Cv=11.50335

n = 48

8- Experimento 3 segundo crecimiento

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F
BLO	3	35718.547	0.56	0.6481
LAB*	2	680295.461	5.78	0.0402
BLO*LAB	6	118205.593	1.7	0.1591
NIT	3	295044.443	4.24	0.014
LAB*NIT	6	26491.354	0.41	0.8609
n0 vs otr	1	701658.724	10.09	0.0037
n50 vs otr	1	55912.251	0.52	0.4769
n100 vs n150	1	147162.421	2.12	0.157
sd vs otr, n0 vs otr	1	41903.394	0.6	0.4444
sd vs otr, n50 vs otr	1	895.432	0.01	0.9176
sd vs otr, n100 vs n150	1	14149.764	0.35	0.5606
int vs red, n0 vs otr	1	2035.51	0.03	0.8654
int vs red, n50 vs otr	1	59194.978	0.55	0.3544
int vs red, n100 vs n150	1	42227.183	0.61	0.4426
sd vs otr*	1	330959.405	11.26	0.0153
int vs red*	1	27834.518	0.24	0.6448

Nota : \* indica error =blo\*lab

Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)

Tratamiento	LI	LR	SD
Media	558.3	717.2	1041.4
Grupo	b	b	a

DMS= 287.56

Tratamiento	n0	n50	n100	n150
Media	596.2	590.0	813.4	376.1
Grupo	b	a	a	a

DMS= 220.91

Cv=10.75473

n = 48

Nota: recordar que estos resultados están sujetos a errores de coordinación

### 9- Experimento 3 tercer crecimiento

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	Agrupamiento de medias (DMS alfa=0.05)			
BLO	3	53291.89	0.22	0.9601	<i>Tratamiento</i> LI LR SD			
LAB*	2	94255.093	0.85	0.4744	Media 1971.1 1919.7 2070.7			
BLO*LAB	6	111322.46	0.46	0.9323	Grupo a a a			
NIT	3	764559.44	31.52	0.0001	DMS=258.65			
LAB*NIT	6	57759.72	0.24	0.9593	<i>Tratamiento</i> n0 n50 n100 n150			
n0 vs otr	1	2872581.29	94.31	0.0001	Media 791.4 2494.2 2389.6 2333.5			
n50 vs otr	1	12180.12	0.17	0.68	Grupo b a a a			
n100 vs n:50	1	15916.84	0.08	0.7822	DMS= 412.57			
sd vs otr, n0 vs otr	1	59701.52	0.23	0.5963	Cv=24.78525 n=46			
sd vs otr, n50 vs otr	1	67225.82	0.28	0.6029				
sd vs otr, n100 vs n150	1	427.39	0	0.9668				
int vs red, n0 vs otr	1	181977.32	0.75	0.3841				
int vs red, n50 vs otr	1	16403.18	0.07	0.7968				
int vs red, n100 vs n:150	1	11063.41	0.05	0.8325				
sd vs otr*	1	167446.41	1.5	0.266				
int vs red*	1	21063.78	0.19	0.6788				

Nota : \* indica error =blo\*lab

**ANEXO IX - FUNCIONES DE RESPUESTA A LA  
FERTILIZACIÓN NITROGENADA**

**1- Análisis de regresión del primer crecimiento del experimento 1  
LABOREO INTENSIVO**

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Parámetro=0	Pr >  T	
				Estimate
INTERCEPTO	1155.682358	15.9	0.0001	78.66596707
PARAMETRO LINEAL	6.63627	2.63	0.0208	2.5266416
PARAMETRO CUADRÁTICO	0.016331	-1.01	0.3301	0.01614212

**2- Análisis de regresión del segundo crecimiento del experimento 1  
LABOREO INTENSIVO**

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Parámetro=0	Pr >  T	
				Estimate
INTERCEPTO	500.12952	2.76	0.0163	181.2117428
PARAMETRO LINEAL	28.3074968	4.86	0.0003	5.82340731
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.1807806	-1.11	0.0312	0.03720438

**3- Análisis de regresión del tercer crecimiento del experimento 1  
LABOREO INTENSIVO**

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Parámetro=0	Pr >  T	
				Estimate
INTERCEPTO	421.9527661	1.58	0.1377	266.7622152
PARAMETRO LINEAL	37.9709012	4.43	0.0007	8.56782231
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.1722973	-3.15	0.0077	0.05473845

**4- Análisis de regresión del primer crecimiento del experimento 1  
LABOREO REDUCIDO**

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Parámetro=0	Pr >  T	
				Estimate
INTERCEPTO	1014.488051	9.25	0.0001	109.0765606
PARAMETRO LINEAL	8.04297	3.26	0.0036	3.51235707
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.017602	-0.79	0.4431	0.02250351

5- Análisis de regresión del segundo crecimiento del experimento 1

LABOREO REDUCIDO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of Estimate
		Parámetro=0	Pr >  T	
INTERCEPTO	633.248605	5.57	0.0001	113.6752025
PARÁMETRO LINEAL	13.0453511	3.57	0.0034	3.5610432
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.0433424	1.88	0.0928	0.02332536

6- Análisis de regresión del tercer crecimiento del experimento 1

LABOREO REDUCIDO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of Estimate
		Parámetro=0	Pr >  T	
INTERCEPTO	320.27613	1.56	0.1424	205.1156519
PARÁMETRO LINEAL	45.1037791	7	0.0031	6.56794609
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.2141443	-5.09	0.0052	0.04203684

7- Análisis de regresión del primer crecimiento del experimento 1

SIEMBRA DIRECTA

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of Estimate
		Parámetro=0	Pr >  T	
INTERCEPTO	923.1024437	3.73	0.0001	94.26168539
PARÁMETRO LINEAL	13.7651914	4.55	0.0005	3.02751592
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.06303	-3.28	0.0062	0.01934208

8- Análisis de regresión del segundo crecimiento del experimento 1

SIEMBRA DIRECTA

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of Estimate
		Parámetro=0	Pr >  T	
INTERCEPTO	501.873625	3.61	0.0032	135.1602669
PARÁMETRO LINEAL	22.393178	5.01	0.0022	4.47031636
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.1031811	-3.73	0.0033	0.0285508

9- Análisis de regresión del tercer crecimiento del experimento 1

SIEMBRA DIRECTA

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of Estimate
		Parámetro=0	Pr >  T	
INTERCEPTO	136.2407512	0.56	0.571	232.6457068
PARÁMETRO LINEAL	39.872556	5.35	0.0001	7.4721539
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.1540605	-3.23	0.0056	0.0477373

10- Análisis de regresión del primer crecimiento del experimento 2

LABOREO INTENSIVO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		
		Prámetro=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
INTERCEPTO	950.6332573	3.37	0.0021	99.29946114
PARAMETRO LINEAL	12.9135936	4.05	0.0014	3.18332087
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.0627059	-3.08	0.0088	0.02337592

11- Análisis de regresión del segundo crecimiento del experimento 2

LABOREO INTENSIVO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		
		Prámetro=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
INTERCEPTO	683.0727475	3.54	0.003	187.4872541
PARAMETRO LINEAL	14.9246632	2.48	0.0277	6.0217646
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.0805543	-2.76	0.0594	0.02847158

12- Análisis de regresión del tercer crecimiento del experimento 2

LABOREO INTENSIVO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		
		Prámetro=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
INTERCEPTO	1048.845282	4.94	0.0002	212.28209
PARAMETRO LINEAL	25.650389	3.75	0.0024	6.81815132
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.132162	-3.03	0.0026	0.04355267

13- Análisis de regresión del primer crecimiento del experimento 2

LABOREO REDUCIDO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		
		Prámetro=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
INTERCEPTO	1089.574614	21.47	0.0001	49.80017074
PARAMETRO LINEAL	6.09629	3.75	0.0004	1.63055622
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.016061	-1.65	0.1229	0.01321916

14- Análisis de regresión del segundo crecimiento del experimento 2  
LABOREO REDUCIDO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Parámetro=0	Pr >  T	
				Estimate
INTERCEPTO	796.479225	5.1	0.0022	156.0678663
PARAMETRO LINEAL	15.7456495	3.04	0.0365	5.01282003
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.0723675	2.23	0.0402	0.03292445

15- Análisis de regresión del tercer crecimiento del experimento 2  
LABOREO REDUCIDO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Parámetro=0	Pr >  T	
				Estimate
INTERCEPTO	711.0116288	2.94	0.0115	241.6564658
PARAMETRO LINEAL	35.0520110	3.97	0.0018	7.757995
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.1753493	-3.63	0.0037	0.0495279

16- Análisis de regresión del primer crecimiento del experimento 2  
SIEMBRA DIRECTA

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Parámetro=0	Pr >  T	
				Estimate
INTERCEPTO	1103.570699	15.27	0.0001	72.2766154
PARAMETRO LINEAL	10.529688	4.54	0.0006	2.32139502
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.052535	-3.54	0.0036	0.01483085

17- Análisis de regresión del segundo crecimiento del experimento 2  
SIEMBRA DIRECTA

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Parámetro=0	Pr >  T	
				Estimate
INTERCEPTO	805.5566075	4.53	0.0006	177.8509778
PARAMETRO LINEAL	18.366377	2.96	0.0111	5.7116114
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.0625454	-2.26	0.0415	0.03646015

18- Análisis de regresión del tercer crecimiento del experimento 2  
SIEMBRA DIRECTA

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Parámetro=0	Pr >  T	
				Estimate
INTERCEPTO	551.698369	2.48	0.0276	224.0032612
PARAMETRO LINEAL	24.7509767	2.6	0.0149	8.82910064
PARAMETRO CUADRÁTICO	-0.0530676	-1.47	0.1540	0.05640705

19- Análisis de regresión del primer crecimiento del experimento 3

LABOREO INTENSIVO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Pr >  T	Estimate	
		Parámetro=0		
INTERCEPTO	1137.159125	12.69	0.0001	93.95054398
PARÁMETRO LINEAL	6.904945	2.3	0.0309	3.00525347
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.02751	-1.43	0.1755	0.01919566

20- Análisis de regresión del segundo crecimiento del experimento 3

LABOREO INTENSIVO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Pr >  T	Estimate	
		Parámetro=0		
INTERCEPTO	492.1071908	3.39	0.0048	127.32908
PARÁMETRO LINEAL	6.2545754	1.53	0.1501	4.09856121
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.0277647	-1.06	0.3073	0.02612739

21- Análisis de regresión del tercer crecimiento del experimento 3

LABOREO INTENSIVO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Pr >  T	Estimate	
		Parámetro=0		
INTERCEPTO	1013.912957	4.35	0.0009	204.757658
PARÁMETRO LINEAL	30.50114	4.64	0.0005	6.57644797
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.152736	-3.64	0.0004	0.04201538

22- Análisis de regresión del primer crecimiento del experimento 3

LABOREO REDUCIDO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of
		Pr >  T	Estimate	
		Parámetro=0		
INTERCEPTO	699.365025	12.12	0.0001	62.43030311
PARÁMETRO LINEAL	7.1410931	2.7	0.0163	2.64757807
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.0271342	-1.5	0.1527	0.01851478

23- Análisis de regresión del segundo crecimiento del experimento 3  
LABOREO REDUCIDO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of Estimate
		Parámetro=0	Pr >  T	
INTERCEPTO	503.8827	4.6	0.0005	110.8486572
PARÁMETRO LINEAL	1.8495841	0.43	0.6708	3.55383601
PARÁMETRO CUADRÁTICO	0.0135151	0.46	0.6508	0.02270463

24- Análisis de regresión del tercer crecimiento del experimento 3  
LABOREO REDUCIDO

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of Estimate
		Parámetro=0	Pr >  T	
INTERCEPTO	750.0922055	3.79	0.0023	198.0193217
PARÁMETRO LINEAL	37.1137216	5.84	0.0001	6.36007403
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.1644431	-4.54	0.0006	0.0406327

25- Análisis de regresión del primer crecimiento del experimento 3  
SIEMBRA DIRECTA

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of Estimate
		Parámetro=0	Pr >  T	
INTERCEPTO	1027.202132	12.25	0.0001	32.67548626
PARÁMETRO LINEAL	6.979648	2.56	0.0224	2.69392937
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.000796	-1.79	0.0869	0.01721035

26- Análisis de regresión del segundo crecimiento del experimento 3  
SIEMBRA DIRECTA

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of Estimate
		Parámetro=0	Pr >  T	
INTERCEPTO	909.228463	5.34	0.0001	159.0714103
PARÁMETRO LINEAL	2.4752039	0.5	0.6231	4.9163756
PARÁMETRO CUADRÁTICO	-0.0081121	-0.19	0.8467	0.03140959

27- Análisis de regresión del tercer crecimiento del experimento 3  
SIEMBRA DIRECTA

PARÁMETRO	ESTIMADOR	Valor de T para H0:		Std Error of Estimate
		Parámetro=0	Pr >  T	
INTERCEPTO	655.4785569	2.62	0.012	203.2539745
PARÁMETRO LINEAL	35.3282816	3.56	0.002	9.41910054
PARÁMETRO CUADRÁTICO	0.1725037	2.87	0.0132	0.06017646

**ANEXO X - COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ENTRE PASTOREOS**

**1- Comparación del primer intervalo de profundidad del experimento 1**

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	
BLO	3	159.47	1.97	0.312	
LAB*	2	41.68	0.38	0.706	
BLO*LAB	6	36.95	0.3	0.919	
FECH	1	216.03	188.15	0.0001	
LAB*FECH	2	1509.59	13.01	0.002	<b>Estimador (N/cm<sup>2</sup>)</b>
int vs red	1	892.51	7.69	0.001	29.875
int vs sd	1	3011.26	25.95	0.0007	54.875
red vs sd	1	825	5.98	0.015	25

**2- Comparación del segundo intervalo de profundidad del experimento 1**

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	
BLO	3	70.23	0.4	0.755	
LAB*	2	57.82	0.33	0.727	
BLO*LAB	6	75.55	0.43	0.84	
FECH	1	12015.37	68.65	0.0001	
LAB*FECH	2	826.03	4.75	0.039	<b>Estimador (N/cm<sup>2</sup>)</b>
int vs red	1	503.64	2.96	0.125	22.375
int vs sd	1	1650.39	9.43	0.013	40.825
red vs sd	1	335.06	1.3	0.201	18.25

**3- Comparación del primer intervalo de profundidad del experimento 2**

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	
BLO	3	158.18	3.69	0.0492	
LAB*	2	1077.197	24.75	0.002	
BLO*LAB	6	149.545	3.68	0.0095	
FECH	1	7426.18	182.57	0.0001	
LAB*FECH	2	9.627	0.24	0.7927	<b>Estimador (N/cm<sup>2</sup>)</b>
int vs red	1	0.0156	0	0.9848	0.125
int vs sd	1	15.015	0.37	0.5585	3.675
red vs sd	1	14.962	0.35	0.5711	3.75

#### 4- Comparación del segundo intervalo de profundidad del experimento 2

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	
BLO	3	23.125	0.58	0.6098	
LAB*	2	2.7357	9.45	0.0062	
BLO*LAB	6	120.03	3.04	0.0057	
FECH	1	2109.37	53.35	0.0001	
LAB*FECH	2	81.38	2.06	0.1839	Estimador (N/cm <sup>2</sup> )
int vs red	1	152.56	4.11	0.0732	12.75
int vs sd	1	40.64	1.03	0.3171	5.37
red vs sd	1	43.64	1.09	0.3071	6.37

#### 5- Comparación del primer intervalo de profundidad del experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	
BLO	3	110.02	1.07	0.409	
LAB*	2	829.29	8	0.01	
BLO*LAB	6	123.26	1.19	0.3908	
FECH	1	12258.76	113.63	0.0001	
LAB*FECH	2	529.89	5.21	0.0314	Estimador (N/cm <sup>2</sup> )
int vs red	1	135.765	7.1	0.0258	27.12
int vs sd	1	877.64	8.47	0.0173	29.62
red vs sd	1	5.25	0.05	0.8115	2.5

#### 6- Comparación del segundo intervalo de profundidad del experimento 3

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio	Valor de f	Pr > F	
BLO	3	2.627	0.12	0.9	
LAB*	2	231.90	15.04	0.0014	
BLO*LAB	6	15.46	1.37	0.4451	
FECH	1	1372.69	101.97	0.0001	
LAB*FECH	2	134.46	6.71	0.0161	Estimador (N/cm <sup>2</sup> )
int vs red	1	200.64	13.39	0.0052	14.37
int vs sd	1	54.51	2.24	0.1689	5.67
red vs sd	1	72.25	4.65	0.0597	-8.5