

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA INTENSIDAD DE LABOREO, LA
SECUENCIA Y LA VARIABILIDAD ESPACIAL SOBRE
PARAMETROS PRODUCTIVOS EN UNA CHACRA DE
ARROZ**

por

**Gustavo Manuel Pereira Azpiroz
Nicolás Ernesto Stirling Pomi**

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2012**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr., PhD. José Terra

Ing. Agr. Guillermina Cantou

Ing. Agr. PhD. Guillermo Siri

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Fecha: 12 de marzo de 2012

Autores:

Manuel Pereira

Nicolás Stirling

AGRADECIMIENTOS

A los Ing. Agr. José Terra y Guillermina Cantou por el tiempo dedicado y su orientación en nuestro trabajo.

A INIA Treinta y Tres por permitir la realización de este trabajo en dicha institución, en especial a los ingenieros e integrantes de la sección manejo de suelos y nutrición vegetal por su colaboración.

A la Facultad de Agronomía por todos los conocimientos enseñados que permitieron de una forma u otra la elaboración de este trabajo.

A nuestras familias, porque su colaboración ha permitido la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1 <u>DEFINICIÓN DE SIEMBRA DIRECTA</u>	3
2.2 <u>DIFERENTES SISTEMAS DE SIEMBRA EN EL CULTIVO DE ARROZ</u>	4
2.2.1 <u>Sistema de siembra directa</u>	4
2.2.2 <u>Sistema de laboreo del suelo</u>	4
2.3 <u>PROPIEDADES DEL SUELO</u>	5
2.3.1 <u>Densidad del suelo</u>	5
2.3.2 <u>Materia orgánica en suelos inundados</u>	6
2.3.3 <u>Relación materia orgánica-nitrógeno</u>	7
2.3.4 <u>Nitrógeno en el suelo</u>	7
2.3.5 <u>Fósforo en el suelo</u>	9
2.4 <u>EFFECTO DE LA ROTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ARROZ</u>	9
2.4.1 <u>Evolución de la materia orgánica en la rotación</u>	13
2.5 <u>IMPLANTACIÓN DE ARROZ</u>	14
2.6 <u>PRODUCCIÓN DE TALLOS</u>	¡Error! Marcador no definido.
2.7 <u>IMPACTO EN LA POBLACIÓN DE MALEZAS</u>	¡Error! Marcador no definido.
2.8 <u>NIVEL NUTRICIONAL DEL CULTIVO</u> ...	¡Error! Marcador no definido.
2.9 <u>CONTENIDO DE CLOROFILA EN HOJA</u>	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.10 <u>PRODUCCIÓN DE BIOMASA</u>	¡Error! Marcador no definido.
2.11 <u>ENFERMEDADES</u>	¡Error! Marcador no definido.
2.12 <u>RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES</u> ..	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	¡Error! Marcador no definido.
3.1 <u>DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO</u>	¡Error! Marcador no definido.
3.1.1 <u>Localización</u>	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2 <u>Suelos</u>	¡Error! Marcador no definido.
3.1.3 <u>Rotación dentro del experimento</u>	¡Error! Marcador no definido.

3.1.4	<u>Tratamiento</u>	¡Error! Marcador no definido.
3.1.5	<u>Diseño experimental, modelos y análisis estadístico</u>	28
3.1.6	<u>Manejo previo y durante el cultivo</u>	30
3.2	DETERMINACIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2.1	<u>Suelo</u>	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2	<u>Cultivo</u>	¡Error! Marcador no definido.2
3.2.3	<u>Rendimiento</u>	¡Error! Marcador no definido.
3.2.4	<u>Otras variables registradas</u>	¡Error! Marcador no definido.4
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	¡Error! Marcador no definido.5
4.1	FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE ARROZ	¡Error! Marcador no definido.5
4.1.2	<u>Precipitaciones</u>	¡Error! Marcador no definido.5
4.1.3	<u>Temperatura</u>	¡Error! Marcador no definido.
4.1.4	<u>Radiación Solar</u>	¡Error! Marcador no definido.
4.2	ANÁLISIS DE SUELO	38
4.3	IMPLANTACIÓN DEL CULTIVO	¡Error! Marcador no definido.
4.4	EVOLUCION DEL NÚMERO DE TALLOS	¡Error! Marcador no definido.3
4.5	ENMALEZAMIENTO	¡Error! Marcador no definido.
4.6	ALTURA DE PLANTA	49
4.7	PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA	¡Error! Marcador no definido.0
4.8	ESTIMACION DEL CONTENIDO DE CLOROFILA EN HOJA	¡Error! Marcador no definido.
4.9	ENFERMEDADES DE TALLO Y VAINA .	¡Error! Marcador no definido.
4.10	RENDIMIENTO EN GRANO.....	58
4.11	COMPONENTES DE RENDIMIENTO	65
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	¡Error! Marcador no definido.
6.	<u>RESUMEN</u>	¡Error! Marcador no definido.2
7.	<u>SUMMARY</u>	73
8.	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	74

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Efectos del manejo del antecesor (raigrás) en la implantación, rendimiento del cultivo de arroz en siembra directa.....	10
2. Comportamiento entre el número de plantas/m ² a implantación de diferentes ensayos realizados en Uruguay.....	15
3. Rotación en la cual se presenta el ensayo.....	26
4. Precipitaciones (mm) mensuales. Media histórica y zafra 2008-2009.....	36
5. Resultados de análisis del suelo para las dos antecesores.....	39
6. Efecto de la intensidad de laboreo y del antecesor sobre el coeficiente de variación para pH, Corg, N, P y K.....	40
7. Resultados de los efectos de las intensidades de laboreo y antecesores en el número de plantas/m ²	41
8. Efecto del antecesor en la secuencia de la rotación sobre la altura de las plantas de arroz en diferentes momentos fisiológicos del cultivo.....	50
9. Efecto del cultivo antecesor en la secuencia sobre la acumulación de materia seca de arroz durante el ciclo.....	52
10. Efecto de la intensidad de laboreo sobre el valor de SPAD y otras características.....	55

11. Efecto del antecesor en la secuencia de la rotación sobre los valores de índice de grado severidad para Sclerotium y Rhizoctonia para floración y cosecha.....	57
12. Interacción en los IGS para Sclerotium y Rhizoctonia según antecesor e intensidad de laboreo.....	57
13. Efecto de la intensidad de laboreo en dos momentos de la secuencia de la rotación, sobre el rendimiento de grano.....	58
14. Efecto de la intensidad de laboreo y la fase de rotación sobre el coeficiente de variación en la productividad de arroz.....	60
15. Efecto de la intensidad de laboreo sobre los componentes de rendimiento del cultivo de arroz.....	66
16. Efectos del antecesor sobre los componentes del rendimiento.....	69
17. Interacción en los valores de los componentes del rendimiento según antecesor e intensidad de laboreo.....	69
Figura No.	
1. Representación esquemática del experimento sembrado sobre el raigrás regenerado.....	27
2. Representación esquemática del experimento sembrado sobre la pradera regenerada.....	28
3. Registro decádicos de temperaturas máximas, medias y mínimas. Media histórica y zafra 2008-2009.....	37

4. Registros decádicos de heliofanía desde noviembre a abril.....	38
5. Efecto de la intensidad de laboreo en el número de tallos/m ² , en dos momentos de muestreo del cultivo: macollaje y floración.....	44
6. Efecto de la interacción en el número de tallos/m ² a macollaje.....	45
7. Evolución del número de tallos en el ciclo de cultivo para el experimento que tuvo como antecesor pradera	46
8. Evolución del número de tallos en el ciclo de cultivo para el experimento que tuvo como antecesor raigrás.....	46
9. Efecto de la intensidad de laboreo en la altura de las plantas a primordio y a cosecha.....	49
10. Efecto de la intensidad de laboreo en la acumulación de materia seca en diferentes momentos del ciclo.....	51
11. Efecto de la intensidad de laboreo sobre los valores de SPAD a primordio y floración.....	53
12. Efecto del antecesor sobre los valores de SPAD a primordio y floración.....	54
13. Efecto de la intensidad de laboreo en el Índice de grado de severidad de enfermedades de tallo (<i>Sclerotium oryzae</i> y <i>Rhizoctonia oryzae sativae</i>) en el cultivo de arroz, a floración y cosecha.....	56
14. Mapa de rendimiento de los ensayos.....	61
15. Árbol de clasificación y regresión (CART).....	64

16. Efecto del antecesor en la secuencia sobre el número de grano por m ² del cultivo de arroz.....	67
17, Efecto de la intensidad de laboreo sobre la el porcentaje de esterilidad de los granos de arroz, por secuencia de la rotación.....	68

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz es uno de los principales rubros de exportación de Uruguay, ocupando un área de siembra de 160.700 ha. y una producción de aprox. 1,3 millones de toneladas, lo que representa una productividad de 8012 kg/ha (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2009).

La proporción de área de arroz con siembra directa en el país sobre laboreo de verano es de alrededor de 9% (13.040 ha), otro 25% del arroz se realiza sobre laboreo reducido, mientras el resto del área se realiza sobre laboreo convencional con o sin laboreo de verano sobre un área total relevada de 140.409 ha. (Molina et al., 2009).

En Uruguay el cultivo de arroz rota con pasturas (mezcla de leguminosas y gramíneas), lo que contribuye con la sustentabilidad del sistema y la diversificación productiva. La incorporación de gramíneas y leguminosas en la rotación permite aumentar la fertilidad del suelo a través de la fijación biológica de nitrógeno y mejorar la estructura del suelo. Esta mejora en las propiedades del suelo posee un impacto significativo en un aumento de rendimiento del cultivo de arroz. Además de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo posibilita una menor utilización de herbicidas y de fertilizantes nitrogenados.

Luego de la pastura se recomienda anticipar la preparación del suelo con un laboreo, drenaje y sistematización de la chacra en el verano-otoño previo a la siembra del arroz (Méndez et al., 2001).

La información local resume que es posible eliminar el laboreo de primavera sin afectar el rendimiento en grano, comparado con el laboreo reducido o convencional (Méndez et al., 2001). A pesar de esos resultados la adopción de esta técnica no ha sido mayoritariamente adoptada por parte de productores debido a limitantes a nivel comercial que no se evidencia en campo experimental.

Las características generales de la siembra directa son de mantener el rastrojo en superficie, el aumento de la actividad biológica del suelo y el uso

adecuado de los recursos naturales para aumentar la producción y reducir costos.

Sin embargo en Uruguay para el cultivo de arroz, se diferencian los términos de intensidad de laboreo con el de siembra directa, dado que en la mayoría de los casos el suelo es laboreado previo a la siembra, sin embargo en ciertos casos se realiza solo un laboreo en el verano y se siembra sobre este en la primavera.

La hipótesis del presente trabajo es que la siembra directa no afecta el rendimiento en grano de la chacra de arroz. Como ya se mencionó la siembra directa no ha sido adoptada en gran medida, probablemente por ciertas limitantes que no permiten expresar el potencial a nivel comercial.

El objetivo del trabajo es evaluar el impacto de la intensidad de laboreo (siembra directa y laboreo convencional) previo a la siembra de arroz sobre el rendimiento en grano en dos momentos de la rotación (pradera y raigrás).

2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1 DEFINICIÓN DE SIEMBRA DIRECTA

Según el Conservation Technology Information Center de Estados Unidos, la siembra directa, es el sistema de preparación del suelo y de la vegetación para la siembra en el que el disturbio realizado en el suelo para la colocación de las semillas es mínimo, ubicándolas en una muy angosta cama de siembra o surco, que depende del uso de herbicidas para el control de las malezas; el suelo se deja intacto desde la cosecha hasta una nueva siembra (Dábala, 2009)

En los sistemas de siembra directa o cero laboreo la superficie cubierta por residuos del antecesor hasta la emergencia del cultivo es más del 85%, mientras que en el laboreo convencional el porcentaje de suelo cubierto es de menos del 10% (Dábala, 2009).

Méndez et al. (2001) resaltaron que la presencia o ausencia de una cobertura puede influenciar el régimen hídrico y térmico del suelo. La cobertura vegetal amortigua las variaciones de la temperatura y humedad pudiendo ser utilizada como una herramienta de manejo para la siembra. A su vez, la altura de la misma provoca variaciones en la temperatura del suelo a favor de un tapiz bajo en el caso de una siembra temprana. Para el caso de una siembra tardía sería aconsejable un tapiz alto para mantener mas baja la temperatura y posiblemente conservar la humedad del suelo.

Según Marchesi (2000), la sucesión de cultivos que dejan rastrojos en superficie y eliminan la acción mecánica del agua reduce la erosión, produce un aumento de la materia orgánica por el proceso de muerte y descomposición de la raíces y por la protección que generan los mismos. Estos procesos aumentan la actividad microbiana y la microfauna del suelo, mejorando la estructura del mismo (Dábala, 2009).

2.2 DIFERENTES SISTEMAS DE SIEMBRA EN EL CULTIVO DE ARROZ

2.2.1 Sistema de siembra directa

La principal ventaja de siembra directa en el Uruguay para el cultivo de arroz es que aumenta la probabilidad de sembrar en la fecha óptima (1º de octubre al 10 de noviembre), lo que resulta muy importante particularmente para la zona este del país donde suelen ocurrir temperaturas frías durante la etapa reproductiva del cultivo que comprometen los rendimientos. La implantación temprana del cultivo determina mejores condiciones en el periodo crítico de bajas temperaturas. En cambio para la zona norte (suelos de mayor pendiente que en el este), además de lo mencionado, también ofrece la ventaja de la conservación del suelo al proteger de la erosión (Méndez et al., 2001).

En Brasil, la siembra directa surgió como una alternativa para controlar el problema de arroz rojo que se da en los suelos arroceros de ese país. (Gamarra, 1996)

La adopción de la siembra en arroz entonces está más relacionada con el control de malezas, especialmente el arroz rojo y con la reducción de los costos de producción, que con la conservación del suelo y del ecosistema (Gomes et al. 1995, Santos 1999); aunque contribuye a la mejora de la calidad de los suelos según Méndez et al. (2001).

Dentro de las limitantes para su adopción se mencionan el pisoteo de los animales durante el invierno y también se ha destacado la falta de humedad en el suelo al momento de la siembra, la que se ve explicado muchas veces por la falta de un tapiz previo generado sobre el laboreo temprano Méndez et al. (2001).

2.2.2 Sistema de laboreo del suelo

Jayawardena et al. (2005), comentaron que el laboreo del suelo es una práctica que se realiza previo a la siembra de arroz, con el objetivo de controlar las malezas y para obtener una buena cama de siembra para la instalación del

cultivo. Éste a su vez contribuye a reducir la compactación del suelo en el corto plazo.

Hayashi et al. (2008) consideraron que la preparación de una buena cama de siembra es un factor de gran influencia en el logro de buenas condiciones para el crecimiento del cultivo. Se observó que el mayor afinado de los terrones lograba una mejor y más homogénea nivelación de la chacra haciendo que el agua de riego inundara de manera más pareja toda la chacra.

2.3 PROPIEDADES DEL SUELO

2.3.1 Densidad del suelo

En un experimento conducido por Jayawardena et al. (2005), encontraron que la densidad aparente del suelo no fue afectada por el método de preparación de suelo. La densidad real del suelo en siembra directa fue de 1,18 y 1,22g/cm³ en cambio en laboreo convencional los valores fueron de 1,22 y 1,26g/cm³. Estos resultados indican que la siembra directa no posee efectos en la compactación del suelo.

Similares resultados reportó Fernando, citado por Jayawardena et al. (2005), al igual que Ambassa Kiki et al. (1996). Estos últimos encontraron que la densidad aparente en siembra directa fue menor, sin diferencias significativas con el laboreo convencional (1,45 vs 1,58 g/cm³).

En estudios realizados por Alvarez y Steinbach (2009), demostraron que el incremento en la densidad aparente bajo siembra directa en comparación con el laboreo fue generalmente bajo (alrededor del 4 %). La estabilidad de los agregados de suelo y la infiltración de agua fue mayor en suelos sujetos a un laboreo mínimo frente al convencional. El mejoramiento de la estabilidad de los agregados fue mayor en suelos de estructura pobre, con un incremento promedio de 70% bajo siembra directa.

Según estos mismos autores los incrementos en densidad aparente del suelo en siembra directa fueron reportados sólo en aquellos suelos donde la

densidad inicial era menor a $1,3 \text{ g/cm}^3$. A excepción de estos casos particulares la siembra directa no parece tener impacto en la densidad aparente del suelo.

Por otro lado, algunos estudios muestran que la densidad aparente del suelo se incrementó bajo siembra directa en relación al laboreo convencional (Tebrügge y Düring, 1999) o laboreo reducido (Mc Vay et al., 2006).

Resultados obtenidos por Peña y Gomes y Peña (1997), indican que en el sistema convencional hay una menor densidad del suelo ($1,33$ vs. $1,42 \text{ g/cm}^3$), mayor macroporosidad y porosidad total, por lo que existe una menor relación micro/macroporos (3:1 vs. 4:1).

2.3.2 Materia orgánica en suelos inundados

Según Saharawat (2005), los principales mecanismos envueltos en la acumulación de materia orgánica en suelos inundados está relacionada a la descomposición más lenta, incompleta e ineficiente de la materia orgánica agregada en ausencia de oxígeno. Además la estabilización de la materia orgánica, la acumulación de toxinas antimicrobianas y la mayor producción primaria neta de estos sistemas son otras de las causas que contribuyen a ésta acumulación.

De acuerdo con éste autor, otro factor importante relacionado a la materia orgánica y a la fertilidad de suelos es el rol de los aceptores, especialmente hierro oxidado, en controlar la descomposición de la materia orgánica y liberar amonio bajo condiciones de inundación.

Además reportó que el cambio del pH del suelo hacia la neutralidad luego de la inundación, mejora la disponibilidad de nutrientes como amonio, potasio, fósforo y cationes intercambiables los que son movilizados en la solución del suelo.

Saharawat (2004), manifestó que aunque la tasa de descomposición se ve disminuida bajo condiciones de anaerobiosis, la liberación de nitrógeno ocurre a un coeficiente de C/N relativamente más alto que en un ambiente aerobio debido a que los requerimientos energéticos de las bacterias (principales

descomponedoras en condiciones anaerobias) son menores que los requerimientos de los heterótrofos en medio aerobios.

Bird et al. (2003) sugieren que más nitrógeno se encuentra inmovilizado luego de la incorporación del rastrojo conservándose en la materia orgánica del suelo, entonces con el tiempo más nitrógeno será suministrado a cultivos de arroz subsiguientes con este tipo de manejo. A su vez a largo plazo la incorporación de residuos puede resultar en un impacto importante en la acumulación de carbono en el suelo.

2.3.3 Relación materia orgánica-nitrógeno

Varios estudios demostraron una alta relación entre N mineralizado (amonio) bajo condiciones anaeróbicas con el nitrógeno total y el carbono orgánico del suelo (Sahrawat, 2005).

Según Sahrawat (2005), entre 50-70% del nitrógeno total absorbido por el cultivo de arroz aún con fertilización nitrogenada proviene del pool de nitrógeno del suelo.

Similares resultados fueron publicados por Lian, citado por Méndez y Deambrosi (2009), quienes resaltaron que el suelo es la principal fuente de aporte de nitrógeno para el cultivo de arroz, ya que donde se fertilizó con fuentes nitrogenadas, el aporte desde el suelo es alrededor del 77% del nitrógeno total consumido. Esto coincide con los resultados obtenidos por Bacon et al. citado por los mismos autores, que determinó que entre el 66 y 96 % del consumo total de N era proveniente de suelo.

2.3.4 Nitrógeno en el suelo

Braga do Carmo et al. (2004), observaron que las tasas de acumulación de nitrógeno mineralizado y la tasa de nitrificación durante los primeros seis meses luego del inicio del tratamiento (laboreo o siembra directa) varió ampliamente, pero fue mayor en el tratamiento de laboreo que la siembra directa. Las emisiones de NO y N₂O aumentaron con el laboreo y con la fertilización con nitrógeno.

El complejo (pool) de amonio del suelo se vio incrementado por el laboreo, la máxima diferencia entre laboreo y control (no laboreo) se dio a los 14 días pos-laboreo. Antes que transcurriera un mes, se observó un descenso en el nivel de amonio que se mantuvo aún después de una segunda roturación del suelo. De seis a nueve meses luego que se laboreo los niveles de amonio en el suelo fueron superiores en el control respecto al suelo laboreado.

El tratamiento de arroz en siembra directa presentó las tasas más bajas de mineralización. Braga do Carmo et al. (2004), determinó que el efecto de la ausencia de vegetación fue más importante que el efecto que posee la perturbación en cambiar el pool de nitrógeno inorgánico del suelo.

Un estudio de Alvarez y Steinbach (2009) en diferentes suelos, determinaron que los niveles de nitrógeno en el suelo fueron significativamente mayores con LC que sobre mínimo laboreo o SD. En promedio las diferencias fueron de 11 kg N/ha respecto al laboreo mínimo y 21 kg N/ha cuando se lo comparó con la SD. En suelos con bajo nivel de nitrógeno las diferencias entre los diferentes métodos de preparación de suelo también fueron bajas y éstas aumentaron a medida que los niveles ascendían.

Méndez et al. (2001) en situaciones de deficiencia de nitrógeno (por tipo de suelo o alta intensidad agrícola), es necesario la aplicación de una dosis mayor de nitrógeno a la utilizada comúnmente en condiciones de LC.

El nitrógeno es el nutriente más limitante en los sistemas basados en arroz irrigado. El rastrojo de arroz es pobre en contenido de nitrógeno y la incorporación de residuos con una alta relación C/N en un medio anaeróbico resulta en inmovilización de nitrógeno y una disminución en el nitrógeno disponible. Ese periodo inicial de inmovilización neta es seguido por un período de mineralización neta (Nguyen et al., 2006).

Según Anders et al. (2000), los resultados de absorción de N proveniente del suelo indican un beneficio (mayor absorción) por parte del tratamiento de siembra directa cuando se lo compara con laboreo convencional mas allá de la rotación establecida.

2.3.5 Fósforo en el suelo

Pheav et al. (2004), expresaron que las pasturas que crecen previo a la siembra del arroz pueden acceder al P residual dejado por el anterior cultivo de arroz. Estas pasturas espontáneas pueden contener de 3-10 kg P/ha. Pheav (2002) sugiere que la incorporación de residuos, tanto por la devolución de la paja de arroz o por el crecimiento de pasturas voluntarias, aumenta en mayor forma los rendimientos y la absorción de P del arroz subsiguiente y además, aumenta el pool de P orgánico, incluyendo el P microbiano que es una fuente de fósforo para el cultivo subsiguiente.

2.4 EFECTO DE LA ROTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ARROZ

Según Marcolin et al. (2007), la cobertura vegetal durante el invierno promueve una mejora en la estructura suelo. Por otro lado, puede producir efectos negativos en el arroz dependiendo de la especie, calidad y cantidad existente de biomasa. Estos efectos negativos ocurren cuando la descomposición de los residuos es realizada en anaerobiosis. En esta condición a formación de ácidos orgánicos entre ellos ácido acético, butírico, isobutírico y ácido propiónico.

Ensayos conducidos por Méndez y Deambrosi (1996), en suelos de alta intensidad agrícola, mostraron un efecto negativo del rastrojo de raigrás en el rendimiento del arroz. Éste efecto fue más pronunciado con altas densidades de siembra de raigrás altas (40 kg/ha).

Se encontró una menor implantación del arroz con la siembra de raigrás, 150 pl/m² contra 217 pl/m² con y sin la gramínea respectivamente.

En ensayos donde se evaluaron diferentes alturas del tapiz de un raigrás como antecesor, se realizó un manejo bajo (simulando un pastoreo intenso) frente a uno alto, donde la reducción del tapiz se vio traducida en una mejora de la implantación y en un mayor rendimiento de grano, aunque presentó niveles inferiores a cuando no se sembró la gramínea sobre el laboreo de verano. El componente del rendimiento con la inclusión de la gramínea fue el número de panojas al momento de cosecha (Méndez y Deambrosi, 1997).

Sin embargo, cuando los mismos tratamiento fueron comparados en un suelo de mejor calidad, se obtuvo una mejor implantación del cultivo, no hallándose diferencias debido a los distintos manejos de la pastura (corte alto 7411 kg de arroz/ha; corte bajo 7438 kg de arroz/ha.). En esta situación, el efecto negativo del verdeo se manifestó con la dosis más alta (40 kg/ha) (cuadro 1).

Estos autores al comparar diferentes períodos de barbecho, 40 frente a 13 días, no encontraron diferencias en la implantación del cultivo, ni en los rendimientos.

Al evaluar los efectos de aplicar una mayor dosis de urea a macollaje, no se encontraron diferencias en la cantidad de panojas a cosecha. Los autores concluyen que los problemas encontrados en la instalación del cultivo parecerían estar asociados a las características y tipo de suelos, dado dichas diferencias no se expresan en suelos con menor intensidad agrícola y con mejores características.

Cuadro 1: Efectos del manejo del antecesor (raigrás) en la implantación, rendimiento del cultivo de arroz en siembra directa.

Densidad de Raigrás (kg/ha)	Altura del Tapiz	Implantación Plantas/m ²	Rend (kg/ha)	Panojas/m ²
0	Bajo	291 ab	7773 a	550 a
0	Alto	295 ab	7624 ab	
20	Bajo	293 bc	6549 cd	463 b
20	Alto	222 bc	6329 cd	
40	Bajo	319 a	6685 bc	423 b
40	Alto	214 c	5595 d	

Promedios seguidos por las mismas letras no difieren estadísticamente según el test de Tuckey (0,05)

Fuente: Méndez et al. (2001)

Días et al. (1995), verificó que la avena negra presento un desempeño destacado en términos de producción de materia seca, indicando que puede ser utilizada para el pastoreo y luego como cobertura muerta, como especie alternativa al raigrás. La producción de arroz fue similar o superior en SD que LC.

Estudios realizados por Becker et al., citados por Schulz et al. (1998), demostraron que el crecimiento de abonos verdes por tan solo 45-60 días, acumulan mas de 100 kg/N/ha y que la incorporación de la biomasa incremento en promedio del rendimiento de siguiente arroz en 1.700 kg/ha en relación al arroz continuo.

En experimentos conducidos por Schulz et al. (1998), determinaron que el nitrógeno total fijado por parte de la leguminosas fue aproximadamente 450 kg/ha, pero solo el 15 % del mismo (70 kg/ha) fue recuperado por el cultivo de arroz. Esto resulta en una baja eficiencia (kg MS/kg N) en el uso de este nutriente, por lo que una cantidad considerable se perdió, se inmovilizó en el suelo o no fue descompuesto por la materia orgánica.

Beecher et al. (1994), destacó la importancia de la fertilización nitrogenada sobre la cantidad de materia seca y el rendimiento en grano incluso luego de una pradera de cuatro años. En el experimento se observó que la edad de la pastura (dos, tres y cuatro años) no tuvo relación directa con la producción de grano. Se constato que la rotación de pastura-arroz tiene un efecto positivo en el rendimiento principalmente en el arroz de segundo año.

Éste autor constató que estas pasturas contribuyeron un equivalente de 140 kg/ha (de nitrógeno) para el cultivo subsiguiente. No se encontró diferencias en el tipo de leguminosa utilizada, ya sea esta anual o perenne en el rendimiento del cultivo de arroz.

En el experimento realizado por dicho autor todas las secuencias respondieron positivamente al agregado de nitrógeno, pero la secuencia con pasturas requirió menos nitrógeno para alcanzar la máxima producción de materia seca.

Luego de varios años de estudio con diferentes secuencias, se determinó que no hay efecto positivo en el rendimiento en grano del cultivo de arroz proveniente de una fase de pasturas con leguminosas mayores a dos años de duración, si éstas fueron bien implantadas y mantenidas. Por otro lado Boerema y Mc Donald, citados por Lattimore (1994) concluyeron que el nitrógeno fue esencial para la obtención de altos rendimientos y que la fase de pasturas de 5-6 años fue más que suficiente para mantener la fertilidad del suelo.

A su vez Heenan, citado por Beecher et al. (1994), mostró que leguminosas de 15-16 meses de duración contribuyeron con 80 kg N/ha, también para el cultivo siguiente.

Con respecto a las coberturas invernales, Beecher (1994) coincide con Heenan (1987) que pasturas de corta duración durante esa estación no posee efecto significativo en el rendimiento ya que realizan un pobre contribución de nitrógeno.

Schulz et al. (1999), concluyen que la inclusión de leguminosas invernales de clima templado en la rotación contribuye a un aumento en la biomasa y nitrógeno al sistema, lo cual permite aumentar el rendimiento del arroz subsiguiente. La magnitud de este incremento va a depender de la cantidad de nitrógeno incorporado por la leguminosa.

Diferentes estudios realizados por Rixon (1972), Holford (1980), Beecher et al. (1994), coinciden en destacar que se observaron beneficios residuales de la pastura en el rendimiento en grano en el segundo cultivo de arroz.

Según Lattimore (1994), la inclusión de las leguminosas en el sistema de rotación con arroz posee la ventaja de la recuperación de la fertilidad del suelo. Este autor concluyó que la incorporación de pasturas en la rotación posee las siguientes ventajas: alta tasa de fijación de nitrógeno, mejor control de malezas y también permite reducir el uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes.

Éste autor observó que aumentó la acumulación de nitrógeno y carbono cuando hubo una fase larga de pasturas en relación a una pradera corta de dos años.

La siembra de arroz continuo produce una rápida pérdida de fertilidad en el suelo y favorece a la invasión de malezas, que no permite el desarrollo del cultivo sobre la misma chacra más allá de dos años (Boerema y McDonald, citados por Lattimore, 1994).

Boerema, citado por Lattimore (1994), afirmó que el mejor suministro de nitrógeno para el cultivo de arroz, era aquel nitrógeno orgánico liberado lentamente por la fase larga de pasturas.

A su vez, la fijación de nitrógeno esta asociado a la producción de materia seca (Watson, 1963), por lo que una pastura más larga y de mayor producción, trae como consecuencia más N₂ que probablemente será fijado en el suelo.

En un estudio llevado a cabo por Lattimore (1994), obtuvieron que con dos años de pasturas, el trébol subterráneo contribuyo al equivalente a 40-80 kg/ha de nitrógeno como fertilizante en el suelo, lo que fue relacionado con la densidad y el crecimiento de la leguminosa en la pastura.

2.4.1 Evolución de la materia orgánica en la rotación

Según Desjardins et al. (2006), el abandono del cultivo de arroz restableciéndose el campo natural induce a reducir el contenido de materia orgánica durante los primeros 4 años, debido principalmente al origen de la pastura natural. Cuando el tiempo de abandono fue mayor el contenido de materia orgánica del suelo se incremento lentamente y luego de 15 años se lleo a los mismos niveles que en la pastura original.

Se ha demostrado una reducción en la materia orgánica del suelo cuando se lo ha cultivado en relación a suelos vírgenes (Mann, 1986). Sin embargo en condiciones de anaerobiosis impuesto por la inundación del suelo como en casos de arroz irrigado lleva en general a un enlentecimiento en la mineralización de la materia orgánica del suelo produciendo su acumulación (Neue et al., citados por Desjardins et al., 2006).

De acuerdo a resultados obtenidos por Desjardins et al. (2006), el contenido de carbono fue mayor en la pastura natural que en los casos en que se produce arroz, excepto inmediatamente después a la cosecha del cultivo. El contenido de carbono disminuyo durante 4 años luego de haber plantado arroz pero después de ese tiempo sus niveles comenzaron a incrementarse. Aún luego de 15 años el contenido de carbono se mantuvo menor a la pastura natural pero la diferencia no fue significativa. Para el caso del contenido de N orgánico las variaciones a lo largo de las secuencias fueron menos pronunciadas que para el caso del carbono, solamente fue menor cuando se dejo un descanso de 4 años después de cultivar arroz.

En experimento conducido por Desjardins et al. (2006), se observó que la evolución del contenido de carbono y nitrógeno a lo largo de la secuencia fue consecuencia de los cambios en la vegetación. Primero, se observó una pequeña disminución del contenido de carbono así como del nitrógeno en campos recién cosechados en relación a la pastura natural. Estos resultados pueden ser inesperados dado que los agregados de los residuos del cultivo de arroz fueron probablemente mayores al agregado de una pastura natural, además por el período de inundación de éste cultivo. Estas condiciones se dan durante sólo cuatro meses en el año. La existencia de 8 meses bajo condiciones de aerobiosis y la alternancia de períodos seco y húmedo puede inducir una mayor actividad biológica llevando a una mayor tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo.

La disminución del contenido de la materia orgánica del suelo en los campos con cultivos continuos se puede atribuir a la ruptura de los agregados del suelo lo que mejora el acceso microbiano a la materia orgánica (Lehmann et al., 2007).

En segundo lugar, con dos años sin arroz, se encontró una disminución del contenido de carbono y nitrógeno, lo que puede ser explicado en parte por la recolonización de la pastura natural en forma lenta, los agregados de residuos orgánicos pudieron haber sido muy pequeños durante los primeros dos años sin arroz. Además de esto, el retorno en condiciones aeróbicas continuas puede estimular a los organismos descomponedores, de ahí la tasa de mineralización de la materia orgánica.

2.5 IMPLANTACIÓN DE ARROZ

En experimentos llevados a cabo por Molina et al. (2007), Cantou et al. (2008) en Uruguay, en donde se evaluó el efecto de la intensidad de laboreo, no hubo diferencia significativa en el número de plantas aunque existió una tendencia mayor hacia el laboreo convencional (cuadro 2).

En estos trabajos no se observaron diferencias en la cantidad de plantas emergidas entre los diferentes antecesores, aunque se obtuvo una tendencia a mayor número de plantas sobre la pradera.

Resultado de Molina et al. (2007), el número de tallos no fue afectado por la secuencia. Sin embargo Cantou et al. (2008) encontraron un 17% menos de tallos por m² a macollaje en la chacra sobre raigrás, siendo esta diferencia significativa.

Cuadro 2: Comportamiento entre el número de plantas/m² a implantación de diferentes ensayos realizados en Uruguay.

Zafra agrícola	LC	SD
1992-93*	480	220
1993-94*	237	213
1994-95*	336	231
2006-07**	174	159
2007-08***	322	309

Fuente. * Méndez y Deambrosi (2001).

** Molina et al.(2007)

*** Cantou et al.(2008)

LC: laboreo convencional. SD: siembra directa.

Resultados publicados por Méndez et al. (2001), en el sistema de siembra directa, las plantas presentaron una gran producción de raíces muy divididas, ubicadas en los primeros 5 cm del suelo. Esto provocó un menor desarrollo foliar, que no permitió cerrar el entre surco hasta el estado de floración. En contraste, en siembras de tipo tradicional o realizadas con laboreo reducido, se forman raíces más largas y no tan divididas.

Ensayos conducidos por Marcolin et al. (2007) en Río Grande de Sur Brasil, encontraron que la población inicial de plantas de arroz no fueron significativamente diferentes para los sistemas evaluados: siembra directa, pre-germinado y laboreo convencional.

Jayawardena et al. (2005), encontraron que el número de plantas luego de la emergencia no fue significativamente afectado por el método de laboreo (laboreo convencional vs siembra directa).

2.6 PRODUCCIÓN DE TALLOS

Ensayos realizados por Molina et al. (2007), observaron que el número de tallos a macollaje fue significativamente mayor en laboreo convencional en relación a la siembra directa. En cambio Cantou et al. (2008) no encontraron diferencias.

Según Molina et al. (2007), en la etapa de floración existió una tendencia ($p=0,07$) a mayor número de tallos a laboreo, lo que demuestra una compensación del cultivo de siembra directa. Por otro lado, Cantou et al. (2008) afirman que las diferencias encontradas a macollaje desaparecieron en las etapas fenológicas finales del cultivo.

Sousa et al. (1993b), concluyeron que la plasticidad que presenta el cultivo de arroz inundado esta asociada, en altas densidades, a la producción de un mayor número de panojas por área y en bajas densidades, la capacidad de las plantas de compensar el menor número de panojas con una mayor producción de grano por área.

2.7 IMPACTO EN LA POBLACIÓN DE MALEZAS

Gomes et al. (1995), comprobó una reducción de la incidencia de malezas en las parcelas de siembra directa y cultivo mínimo cuando se lo compara con el sistema convencional. Él autor comentó que estas reducciones en la población de malezas también fueron reportadas por Abud (1987), Menezes (1991).

Resultados publicados por Lorenzi, citado Gomes et al. (1995), concluyeron que la reducción del número malezas en SD ocurre por el cero movimiento del suelo y por el efecto alelopático de la cobertura vegetal.

Kim e Im, citados por Jayawardena et al. (2005), reportaron la posibilidad de ocurrencia de un mayor número de malezas en siembra directa que sobre laboreo convencional.

Según Lattimore (1994), la siembra de pasturas anuales en rotación con arroz es muy efectiva en el control de malezas, particularmente para el capín (*Echinochloa crus-gally*). Productores del sudeste australiano también reportaron una reducción de los problemas de capín luego de una fase de pasturas (Anon, 1955). Sin embargo, Boerema y McDonald (1965), observaron que la interferencia de malezas fue mayor luego de la fase de pasturas dado el aumento de la fertilidad del suelo.

Beecher et al. (1994), expresaron que bajo cultivo continuo de arroz se favorece el desarrollo de diferentes especies de malezas perennes y acuáticas, sin embargo la secuencias que alternan arroz junto a pasturas o cereales de invierno ayuda a controla dichas malezas.

Estudios del INTA Corrientes (Argentina), ensayos realizados Kraemer et al. (2007) en la zafra 2006-2007, mostraron que la población de arroz rojo aumentó bajo las diferentes alternativas de siembra con respecto al primer año (donde se había sembrado 5 plantas/tratamiento). El incremento en la población fue mayor en el tratamiento de siembra convencional, seguido por los tratamientos de siembra directa + una aplicación de glifosato y siembra semi-directa + 2 aplicaciones de glifosato. En contraste la población de arroz rojo fue significativamente menor en el tratamiento de siembra directa más dos glifosatos.

Los autores resaltaron la importancia de la doble aplicación de glifosato y de la reducción de laboreos en la entre zafras, para de esta manera disminuir la propagación del arroz rojo (Kraemer et al., 2007).

2.8 NIVEL NUTRICIONAL DEL CULTIVO

Según Anders et al. (2000), la absorción de potasio y fósforo por parte de las plantas difiere según la rotación que se utilice pero no varía con el método de laboreo utilizado o con la fertilidad del suelo. Las diferencias en el contenido de potasio en la parte aérea de los cultivos estuvieron dadas por la secuencia de la rotación y no por los tratamientos de laboreo y la fertilidad del suelo.

Ensayos ejecutados por Gomes et al. (1995), Gomes et al. (1999), donde evaluó el nivel nutricional de las plantas bajo los diferentes manejos del suelo

(siembra directa y laboreo convencional) en dos momentos: una en primordio y luego en floración. Se constató que a excepción de los niveles promedios que presentó el nitrógeno, los demás nutrientes (fósforo y potasio) mostraron valores promedios mayores en el momento de diferenciación de la panícula que en la floración. Las diferencias en nitrógeno pueden ser atribuibles a una deficiencia inicial (en siembra directa).

2.9 CONTENIDO DE CLOROFILA EN HOJA

Turner y Fund (1994), indicaron que los valores obtenidos por sensores de nivel de clorofila el SPAD, no indican cuanto nitrógeno hay que aplicar, sino que indica si el cultivo requiere el agregado o no de nitrógeno. Tener un criterio correcto en el agregado del fertilizante nitrogenado sincronizado con los requerimientos de la plantas no es fácil, dado los procesos de desnitrificación y la dificultad de predecir las variables del clima que controlan los procesos de mineralización del nitrógeno y el crecimiento del cultivo.

El SPAD se utiliza como un diagnostico para determinar si la planta de arroz requiere el agregado de nitrógeno, dado la correlación positiva existente entre la concentración de nitrógeno de la hoja con el rendimiento del arroz (Mikkelsen 1970, Ward et al. 1973). A su vez, el nitrógeno de la hoja esta correlacionado con el verde la hoja (Matsuzaki et al. 1980, Turner y Fund 1991).

La alta correlación que existente entre la tasa de fotosíntesis y la concentración de nitrógeno en la hoja, es la razón más importante de porque este método puede ser usado para determinar si la planta de arroz requiere la adición de fertilizante nitrogenado (Turner y Fund, 1994).

En el informe publicado por Turner y Fund (1994), comentaron que la mejor correlación entre el valor de SPAD y los requerimientos de N del cultivo ocurre durante dos semanas antes de la diferenciación de la panícula.

Cuando se presenta una baja población de plantas, las cuales disponen del mismo nitrógeno que habiendo una población normal, se tiende a aumentar los niveles de SPAD. Aparentemente la absorción de nitrógeno en menor concentración de biomasa resulta en un verde mas intenso de la planta (Turner y Fund, 1994).

De acuerdo con Yoshida, citado por Turner y Fund (1994), los valores obtenidos por el SPAD rondan el rango de 25 a 44, que depende del nivel de nitrógeno absorbido y la etapa de crecimiento. En lecturas de SPAD con valores por encima de 40, la adición de fertilizante nitrogenado no posee incrementos en el rendimiento primordio. Varios estudios que los valores de SPAD están influenciados por la etapa de crecimiento, el cultivar, la densidad de plantas, el grosor de la hoja, los factores de suelo y el clima (Turner y Fund, 1994) y por la cantidad y calidad del fertilizante y las prácticas de manejo realizadas.

Che Song et al. (2007), determinó que la siembra directa incrementó la concentración de clorofila en planta estimada con un SPAD hasta la etapa de embuchado.

En experimentos llevados a cabo por (Molina et al., 2007), el valor de SPAD en primordio fue mayor en SD comparado con LC. Sin embargo para la etapa de floración las diferencias desaparecieron. El autor resalta que la mayor acumulación de clorofila puede estar relacionada con una menor acumulación de materia seca en los tratamientos de SD. Si se lo relaciona con el contenido de materia seca a primordio podríamos decir que existe un efecto de dilución debido a que los tratamientos de siembra directa fueron los que acumularon menor biomasa.

En cambio en el ensayo realizado por Cantou et al. (2008), las lecturas de SPAD a primordio y a floración no presentaron diferencias entre las intensidades de laboreo y las secuencias (raigrás y pradera).

2.10 PRODUCCIÓN DE BIOMASA

Méndez et al. (2001), encontraron una buena correlación entre la materia seca radicular y aérea en macollaje, con el rendimiento del cultivo en siembra directa. La obtención de una buena implantación y desarrollo hasta el momento de macollaje estaría indicando un buen rendimiento en grano. También se encontró una alta correlación entre la materia seca aérea y la radicular en los estados de macollaje, primordio floral y madurez del cultivo, lo que está demostrando que las inferencias del desarrollo radicular a través de la materia seca aérea sería un buen indicador del mismo.

En estudios donde se evaluó la producción de materia seca bajo diferentes manejos del suelo, el sistema de siembra directa presentó una menor y significativa acumulación de biomasa, a tres semanas de haberse implantado el cultivo (Jayawardena et al., 2005).

Molina et al. (2007), encontraron mayor acumulación de biomasa en el tratamiento de LC en relación a la SD en todas las etapas del cultivo, siendo estas diferencias significativas. En cambio al siguiente año (Cantou et al., 2008), el tratamiento de laboreo convencional produjo más materia seca a macollaje, primordio y floración que en siembra directa, no encontrándose diferencias significativas en la etapa de cosecha.

Las secuencias no mostraron diferencias significativas en la producción de materia seca en ninguna de las etapas fenológicas del cultivo según Cantou et al. (2008).

Resultados de Che Song et al. (2007), mostraron que en el sistema de laboreo convencional tenía mayor acumulación de materia seca previo al embuche en relación al sistema de siembra directa, sin embargo en la madurez sucedió lo contrario. Por lo tanto, el autor concluye que la siembra directa posee menor acumulación de biomasa previo al embuche pero mayor capacidad de acumular materia seca durante el llenado de grano.

Según estos autores, las plantas sembradas en el sistema de siembra directa tuvieron mayor fuente fotosintética que el sistema de laboreo

convencional, concluyendo que el aumento en el rendimiento en siembra directa se dio, principalmente, por el aumento de la fuente.

2.11 ENFERMEDADES

La severidad y la incidencia de las enfermedades dependen de la presencia del patógeno virulento, de las condiciones ambientales y de la susceptibilidad del cultivar.

Actualmente, la podredumbre del tallo y mancha agregada de las vainas, causadas por *Sclerotium oryzae* y *Rhizoctonia oryzae sativae* respectivamente, son las enfermedades más importantes para el cultivo en Uruguay. La importancia se manifiesta tanto en el área afectada, como en la población que permanece en el suelo y rastrojo después de cada zafra (Beldarrain y Avila, 2009). Los efectos de estas enfermedades son tanto directas como a través de las mermas en el rendimiento, como indirectas, dado por la disminución de la calidad del grano.

Se trata de hongos del suelo, cuyas estructuras de resistencia (esclerocios) sobreviven al invierno de forma libre o asociados a residuos vegetales. Al año siguiente, con la inundación del cultivo, dichos esclerocios flotan en la superficie y proveen la fuente de inóculo primaria que infecta a las plantas jóvenes cuando las condiciones ambientales son favorables (Krause y Webster 1972, Webster et al. 1981, Webster et al. 1992).

Resultados obtenidos en California, muestran que la incorporación de residuos al suelo en años consecutivos produce un incremento significativo del inóculo del mismo (Webster et al., 1981).

Beldarrain y Avila (2009), observaron que sitios que tuvieron un uso intenso en algún momento, a pesar de varios años siguiente con rotaciones menos intensivas, mantienen un nivel de inóculo mayor que los sitios de menor intensidad de uso.

Valores bajos de inóculo se relacionan con índices bajos de enfermedad en la planta, mientras que valores altos de inóculo no necesariamente implican

el desarrollo de índices altos de enfermedad, aunque sí representan un alto riesgo potencial (Beldarrain y Avila, 2009).

Cantou et al. (2008), calculó el índice de grado de severidad (IGS) para *Sclerotium* y *Rhizoctonia*, encontrando diferencias significativas únicamente para *Sclerotium* en las mediciones previas a la cosecha del cultivo, con una mayor infección en la pradera.

2.12 RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

Anteriormente fue citada la importancia que tiene la etapa de implantación sobre el rendimiento final del cultivo siendo esta una etapa trascendente. La falta de humedad es crítica cuando se siembra el cultivo mediante siembra directa sobre laboreos de verano, en chacras en las cuales no se ha sembrado previamente un verdeo, en especial en suelos de poca estructura y con una intensidad agrícola previa. En un experimento realizado donde se evaluó el impacto del riego temprano, se encontraron incrementos de rendimiento de 400 kg/ha en 144 (10100 kg/ha con riego, 9695 kg/ha sin riego). Dicho efecto se obtuvo con un baño realizado 20 días después de ocurrir la emergencia del cultivo en un año en que se produjo déficit hídrico luego de la siembra (Méndez y Deambrosi, 1996).

Según Gomes et al. (1995), en experimentos realizados sobre áreas con ausencia de semillas de arroz rojo, los rendimientos fueron estadísticamente iguales en los sistemas de laboreo convencional y siembra directa. Sin embargo en donde había arroz rojo, el rendimiento en grano en el sistema convencional fue inferior a los obtenidos en siembra directa.

Sousa y Sousa y Gomes, citados por Gomes et al. (2004), indican que la deficiencia inicial de nitrógeno en plantas de arroz sembrados con SD, parece ser la causa de los bajos rendimientos.

Jayawardena et al. (2005), concluyó que el rendimiento del cultivo de arroz no fue afectado por el método de laboreo en uno de dos sitios donde realizó un experimento. Cuando hubo diferencias, los menores rendimientos fueron registrados bajo siembra directa.

Zahid, citado por Jayawardena et al. (2005), también encontró una producción de materia seca y rendimiento en grano similar en arroz cultivado sobre siembra directa y laboreo convencional. El primero recomendó el uso de la siembra directa dado su facilidad de adaptación a distintos tipos de suelo.

Che Song et al. (2007), observaron diferencias significativas en el rendimiento del cultivo de arroz a favor de la siembra directa en dos de los tres lugares que realizaron el experimento.

Por otra parte Kato, citado por Che Song et al. (2007), reportó que el sistema de siembra directa redujo el rendimiento en grano de arroz.

Ambassa Kiki et al. (1996), encontró que los rendimientos de arroz no mostraron diferencias significativas entre la SD y LC. Resultados similares fueron reportados por Brown y Quantrill (1973) en Malasia y Croon (1978) en Kenia.

A su vez informes de Seth et al., citados por Surajit (1971), concuerdan con los autores anteriores, ya que el rendimiento no fue afectado por los tratamientos (LC, laboreo mínimo y SD) cuándo se utilizó paraquat como pre-emergente en el control de malezas.

Mabbayad et al. (1968), demostró que no hay diferencias en el rendimiento, en el número de panículas y en el porcentaje de espiguillas estériles cuando el suelo fue manejado sobre siembra directa, mínimo laboreo y laboreo convencional.

Anders et al. (2000), observaron que el rendimiento en grano para tres de los cuatro años que duró su experimento, fue mayor para los tratamientos con LC comparado con los tratamientos de SD. Para estos autores esta diferencia representa un impedimento importante para la adopción del laboreo conservacionista en el cultivo de arroz.

Che Song et al. (2007), no encontraron diferencias en el peso de mil granos entre laboreo convencional y siembra directa; así como tampoco para el número de panojas por planta. Por el contrario, se encontraron diferencias

estadísticas en el número de granos por panoja y en el número de grano llenos, a favor del LC independientemente del año y la localización.

En trabajos de Molina et al. (2007), Cantou et al. (2008), los rendimientos del cultivo de arroz fueron superiores cuando se lo cultivo sobre LC, siendo las diferencias de 11,5% y 5,2% respectivamente. En la zafra 2006-07 se encontró una diferencia significativa en el rendimiento a favor de la pradera (6,6%), frente a la secuencia que provenía de raigrás.

Smith y Baltazar, citados por Pearce et al. (1999), en Arkansas encontraron que el arroz que se desarrollo bajo laboreo reducido y siembra directa obtuvo rendimientos en grano comparables con el sistema convencional. Sin embargo los rendimientos corregido por calidad en el sistema de laboreo reducido y siembra directa fueron mayores que los de laboreo convencional.

En trabajo realizado Marcolin et al. (2007), quien evaluó el rendimiento de arroz bajo diferentes situaciones de siembra: pre-germinado, LC y SD. El rendimiento de arroz fue significativamente mayor en el sistema pre-germinado, en cambio en los sistemas convencional y directo los rendimientos en grano fueron similares. El escape de arroz rojo pudo haber competido con el cultivo, comprometiendo el rendimiento tanto en siembra directa y laboreo convencional. La formación de ácidos orgánicos en las primeras semanas después de la inundación en detrimento de la materia seca en la superficie del suelo pudo haber influenciado en el rendimiento de granos en la siembra directa.

Datos publicados en el V Congreso Brasileiro de Arroz Irrigado por Marcolin et al. (2007), muestran que el número de granos por panoja no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, en cambio el peso de mil granos fue mayor en el sistema convencional respecto al pre-germinado, no diferenciándose del sistema de siembra directa.

Según Anders et al. (2000), las diferencias en rendimiento en grano entre los tratamientos de laboreo fueron menos evidentes cuando la rotación fue de arroz continuo comparado con la secuencia arroz-soja. La tendencia a rendimientos menores en la secuencia se hace arroz continuo ya se conoce desde tiempo, por lo que la recomendación de fertilización puede compensar esas diferencias por medio del agregado de nitrógeno.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

3.1.1 Localización

Los experimentos fueron realizados campo experimental Paso de la Laguna de la Estación Experimental del Este (INIA), la cuál se ubica a 28 km al este de la ciudad de Treinta y Tres. Las coordenadas geográficas de este sitio son las siguientes:

- Latitud: 33°14´S
- Longitud: 54°22´W
- Altitud: 35 m sobre el nivel del mar

3.1.2 Suelos

Se realizaron dos experimentos en fajas a escala de chacra que se ubicaron sobre dos sitios diferentes que formaban parte una misma rotación arroz-pasturas. Un sitio provenía de raigrás como antecesor y los suelos consistían en un Brunosol Subeútrico Lúvico L. fase hidromórfica y Solod Melánico junto con Solonetz y Solonetz Solodizado Ócrico L como suelos asociados. El otro sitio, tenía como antecesor pradera y los suelos dominantes consistían en Solonetz y Solonetz Solodizado Ócrico L y como asociado Brunosol Subeútrico Lúvico L. fase hidromórfica y Solod Melánico junto con el Solonetz (Deambrosi, 2008).

3.1.3 Rotación dentro de los experimentos

Los experimentos se realizaron dentro una rotación establecida (cuadro 3) por parte de Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria en la Unidad de Producción Arroz-Ganadería (UPAG).

Ambas chacras eran parte de la misma rotación, pero se encontraban en diferentes fases de la secuencia.

Cuadro 3: Rotación en la cual se presenta el ensayo.

	AÑO				
	1	2	3	4	5
VERANO	Arroz	Barbecho	Arroz	Pradera	Barbecho
INVIERNO	Raigrás	Raigrás R	Pradera		Pradera R

Los períodos marcados como barbecho corresponden a momentos en los cuáles se esta efectuando el laboreo de verano.

R hace mención a pasturas regeneradas.

Ambos experimentos, fueron sembrados sobre laboreo de verano. En una situación el arroz fue sembrado luego del raigrás de cobertura que seguía al arroz, mientras la otra situación se efectuó sobre la pradera de segundo año. El laboreo consistió en una pasada de rastra excéntrica, dos pasadas de rastra de discos liviana y una pasada de landplane. Posteriormente se procedió a la construcción de taipas.

Entre el laboreo de verano y la siembra del arroz los sitios tuvieron como cobertura, pasturas regeneradas de raigrás y leguminosas provenientes del año anterior. Durante ese período se pastoreo con corderos.

Un experimento se sitúa en la secuencia inmediatamente luego del raigrás sembrado en cobertura en el otoño de 2007 sobre un rastrojo de arroz regenerado y que se regenero luego del laboreo de verano. La representación de este experimento se presenta en la Figura 2.

En cambio, el otro experimento tuvo como antecesor una pradera que fue sembrada en mayo del 2006 con: *Trifolium repens* Cv Zapicán, *Lotus corniculatus* Cv San Gabriel y *Lolium multiflorum* Cv LE284 y que se regenero luego del laboreo de veranos. La representación de este experimento se presenta en la Figura 3.

3.1.4 Tratamiento

El experimento como ya fue mencionado cuenta con dos tratamientos, los cuales evaluaron el efecto de preparación del suelo previo a la siembra; la siembra directa (SD) y el laboreo convencional (LC).

El laboreo consistió en una pasada de rastra excéntrica, dos pasadas de rastra de discos liviana y una pasada de landplane. Luego se procedió a la nivelación y construcción de las taipas. Para el tratamiento de laboreo estas actividades fueron realizadas en el verano así como antes de la siembra del cultivo. En cambio para la siembra directa únicamente ocurrió en el verano, ya que previo a la siembra no se roturo el suelo.

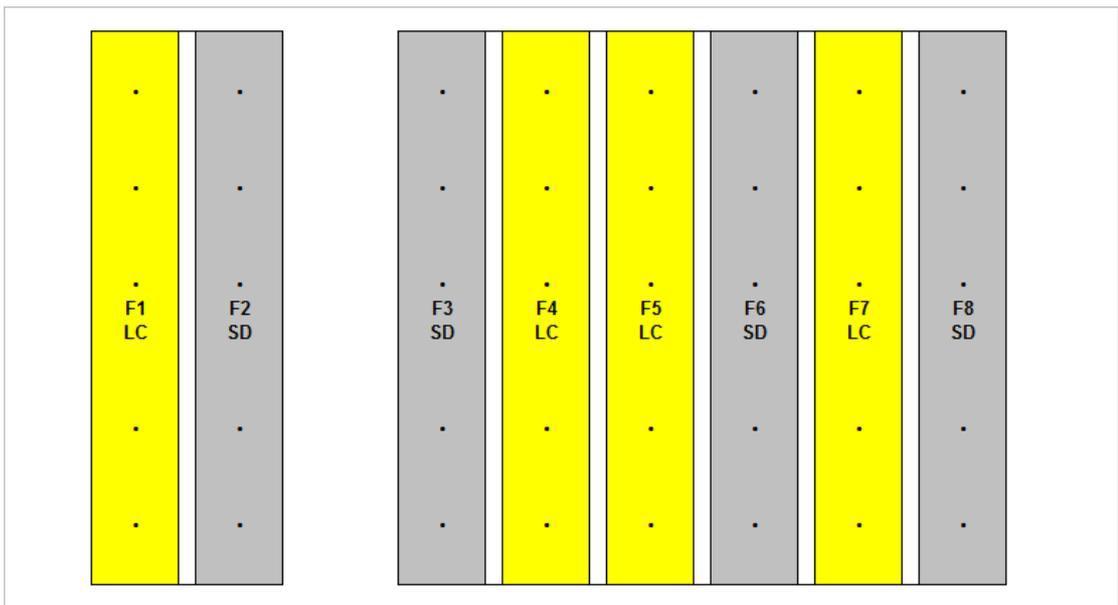


Figura 1: Representación esquemática del experimento sembrado sobre el raigrás regenerado. F: faja . LC: laboreo convencional. SD: siembra directa. Cada punto (.) dentro de la faja es un sitio de muestro

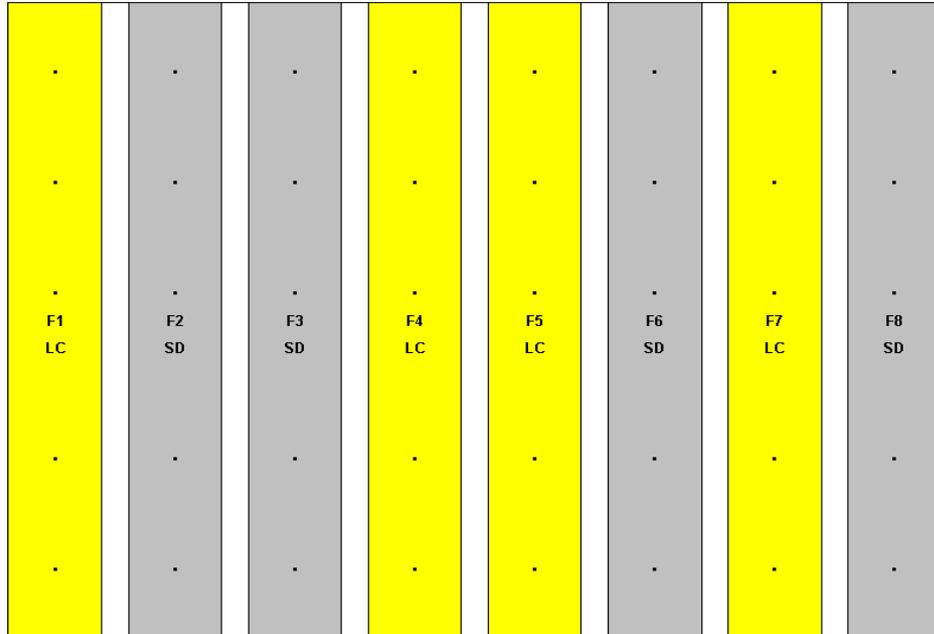


Figura 2: Representación esquemática del experimento sembrado sobre la pradera regenerada. F: faja . LC: laboreo convencional. SD: siembra directa.

3.1.5 Diseño experimental, modelos y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado en los dos experimentos fue en bloques completos al azar, divididos en dos tratamientos con 4 repeticiones. Cada tratamiento se ubicó en una faja, de 20 m de ancho por 250 m de largo, con calles de 6 metros entre ellas. Cada faja fue segmentada cada 50 m donde en el centro de cada celda se realizaron todos los muestreos y determinaciones. Los tratamientos evaluaron el efecto de la preparación del suelo previo a la siembra (siembra directa y laboreo convencional).

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

i: 1, 2 (tratamientos)

j: 1, 2, 3, 4 (repeticiones)

- Y_{ij} = variable aleatoria medida. E_j : Rendimiento

- μ = Parámetro, es la media de todos los tratamientos.
- β = efecto del bloque.
- τ_i = Efectos de los distintos tratamientos. (LC – SD)
- ε_{ij} = variable aleatoria no observable, error experimental.

La hipótesis nula desde el punto de vista productivo, fue que la siembra directa no afecta el rendimiento de una chacra de arroz respecto al LC y la hipótesis alterna es que la misma afecta los rendimientos del cultivo. Desde el punto de vista estadístico la hipótesis sería la siguiente:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2$$

$$H_a: \tau_1 \neq \tau_2$$

Este modelo propuesto posee dos clases de supuestos:

- A-** Relacionado al modelo
- B-** Relacionado a los errores experimentales.

A- En relación al modelo que es correcto (respecto al material experimental) y que es aditivo.

B- En cambio a lo que tiene que ver con los errores experimentales:

- Son variables aleatorias.
- $\varepsilon_{ij} \sim N$.
- $E(\varepsilon_{ij}) = 0$ para todo i, j .
- $V(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2$ para todo i, j .
- Son independientes.

El criterio de decisión para rechazar o aceptar la hipótesis nula es que si el nivel de significancia para la variable estudiada y sus interacciones es menor o igual a $p=0,05$ podremos rechazar con un 95% de confianza la H_0 .

En el modelo estadístico, los tratamientos y sus interacciones fueron considerados como efectos fijos y los bloques anidados en la secuencia de la rotación como efectos aleatorios.

A partir de los resultados, se analizó estadísticamente los mismo usando modelos mixtos PROC MIXED, SAS (Littell et al., 1996). En el modelo estadístico, los efectos de la intensidad y la rotación así como sus

interacciones, fueron considerados como efectos fijos y los bloques como efecto aleatorio. Para esto se usaron niveles de significancia de $P \leq 0,05$.

Se utilizaron árboles de clasificación y regresión según el método CART (Breiman et al., 1984) para estudiar la importancia relativa de las variables de manejo, tratamientos y propiedades del terreno asociadas al rendimiento del cultivo. CART es un método estadístico no paramétrico, que no busca identificar y modelar relaciones entre variables de predicción y respuesta, sino que parte el espacio multidimensional en grupos tan homogéneos como sea posible en términos de respuesta en función de las variables de predicción. Este análisis fue realizado utilizando el paquete rpart (Therneau et al., 2005) del software R version 2.8.1 (R development Core Team, 2005).

Es de destacada importancia resaltar que el análisis sobre la variabilidad espacial se limitara solamente a la descripción del coeficiente de variación de las distintas variables medidas y a el uso de árboles de regresión y clasificación que son por ende las únicas herramientas que permitirán para este caso mostrar las diferencias entre los distintos puntos de muestreo.

3.1.6 Manejo previo y durante el cultivo

En ambas situaciones, 20 días previo a la siembra se aplicó glifosato 2,5 l/ha por vía terrestre.

El experimento sobre el raigrás se sembró el 14 y 15 de octubre de 2008 con la variedad El Paso 144, con una densidad de 160 kg/ha. La distancia entre filas fue de 0,17 m; por lo que se sembraron 500 semillas viables/m².

El control de malezas post-siembra se realizó mediante dos aplicaciones terrestres. La primera se efectuó el 21 de octubre, con 2,5 l/ha de glifosato (Power Rango) junto con 0,85 l/ha de clomazone (Command). La siguiente aplicación consistió en 3,5 l/ha de propanil (Propagri), más 0,78 l/ha de quinclorac (Facet) y 0,2 kg/ha de pirazulfurón (Ciperoff).

La fertilización basal consistió en 180 kg/ha de un fertilizante con la siguiente fórmula 5-30-15 (N9, P54, K27)). Posteriormente se aplicó urea en

cobertura a razón de 60 kg/ha en macollaje y una segunda aplicación en primordio con 50 kg/ha de urea.

El 3 de noviembre debido a la falta de humedad de la sementera, se efectuó un baño con el fin de facilitar la instalación y el crecimiento del cultivo. La emergencia del cultivo ocurrió 21 días luego de la siembra. La inundación definitiva se realizó 14 días pos-emergencia.

En febrero (a comienzos de la floración) se aplicó funguicida (Amistar 0,67 L/ha), debido a que desde inicio de macollaje se empezaron a observar síntomas de podredumbre de tallo.

Por el otro lado la siembra del experimento sobre pradera se realizó los días 16 y 17 de octubre de 2008 con la variedad El Paso 144, con una densidad de 171 kg/ha.

El control de malezas pre emergente se efectuó mediante dos aplicaciones vía terrestre. La primera de ellas se llevo a cabo a los cuatro días post siembra con 1,8 l/ha de glifosato (Power Rango) junto con 0,85 l/ha de clomazone (Command). La siguiente aplicación se realizó el 14 de noviembre y consistió en 3 l/ha de propanil (Propagri), más 1,2 l/ha de quinclorac (Facet) y 0,23 kg/ha de pirazulfurón (Ciperex).

La fertilización basal consistió en 217 kg/ha del fertilizante con la formula 10-30-15 + 5 Zn (N 21,7, P65, K 33, Zn5,4) al momento de la siembra, luego en macollaje se aplico 27,6 kg N/ha en forma de urea y en primordio 23 kg N/ha en forma de urea. La inclusión de Zinc a la siembra fue debido al tipo de suelos que dominan en la chacra, con un pH alto, característica que supondría una insuficiencia de este nutriente hasta la inundación del cultivo.

Al igual que en el otro experimento, debido a las malas condiciones hídricas del suelo fue necesario bañar la chacra el día 3 de noviembre. La emergencia del cultivo ocurrió 18 días luego de la siembra. La inundación definitiva ocurrió el 20 de noviembre (16 días después de la emergencia).

Se realizó un control fitosanitario en febrero con Amistar 0,67 l/ha, al constatar la presencia de podredumbre de tallo al comienzo de la floración.

3.2 DETERMINACIONES

3.2.1 Suelo

Previo a la siembra se sacaron 8 muestras de suelo (0- 15 cm), en cada celda y se determinaron contenido de carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo (ácido cítrico), potasio intercambiable, pH (agua) y textura del suelo. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de INIA “La Estanzuela”.

3.2.2 Cultivo

Un mes después de la siembra, se contabilizó el número de plántulas en secciones de 50 cm en 6 líneas de siembra al azar elegidas en cada sitio de muestro.

En cuatro momentos del cultivo (macollaje, primordio, floración y cosecha), se realizaron cuatro cortes de 30 cm en cada sitio para determinar materia seca. Estas muestras fueron transportadas al laboratorio, donde se tomó una sub-muestra, la cual se la peso y se la colocó en estufa durante 24 horas a una temperatura de 100 °C. Se peso nuevamente para obtener la proporción de materia seca de las muestras.

Con el objetivo de cuantificar nutrientes en plantas se realizaron dos cortes de 30 cm, en los cuatro momentos anteriormente mencionados. Esas muestras fueron secadas en estufa a 60° durante 48 horas, Luego dichas muestras fueron enviadas a INIA “La Estanzuela”, donde allí se procedió a realizar análisis para conocer los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en planta.

A su vez, se evaluó la altura de la plantas utilizando como referencia la lamina de la hoja mas joven completamente desarrollada en las etapas de primordio y floración. A cosecha el criterio utilizado fue el arco que se forma

cuando la panoja dobla. Para cuantificar la densidad del cultivo, se contabilizó la cantidad de tallos a partir de las muestras que fueron enviadas al INIA “La Estanzuela”.

En los estadios de primordio y floración se estimó el contenido de clorofila en hoja (SPAD); las mediciones fueron tomadas en las hojas superiores de 10 plantas tomadas al azar en cada sitio.

A floración y cosecha se estimó en cada sitio de muestreo, la incidencia y severidad de podredumbre del tallo (*Sclerotium oryzae*) y mancha de las vainas (*Rhizoctonia oryzae sativae*). Para el correcto análisis de estas variables se procedió a utilizar el Índice de Grado de Severidad (IGS) de Yoshimura (en Ou, 1985), modificado, para lo cual se cuantificaron el porcentaje de tallos y área foliar afectada. Para proceder con el cálculo de éste índice se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{IGS} = \frac{(0A + 1B + 2C + 3D + 4E) * 100}{4n}$$

Siendo:

- A- % de tallos sin síntomas.
 - B- % de tallos con grado 1 y 3 (manchas pequeñas e infección leve).
 - C- % de tallos con grado 5 (infección moderada).
 - D- % de tallos con grado 7 (infección severa).
 - E- % de tallos con grado 9 (infección muy severa con deterioro de los tallos).
- n- número total de tallos observados.

3.2.3 Rendimiento

A cosecha se evaluó el rendimiento y sus componentes (panojas por m², número de granos llenos y chuzos, y peso de granos) y la humedad de grano a lo largo de las fajas. El rendimiento se determinó utilizando una cosechadora equipada con monitor de rendimiento (AGLeader 3000) y GPS (Trimble, AGGPS 132). El número de panojas por m² fue obtenido a partir de dos muestras de 30 cm obtenidas a cosecha en cada sitio. El número de granos por panoja se calculó tomando 15 panojas al azar en cada sitio de muestreo,

posteriormente se contó el número de granos enteros y chuzos. El peso de mil granos se determinó a partir del peso total de las muestras de granos anteriores.

3.2.4 Otras variables registradas

Se registraron diferentes parámetros como población de malezas, aceptabilidad, desarrollo, densidad del cultivo, porcentaje de floración y nivel de riego. Estas medidas subjetivas fueron registradas en 3 momentos del ciclo (macollaje, primordio y floración). En cada variable se hizo un ranking con una escala numérica.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La siembra de ambos experimentos se realizó dentro del rango óptimo para obtener alto potencial de rendimiento. Ésta fecha permite tener una buena germinación e implantación si se dan condiciones propicias, dada la temperatura y humedad del suelo a la siembra. Por otra parte permite exponer al cultivo a buenas condiciones de temperatura y luminosidad en la fase reproductiva, considerándose período crítico del cultivo.

4.1 FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE ARROZ

4.1.2 Precipitaciones

Las precipitaciones ocurridas durante la zafra fueron 23% inferiores a los promedios históricos (cuadro 4). Desde la siembra del cultivo hasta el inicio de la etapa reproductiva los registros pluviométricos estuvieron 41 % menor a la serie histórica.

Cuadro 4: Precipitaciones (mm) mensuales. Media histórica y zafra 2008-2009.

	ZAFRA 2008-09(mm)	HISTORICA 1972-2007 (mm)
SETIEMBRE	78	100
OCTUBRE	38	98
NOVIEMBRE	17	99
DICIEMBRE	86	99
ENERO	103	116
FEBRERO	75	149
MARZO	260	112
ABRIL	22	111
TOTAL	678	884

4.1.3 Temperatura

Las condiciones de temperatura en las cuales se desarrolló el cultivo de arroz estuvieron algo por encima del promedio histórico y fueron muy propicias para el desarrollo del cultivo ya que no se observaron registros por debajo de 15°C durante la etapa reproductiva.

Se destaca que las temperaturas mínimas y máximas registradas tuvieron un comportamiento similar a la serie histórica.

En la figura 3 se presentan las temperaturas mínimas que tolera el cultivo de arroz en los diferentes estadios de desarrollo. Existen dos momentos críticos del cultivo respecto a la temperatura: a implantación y a etapa reproductiva aunque todas las etapas fenológicas tienen requerimientos específicos. En esta zafra en ambos casos las temperaturas existentes estuvieron por encima de la mínima temperatura que tolera el cultivo.

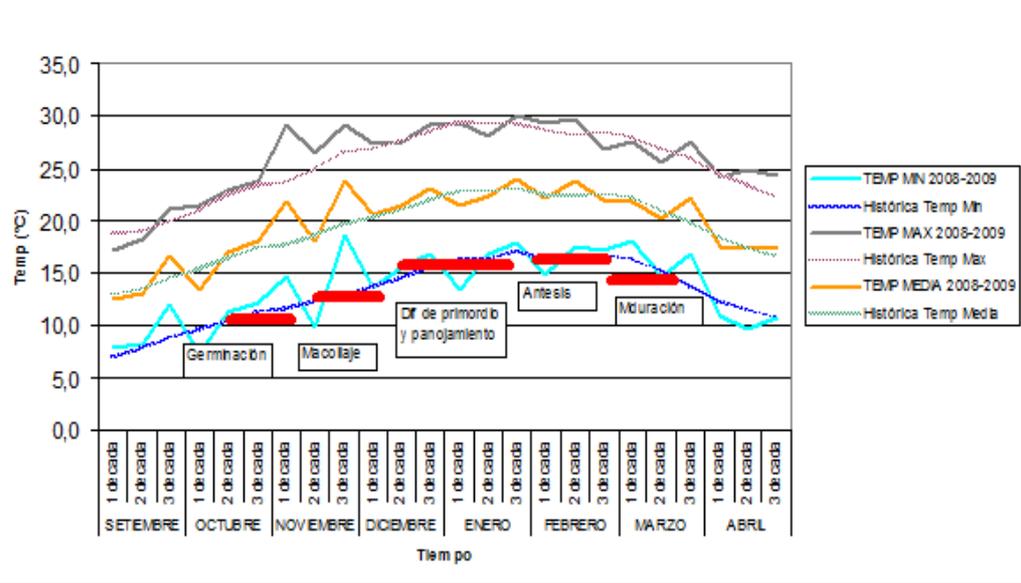


Figura 3: Registro decádicos de temperaturas máximas, medias y mínimas. Media histórica y zafra 2008-2009. Temperaturas mínimas de desarrollo del cultivo.

Temperatura mínima para diferentes estadios de desarrollo del arroz (Ferreira y Montauban, citados por Borghi y Ernst, 2003).

4.1.4 Radiación solar

Las horas acumuladas de luz solar durante la zafra fueron superiores al promedio histórico (6%), resultando un año muy favorable para el desarrollo del arroz. A su vez se destaca una mayor cantidad de horas luz sobre el final del ciclo del cultivo frente a la serie histórica, lo que permitiría una buena tasa de llenado de los granos (figura 4).

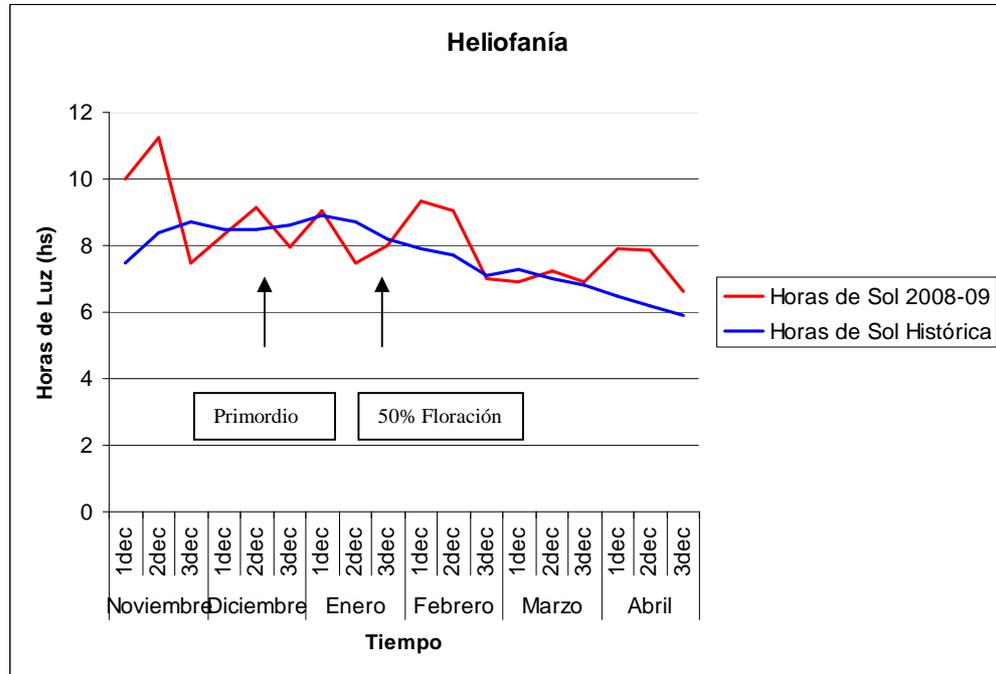


Figura 4: Registros decádicos de heliofanía desde noviembre a abril. Media histórica y zafra 2008-2009.

Las horas de sol influyen no sólo en la capacidad de llenado de los granos sino también en la calidad a través del porcentaje de granos yesosos (granos yesosos + panza blanca) y el porcentaje de granos enteros. Por debajo de las 6 horas de sol en la etapa de llenado de granos (fines de febrero y principios de marzo) se incrementa el porcentaje de yesado. Esto está asociado a una deficiente deposición del almidón que además de presentar apariencia de yesado el grano queda más predispuesto a ser quebrado en el proceso de molinado (Borgi y Ernst, 2003).

4.2 ANÁLISIS DE SUELO

En base al análisis de suelo realizado previo a la siembra y laboreo, se confirman las diferencias mencionadas por el tipo de suelo. Se observaron diferencias importantes en el pH del suelo, siendo más alto (más neutros) en los Solonetz y Solonetz Solodizado. Los valores se presentan en el cuadro 5.

Los niveles de potasio se encuentran relativamente cercanos al nivel de suficiencia, siendo el valor reportado como crítico de 0,2 meq/100 g suelo, según Dobermann y Fairhurst (2000). En Uruguay Deambrosi ¹ no encontró respuesta en rendimiento en niveles superiores a 0,15 meq/100 g suelo. Los niveles de K son superiores en 8,5% en la secuencia de pradera sobre la de raigrás.

Los valores de fósforo se encuentran por encima del nivel crítico del cultivo para el método de ácido cítrico (7 ppm, Hernández, 2003).

Cuadro 5: Resultados de análisis del suelo para las dos antecesoras.

	Trat	pH	Corg (g/100gr)	N (gr/kg)	P (ppm)	K meq/100g)
Raigrás	LC	5,70 +/-0.34	1,28 +/-0.295	0,2 +/- 0.034	9,80 +/- 2.56	0,18 +/- 0.035
	SD	5,74 +/-0.46	1,28 +/-0.222	0,15 +/-0.027	10,04 +/- 2.52	0,17 +/- 0.019
Pradera	LC	6,05 +/-0.50	1,33 +/- 0.40	0,20 +/- 0.04	10,00 +/- 3.09	0,20 +/- 0.023
	SD	6,09 +/- 0.56	1,35 +/- 0.39	0,17 +/- 0.04	10,15 +/- 3.83	0,18 +/- 0.035

Trat: tratamiento.LC: laboreo convencional. SD: siembra directa. Corg: carbono orgánico. P: fósforo. K: potasio

No se observaron diferencias en los niveles de nitrógeno en el suelo. Sin embargo se hubiese esperado encontrar un mayor nivel de nitratos (si se hubiera medido) en el ensayo proveniente de la pradera regenerada; aun así esto puede estar explicado por una lenta liberación de los restos orgánicos de la pradera en el primer año posterior a que se laboree la misma ya reportada por Beecher (1994), donde constató que la rotación pastura-arroz muestra un efecto positivo en el rendimiento principalmente del segundo año. Coincidiendo con esto Rixon (1972), Holford (1980) expresaron que se observan beneficios residuales de la pastura recién en el segundo cultivo de arroz.

¹Deambrosi, E. 2011. Com. personal.

Por otra parte Heenan, citado por Beecher (1994) concluye que las pasturas invernales de corta duración no poseen efecto en el rendimiento dada la pobre contribución de nitrógeno.

Teniendo en cuenta estos resultados, posiblemente existe un efecto del tipo de suelo sobre el desarrollo del cultivo que afecte los rendimientos del experimento y la secuencia.

Analizando el coeficiente de variación se destaca principalmente los altos valores en N, C orgánico y fósforo (cuadro 6). Los datos de CV de la pradera muestran una mayor variación en fósforo que la que proviene de raigrás, posiblemente reflejando la alta frecuencia de agregado de P en la pradera y por la heterogeneidad de la chacra. En cambio en la secuencia de raigrás la mayor diferencia se da en C orgánico, P y N.

En el antecesor de raigrás, se observaron diferencias en el valor de CV (Corg, N y K), siempre la variación es mayor en laboreo convencional que en siembra directa (a excepción de pH). Sin embargo en la pradera las mayores variaciones siempre se dan en la SD (a excepción de Corg).

El suelo que tenía como antecesor el raigrás posee pH más uniforme en relación al de la pradera. Éste mismo comportamiento se observa en el contenido de carbono orgánico, seguramente la diferente homogeneidad del nivel de fertilidad del suelo este afectando el resultado de los experimentos.

Cuadro 6: Efecto de la intensidad de laboreo y del antecesor sobre el coeficiente de variación para pH, Corg, N, P y K.

	CV%	pH	Corg	N	P	K
PRADERA	LC	8,33	30,51	21,54	30,99	13,17
	SD	9,13	29,46	22,06	37,79	19,30
RAIGRÁS	LC	5,95	23,12	22,30	26,05	19,58
	SD	7,99	17,33	17,95	25,17	11,61

LC: laboreo convencional. SD: siembra directa. Corg: carbono orgánico. N: nitrógeno. P: fósforo. K: potasio. CV: coeficiente de variación.

4.3 IMPLANTACIÓN DEL CULTIVO

El stand de plantas obtenido en ambas intensidades y secuencias (Cuadro 7) se encuentran por encima del rango recomendado para el cultivo de aproximadamente 200 plantas/m² (Gamarra y Huey, citados Borghi y Ernst, 2003).

Cuadro 7: Resultados de los efectos de las intensidades de laboreo y antecesores en el número de plantas/m².

	Pradera	Raigrás	Desvío
Laboreo convencional	282	288	26,36
Siembra directa	286	284	22,30
Desvío	21,70	27,00	-

La siembra directa es menos variable en el número de plantas obtenidas por m², al igual que la pradera con respecto al raigrás.

Ni la intensidad de laboreo ni el antecesor afectaron significativamente el número de plantas obtenidas en el cultivo.

Resultados similares fueron reportados por Jayawardena et al. (2005) en Sri Lanka, quién encontró que el número de plantas luego de la emergencia no fue significativamente afectado por el método de laboreo.

Ensayos realizados por Marcolin et al. (2007), se encontró similar población de plantas en LC, SD y pre-germinado.

Para este mismo experimento realizado en zafra 2006-2007 y 2007-2008 en la misma localidad encontraron una tendencia a un mayor número de plantas en el sistema de LC, aunque estas diferencias no fueron significativas. Tampoco observaron diferencia en la cantidad de plantas a implantación entre

los diferentes antecesores, pero encontraron una tendencia a mayor número de plantas sobre la pradera.

Estos datos difieren con los resultados publicados por Méndez et al. (2001), donde observaron un menor número de plantas cuando se realizó SD durante tres ejercicios agrícolas, aunque todos los valores registrados se encontraban por arriba del rango crítico anteriormente citado. En ese estudio la SD obtuvo una menor variación que el sistema de LC al igual que el presente experimento.

Los resultados obtenidos en el experimento se pueden deber a que el cultivo en ambos ensayos tuvieron déficit hídrico importante durante el periodo de implantación, debiendo recibir un baño para promover la germinación. Otra causa es que el uso de alta densidad de siembra (640 semillas/m² y 800 semillas/m² para el ensayo proveniente de raigrás y pradera respectivamente), se asegura en cierto modo una alta población sean cuales sean las condiciones. El porcentaje de implantación fue de 45%, la cual está por debajo de los valores de referencia que se sitúan en el orden de 50% (Zorrilla 1992, Gamarra 1996). Los valores obtenidos se dieron por las malas condiciones que hubo durante ese período lo que llevo a la adopción de medidas que uniformizaron las condiciones para la emergencia diluyendo de cierta forma el efecto individual de cada tratamiento.

El cultivo en siembra directa tuvo un tapiz cubierto durante el tiempo de barbecho impidiendo la evaporación provocando menores pérdidas de humedad del suelo frente al suelo laboreado, factor que influye en el stand de plantas.

De acuerdo a lo esperado, al analizar las secuencias no se observaron diferencias en el número de plantas.

4.4 EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE TALLOS

El número de tallos/m² fue afectado por la intensidad de laboreo sólo a macollaje, donde en promedio el arroz en siembra directa produjo un 13% menos de tallos que el arroz en laboreo convencional.

El mayor número de tallos obtenidos del arroz en LC pudo estar relacionado a que en estas condiciones podría producirse una mayor acumulación de nitratos en el suelo disponible para el cultivo. En cambio en el sistema de SD el tiempo de barbecho no fue lo suficiente (20 días) como para que las plantas se descompusieran y se liberara el nitrógeno en forma mineral.

Además, pudieron existir efectos positivos del laboreo sobre la temperatura del suelo afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas.

No se observaron diferencias significativas en la población de tallos (figura 5) a primordio entre intensidades de laboreo (1124 vs 1032 tallos en LC y SD respectivamente). Esto obedece a lo comentado anteriormente sobre la disponibilidad de nitrógeno que aumenta luego de la fertilización y a la menor tasa de crecimiento que presenta el cultivo bajo la SD.

No se observaron diferencias en el número de tallos a floración entre intensidades de laboreo ni en la fase de la rotación.

Sin embargo, se observó una tendencia ($p=0,08$) a un mayor número de plantas en el sistema de LC sobre la SD a cosecha (figura 5). Esto se podría deber a la muerte de tallos entre floración y cosecha, explicado por una desuniformidad en el tamaño de los tallos en SD que hizo que algunos no llegaran al final.

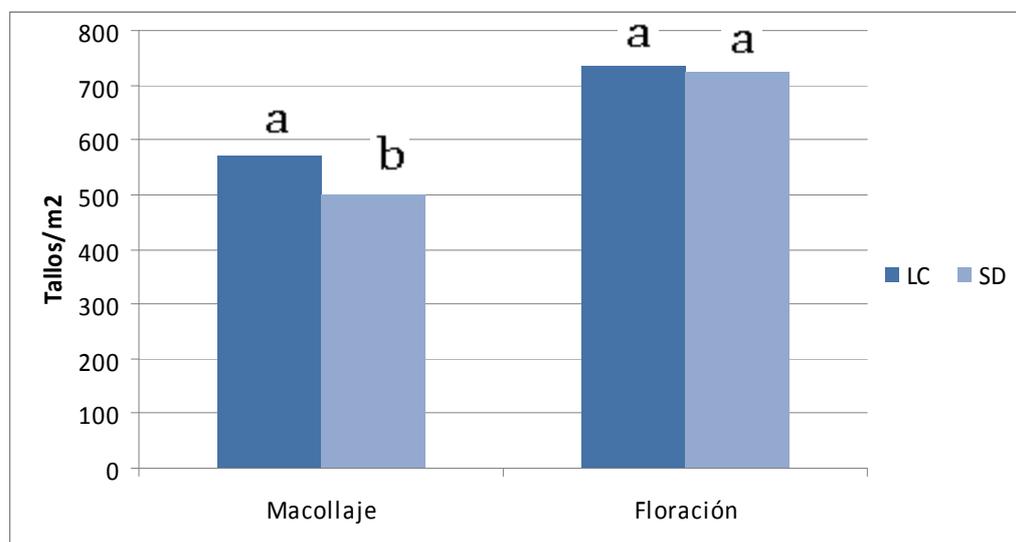


Figura 5. Efecto de la intensidad de laboreo en el número de tallos/m², en dos momentos de muestreo del cultivo: macollaje y floración. LC: laboreo convencional, SD: Siembra directa. Letras diferentes entre columnas agrupadas por momento de muestreo, expresan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

La menor densidad de tallos a macollaje del cultivo fue también reportado por Molina et al. (2007) en evaluaciones anteriores de este experimento pero no fueron registradas por Cantou et al. (2008) al año siguiente.

Molina et al. (2007) encontraron que en la etapa de floración, existió una tendencia ($p=0,07$) a mayor número de tallos en LC, lo que demuestra una compensación del cultivo de SD. Estos resultados coinciden con los datos obtenidos en el experimento.

Con respecto a la secuencia se puede inferir que no se presentaron diferencias en el número de tallos cuando se analiza la secuencia, excepto a primordio donde los valores de la pradera son superiores (1140 vs 1016 tallos m²).

Existe una interacción significativa ($p=0,0125$) al momento de macollaje, donde se aprecia que si bien el laboreo no se diferencia en gran magnitud en el número de tallos sobre la pradera, en la chacra que tiene como antecesor el raigrás las diferencias son más marcadas (figura 6). Estas diferencias a

macollaje llevan a concluir que en una situación de arroz sobre raigrás, el laboreo es una buena medida pensando en una mayor población de tallos en la chacra.

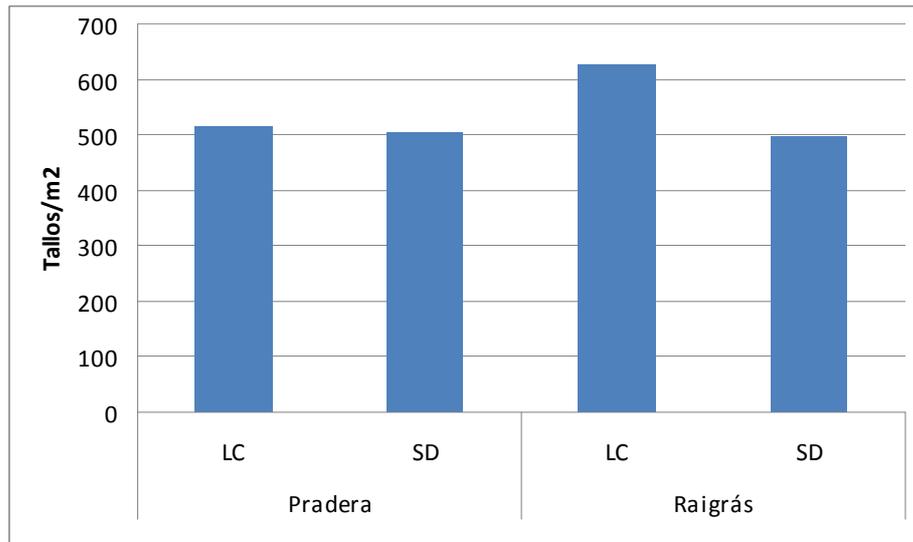
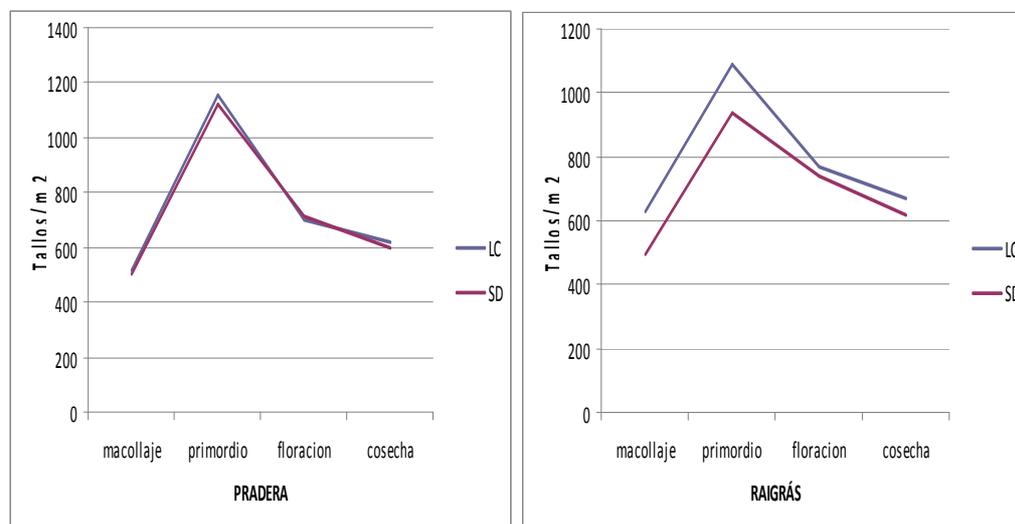


Figura 6: Efecto de la interacción en el número de tallos/m² a macollaje. LC: laboreo convencional, SD: Siembra directa. Letras diferentes entre columnas del mismo color, expresan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

El arroz con LC luego del raigrás presentó un mayor número de tallos que en SD pero ambos tratamientos llegan prácticamente al mismo valor a cosecha (figuras 6 y 7). El 60 % de los tallos de arroz que se formaron en LC llegarán a la madurez, mientras que en SD el 65%. Estos datos sugieren una población de plantas excesivas del cultivo que implicaron ineficiencia dada que el resto de los tallos se mueren, porque estuvieron compitiendo por espacio, luz y nutriente sin llegar a dar una panoja.



Figuras 7 y 8: Evolución del número de tallos en el ciclo de cultivo para el experimento que tuvo como antecesor pradera y el que tuvo como antecesor raigrás.

Los resultados sugieren que el suelo laboreado otorga al cultivo mejores condiciones para el desarrollo inicial probablemente relacionado a un mayor contenido de NO₃ en el suelo, mayor temperatura, menor impedimento físico por parte del suelo al desarrollo de las raíces con lo que el cultivo produce mayor número de tallos y lo realiza antes en el tiempo.

Esta mayor tasa de macollaje sobre laboreo, determina una mayor plasticidad ante malas implantaciones y es fundamental para el crecimiento inicial. Altas tasas de crecimiento al inicio favorecen una rápida cobertura del suelo y ventajas comparativas con la competencia contra las malezas por recursos.

El arroz sobre LC presentó un adelantamiento del ciclo con respecto al arroz sobre SD.

Los tallos del cultivo en LC fueron mas uniformes en tamaño y desarrollo por lo que las diferencias en biomasa entre ellos sería menor. En cambio, en SD las diferencias en días serían mayores debido a que la falta de estímulo relativo al LC (principalmente por N) priorizara el crecimiento del tallo principal frente a los macollos. Esto tiene como consecuencia que una elevada

proporción de la población de macollos sean tallos más finos, lo que los hace más susceptibles a la competencia por luz y nutrientes, aumentando sus probabilidades de muerte.

4.5 ENMALEZAMIENTO

En base a medidas subjetivas realizadas en las diferentes etapas fenológicas del cultivo, se encontró que los tratamientos de SD presentaron una mayor población de malezas que aquellas de LC a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Esto se pudo deber a una menor tasa de crecimiento y menor macollaje por parte del cultivo que determina el cierre del surco más tarde en el tiempo, provoca una mayor entrada de luz al suelo y un aprovechamiento menor de los nutrientes lo que permite un mayor desarrollo de las malezas. Las principales malezas encontradas fueron *Luziola peruviana*, *Leersia hexandra*, *Paspalum distichum*, *Alternanthera philoxeroides* y *Echinochloa crusgalli*.

A estos hay que sumarle que el laboreo no sólo es una medida de control mecánico de las malezas sino que el movimiento del suelo promueve la germinación de nuevas semillas, las cuales fueron suprimidas con la segunda aplicación de herbicida. A su vez existió la acción residual del herbicida clomazone. Esta sucesión de medidas de control mecánico y químico, forman una efectiva medida de supresión del enmalezamiento presente; en cambio lo que ocurre en SD es que muchas de las malezas perennes solo serán controladas por medio de herbicidas, por lo que el momento y dosis de herbicida son muy importantes.

Los baños que se realizaron con el fin de promover la germinación de las semillas de arroz estimuló el crecimiento de las malezas. Ello favoreció las condiciones para su desarrollo, por lo que en LC al partir de un nivel muy controlado de malezas estos baños no predispusieron al cultivo a sufrir una fuerte competencia por las mismas, lo que si se pudo haber dado en cierto grado en el ensayo de SD.

Coincidentemente Kim e Im, citados por Jayawardena et al. (2005), reportaron la posibilidad de ocurrencia un mayor número de malezas en SD que sobre LC. A su vez en Gomes et al. (2004), menciona que la SD posee dificultad en el control de malezas perennes.

Resultados diferentes fueron publicados por Gomes et al. (1995), quienes detectaron una reducción de la incidencia de malezas (arroz rojo principalmente) en las parcelas de SD cuando se lo compara con el LC. Ésta información también fue reportada por Abud (1987), Menezes (1991). En tanto Lorenzi, citado por Gomes et al. (1995), explicó que la reducción en el número de malezas anuales bajo SD se debe a no mover el suelo (menor crecimiento de las anuales) y por el posible efecto alelopático de la cobertura vegetal invernal.

En el experimento se detectó una mayor población de malezas en el ensayo que se desarrolló sobre raigrás que sobre pradera.

Esto se podría explicar porque luego del laboreo de verano no se realizó un control estricto de la emergencia de malezas posterior al mismo, las cuales lograron semillar casi sin inconvenientes. Además es más factible un mayor banco de semillas en la chacra que tuvo como antecesor el raigrás por haber tenido arroz el año anterior al laboreo de verano.

A su vez, Beecher et al. (1994), expresaron que el arroz continuo favorece el desarrollo de diferentes especies de malezas perennes y acuáticas, sin embargo la secuencias que alternan arroz junto a pasturas o cereales de invierno ayudan a controlar dichas malezas.

En un estudio realizado por Anon, citado por Lattimore (1994), menciona que productores del sudeste australiano también reportan una reducción de los problemas de capín (*Echinochloa crusgalli*) luego de la fase de pasturas.

El enmalezamiento no sólo produce efectos indeseados por medio de la disminución del rendimiento, sino que también puede llegar a dificultar la operativa de cosecha por la excesiva biomasa encontrada.

Como síntesis, el sistema de SD presentó un mayor grado de enmalezamiento relacionado probablemente a la menor tasa de crecimiento del cultivo y a los baños que habrían favorecido en mayor medida al desarrollo de las malezas. En el caso de LC el control mecánico de las malezas y luego el control químico favorecieron una menor infestación de las malezas. A su vez, es de destacar que los niveles de malezas sobre raigrás fueron mayores sobre las

fajas de SD, en cambio en la pradera los niveles en ambos tratamientos son menores y similares entre si. En LC sobre raigrás, el grado de enmalezamiento fue de igual magnitud a los valores presentes en la pradera, demostrando una gran eficacia de esta medida en el control de malezas.

4.6 ALTURA DE PLANTA

Las plantas de arroz sobre LC fueron 9% más altas que las de SD al estado de primordio. Estas diferencias se fueron reduciendo a medida que transcurría el ciclo del cultivo, llegando a cosecha a una misma altura (figura 9).

Por otro lado los diferentes antecesores no tuvieron efectos en las alturas de las plantas en ningún momento del cultivo.

Este mayor crecimiento inicial que presenta los tratamientos desarrollados sobre LC obedece al ya mencionado efecto positivo del laboreo en el crecimiento.

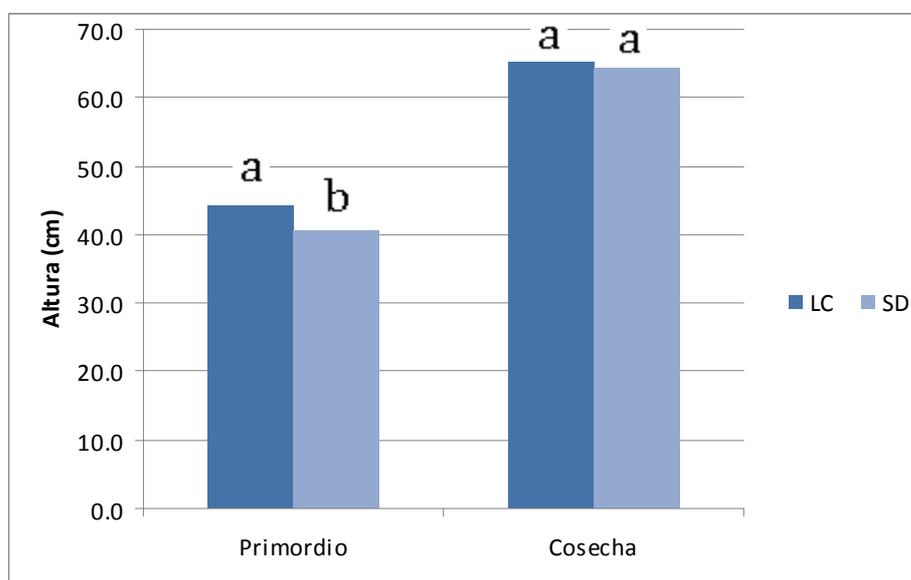


Figura 9: Efecto de la intensidad de laboreo en la altura de las plantas a primordio y a cosecha. LC: laboreo convencional, SD: Siembra directa. Letras diferentes entre columnas agrupadas por momento de muestreo, expresan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Esto sugiere que el cultivo bajo SD posee una menor tasa de crecimiento y desarrollo inicial, aunque llegue luego a una misma altura final que LC.

No se observaron diferencias en la altura del cultivo de arroz entre las secuencias en ningún momento del ciclo (cuadro 8).

Cuadro 8: Efecto del antecesor en la secuencia de la rotación sobre la altura de las plantas de arroz en diferentes momentos fisiológicos del cultivo.

	PRADERA	RAIGRÁS	Significancia
Primordio	41,1	43,8	NS
Floración	65,5	68,3	NS
Cosecha	65,1	64,4	NS

NS: No significativo.

4.7 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

El arroz en las parcelas laboreadas tuvo una mayor acumulación de biomasa en las etapas iniciales del cultivo que se mantuvo a lo largo del ciclo (figura 10). Estas diferencias fueron máximas en macollaje (26%) y se redujeron algo durante el ciclo (15% a cosecha).

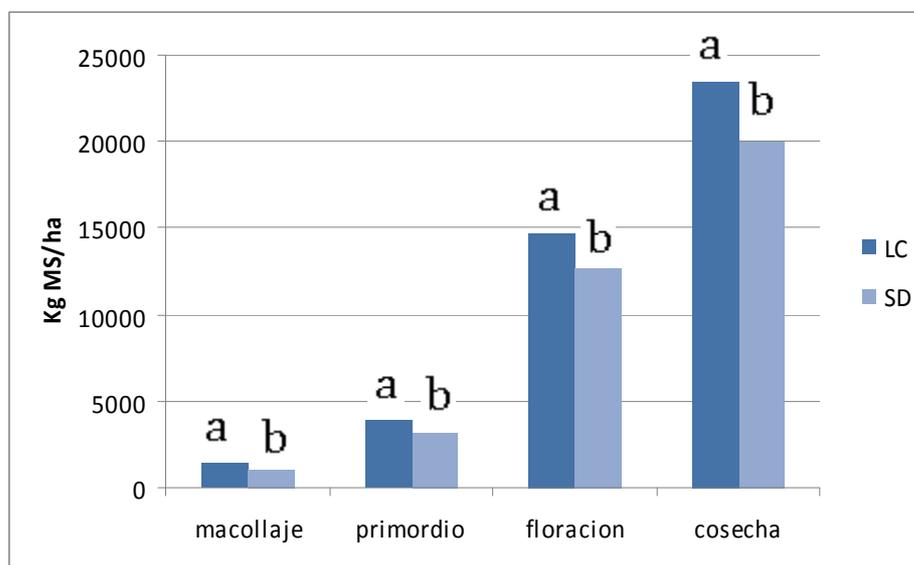


Figura 10: Efecto de la intensidad de laboreo en la acumulación de materia seca en diferentes momentos del ciclo. LC: laboreo convencional, SD: Siembra directa. Letras diferentes entre columnas agrupadas por momento de muestreo, expresan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Este efecto como ya fue mencionado se lo relaciona a los efectos que posee el laboreo en el corto plazo sobre el suelo. Esto implica una mayor tasa de mineralización de nitrógeno, menor compactación, mayor tasa de crecimiento del cultivo y por tanto mayor aprovechamiento de la radiación solar y competencia con malezas.

Méndez et al. (2001) destacan que una buena implantación del cultivo y desarrollo en las etapas tempranas se asocian a un buen rendimiento en grano, tal como se observó en las fajas de LC.

Nuestros resultados coincide con Jayawardena et al. (2005), donde la SD obtuvo una menor producción de materia seca en las etapas tempranas del cultivo. A su vez Molina et al. (2007) encontró una mayor acumulación de materia seca en LC sobre la SD en todas las etapas del cultivo. En cambio Cantou et al. (2008) no encontró diferencias de biomasa a cosecha, pero si en las etapas anteriores donde fueron mayores en LC.

La tasa de acumulación de materia seca del cultivo de arroz desarrollado sobre la pradera fue menor que el arroz sobre raigrás hasta el momento de primordio inclusive. Sin embargo, no se observaron diferencias en acumulación de biomasa a la cosecha del cultivo (cuadro 9). Esto se debe ya que a cosecha se contabiliza la materia seca considerando los granos, que sobre pradera es mayor por lo tanto el rendimiento determina la acumulación de biomasa, siendo el índice de cosecha diferente entre ambos, el mismo fue mayor en la pradera.

El mismo experimento realizado en la zafra 2007/2008 obtuvo resultados diferentes, en ese caso no se encontraron diferencias significativas en la producción de materia seca en ninguna de las etapas fenológicas.

Cuadro 9: Efecto del cultivo antecesor en la secuencia sobre la acumulación de materia seca de arroz durante el ciclo.

	PRADERA	RAIGRÁS	significancia
Macollaje	1023 b	1483 a	0,0074
Primordio	2914 b	4158 a	0,0400
Floración	12806 b	14560 a	0,0456
Cosecha	22324 a	21200 a	NS

NS: No significativo.

4.8 ESTIMACION DEL CONTENIDO DE CLOROFILA EN HOJA

Las mediciones con SPAD se realizaron en primordio (antes de la aplicación de N) y floración, donde no se encontraron diferencias entre las intensidades (figura 11).

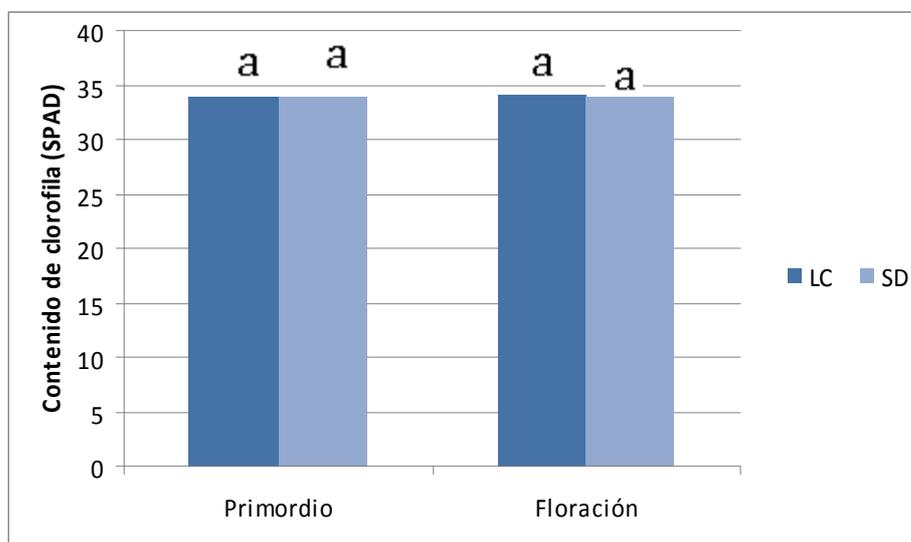


Figura 11: Efecto de la intensidad de laboreo sobre los valores de SPAD a primordio y floración. LC: laboreo convencional, SD: Siembra directa. Letras diferentes entre columnas agrupadas por momento de muestreo, expresan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Estas diferencias se deben por un efecto de concentración, explicado por el hecho de que la SD acumulo una menor materia seca por lo que la clorofila se encontró más concentrada en la menor biomasa, lo contrario sucede en la parcelas de LC.

Similares efectos fueron publicados por Cantou et al. (2008), donde no encontraron diferencias en contenido de clorofila entre intensidades de laboreo a primordio. Contrariamente, Molina et al. (2007), observaron valores de SPAD mayores en SD comparado con LC. Estos mismos autores no encontraron diferencia en los niveles de SPAD a floración entre los diferentes tratamientos.

En los valores de SPAD a primordio se aprecia que estos valores se encuentran por debajo de los niveles críticos citados por Turner y Fund (1994), quienes observaron que con valores por encima de 40 el cultivo no presentaba respuesta al agregado de nitrógeno. Por otro lado Shingh et al. (2002), reporta valores crítico de 37 al principio de elongación para condiciones de la India. Con los valores obtenidos de SPAD y guiándose por los datos bibliográficos se determina que cualquiera de las dos chacras presentan respuesta positiva al agregado de N.

No se observaron diferencias en contenido de clorofila entre los antecesores de la secuencia al estado de primordio. Sin embargo, durante la floración, los valores de SPAD en el arroz sobre praderas fueron mayores que el arroz sobre raigrás (figura 12).

Estos resultados fueron diferentes a los reportados por Molina et al. (2007), Cantou et al. (2008) en los años previos, donde no se encontraron diferencias en las lecturas de SPAD a floración entre las secuencias.

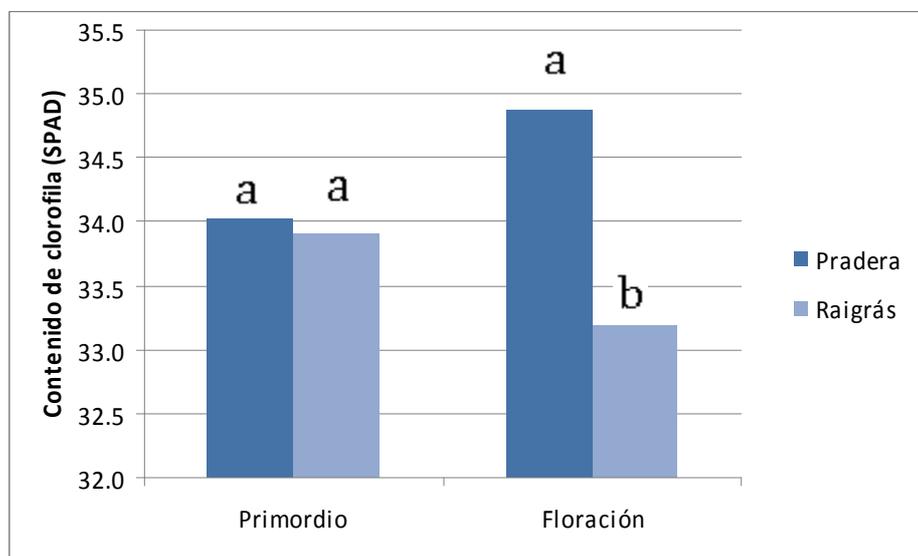


Figura 12: Efecto del antecesor sobre los valores de SPAD a primordio y floración. LC: laboreo convencional, SD: Siembra directa. Letras diferentes entre columnas agrupadas por momento de muestreo, expresan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Los valores registrados en primordio en el cultivo de arroz sobre raigrás puede deberse a la menor densidad de plantas, mayor biomasa a esta etapa. Estos tres efectos pueden contrarrestarse entre si, lo que pudo haber llevado a que no se encontraran diferencias en el valor de SPAD (estimador de nitrógeno en planta) en el estado de primordio. El hecho de que una menor densidad de plantas aumente los niveles de SPAD fue observa por Turner y Fund (1994).

A floración la pradera presenta menor cantidad de tallos (no significativa), una menor acumulación de materia seca (1700 kg MS/ha menos que Raigrás)

aumentando así el valor de SPAD de acuerdo a lo comentado en el párrafo anterior (cuadro 10).

Cuadro 10: Efecto de la intensidad de laboreo sobre el valor de SPAD y otras variables.

	PRADERA	RAIGRÁS	Significancia
Plantas/m ² Floración	709 a	754 a	NS
kg MS/ha Floración	12806 b	14560 a	0,05
Valor SPAD Floración	34,9 a	33,2 b	0,02

NS: No significativo.

No existe ningún tipo de interacción en la variable en estudio en relación a la intensidad de laboreo y la secuencia. No existe una respuesta diferente entre LC y SD cuando se las analiza sobre cada una de las secuencias, la intensidad de laboreo causa el mismo efecto sobre la pradera como en el raigrás.

4.9 ENFERMEDADES DE TALLO Y VAINA

No se encontró diferencias significativas en el IGS (%) para *Sclerotium oryzae* a floración entre las diferentes intensidades de laboreo. En cambio si se encontró diferencias entre intensidades de laboreo a cosecha del cultivo, siendo mayor en el tratamiento con LC (p= 0,0017).

Por otro lado, el cultivo sobre LC tuvo una mayor infección de *Rhizoctonia oryzae sativae* a cosecha (p<.0001) en relación a la SD. Distintos resultado fueron los obtenidos en el experimento del año anterior donde no se encontró diferencias significativas entre la intensidad de laboreo en el nivel de *Rhizoctonia* a cosecha (figura 13).

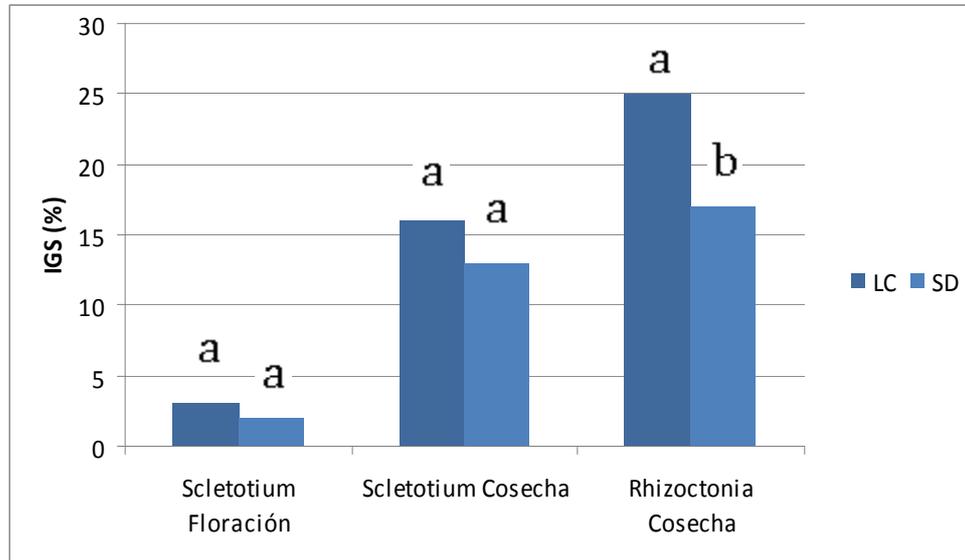


Figura 13: Efecto de la intensidad de laboreo en el Índice de grado de severidad de enfermedades de tallo (*Sclerotium oryzae* y *Rhizoctonia oryzae sativae*) en el cultivo de arroz, a floración y cosecha. LC: laboreo convencional, SD: Siembra directa. Letras diferentes entre columnas agrupadas por momento de muestreo, expresan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Los niveles de enfermedad tanto de *Sclerotium* y *Rhizoctonia* fueron siempre mayores en el experimento sobre raigrás, siendo la diferencia significativa.

Estos resultados no concuerdan con el experimento de la anterior zafra que obtuvo una mayor infección de *Sclerotium* a cosecha sobre la pradera. A su vez para *Rhizoctonia* no encontró diferencias significativas entre las secuencias.

También se aprecia que a pesar de la aplicación de fungicida posterior a la primera medición (en floración), el nivel de infección en el experimento conducido sobre raigrás no presentó importantes señas de control ya que el nivel a cosecha fue muy superior a lo observado en la primera medición (cuadro 11). En cambio el ensayo ubicado sobre pradera mostró bajos niveles, tanto en floración como cosecha. Todos estos efectos se explicarían por un menor nivel de inoculo en el experimento sobre pradera junto con un buen control en esas condiciones por parte del fungicida por menor presión de la enfermedad. En el

raigrás una situación con mayor presión de inóculo llevó a que el control químico no pudiese ser tan efectivo.

Cuadro 11: Efecto del antecesor en la secuencia de la rotación sobre los valores de índice de grado severidad para *Sclerotium* y *Rhizoctonia* para floración y cosecha.

Variable	Pradera	Raigrás	Significancia
Sclerotium Floración	1,01 b	4,79 a	<.0001
Sclerotium Cosecha	1,56 b	27,02 a	<.0001
Rhizoctonia Cosecha	33,56 a	8,74 b	<.0001

Con respecto a las interacciones se aprecia que únicamente para el caso de índice de severidad a cosecha en *Sclerotium oryzae* existen interacciones, ya que el índice sobre pradera fue mayor cuando se utilizó SD, en cambio cuando se cultivo de arroz sobre raigrás el índice para este patógeno fue superior sobre LC (cuadro 12).

Cuadro 12: Interacción en los IGS para *Sclerotium* y *Rhizoctonia* según antecesor e intensidad de laboreo.

Variable	Pradera		Raigrás		Significancia
	LC	SD	LC	SD	
Sclerotium Floración	1,59	0,43	5,20	4,39	NS
Sclerotium Cosecha	1,06	2,06	30,34	23,70	<.0001
Rhizoctonia Cosecha	38,70	28,43	11,93	5,56	NS

NS: No significativo. LC: laboreo convencional. SD: siembra directa.

4.10. RENDIMIENTO EN GRANO

Los rendimientos obtenidos en la zafra 2008/09 son en todos los casos superiores al rendimiento promedio que obtuvo el país, aproximadamente 8012 kg/ha (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2009). La productividad fue resultado de las buenas condiciones ambientales (temperatura y luminosidad) que se presentaron en el ciclo del cultivo tal como se comentó anteriormente. El rendimiento del cultivo fue afectado tanto por el efecto de la intensidad de laboreo así como por el cultivo antecesor.

El rendimiento de grano fue un 7,5% mayor en el tratamiento de laboreo convencional comparado con el de SD (9929 kg/ha)(cuadro 13).

Cuadro 13: Efecto de la intensidad de laboreo en dos momentos de la secuencia de la rotación, sobre el rendimiento de grano.

Intensidad de laboreo	Rendimiento (kg/ha)
Pradera - LC	10985
Pradera - SD	10623
Raigras - LC	10372
Raigras - SD	9235
P(tratamiento)	<.0001
P(secuencia)	0.0192
P(lab*sec)	0.0011

P: Probabilidad, LC: laboreo convencional, SD: siembra directa. lab: laboreo. Sec: secuencia

Estos datos coinciden en las zafras de evaluación previa de este experimento en los que Molina et al. (2007), Cantou et al. (2008) encontraron que los rendimientos fueron 11% y 5% mayores en LC comparado con SD respectivamente.

Existen trabajos nacionales e internacionales que encontraron resultados similares, también hay trabajos con resultados contrarios a los obtenidos.

Los resultados no coinciden con algunos trabajos en USA donde Smith y Baltazar, citado por Pearce et al. (1999), que encontraron que en Arkansas el arroz en SD logró rendimientos similares que el sistema LC. Otros autores como Mabbayad et al. (1968) obtuvieron resultados similares al igual que Jayawardena et al. (2005) y por Kato, citado por Che Song et al. (2007).

Zahid, citado por Jayawardena et al. (2005) al no encontrar diferencias en el rendimiento entre intensidades de laboreo, recomendó la SD dado su facilidad de adaptación a distintos tipos de suelos.

En Brasil Gomes et al. (1995), lograron rendimientos estadísticamente semejantes en el sistema convencional y en SD en campos limpios de arroz rojo.

Sin embargo, en donde había arroz rojo, Gomes et al. (1995) reportaron que el rendimiento en grano en SD fue mayor que en laboreo. Similares resultados fueron reportados por Che Song et al. (2007).

Por otra parte Sousa y Sousa y Gomes, citados por Gomes et al. (2004), sostuvieron que la menor productividad en SD comparado con LC pueden estar relacionados una deficiencia inicial de nitrógeno en las plantas del cultivo. Paralelamente Méndez et al. (2001), afirmaron que para obtener rendimientos similares entre las dos intensidades de laboreo en situaciones de deficiencia de nitrógeno (por tipo de suelo o alta intensidad agrícola), es necesario la aplicación de una dosis mayor de nitrógeno en SD a la dosis utilizada frecuentemente en condiciones de LC.

A su vez Anders et al. (2000) en Arkansas, concluyeron que los bajos rendimientos en SD son el impedimento de su adopción en el cultivo de arroz. Encontró que el rendimiento en grano en tres de los cuatro años, fueron mayores con LC.

El rendimiento del cultivo de arroz sobre SD depende del manejo diferencial que se le debe realizar a la chacra, ya sea un tiempo de barbecho acorde a la cobertura vegetal y una mayor fertilización nitrogenada al inicio. A su vez es una herramienta eficaz para el control de arroz rojo, donde si se realiza LC se les da las condiciones para su crecimiento. El manejo realizado en el experimento fue tomando en cuenta el promedio de la chacra, por lo que cuando se tomaron las medidas de manejo para el cultivo pudo haber sido en base un criterio que no contemplaba las condiciones específicas de la SD.

El rendimiento de la siembra directa a lo largo de la faja fue más variable que con laboreo convencional (cuadro 14).

El coeficiente de variación fue mayor sobre pradera que en raigrás. A su vez la SD fue más variable en la secuencia sobre pradera que sobre raigrás.

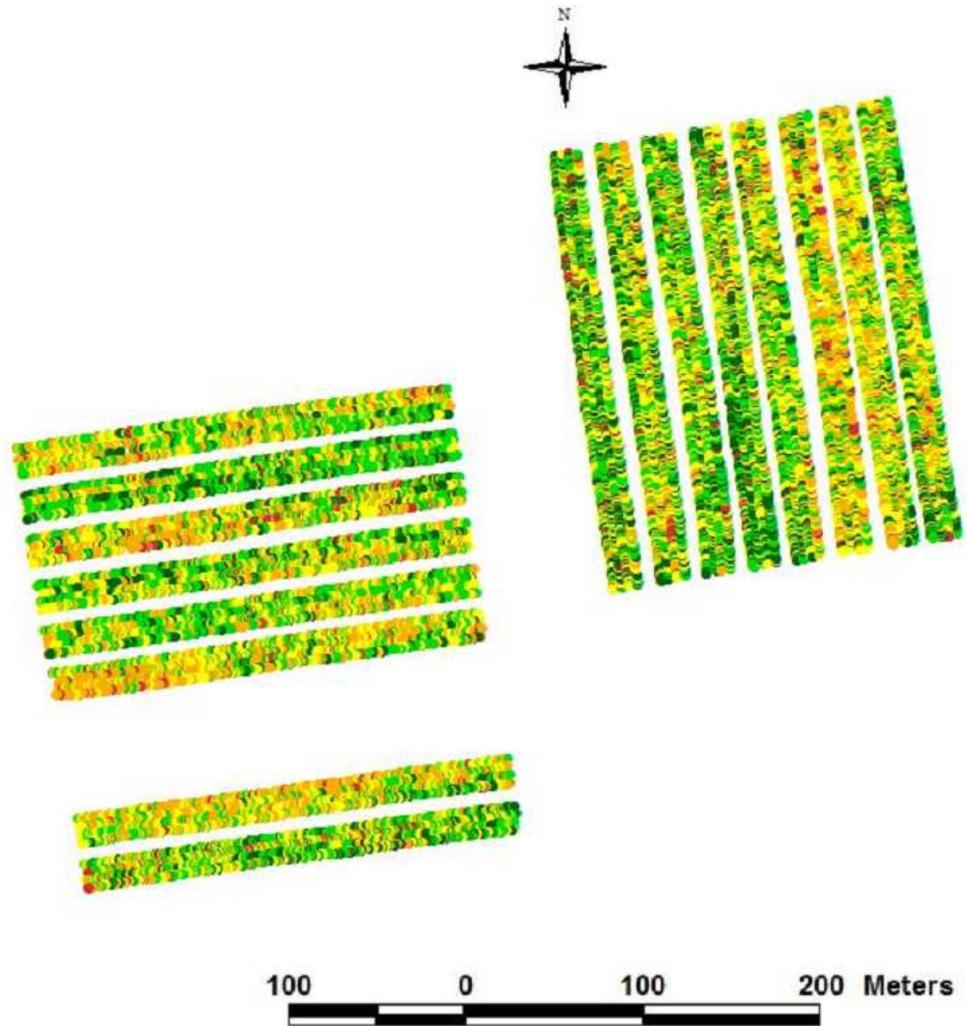
Cuadro 14: Efecto de la intensidad de laboreo y la fase de rotación sobre el coeficiente de variación en la productividad de arroz.

	Pradera		Raigrás	
	LC	SD	LC	SD
CV(%)	5,4	7,9	5	5,3

LC: laboreo convencional. SD: siembra directa.

CV: coeficiente de variación.

En la figura 14 se presenta el mapa de rendimiento para cada secuencia analizada. En las mismas se puede corroborar lo mencionado anteriormente acerca de la variabilidad de rendimiento en cada faja a pesar de haber obtenido altos rendimientos.



- Yldup4_fajas_spatrec_gpsspedd_clean.shp
- 2 - 6
 - 6 - 9
 - 9 - 11
 - 11 - 13
 - 13 - 18
- Yldup3_fajas_spatrec_gpsspedd_clean.shp
- 2 - 6
 - 6 - 8.5
 - 8.5 - 10
 - 10 - 12.5
 - 12.5 - 17

Figura 14: Mapa de rendimiento de los ensayos.
 LC: laboreo convencional. SD: siembra directa

Por otro lado el cultivo de arroz que se desarrollo sobre la pradera tuvo un rendimiento (1000 kg/ha) superior que aquel sobre raigrás (9804 kg/ha), dichos resultados se pueden apreciar en el cuadro 14.

En este mismo experimento en las zafras anteriores Molina et al. (2007), Cantou et al. (2008) encontraron que el cultivo sobre pradera tuvo una productividad superior pero no significativa que el arroz sobre raigrás.

Esto puede obedecer a los datos obtenidos por Heenan, citado por Beecher (1994) y por este último, donde ambos concluyen que pasturas de corta duración durante el invierno (verdeo invernal) no posee efecto en el rendimiento dada la pobre contribución de nitrógeno.

Igualmente Boerema, citado por Lattimore (1994), afirmó que el mejor suministro de nitrógeno para el cultivo de arroz, era aquel nitrógeno orgánico liberado lentamente por la fase larga de pasturas. A su vez, la fijación de nitrógeno esta asociado a la producción de materia seca (Watson 1963), por lo que una pastura más larga y de mayor producción, trae como consecuencia que probablemente más N será fijado.

Beecher et al. (1994), encontró que no había diferencia en el rendimiento del cultivo de arroz proveniente de fase de praderas con leguminosas mayores a dos años de duración.

Los resultados obtenidos eran previsibles dado que el campo proveniente de la pradera tiene un mayor aporte nitrógeno por la fijación biológica de las leguminosas, a su vez es un campo que viene con un mayor tiempo de descanso con lo que lleva a que sea una chacra más limpia en términos de malezas así como también de fuente de inóculo de enfermedades.

En el análisis estadístico se encontró una interacción entre la secuencia y la intensidad de laboreo. El cultivo desarrollado sobre LC fue superior un 3% (362 kg/ha) en el potrero sobre pradera, pero las diferencias fueron de 11% (1137 kg/ha). El efecto del laboreo previo a la siembra se vio magnificado cuando éste se realizo sobre el experimento que tenía como antecesor el raigrás (cuadro 13).

Cualquier tratamiento aplicado sobre una buena condición (pradera) tendrá un rendimiento mayor. Ahora cuando se trata de una situación más restrictiva la diferencia entre los tratamientos se torna mas considerable con lo que se puede apreciar mas fácilmente las ventajas del tratamiento, en este experimento, el caso de laboreo previo a la siembra.

Para el análisis CART se considero para cada celda (punta cada 50 metros a lo largo de la faja), el rendimiento, la historia de la chacra, el tratamiento, el pH, carbonoso orgánico, nitrógeno, fósforo (ácido cítrico), potasio, conductividad eléctrica a 30 cm, unidad de suelo, malezas, riego y densidad para macollaje y primordio.

La primera variable en discriminar el rendimiento fue el nivel de enmalezamiento de cada punta a primordio, donde se tomo 80 datos con un promedio de 10303 kg/ha (Figura 15). La primer rama discrimina 24 datos con rendimiento bajo (9431 kg/ha) los cuales correspondes a la variable malezas con nivel mayor a 2,25 a primordio.

En la otra rama la cual cuenta con 56 datos con un promedio de 10667 kg/ha fueron agrupadas por el riego a macollaje. Este grupo se lo subdivide en baja calidad de riego (<3,5) con 34 datos con un rendimiento de 10387 kg/ha.

Las variables que determinan el rendimiento son consecuencia del manejo del cultivo, estas son el nivel de enmalezamiento y la calidad de riego en distintos puntos de la chacra. Esto no indica que el tipo del suelo, la intensidad de laboreo y la rotación no incidan en el rendimiento, solo que existen variables de manejo que determinan en mayor medida su valor. Por esto se destaca que altos rindes se obtienen con un buen control de malezas y una buena nivelación del terreno independientemente de la situación de inicio.

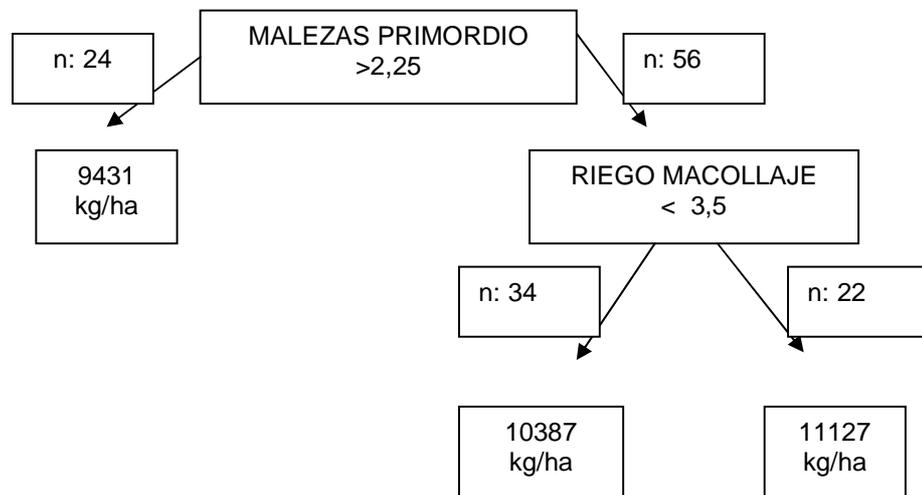


Figura 15: Árbol de clasificación y regresión (CART) para el rendimiento de arroz, tomando en cuenta la intensidad de rendimiento, la secuencia, la intensidad de laboreo, pH, carbono orgánico, nitrógeno, potasio, fósforo, conductividad eléctrica del suelo a 30 cm, unidad de suelo y las medidas subjetivas de de malezas, riego, desarrollo para macollaje y primordio.

En un estudio llevado a cabo por Roel et al. (2006), encontraron resultados similares con respecto a la importancia de la calidad del riego en determinar altos rendimientos; en contraposición también otras variables fueron bastante determinantes del rendimiento y si bien el nivel de enmalezamiento no fue un factor principal su importancia no fue dejada de lado.

Roel et al. (2007) trabajó con un grupo de productores de tres regiones del país en donde el objetivo del mismo era identificar las prácticas de manejo que más diferenciaban a los productores que obtenían altos rendimientos de los que obtenían bajos rendimientos. Ellos utilizaron en gran medida la visualización de mapas temáticos, de diagramas de celdas o de dispersión, y la utilización de árboles de clasificación y regresión (CART). En el estudio el árbol de regresión pudo identificar un set de relaciones dominantes en una región y un set diferente en las otras dos regiones.

Las técnicas estadísticas de análisis multivariado que han sido desarrolladas para el análisis de los datos de un sitio pudieron ser aplicadas para determinar cuáles prácticas de manejo fueron más importantes para obtener altos rendimientos en una región dada.

En una región las variables más destacadas que explicaban los altos rendimientos fueron la cantidad de fertilizante total aplicado, la efectividad del riego y los días entre el primero de enero y 50% de floración.

En las otras dos regiones se percibió que las propiedades de suelo, principalmente el contenido de arcilla y pH jugaron un rol preponderante en determinar el rendimiento en este lugar. De todos modos dado que el manejo tuvo un rol importante, la fecha de siembra, la cantidad de fertilizante aplicado y la efectividad del riego fueron las variables más importantes. Estos tres últimos factores fueron identificados como los que más diferenciaron a los productores que obtuvieron altos rendimientos de los que obtuvieron bajos rendimientos.

Esto no quiere decir que otros factores, como el control de malezas, no fueran importantes; solo que más allá de la gran importancia que tiene el control de malezas esta no fue una característica que diferenciara a los productores porque todos fueron muy eficaces en su implementación .

4.11 COMPONENTES DE RENDIMIENTO

No se observaron diferencias significativas en ninguno de los componentes de rendimiento entre intensidades de laboreo (cuadro 15).

Cuadro 15: Efecto de la intensidad de laboreo sobre los componente de rendimiento del cultivo de arroz.

	Laboreo convencional	Siembra directa	Significancia
Panojas/m ²	541,0	531,0	NS
Granos/Panoja	116,0	119,0	NS
Peso 1000 g	27,3	26,8	NS

NS: No significativo.

Similares resultados fueron encontrados Che Song et al. (2007), ya que no obtuvieron diferencias en el peso de mil granos ni en el número de panojas por planta entre LC y SD.

En cambio si encontraron diferencias significativas en el número de granos por panoja y en el número de grano llenos, a favor del LC. A su vez Mabbayad et al. (1968), demostraron que no hay diferencias en el número de panículas y en el porcentaje de espiguillas estériles cuando el suelo fue manejado sobre SD, mínimo laboreo y LC.

El único componente de rendimiento afectado por la secuencia de la rotación fue el número de granos/m² (figura 16). La magnitud de la diferencia entre las secuencias en este parámetro fue de 8796 granos/m².

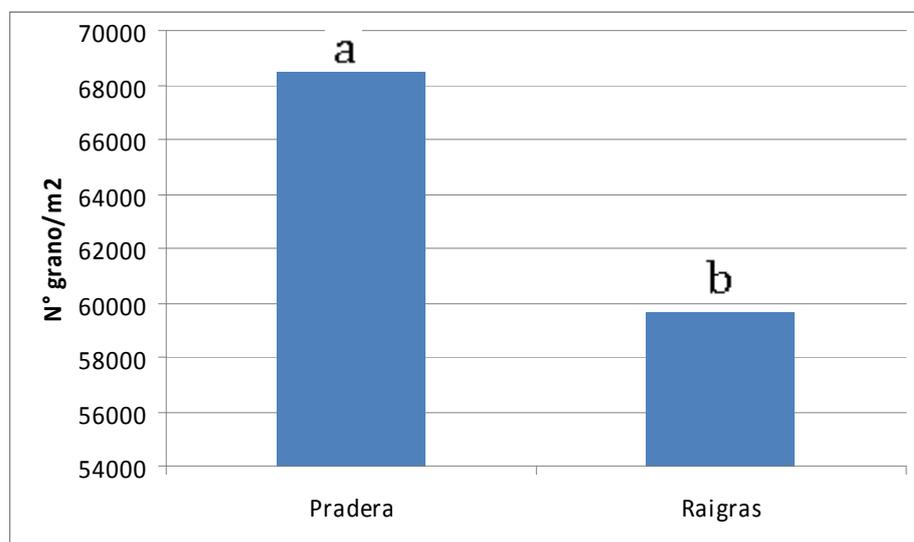


Figura 16: Efecto del antecesor en la secuencia sobre el número de grano por m² del cultivo de arroz. Letras diferentes expresan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

La única interacción significativa entre las intensidades de laboreo y los antecesores sobre los componentes de rendimiento encontrada ($p=0,048$) fue el porcentaje de esterilidad. El porcentaje de esterilidad en LC es mayor sobre raigrás que sobre pradera, pero para el caso de SD el valor de porcentaje de esterilidad fue similar en ambos antecesores (figura 17).

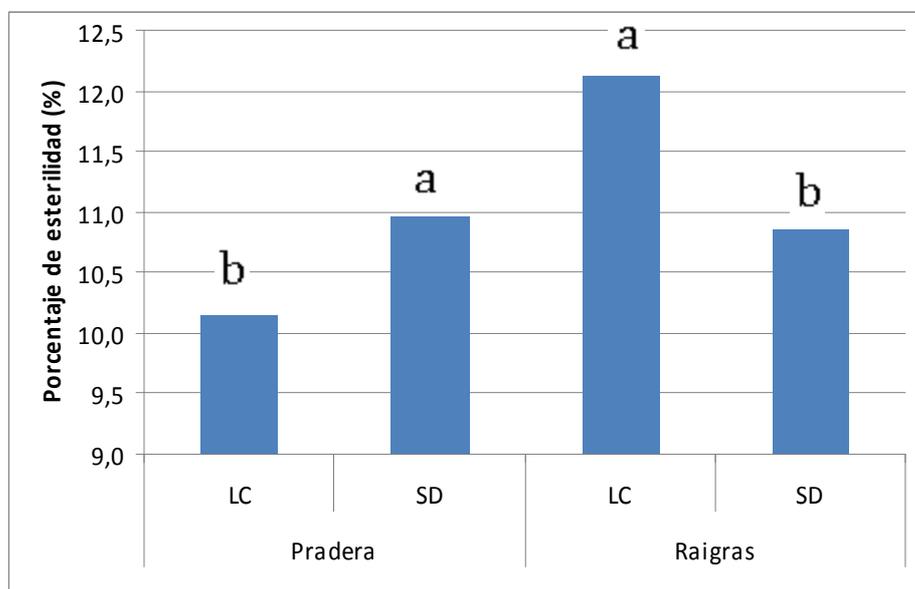


Figura 17: Efecto de la intensidad de laboreo sobre la el porcentaje de esterilidad de los granos de arroz, por secuencia de la rotación. Letras diferentes entre columnas del mismo color, expresan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Los otros componentes del rendimiento como cantidad de panojas/m², número de granos por panoja y peso de mil granos no fueron afectados por la secuencia. Las interacciones de los mencionados parámetros no fueron significativas (cuadro 16).

Resultados iguales fueron publicados por Jayawardena et al. (2005), Marcolin et al. (2007), quienes encontraron que el número de granos por panoja y el número de panojas por unidad de superficie fueron similares en ambas intensidades de laboreo.

Cuadro 16: Efectos del antecesor sobre los componentes del rendimiento.

	Pradera	Raigrás	Significancia
Panojas/m ²	536,0	535,0	NS
Granos/Panoja	123,0	112,0	NS
Peso 1000 g	27,2	27,0	NS

NS: No significativo.

No se encontró ninguna interacción sobre los componentes del rendimiento (cuadro 17).

Cuadro 17: Interacción en los valores de los componentes del rendimiento según antecesor e intensidad de laboreo.

	Laboreo convencional		Siembra directa		Significancia
	Pradera	Raigrás	Pradera	Raigrás	
Panojas/m ²	537,0	544,0	535,0	526,0	NS
Granos/Panoja	123,0	108,0	122,0	116,0	NS
Peso 1000 g	27,4	27,2	26,9	26,7	NS

NS: No significativo.

5. CONCLUSIONES

Es de importancia recordar que el análisis sobre la variabilidad espacial se limitó simplemente al análisis de coeficiente de variación de las distintas variables y al uso del árbol de regresión y clasificación que fueron las herramientas que permitieron mostrar las diferencias entre los distintos puntos de muestreo.

El rendimiento del cultivo de arroz sobre laboreo convencional fue un 7,5% superior que en siembra directa. Este experimento fue realizado en años anteriores, en el primer año 2006/07 y en el segundo 2007/08 el rendimiento fue afectado por la intensidad y no por la secuencia de la rotación. En el primer año el cultivo con LC fue 11,5% superior que en SD. A su vez en 2007/08 el LC fue superior en un 5% sobre la SD.

Las diferencias en producción a favor del laboreo convencional pueden ser atribuibles a una menor tasa de crecimiento del cultivo bajo SD. A su vez el nivel de infestación de malezas presente en SD fue mayor.

El cultivo de arroz sobre laboreo convencional presentó una mejor distribución de plantas, más uniformes y con mejor vigor inicial. Estas diferencias que se dieron en las primeras etapas se fueron minimizando a lo largo del ciclo, pero no pudieron ser compensadas totalmente a la cosecha.

En promedio la productividad del cultivo de arroz sobre pradera fue de 1000 kg/ha mayor que sobre raigrás. Esta mayor producción del cultivo sobre pradera que sobre raigrás no sólo puede ser atribuible al efecto de la pastura, ya que existe diferencia en el tipo de suelo en el que se desarrolla cada uno. En los experimentos anteriores se constató que no existía diferencia significativa del antecesor en la productividad. En el año 2006/07 la secuencia sobre pradera tuvo una productividad de 6,6 % más que sobre raigrás, en cambio en 2007/08 la producción sobre raigrás fue un 8,8% superior que en la pradera.

El cultivo sobre pradera con LC fue superior un 3% (362 kg/ha) a la SD, sin embargo las diferencias fueron de mayor magnitud (11%) en la secuencia sobre raigrás.

Se constató que el rendimiento en grano fue más variable en siembra directa frente al laboreo. Esto coincide con los resultados de años anteriores. La producción fue menos variable cuando el antecesor fue raigrás, este mismo comportamiento fue constatado en los experimentos anteriores.

La información sugiere que el arroz en siembra directa puede tener algunas limitantes que puede deprimir el rendimiento y aumentar la variabilidad dentro de la chacra con respecto al cultivo sembrado sobre laboreo. De todas maneras es importante considerar las ventajas operativas y económicas de la siembra directa relacionadas a una mayor probabilidad de sembrar el cultivo dentro de la fecha óptima, la reducción del uso de maquinaria y de combustible.

En término de control de malezas la siembra directa es fundamental para utilizar en campos con altas infestaciones de arroz rojo y capín por tener una mayor eficiencia en el control. A su vez se ha presenciado mayor crecimiento de malezas perennes las cuales pueden ser suprimidas en base a barbechos tempranos (otoño).

A lo largo del trabajo se destaca el menor rendimiento de la siembra directa con respecto al laboreo, la cual no están sujetas exclusivamente a características propias sino también a medidas relacionadas con el manejo tan importantes y explicativas de bajas en el rendimiento como lo es el riego y el control de malezas. Por tanto independientemente de la situación de inicio tanto por la secuencia o intensidad de laboreo para obtener altos rindes es fundamental tener un excelente manejo del cultivo.

6. RESUMEN

La siembra directa es una herramienta poco adoptada por los productores del país (25%) dado que existen ciertas limitantes que no permiten expresar el potencial del cultivo. en este trabajo se evaluó el impacto de dos intensidades de laboreo (siembra directa y laboreo convencional) en el rendimiento en grano de arroz, en dos fases de un sistema de rotación arroz-pastura. la rotación de cinco años de duración consistió en arroz seguido por un año de descanso con raigrás anual, el cual antecede al segundo cultivo de arroz en la rotación; posteriormente se instalo una pradera de dos años de duración. los tratamientos de laboreo se establecieron en bloques completos al azar, en fajas. los datos fueron analizados con modelos mixtos. el cultivo con laboreo convencional tuvo en promedio un rendimiento 7,5% superior a la siembra directa. la productividad del cultivo sobre pradera fue 10% superior que sobre raigrás. se encontró interacción entre intensidad de laboreo y secuencia, el cultivo de laboreo sobre pradera fue 3,4% al de siembra directa sobre pradera; en cambio el cultivo de laboreo sobre raigrás fue 12% mayor al de siembra directa. la productividad del cultivo de siembra directa fue mas variable que el de laboreo independientemente de la secuencia. el análisis cart recalca que las medidas de manejo vinculadas a nivel de enmalezamiento y calidad de riego poseen una alta incidencia en el rendimiento, mientras que variables tales como intensidad de laboreo, secuencia, tipo y propiedades del suelo poseen menor incidencia.

Palabras clave: Siembra directa; Arroz; Rendimiento; Rotación.

7. SUMMARY

No tillage seeding is a tool not well adopted by producers in Uruguay (25% of the area), mostly explained for certain limitations that cannot express the potential of the crop. This study evaluated the impact of two tillage intensities (no-till and conventional tillage) on rice yield, it was located at two phases of a rice-pasture rotation. The rotation of five-year consisted of rice followed by a year off with annual ryegrass, which precedes the second rice crop in the rotation, then a perennial pasture was installed for two years. Tillage treatments were established in a randomized complete block, in strips. Data were analyzed with mixed models. The conventional tillage crop yield was on average 7.5% return over direct seeding. Crop productivity on prairie was 10% higher than on ryegrass. It existed an interaction between tillage intensity and sequence, tillage farming on the prairie was 3.4% superior than direct seeding on grassland, alternatively tillage farming on ryegrass was 12% greater than direct seeding. The productivity of direct seeding was more variable than that of tillage regardless of the sequence. CART analysis emphasizes that management items related to the level of weed growth and quality of irrigation have a high impact on performance, while variables such as tillage intensity, sequence, type of soil and soil properties have a lower incidence.

Keywords: No tillage; Rice; Yield; Rotation.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALVAREZ, R.; STEINBACH, H.S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research*. 104: 1-15.
2. AMBRASSA-KIK, R.; ABOUBAKAR, Y.; BOULAMA, T. 1996. Zero tillage for rice productions on Cameroonian Vertisols. *Soil and Tillage Research*. 39: 75-84.
3. ANDERS M.M.; D. OLK; T. HARPER; T. DANIEL; J. HOLZHAUER. 2004. The effect of rotation, tillage, and fertility on rice grain yields and nutriente flows. (en línea). *In*: Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture (26th., 2004, Raleigh, North Carolina). Proceedings. Raleigh, North Caroline Agricultural Research Service. pp. 26-33. Consultado feb. 2010. Disponible en <http://www.ag.auburn.edu/nsdl/sctcsa>
4. BEECKER, H.G.; THOMPSON, J.A.; BACON, P.E.; HEENAN, D.P. 1994. Effect of cropping sequences on soil nitrogen levels, rice growth, and grain yields. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34: 977-986.
5. BELDARRAIN, G.; S. AVILA. 2009. Estudio de las poblaciones de *Sclerotium oryzae* en el suelo y su relación con la podredumbre del tallo del arroz. *In*: Deambrosi, E.; Montossi, F.; Saravia, H.; Blanco, P.; Ayala, W. eds. 10 Años de la Unidad de Producción Arroz-Ganadería. Treinta y Tres, INIA. pp. 189-197 (Serie Técnica no. 180).
6. BIRD, J.A.; VAN KESSEL, C.; HORWATH, W.R. 2003. Stabilization of C13 and immobilization of 15N-Nitrogen from rice straw in humic fractions. *Soil Society of American Journal*. 67: 806-816.
7. BORGHI, E.; ERNST, O. 2003. Bases eco-fisiológicas del cultivo de arroz en Uruguay. (en línea). Paysandú, Facultad de Agronomía. 9 p. Consultado 2 feb. 2009. Disponible en http://www.eemac.edu.uy/dmdocuments/cereales_y_cultivos_industriales_A/cultivos_de_verano/arroz/Borghi_Ernst_Bases_ecofisiologicas.pdf.

8. BRAGA DO CARMO, J.; NEILL, C.; GARCIA-MONTIEL, M. C.; CASSIA PICCOLO, M; CERRI, C; STEUDLER, P.A.; DE ANDRADE, C. A.; PASSIANOTO, C.C.; FEIGL B.J.; MELILLO, J.M.. 2005. Nitrogen dynamics during till and no till pasture restoration sequences in Rondonia, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 71: 213-225.
9. BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.H.; OLHSEN, R.A.; STONE, C.J. 1984. *Classification and regression trees*. New York, Chapman and Hall. 358 p.
10. CANTOU, G.; MOLINA, F.; ROEL, A. TERRA, J. 2008. Impacto de la intensidad de laboreo en los rendimientos de arroz en la UPAG. *In: Arroz; resultados experimentales 2007-2008*. Treinta y Tres, INIA. cap. 3. pp. 1-14 (Actividades de Difusión no. 545).
11. DÁBALA, L., 2009. Guía de siembra directa. (en línea). Montevideo, MGAP. P. Consultado 4 feb. 2010. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/presponsible>.
12. DE DATTA, S. 1981. *Principles and practices of rice production*. New York, Wiley. 618 p.
13. DESJARDINS, T.; FOLGARAIT, P.J.; PANDO-BAHUON, A.; GIRARDIM, C.; LAVELLE, P. 2006. Soil organic matter dynamics along a rice chronosequence in north-eastern Argentina. Evidence from natural ¹³C abundance and particle size fractionation. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 2753-2761.
14. GAMARRA, G. 1995. *Arroz; manual de producción*. Montevideo, Hemisferio Sur. 439 p.
15. GIJSMAN, A. J.; OBERSON, A.; FRIESEN, D. K.; SANZ, J. I.; THOMAS, R. J. 1997. Nutrient cycling through microbial biomass under rice-pasture rotations replacing native savanna. *Soil Biology and Biochemistry*. 29 (9-10): 1433-1441.
16. GOMES, A DE S.; SOUSA, R.O; PAULETO, E.A.; PEÑA, Y.A. 1995. Desempenho do arroz irrigado sob sistema de plantio directo. *Lavoura Arrozeira (Porto Alegre)*. 48 (jan./fev.): 3-8.
17. _____.; _____.; VERNETTI, F. de J.; DE SOUSA, R. O. de. 2004. Plantio direto e cultivo mínimo em arroz irrigado. *Arroz Irrigado no Sul do Brasil*. 12: 349-386.

18. HERNÁNDEZ, J.; BERGER, A. 2003. Dinámica del fósforo en sistemas de arroz-pasturas; caracterización de parámetros de suelos para estimar la disponibilidad de fósforo. Indicadores de disponibilidad de fósforo y respuesta del cultivo de arroz a la fertilización fosfatada. *In*: Investigaciones agropecuarias; programa nacional de arroz. Treinta y Tres, INIA. p-irr. (Reporte Técnico Anual RTA no. 01).

19. JAYAWARDENA, S.N.; ABEYSEKERA, S.W.; KIRIWATHTHUDUWAGE, K.D.S.; HERATH, H.M.J. 2005. Comparison of zero and conventional tillage on establishment, growth and yield under irrigated conditions. *Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture*. 7: 111-120.

20. KRAEMER, A.F.; JIMÉNEZ, L.I.; MOULIN, J.F.; BAZZI, P. 2007. Dinámica del arroz colorado. (en línea). Corrientes, INTA. s.p. Consultado 20 ene. 2010. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/corrientes/info/documentos/Arroz/07/PDF%207/15-informe%20din%C3%A1mica%20de%20arroz%20colorado%2006.07.pdf>.

21. LATTIMORE, M.A. 1994. Pastures in temperate rice rotations of south.eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34: 959 – 956.

22. LEHMANN, J.; KINYANGI, J.; SOLOMON, D. 2007. Organic matter stabilization in soil microaggregates: implications from spatial heterogeneity of organic carbon contents and carbon forms. *Biogeochemistry*. 85: 45-57.

23. LITTELL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; W.W STROUP, WOLFINGER, R.D. 1996. SAS system for mixed models. Cary, NC, SAS Institute. 633 p.

24. MARCOLIN, E; MUSSOI MACEDO, V. R.; GENRO, S. A. JR.; MENEZES, V.G. 2007. Estratégia de adubação para incremento de produtividade do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. *In*: Congreso de Arroz Irrigado (5º., 2007, Pelotas, RS, Brasil). Trabajos apresentados. s.n.t. pp. 411-413.

25. MENDEZ R.; DEAMBROSI, E.; BLANCO, P.; SALDAIN, N.; PEREZ DE VIDA, F.; GAGGERO, M.; LAVECCHIA, A.; MENDEZ, J.; MARCHESI,

- C. 2001. Reducción de laboreo y siembra directa en el cultivo de arroz. Montevideo, INIA. 17 p. (Serie Técnica no. 122).
26. _____.; _____. 2009. Coberturas nitrogenadas para la producción de arroz. Montevideo, INIA. 38 p. (Serie Técnica no. 179)
27. MOLINA, F.; TERRA, J.; PRAVIA, V.; DEAMBROSI, E.; ROEL, A.;. 2007. Impacto de la intensidad de laboreo en los rendimientos de arroz de laboreo en los rendimientos de arroz de la UPAG 2006-2007. In: Unidad de Producción Arroz-Ganadería (UPAG). Resultados 2006-2007. Treinta y Tres, INIA. s.p. (Actividades de Difusión no. 491).
28. _____.; CANTOU, G.; ROEL, A. 2009. Resumen; base de datos empresas arroceras. (en línea). Treinta y Tres, INIA. s.p. Consultado 15 dic. 2009. Disponible en http://www.inia.org.uy/estaciones/ttres/actividades/2010/resumen_2008_2009.pdf.
29. PEARCE A. D; DILLON, C.R; KEISLING, T.C; WILSON, C.E. 1999. Economic and agronomic effects of four tillage practices on rice produced on saline soils. *Journal Production Agriculture*. 12 (2): 305-312.
30. ROEL A.; FIRPO, H.; PLANT, R. 2007. Why do some farmers get higher yields? Multivariate analysis of a group of Uruguayan rice farmers. *Computers and Electronics in Agriculture*. 58: 78–92.
31. SAHRAWAT K. L. 2005a. Fertility and organic matter in submerger rice soils. *International Crops Research Insititute for the Semi Arid Tropics. Current Science*. 88 (5): 735-739.
32. _____. 2005b. Organic matter and mineralizable nitrogen relationships in wetland rice soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37: 787-796.
33. SCHULZ S.; KEATING, J.D.H.; WEELS, G.J. 1998. Productivity and residual effects of legumes in rice-based cropping systems in a warm-temperate environment. *Residual effects on rice. Field Crops Research*. 61: 37-49
34. SINGH B.; SINGH, Y.; LADHA, J.K.; BRONSON, K.F.; BALASUBRAMANIAN, V.; SINGH, J. ; KHIND, C.S. 2002.

Chlorophyll meter and leaf color chart based nitrogen management for rice and wheat in Northwestern India. *Agronomy Journal*. 94: 821-829.

35. SONG, C.; GUO-MIAN, X.; WEI-MING, Z.; FEI-BO, W.; GUO-PING, Z. 2007. Characterization of leaf photosynthetic properties for no-tillage rice. *Rice Science*. 14: 83-288.
36. TERRA, J.; PRAVIA, V.; ROEL, A. 2010. Impacto de la intensidad de uso de suelo y la variación del terreno sobre la productividad del cultivo de soja. In: Reunión Técnica (1ª., 2010, Colonia del Sacramento, Colonia, Uruguay). Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos. Montevideo, Sociedad Uruguaya de Ciencias del Suelo/International Soil and Tillage Research Organization. pp. 18-27.
37. THERNEAU, T.M.; ATKINSON, B.; BRIAN, R. 2005. rpart; recursive partitioning. R package version 3.1-23. S-PLUS 6.x original. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado abr. 2010 <http://mayoresearch.mayo.edu/mayo/research/biostat/splusfunctions.cfm>
38. TURNER, F.T.; FUND, M.F. 1994. Assessing the N requirements of rice crops with a chlorophyll meter. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34: 1001-1005.
39. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. 2009. Encuesta de Arroz; zafra 2008/09. (en línea). Montevideo. s.p. (Serie Encuestas no. 275). Consultado 18 feb. 2012. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,115,O,S,0,MNU;E;42;5;MNU;>