

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**COMPORTAMIENTO DEL CULTIVO DE ARROZ  
EN SIEMBRA DIRECTA SOBRE DISTINTOS  
ANTECESORES EN LA ZONA NORTE.**

**por**

**Javier DO CANTO FAGUNDEZ**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2006**

Tesis aprobada por:

Director:

-----  
Ing. Agr. Oswaldo Ernst

-----  
Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

-----  
Ing. Agr. Andrés Lavecchia

Fecha:

Autor:

-----  
Javier do Canto Fagundez

## **AGRADECIMIENTOS**

A los Ing. Agr. Oswaldo Ernst y Guillermo Siri por la conducción y orientación en la realización de éste trabajo, y por el tiempo y dedicación brindados.

A los funcionarios de la EEMAC que colaboraron con los trabajos de campo y laboratorio.

A la firma Otegui Hnos. por permitir la realización de éste trabajo, a los Ing. Agr. Bernardo Böcking, Gervasio Finozzi, Pablo Silveira y Santiago Bandeira por su constante colaboración y al personal de “El Junco” que participó en las diferentes etapas del trabajo de campo.

Al Lic. Enrique Coronel y la Lic. Rossana Ciappessoni de biblioteca por su ayuda en la búsqueda de información bibliográfica.

A mi familia y amigos por el apoyo incondicional brindado a lo largo de toda la carrera.

A todos los que de una forma u otra colaboraron con la realización de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1. CULTIVO CONTINUO.....	3
2.2. MANEJO TRADICIONAL.....	4
2.2.1. <u>Malezas</u> .....	4
2.3. ROTACIONES.....	5
2.3.1. <u>Efecto sobre el enmalezamiento</u> .....	5
2.3.2. <u>El N en la rotación</u> .....	6
2.3.2.1. Tipo de cultivo usado en la rotación.....	6
2.3.3. <u>Tipos de rotaciones</u> .....	7
2.3.3.1. Rotación con cultivos anuales.....	7
2.3.3.2. Rotación con pasturas.....	7
2.4. ROTACIÓN CON SOJA.....	8
2.4.1. <u>Efecto sobre el enmalezamiento</u> .....	8
2.4.2. <u>El N en la rotación con soja</u> .....	9
2.4.3. <u>El P en sistemas arroz-leguminosa para grano</u> .....	10
2.4.4. <u>Rendimiento en grano de arroz en rotación con soja</u> .....	10
2.5. ROTACIÓN CON PASTURAS.....	11
2.5.1. <u>Especies forrajeras</u> .....	11
2.5.2. <u>Efecto del tapiz anterior sobre el arroz</u> .....	12
2.5.3. <u>Efecto sobre el enmalezamiento</u> .....	14
2.5.4. <u>Efectos en la materia orgánica</u> .....	15
2.5.5. <u>El N en rotación con pasturas</u> .....	17
2.5.5.1. Relación C/N.....	17
2.5.5.2. Aporte de N por el suelo: Mineralización neta, tasa de mineralización y mineralización acumulativa.....	18
2.5.5.3. Duración fase pasturas y N acumulado.....	19
2.5.5.4. Absorción de N .....	20
2.5.6. <u>El P en rotaciones con praderas</u> .....	20
2.5.7. <u>El K en la rotación</u> .....	22
2.5.8. <u>Enfermedades en la rotación con pasturas</u> .....	22
2.5.9. <u>Crecimiento del cultivo y rendimiento</u> .....	24
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	26

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.....	26
3.1.1. <u>Ubicación</u> .....	26
3.1.2. <u>Suelos</u> .....	26
3.1.3. <u>Diseño experimental</u> .....	26
3.1.4. <u>Manejo del cultivo</u> .....	27
3.2. DETERMINACIONES.....	27
3.2.1. <u>Suelo</u> .....	27
3.2.2. <u>Determinaciones en rastrojo</u> .....	28
3.2.3. <u>Determinaciones en planta</u> .....	28
3.2.3.1. <u>Implantación</u> .....	28
3.2.3.2. <u>Fenología y cortes de materia seca</u> .....	28
3.2.3. <u>Malezas</u> .....	29
3.2.4. <u>Rendimiento</u> .....	29
3.3. ANALISIS ESTADÍSTICO.....	29
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	30
4.1. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA.....	30
4.1.1. <u>Heliofanía</u> .....	30
4.1.2. <u>Temperatura</u> .....	31
4.1.3. <u>Precipitaciones</u> .....	32
4.1.4. <u>Evaporación tanque A</u> .....	32
4.2. CONDICIONES DE SIEMBRA E IMPLANTACIÓN.....	33
4.3. DESARROLLO DEL CULTIVO.....	36
4.3.1. <u>Haun del tallo principal</u> .....	36
4.3.2. <u>Macollaje</u> .....	37
4.3.3. <u>Tallos y panojas</u> .....	38
4.4. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA.....	39
4.5. NITRÓGENO EN PLANTA.....	41
4.6. MALEZAS.....	42
4.7. RENDIMIENTO EN GRANO.....	44
4.7.1. <u>Calidad industrial</u> .....	45
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	47
6. <u>RESUMEN</u> .....	49
7. <u>SUMMARY</u> .....	51
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	53
9. <u>ANEXOS</u> .....	58

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

	Cuadro N°	Página
1. Nivel de fertilidad del suelo solod medido a través del P (Bray 1). Nivel de P en ppm (Blanco 1988, citado por Gamarra 1996).....		10
2. Rotaciones realizadas. Adaptado de Gijsman et al 1997....		15
3. Historia previa de cada parcela.....		26
4. Precipitaciones en mm, según etapa del ciclo de cultivo. Media histórica y período evaluado.....		32
5. Humedad gravimétrica en el estrato 0 – 20 cm de profundidad (% en peso).....		34
6. Haun del tallo principal a los 44 y 61 días pos siembra.....		36
7. Macollos por planta y por m <sup>2</sup> a los 44 y 61 días pos siembra.....		37
8. Peso por planta en miligramos a los 44 y a los 61 días pos siembra.....		40
9. Materia seca en gramos por m <sup>2</sup> a los 44, 61 y 83 días pos siembra.....		40
10. Absorción de nitrógeno. Porcentaje de nitrógeno en la materia seca y kg de nitrógeno acumulado por hectárea..		41
11. Frecuencia de plantas de arroz, malezas y suelo desnudo en cuadro y taipa a los 61 días pos siembra.....		42
12. Calidad industrial.....		46
 Figura N°		
1. Heliofanía. Promedio de la serie histórica y durante el ciclo del cultivo evaluado. INIA Salto Grande.....		30

2. Temperaturas mínimas para la serie histórica y para	Página
la zafra 04/05 (INIA Salto Grande).....	31
3. Evaporación del tanque A. Promedio decádico de la serie histórica y de la zafra 04/05.....	33
4. Implantación del cultivo de arroz en el cuadro y en la taipa.....	35
5. Evolución del número de tallos/m <sup>2</sup> .....	39
6. Rendimiento en grano seco (13% de humedad).....	44

## **1. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años la agricultura en Uruguay ha venido experimentando cambios en cuanto a especies cultivadas, área de siembra y contribución de cada cultivo al total del área sembrada, dado principalmente por las variaciones de los precios internacionales de los granos y disponibilidad de nuevas tecnologías que levantaron las limitantes productivas de algunos cultivos.

Los riesgos sanitarios que implica la utilización de las harinas de carne en nutrición animal, ha provocado aumento de la demanda internacional por el grano de soja como fuente de proteínas.

Por otro lado la soja se ha visto beneficiada por la biotecnología y la incorporación del evento CP-4 en su genoma le agrega un nuevo atractivo por la posibilidad de controlar fácilmente a sus competidores, que solían imponer serias limitantes a su cultivo.

El área de soja ha tenido aumentos exponenciales en los últimos años llegando a ocupar en la zafra 04/05, 278.000 has (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2005) y 309.000 has en la zafra 05/06 (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2006), en las cuales ocupó el primer lugar en área de siembra.

Este aumento no se limita a los suelos agrícolas del litoral, sino que también avanza hacia el Centro y vuelve a ocupar chacras en el Este, zona tradicionalmente sojera que tuviera un auge en la década de los 80. La zona Norte no es la excepción pasando a ocupar también suelos arroceros. En la zafra 2003/2004, la soja fue cultivada en prácticamente todos los departamentos del país (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2004).

Por su parte el cultivo de arroz ha experimentado altibajos en cuanto a la superficie sembrada luego de alcanzar su máximo histórico en la zafra 1998/1999. Tras un repunte en la zafra 2003/2004, prácticamente mantuvo su superficie en la zafra 2004/2005, descendiendo a 177 mil has en 2005/2006 (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2005).

La escasez de tierras nuevas o con mucho descanso en las zonas arroceras, el precio del grano y las altas inversiones en infraestructura (embalses, red de canales y drenajes, caminería, etc.), obligan a una mayor eficiencia de producción y uso del recurso suelo.

La intensificación en el uso del suelo en el área arroceras a pesar de los avances de la investigación nacional, continúa teniendo algunas limitantes como el enmalezamiento progresivo de las chacras, el aumento de la incidencia de enfermedades, las limitadas posibilidades de aumento de su frecuencia en



las rotaciones con pasturas y la ausencia de rotaciones más intensivas que incluyan cultivos graníferos.

Según la Encuesta Arrocera 2001/2002 (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2002), del total del área arrocera, el 27% estaba ocupado por este cultivo, 14% ocupado por praderas, verdeos y mejoramientos, solo el 0,6% lo ocupaban otros cultivos cerealeros e industriales y entre campo natural (en descanso), tierras preparadas y rastrojos ocupaban el 52% del área. La Encuesta Arrocera 2005/2006 (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2006), muestra que el arroz sobre campo nuevo es solo el 5,8% de lo sembrado, los retornos sobre campo natural representan el 28% de la superficie sembrada, los retornos sobre praderas y otros retornos son el 21%, y el restante 46% es arroz sobre arroz.

Queda en evidencia la baja eficiencia en el uso del suelo por una baja frecuencia del cultivo y la importante proporción del área que permanece improductiva. También se aprecia el potencial inexplorado y el lugar que podrían ocupar los cultivos forrajeros y los graníferos en rotaciones con el arroz. Estos, además de ocupar las tierras que actualmente quedan en descanso, contribuirían a aumentar la productividad y eficiencia global del sistema con los consiguientes beneficios para el productor y el país.

En tal sentido la soja se abre como una alternativa por su adaptabilidad a diversos ambientes, por la posibilidad de controlar malezas, disminuir la presión de inóculo de algunos patógenos del arroz y por las características de su rastrojo que facilitan la preparación del suelo luego de su cultivo.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación “Evaluación del cultivo de soja en rotación en el sistema arrocero del norte”. En esta instancia se evalúa el comportamiento del cultivo de arroz en siembra directa sobre distintos antecesores, siendo estos arroz, soja y barbecho. Se determinarán las posibles diferencias en nutrientes en suelo y planta, enmalezamiento, rendimiento en grano, componentes del rendimiento y su evolución, y calidad industrial.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. CULTIVO CONTINUO**

Según Litzenberger, citado por Priore et al. (1980), con el cultivo continuo de arroz, el suelo generalmente pierde su fertilidad y su materia orgánica. El resultante deterioro de las condiciones físicas del suelo, dificulta considerablemente la preparación de la tierra para la obtención de una buena cama de siembra. Además el suelo se va infestando progresivamente de malezas y enfermedades que disminuyen el rendimiento y la calidad del arroz.

Gamarra (1996) identifica una serie de problemas en el cultivo continuo de arroz y que empiezan a manifestarse si se planta por más de dos años en el mismo campo usando la tecnología tradicional. Las principales dificultades son:

- pérdida de nutrientes y materia orgánica del suelo,
- deterioro de las condiciones físicas del suelo,
- infestación creciente de malezas,
- problemas de nivelación y drenaje,
- mayor incidencia de enfermedades y plagas.

También se ha encontrado que suelos cultivados con arroz en forma continua tienen mayores niveles de compuestos fenólicos que otros sistemas, siendo enriquecidos en un 46% en ácido ferúlico y ácido p-hydroxycinnamico, y en un 16 a 25% en otros fenoles. La acumulación de compuestos fenólicos en el suelo bajo condiciones de anaerobiosis es acompañada por: i) lenta mineralización de nitrógeno orgánico al final del ciclo e inmovilización del nitrógeno de la urea; ii) una aparente deficiencia de nitrógeno al final del ciclo del cultivo; y iii) una brecha en rendimiento de arroz (Olk et al., 2005).

De acuerdo con Topolanski (1975), en el caso del arroz, como en el de cualquier otro cultivo, se cumple el siguiente concepto básico: la productividad y la calidad disminuyen en forma permanente con el mismo cultivo en el mismo terreno.

Topolanski (1975), encuentra que en la Argentina, sur de Brasil y Uruguay, es común la siguiente escala decreciente de producción en los arrozales de regadío sin rotaciones:

1er. Año: superior a 5000 kg/ha (arroz cáscara)  
2do año: de 3000 a 4000 kg/ha  
3er año: 2500 a 3000 kg/ha  
4to año: alrededor de 2000 kg/ha

También menciona que con la continuidad del cultivo, además de que la fertilidad disminuye y la asimilación de nutrientes se dificulta, año a año aumenta la acción nociva de los enemigos del arroz, refiriéndose a insectos, hongos, nematodos, bacterias y virus.

Recientemente en Arkansas, Anders et al. (2005) obtienen valores de rendimiento en grano de 8010 kg/ha en el primer año de cultivo, el que desciende a 6650 kg/ha en el tercer año.

## **2.2. MANEJO TRADICIONAL**

Según Gamarra (1996), el uso tradicional de la tierra comprende dos años de arroz sembrados en forma alternada o continua y 6 o 7 años de descanso. Por lo tanto en diez años se planta arroz solo en dos. El uso de la tierra es totalmente ineficiente, por la reducida frecuencia del cultivo, y por el bajo rendimiento del rastrojo en la producción de carne, que se ubica en los 50 a 60 kg/ha/año. También menciona que la restauración de la fertilidad y condiciones físicas del suelo, son logradas naturalmente.

Por otra parte existe una gran subutilización de la infraestructura de riego, de drenaje y de la red de caminos. El incremento del área cultivada registrado en los últimos años y el hecho de que la tierra nueva o con mucho descanso es un recurso limitado en esta zona, ha llevado a que la rotación tradicional de dos años de arroz en diez, no pueda ser sostenida.

### **2.2.1. Malezas**

Bernardes (1945), expresa que una vez trabajadas las tierras que habían sido transformadas en pasturas por espacio de un decenio, el arroz rojo que existía en el suelo nacía como si fuese plantado. En virtud de su tendencia a desgranar, cuando maduro, la mayor parte del rojo queda en la chacra y germina en la zafra siguiente. Si las condiciones son desfavorables se conserva en el suelo por muchos años sin perder su poder germinativo. Siendo más rústico y resistente que las variedades cultivadas, las elimina en la competencia vital y en breve predomina en el cultivo contribuyendo a la baja producción por hectárea y a la mala calidad del producto.

Topolanski (1975), haciendo referencia a los “retornos”, constata que la planta de arroz crece satisfactoriamente pero las malezas y otras plagas pronto

predominan. Continúa diciendo que parece ser que el factor predominante es la presencia de las malezas y otras plagas más que el problema de la fertilidad.

De Datta (1981), dice que la posibilidad de incremento de una cierta especie de maleza o grupo de especies es mayor si el mismo cultivo es hecho año tras año.

### **2.3. ROTACIONES**

El arroz, al igual que la mayoría de los cultivos, responde favorablemente a la rotación con otros cultivos, pero estos deberán ser cultivos adecuados, capaces de brindar beneficios (Topolanski, 1975). Los enemigos del arroz necesitan el mismo ambiente que el arroz para crecer. Partiendo de esa premisa se procede a implantar un tipo de rotaciones para conformar un ambiente distinto.

Según Olaizola, citado por Topolanski (1975), además del beneficio directo que se obtiene en forma de productos pecuarios, las praderas y los cultivos forrajeros de leguminosas bien explotados restablecen la fertilidad del suelo y mejoran sustancialmente la estructura del mismo.

#### **2.3.1. Efecto sobre el enmalezamiento**

La mayoría de las malezas que compiten con el arroz requieren condiciones similares a este, es decir, terrenos anegados. El uso alternativo de un año de arroz y dos o tres de ganadería con cultivos de secano, modifica ese medio, produciéndose disminución de algunas especies, aunque sin lograr total erradicación, sobre todo aquellas que poseen frutos latentes, germinación gradual, u órganos vegetativos como bulbos, rizomas, etc (Pedrotti, 1984).

La rotación de cultivos minimiza el imperturbado desarrollo de malezas (De Datta y Jereza, citados por De Datta, 1981). En muchas instancias, la rotación de cultivos puede eliminar o al menos reducir los problemas de malezas (De Datta, 1981). Los mismos autores estudiando distintas rotaciones que incluían maíz y soja con arroz muestran que varios cultivos y prácticas de manejo de suelo causan un cambio en la comunidad de malezas, de especies que son difíciles de controlar a malezas que son de más fácil control.

Beecher et al. (1994b) expresa que secuencias de cultivos que utilicen alternativamente arroz y pasturas o cereales de invierno pueden proveer medios de control de malezas perennes y acuáticas cuyo desarrollo se vería favorecido con el cultivo continuo de arroz.

### **2.3.2. El N en la rotación**

Según IRRI (1979), cuando los suelos de arrozales son drenados para cultivos de secano en verano, la materia orgánica se descompone vigorosamente debido a las altas temperaturas y al adecuado contenido de humedad. Consecuentemente, una gran cantidad de N del suelo es suministrada al cultivo de secano siguiente. El autor también afirma que el contenido total de N del suelo desciende a medida que el número de cultivos de secano aumenta. Cuando los campos retornan al cultivo de arroz luego de 1 o más años de cultivos estivales de secano, el rendimiento del arroz es significativamente más alto que cuando los campos son continuamente cultivados con arroz (Shiroshita, citado por IRRI, 1979). El aumento del rendimiento puede ser atribuido principalmente al incremento del suministro de N del suelo aunque también puede ser causado por cambios en otras características del suelo.

De acuerdo con IRRI (1979), el incremento del suministro de N por el suelo es solo temporario y debe convergir hacia un valor estable de acuerdo con el contenido de humus del suelo. Consecuentemente, el rendimiento en los retornos desciende a medida que los años de cultivo de arroz aumentan.

Ahmad et al. (2001) expresa que cultivos anuales de legumbres, en rotación con cereales, contribuyen al pool total de nitrógeno en el suelo y aumentan el rendimiento de los cereales.

#### **2.3.2.1. Tipo de cultivo usado en la rotación.**

De acuerdo con IRRI (1979), el efecto del tipo de cultivo en la capacidad de aporte de N del suelo depende de la cantidad y del contenido de N de sus restos. El potencial de suministro de N en chacras donde cultivos de secano fueron cosechados está influenciado por el balance de N durante la descomposición de los restos del cultivo. Cuando el contenido de N del rastrojo es mayor que 1,5% en base seca, el N se libera desde el comienzo de la descomposición. Si su contenido es menor, la descomposición del rastrojo induce la inmovilización de N por un cierto período (Ogawa y Dei, citados por IRRI, 1979).

Ahmad et al. (2001) usando dos especies del género *Vigna* para grano encontraron que el nitrógeno fijado por un cultivo anual de éstas leguminosas oscila entre 26 y 36 kg/ha. El nitrógeno del suelo ahorrado por cultivo de las leguminosas varió entre 2 y 26 kg/ha

### **2.3.3. Tipos de rotaciones.**

#### **2.3.3.1. Rotación con cultivos anuales**

Gamarra (1996), menciona que la infraestructura para riego que se posee para el arroz, puede ser usada para el cultivo alternativo en caso de sequía. Por otra parte la nivelación y el drenaje en chacras bien trabajadas, permite mejorar las condiciones en veranos lluviosos. Los resultados de los ensayos llevados a cabo por la Estación Experimental del Este, donde los cultivos utilizados fueron soja, sorgo y maíz, pueden resumirse de la siguiente manera:

##### *Ventajas para el arroz:*

- control de malezas problema, especialmente gramas y arroz rojo.
- Mejora de la nivelación y drenaje.
- Ayudan a recuperar condiciones físicas del suelo.
- Aprovechamiento de la mayor fertilidad del suelo.

##### *Desventajas para el arroz:*

- competencia con el arroz por maquinaria, mano de obra y agua de riego en momentos claves.
- Algunas enfermedades pueden ser comunes a ambos cultivos como es el caso de *Rhizoctonia* en soja.

En cuanto al resultado productivo del cultivo de arroz en rotación, los arrozales tuvieron rendimientos de 0,6-1,1 t/ha más altos en rotaciones con cultivos de leguminosas que en rotación con cereales (Ahmad et al., 2001).

#### **2.3.3.2. Rotación con pasturas.**

El modelo desarrollado por la Estación Experimental del Este durante las décadas del 70 y 80 consistía en dos años de arroz y cuatro de praderas, y demostró ser en su conjunto mucho más productivo que el sistema tradicional (Bonilla et al., 2001).

Una nueva rotación más intensa es evaluada en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (Bonilla et al., 2001). La secuencia es la siguiente: 1ª cultivo de arroz-siembra de raigrás sobre el rastrojo del primer cultivo de arroz-laboreo de verano con resiembra natural del raigrás-2ª cultivo de arroz-siembra de pradera en cobertura inmediatamente a la cosecha del segundo arroz-laboreo de verano sobre pradera de 2 años con resiembra natural de la pradera-1ª arroz, y así sucesivamente. Esto significa que el 40% del área cultivable está bajo arroz cada año. La anterior rotación, dos/cuatro significaba un 33% de arroz.

La técnica consiste en la implantación de gramíneas y leguminosas en cobertura directamente sobre el rastrojo de arroz recién cosechado, sin efectuarse labores preparatorias, y mediante siembra aérea (Gamarra 1996, Carámbula 2002). Las ventajas de este sistema son las siguientes (Gamarra 1996, Carámbula 2002):

- Siembra inmediata a la cosecha, lo cual permite adelantar en un año el pastoreo de la pradera, frente a otras alternativas de mejoramiento de rastrojos.
- Aprovechamiento de la fertilidad residual del cultivo.
- Seguridad de implantación, ya que los restos de paja ayudan a mantener la humedad del suelo, protegen contra heladas y evitan el endurecimiento de la superficie del suelo.
- No hay competencia inicial de malezas
- El uso del avión asegura la siembra en el momento oportuno, permite independencia del estado del terreno; es un método rápido y no compite con el uso de máquinas en la cosecha
- Bajo costo de siembra, por los factores antes mencionados.

Esta siembra en cobertura presenta ciertas restricciones, ya que para lograr el éxito es necesario que el cultivo de arroz haya recibido una nivelación correcta y que existan vías de drenaje superficiales (Carámbula, 2002).

## **2.4. ROTACIÓN CON SOJA**

### **2.4.1. Efecto sobre el enmalezamiento**

Bernardes (1945), aconseja el cultivo de la soja en las chacras de arroz para la producción de granos y para la limpieza de la tierra, pues exigiendo diversas carpidas ayuda a la extinción del arroz rojo. Según Gamarra (1996), la rotación con soja permite una buena expectativa de control de malezas, como arroz rojo o gramas, en este caso en condiciones más bien secas. Este control se logra por medio de herbicidas adecuados y de carpidas sucesivas. En el mismo sentido, Díaz et al. (2003), encontraron que la rotación arroz-soja permitió reducir en más de 98% el banco de arroz rojo en dos años.

Erasmus et al. (2004), compararon la composición florística de comunidades de plantas dañinas presentes en áreas agrícolas manejadas en

diferentes sistemas de producción de arroz irrigado. Entre los métodos de manejo utilizados estaba un área sin rotación de cultivos (arroz/descanso) y un área con rotación de arroz con soja, ambas con más de cinco años.

En el área de producción de arroz sin rotación, las especies que presentaron mayor importancia relativa fueron: *Cyperus iria*, *Murdannia nudiflora* y *Fimbristylis miliacea*. En el área de producción de arroz rotada con soja, las especies que presentaron las mayores índices de importancia relativa fueron: *Cyperus esculentus*, *Digitaria horizontalis* y *Echinochloa colonum*. Se verificó que en el área sin rotación hubo mayor predominio de especies de las familias Poaceae e Compositae; en el área con rotación arroz-soja el mayor predominio fue de las especies de las familias Poaceae e Cyperaceae.

Concluyen que la utilización de un mismo sistema de cultivo en un área determinada por varios años puede aumentar la presión de selección sobre las comunidades de plantas dañinas, seleccionando las especies más adaptadas al sistema de cultivo, tanto como favorecer el surgimiento de plantas resistentes a herbicidas.

#### **2.4.2. El N en la rotación con soja**

El rastrojo de las leguminosas contiene mucho más N que el de los cereales (IRRI, 1979).

Gamarra (1996), refiriéndose a la rotación con soja, expresa que en cuanto a la posibilidad de que deje un residuo de N aprovechable por el arroz, los resultados de la Estación Experimental del Este no han encontrado que esto ocurra, y se produce una alta respuesta a N en el arroz subsiguiente.

En contrapartida, Anders et al. (2005), encuentran que la absorción de N fue de 107-114 kg/ha en el cultivo continuo de arroz, mientras que en la rotación con soja la absorción por parte del arroz fue de 145-149 kg/ha. Anders et al. (2004) encuentra también menor absorción del nutriente con el cultivo continuo de arroz que con la rotación soja-arroz.

Olk et al. (2005) encuentran que la absorción del fertilizante nitrogenado marcado con N-15, ocurrió mayoritariamente durante los estadios tempranos de crecimiento del cultivo y fue mayor en la rotación soja-arroz que en la secuencia arroz-arroz, siendo la diferencia de 7 kg N/ha en primordio y de 14 kg N/ha a cosecha. La absorción de nitrógeno del suelo no marcado continuó a lo largo de la estación de crecimiento. Las diferencias en este caso fueron de 6 kg de N/ha a favor de la rotación con soja en las etapas de primordio y 50% de “embarrigado”, y de 24 kg N/ha a cosecha.



### **2.4.3. El P en sistemas arroz-leguminosa para grano.**

Jiang et al., citado por Palmer et al. (1990), condujeron un estudio en China en manejo de estrategias para hacer el mejor uso del P residual en una rotación soja-arroz irrigado; concluyeron que cuando el fertilizante fosfatado era aplicado al cultivo de soja de secano, el efecto residual era suficiente para satisfacer los requerimientos del cultivo de arroz irrigado subsiguiente. En contraste, la aplicación de P al cultivo de arroz irrigado dejó un residuo de P que no fue suficiente para obtener el máximo rendimiento en la cosecha de la soja siguiente. También Srivastava y Pathak, citados por Pandey et al. (1990), notaron que aplicando P a la leguminosa en un modelo de cultivo arroz-leguminosa, era más benéfico que aplicar la misma cantidad al arroz.

En base a muchos años de estudio de sistemas de cultivo en India, el P es aplicado a los cultivos de estación seca, como leguminosas para grano, en lugar de aplicarle al arroz de estación húmeda. Es asumido que las leguminosas no pueden usar efectivamente el Fe-P, el cual es el producto mayoritario de la transformación del P luego del arroz irrigado. Aunque en suelos muy deficientes en P, es necesaria la aplicación a ambos cultivos (Mahapatra et al., citados por Pandey et al., 1990).

Gamarra (1996) refiriéndose a ensayos de rotación arroz-soja llevados a cabo en la Estación Experimental del Este, expresa que no se encontró respuesta al agregado de P luego de soja, debido a que su nivel fue aumentando a través de los años en la rotación, como lo muestra el cuadro 1.

**Cuadro 1. Nivel de fertilidad del suelo solod medido a través del P (Bray 1). Nivel de P en ppm (Blanco, citado por Gamarra, 1996).**

Rotación	1979	1980	1982	1984	1985	1986	1987
Arroz-soja	2	4	10	14	15	18	12
Soja-arroz-barbecho	2	4	13	14	9	11	10

### **2.4.4. Rendimiento en grano de arroz en rotación con soja.**

Varios autores coinciden en la obtención de mayores rendimientos en grano de arroz cuando éste cultivo sucede al de soja. Olk (2005) en Arkansas, encuentra que el cultivo continuo de arroz rindió entre 12 y 23 % menos, que cuando éste siguió a la soja.

Anders et al. (2005), compararon distintas rotaciones con arroz, entre las que se encontraban cultivo de arroz continuo y arroz-soja, y en cada rotación compararon distintos niveles de fertilización, y laboreo convencional vs. no laboreo. La rotación explicó la mayor parte de las diferencias en rendimiento,

siendo éste significativamente menor en el cultivo continuo que en la rotación con soja.

Mascarenhas et al. (1998), estudiando el efecto de la rotación maíz, soja y arroz con y sin rotación complementaria con crotalaria (*crotalaria juncea*, familia *leguminosae*) en el invierno, verificaron que en el cultivo de arroz, la rotación tuvo efecto benéfico, en relación al tratamiento solo con arroz. La producción de arroz fue mayor cuando éste sucedió a la soja.

Kurtz et al. (1993), estudiando distintas secuencias de cultivos sobre suelos arcillosos de Mississippi, encontraron que el rendimiento de arroz fue mayor en las rotaciones que con cultivo continuo. Con las rotaciones 2 años de arroz-2 de soja, 1 de arroz-1 de soja y 3 de arroz-1 de soja, se obtuvieron los mejores resultados, siendo la secuencia 2 de arroz-2 de soja significativamente mayor que 3 de arroz-1 de soja.

## **2.5. ROTACIÓN CON PASTURAS**

### **2.5.1. Especies forrajeras**

Las especies forrajeras que mejor se adaptan a estos mejoramientos son trébol blanco, lotus y raigrás, siendo la especie citada en primer término, la forrajera que hace una mayor contribución en los mismos (Carámbula, 2002).

Según Lattimore (1994), el trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*) se adapta muy bien al clima y al sistema de manejo en la rotación arroz-pasturas del sureste de Australia. Esta especie sobrevive veranos secos y calurosos al producir grandes reservas de semillas enterradas y por su alta proporción de semillas duras le permite una regeneración exitosa incluso luego de un cultivo de arroz. El raigras anual (*Lolium rigidum*) y el Falaris han sido tradicionalmente cultivados en mezclas con el trébol subterráneo para lograr una pastura balanceada. Con riego es posible lograr producciones anuales de materia seca de 12-16 tt/ha.

Pasturas perennes basadas en *Paspalum dilatatum* y trébol blanco producen grandes cantidades de MS (más de 20 tt/ha) durante el verano y el otoño, también con riego. Sin embargo esta mezcla no es muy popular debido a sus altos requerimientos de agua y manejo, y al potencial de enmalezamiento con *Paspalum* en la fase de cultivos.

La alfalfa (*Medicago sativa*) no ha sido considerada en las rotaciones con arroz debido a su pobre adaptación a suelos pesados y al anegamiento. El desarrollo de cultivares de Alfalfa con adecuada resistencia a plagas y

enfermedades y adaptados a suelos pesados (Anon, citado por Lattimore, 1994), y con gran potencial de producción bajo riego (más de 25 tt/ha de MS), podría permitir que fuera utilizada en rotaciones con arroz en el futuro.

Varios factores limitan el potencial productivo de las forrajeras, entre ellas, baja producción en determinadas estaciones del año, condiciones de anegamiento, altas temperaturas y evaporación en el verano, enfermedades, etc.

Nuevos cultivares y especies han mostrado ventajas en algunas características. Los tréboles *T. michelianum*, *T. resupinatum* y *T. alexandrinum* han logrado producciones aceptables en períodos cortos (6 meses).

### **2.5.2. Efecto del tapiz anterior sobre el arroz.**

Méndez et al. (1997), estudiando efectos de distintas densidades de siembra e intensidad de cortes de un raigrás en la implantación del arroz, muestran su incidencia desfavorable. El rendimiento fue decreciendo en forma significativa a medida que se pasaba de una densidad de siembra de 0 kg/ha y manejo intenso, a la densidad de 40 kg/ha y aliviado.

En cuanto a la implantación observaron que en la medida que el raigrás queda más alto hay una reducción en el número de plantas siendo mayor la diferencia entre la densidad de 40 kg/ha con la de 20 kg. No vieron diferencias en la densidad de siembra normal del raigrás (20 kg/ha) y las parcelas que no lo tuvieron.

La densidad de siembra del raigrás afectó el número de panojas por metro cuadrado siendo más alto el registro en el promedio de las parcelas que no tenían raigrás. El manejo de los cortes en el raigrás incidió en los granos llenos y totales por panoja, siendo mayores ambos componentes con el manejo alto.

Méndez et al. (2002), determinaron los efectos del anticipo de las aplicaciones de glifosato con respecto a la fecha de siembra sobre la performance y productividad del cultivo. Los resultados fueron favorables a las aplicaciones anticipadas, tanto en número de plantas como en rendimiento. El N absorbido y el porcentaje de N al inicio del macollaje también fueron superiores en los tratamientos con dos aplicaciones previas a la siembra frente a una única. Las malezas nacidas en las parcelas que tuvieron una aplicación probablemente consumieron el N liberado en la aplicación anticipada.

En ensayos previos (Méndez y Deambrosi, citados por Méndez et al., 2002) en los cuales se realizaron aplicaciones únicas de glifosato con 40 y 13 días previos a la siembra, no hubo respuesta en rendimiento a la aplicación

anticipada. Posiblemente las causas principales son la falta de otra aplicación previa a la siembra para eliminar las malezas y a que existió un mayor período entre la última aplicación y la siembra.

Méndez et al. (2002), concluyen que el barbecho químico es favorable en la nutrición temprana del cultivo y en el rendimiento en grano si se realiza con el número necesario de aplicaciones de glifosato. Es notoria la incidencia de un mayor aporte nitrogenado pero para que el cultivo pueda beneficiarse es necesario controlar las malezas que nacen luego de un período tan largo.

Méndez et al. (2004), estudiaron el efecto de distintas fechas de aplicación de glifosato sobre una pradera. Los tratamientos iban desde 58 días previo a la siembra, hasta 1 día previo a ésta. En el análisis de N como nitratos se registraron 18,4 ppm para el tratamiento con mayor anticipo y 4,3 ppm para el tratamiento con aplicación el día antes de la siembra. Esto significó una diferencia de 27 kg/ha de N (59 kg de urea).

Se encontró menor humedad en el tratamiento con aplicación el día previo a la siembra y no se detectaron diferencias en densidad aparente. También se apreció que las parcelas con el mayor anticipo del glifosato y a pesar de realizarse una segunda aplicación, tendieron a presentar un porcentaje mayor de capín en el suelo.

Young-Son Cho (2005) en Japón, evaluó el efecto de cuatro sistemas de cultivo de arroz (barbecho, trébol blanco, raigras y raigras-trébol blanco) con tres niveles de rastrojo (0, 5 y 10 t/ha), bajo siembra directa y sin fertilización. La germinación de semillas de arroz fue mayor en el sistema trébol blanco-arroz (60-68%) seguido del sistema raigras y trébol blanco-arroz (56-57%), para los tratamientos con 0 y 5 t/ha de rastrojo respectivamente.

El trébol blanco sembrado sobre un mulch de rastrojo de arroz poco espeso bajo estas condiciones produce rendimientos de arroz moderados. No es recomendado un mulch de rastrojo de arroz muy espeso cuando se siembra trébol blanco o trébol blanco con raigras porque va en detrimento de la producción de biomasa del trébol. Sin embargo, el mulch de rastrojo es esencial en los sistemas barbecho-arroz y raigras-arroz para favorecer la germinación de semillas y el establecimiento de las plántulas mientras que provee nutrientes al arroz en estadios avanzados de desarrollo.

### **2.5.3. Efecto sobre el enmalezamiento**

Gamarra (1996), afirma que si la pradera esta bien drenada, puede ayudar a disminuir la presencia de malezas perjudiciales para el arroz. Sin embargo

encuentra que la rotación con praderas no redujo los niveles de malezas y éstas se beneficiaron por los altos niveles de P residual. Señala que si no se drena bien, puede haber proliferación de gramas que además aprovechan la fertilidad de la pradera. Aún en el caso de que se drene bien, se ha constatado un aumento de la incidencia de gramilla (*Cynodon*), que afecta luego la preparación de la tierra para el arroz y el trabajo de nivelación, y puede competir en las primeras etapas del cultivo. También advierte que si la implantación de la pradera no es buena puede aparecer capín e inclusive arroz rojo y llegar a sembrar si no se pastorea adecuadamente.

Lattimore (1994) en Australia, expresa que pasturas anuales son incluidas como un medio efectivo de control de malezas en rotaciones con arroz, particularmente *Echinochloa crus-galli*. Anon, citado por Lattimore (1994) asegura que se reducen los problemas de *Echinochloa* luego de una fase de pasturas. Estudios de germinación de semillas de poblaciones de diferentes rotaciones de cultivos (Williams, citado por Lattimore, 1994) sugieren que 4-5 años de pasturas irrigadas reduciría el número de semillas viables de malezas. Fases largas de pasturas ayudarían al control de malezas como *Alisma lanceolatum* al reducir la viabilidad de sus órganos subterráneos (Pollock, citado por Lattimore, 1994).

Sin embargo, Boerema y McDonald, citados por Lattimore (1994), sugieren que en la práctica, la interferencia por malezas puede ser más severa en el siguiente cultivo, debido al incremento de la fertilidad del suelo.

McIntyre (1985), expresa que ha sido demostrado que a partir del uso de rotaciones de cultivos para controlar problemas de malezas, la ausencia de nuevos aportes de semillas, provoca que las poblaciones existentes en el suelo declinen. En efecto, las dos menores densidades de semillas en este estudio, fueron encontradas en sitios donde se rotó con pasturas y la mayor ocurrió donde el cultivo continuo fue realizado durante 7 años. Sin embargo el patrón es inconsistente, y un gran número de semillas de malezas acuáticas fue encontrado en uno de los sitios donde se había rotado con pasturas. Esto puede ser explicado por la acumulación de semillas con dormancia en los cultivos previos de arroz, ya que bancos de semillas persistentes son característicos de malezas de cultivos (Grime, Thompson y Grime, citados por McIntyre, 1985).

También encuentra que un cierto número de especies semi acuáticas son tanto habitantes de las pasturas como malezas del arroz, por ejemplo, *Cyperus eragrostis*, *Rumex tenax*, *R. crispus*, *Juncus spp.*, y *Eragrostis parviflora*. Menciona que es probable que pasturas irrigadas provean un ambiente marginal para *Cyperus difformis* y *Elatine gratioloides* (especies encontradas en mayor proporción en todos los tratamientos), y que alguna contribución

pueda ser hecha al banco de semillas durante la rotación con pasturas. Sin embargo, esta sería muy limitada comparando con el potencial de aporte de semillas durante el cultivo de arroz.

#### **2.5.4. Efectos en la materia orgánica**

Deambrosi et al. (2004), midieron la evolución del contenido de materia orgánica de suelos en los que se practicó la rotación arroz-pasturas. Encontraron niveles iguales o superiores al año de inicio. Da Rosa (1981), comparando distintos antecesores de un cultivo de arroz, encuentra que el contenido de materia orgánica en el suelo que viene de pradera (2,2-2,5%), es algo superior a los del retorno (2.0%), y prácticamente alcanzan a los del suelo natural (2.8%).

Gijsman et al. (1997), en Colombia implementaron distintas rotaciones de arroz con praderas que incluían gramíneas con leguminosas o solo gramíneas, y lo compararon con cultivo continuo de arroz y con campo natural (sabana) (cuadro 2).

**Cuadro 2. Rotaciones realizadas. Adaptado de Gijsman et al. (1997).**

<b>Hasta 1988</b>	<b>1989</b>	<b>1990-1992</b>	<b>1993</b>
Sabana nativa	arroz	Gramíneas y leguminosas.	Gramíneas y leguminosas.
Sabana nativa	arroz	Gramíneas	Gramíneas
Sabana nativa	arroz	Gramíneas y leguminosas	Arroz
Sabana nativa	arroz	Gramíneas	Arroz
Sabana nativa	arroz	arroz	Arroz
Sabana nativa	Sabana nativa	Sabana nativa	Sabana nativa

Las parcelas con arroz continuo y sabana tuvieron un contenido relativamente bajo de carbono orgánico, comparados con los cuatro tratamientos que involucraron un ciclo de pasturas, aunque las diferencias no fueron siempre significativas. El contenido de carbono en la biomasa microbiana no varió mucho entre los tratamientos.

Las parcelas que estaban ocupadas con arroz al final del experimento (1993), momento en que se realizaron los muestreos, mostraron una tasa de mineralización de carbono más baja que las parcelas que estaban con pasturas. Dentro de los tratamientos arroz-pasturas, la leguminosa tuvo un efecto positivo en la mineralización del carbono, pero ese efecto se perdió luego que la pastura fuera rotada con arroz. El cociente metabólico (tasa de mineralización del carbono por unidad de biomasa) C (qCO<sub>2</sub>) fue más alta en el tratamiento arroz-pasturas con leguminosas y más bajas en el tratamiento

arroz continuo. Los dos tratamientos que incluían leguminosa en la rotación tuvieron una  $qCO_2$  significativamente más alta que los con pasturas sin leguminosas.

El  $qCO_2$  más elevado de las parcelas con pasturas indica que una fracción mayor del total de la población microbiana estuvo activa (por una mayor disponibilidad de sustrato) o que la eficiencia de uso de la energía (carbono) de esos organismos fue más baja. Para las parcelas con arroz continuo, lo opuesto se podría aplicar.

La eficiencia de uso del carbono por la biomasa microbiana ha mostrado que varía con el laboreo del suelo (Linn y Doran, Holland y Coleman, citados por Gijsman et al., 1997) y con el aporte de residuos de plantas (Anderson y Domsch, citados por Gijsman et al., 1997) a través de cambios en la composición de la comunidad microbiana (ej. Aerobios vs. Anaerobios y hongos vs. bacterias). Anderson y Domsch, citados por Gijsman et al. (1997) sugieren que la mayor diversidad química de los residuos de plantas bajo rotación de cultivos favorecerían a microorganismos con mayor eficiencia de uso de la energía y por lo tanto una menor  $qCO_2$ . Sin embargo los  $qCO_2$  encontrados en este experimento indican precisamente lo opuesto a lo que sugiere esta hipótesis. Además, la mayor  $qCO_2$  fue encontrada en el tratamiento arroz-pasturas con leguminosas, el que tuvo el aporte de materia orgánica más rica en nitrógeno (relación C/N microbiano), resultando en una fuente de energía de alta calidad que puede ser metabolizada eficientemente (Smith, citado por Gijsman et al., 1997).

Una fracción mayor de los microorganismos debió haber estado activa bajo pasturas que con arroz, probablemente debido a diferencias en el aporte de materia orgánica. En sistemas de cultivos, el aporte de materia orgánica ocurre como un pulso anual o semi anual, pero en pasturas, el aporte es continuo debido a la senescencia, partes de tallos cortados durante el pastoreo, heces y orina. Además, con cultivos, una cantidad menor de residuos retorna al suelo, porque gran parte de la planta es cosechada y retirada del campo. Como resultado, la comunidad microbiana bajo pasturas es probablemente más activa.

#### **2.5.5. El N en la rotación con pasturas**

IRRI (1979), señala que el raigras deja residuos tan altos como de 5 tt de MS/ha, y que si éste se cultiva por un largo período, el contenido de materia orgánica del suelo aumenta año a año, por lo tanto aumenta el potencial de suministro de N del suelo.

Da Rosa (1981) comparando suelos con distintos usos, encuentra que el % de N total de la pradera (0.13%), supera levemente las cantidades del suelo virgen (0.12%), mientras que el retorno es algo inferior (0.10%).

Según Beecher et al. (1994b), la fertilización nitrogenada y el uso de leguminosas forrajeras incrementan el tamaño del pool de N mineralizable, por lo tanto proveen más N para la utilización por el cultivo de arroz.

#### **2.5.5.1. Relación C/N**

Gijsman et al. (1997), compararon arroz continuo, con rotaciones arroz-pasturas con y sin leguminosas y campo natural (sabana). El contenido de nitrógeno en la biomasa microbiana fue considerablemente más bajo en el tratamiento arroz continuo que en los demás tratamientos. Consecuentemente, la relación C/N de la biomasa microbiana fue una vez y media más alta bajo cultivo continuo que con rotación. La relación C/N en la sabana fue levemente mas alta que en los tratamientos con rotación. El sistema arroz-pastura con leguminosa tuvo la relación más baja si bien las diferencias no fueron significativas comparado con el sistema arroz-pastura sin leguminosa.

La relación C/N microbiana en los distintos tratamientos estuvo dentro de los rangos considerados normales por la literatura. Solamente el tratamiento arroz continuo tuvo una relación más alta. Esto probablemente refleja la incorporación a la cosecha de residuos con bajo contenido de nitrógeno, con relaciones C/N de alrededor de 106. El nitrógeno dejado por la fertilización obviamente no fue suficiente debido a la elevada relación C/N del material. Otra posibilidad es la más alta relación C/N en los hongos que en las bacterias. Estos son una fracción más importante en la comunidad microbiana de este suelo probablemente debido a que en el tratamiento arroz continuo el suelo recibió cantidades más altas de restos frescos de plantas depositados en la superficie a la cosecha. Los hongos son más importantes que las bacterias en la descomposición de residuos en superficie.

#### **2.5.5.2. Aporte de N por el suelo: Mineralización neta, tasa de mineralización y mineralización acumulativa.**

Este nitrógeno es producido a través de la actividad de las bacterias nitrificadoras sobre residuos vegetales y animales (Carámbula, 2002).

Beecher et al. (1994b) condujeron un experimento en New South Wales, Australia, en el que se compararon distintas secuencias de cultivos, entre ellas arroz continuo, dos años de pasturas previo al arroz (fase corta de pasturas), y cuatro años de pasturas previo al arroz (fase larga de pasturas). La mineralización neta en el arroz continuo decreció constantemente a lo largo de



la estación, mientras que los tratamientos con pasturas incrementaron la mineralización en la mitad de la estación declinando al final. La tasa de mineralización fue mayor en los tratamientos con pasturas (3-4 kg N/ha.día) alrededor del día 85 pos siembra. El pico de tasa de mineralización para el tratamiento con cultivo continuo ocurrió también a los 85 días pos siembra pero alcanzó solo 2 kg N/ha.día en el tratamiento fertilizado y 1kg N/ha.día en el tratamiento sin fertilización. Hubo diferencias significativas en la mineralización acumulativa entre secuencias de cultivo, particularmente a partir de los 70 días pos siembra. El tratamiento con una fase larga de pasturas superó al de la fase corta aunque no significativamente. El tratamiento arroz continuo tuvo un valor de mineralización acumulativa significativamente más bajo.

Beecher et al. (1994a), estudiaron otras secuencias de cultivos que incluían 2, 3 y 4 años de pasturas previos a dos años de arroz. Encontraron que las secuencias de cultivos que involucraban pasturas tenían valores más altos de N en el suelo, que las secuencias con cultivos continuos. Aunque las pasturas fueron capaces de incrementar el suministro de N del suelo, fue requerida una cantidad adicional de fertilizante nitrogenado para maximizar los rendimientos.

La alta demanda de N luego de la iniciación panicular fue en parte satisfecha por la máxima mineralización de N que ocurrió en ese período (Beecher et al., 1994b).

Estos resultados son concordantes con los de (Da Rosa, 1981), quien señala que en el retorno hubo bajo aporte de N por parte del suelo desde las primeras etapas de desarrollo del cultivo, mientras que el suelo de la pradera aporta más N durante el ciclo del cultivo.

#### **2.5.5.3. Duración fase pasturas y N acumulado**

En Uruguay, García et al., citados por Carámbula (2002), determinaron que teniendo en cuenta el total de forraje producido en el año, puede considerarse que por cada tonelada de materia seca producida por una leguminosa, se fijan alrededor de 30 kg de nitrógeno.

Poggendorff, citado por Lattimore (1994), en un experimento de rotaciones de larga duración muestra que fases de pasturas largas (5-6 años) incrementan el rendimiento del cultivo de arroz. La fijación de nitrógeno está generalmente relacionada a la producción de MS de la leguminosa (Watson, citado por

Lattimore, 1994), entonces cuanto más larga y productiva sea la fase de pasturas, es probable que más nitrógeno sea fijado.

Lattimore (1994), cita a Heenan y Drummond, quienes examinaron el aporte de N de leguminosas perennes (Trébol rojo y alfalfa). Luego de 12 meses de crecimiento, las pasturas contribuyeron con un equivalente a 50 kg de N/ha al siguiente cultivo de arroz.

Los mayores rendimientos obtenidos, reflejan el aumento del N orgánico fijado en la fase de pasturas (Boerema y McDonald, citados por Beecher et al., 1994a). Pasturas de 2, 3 y 4 años de duración contribuyeron con un equivalente a 140 kg de urea/ha, al cultivo de arroz subsiguiente. Heenan (1987) citado por Beecher et al. (1994a), muestra que pasturas de leguminosas de 15-16 meses de duración contribuyen con un equivalente a 80 kg de urea/ha.

En cuanto al tipo de leguminosa usada (anual vs. perenne) los autores atribuyen la falta de respuesta al hecho de que la pastura perenne no fue óptimamente regada durante el verano. La fijación del nitrógeno debió haberse reducido por el estrés hídrico (Beecher et al., 1994a). Ellington, citado por Beecher et al., (1994a), presenta datos indicando rangos de fijación anual por tréboles perennes (45-673 kg N/ha. Año) y tréboles anuales (45-365kg N/ha. Año), aunque el promedio fue similar en ambos tipos de pasturas.

El cultivo de pasturas pudo haber incrementado la disponibilidad de N al momento de la inundación, pero puede incrementar también el potencial de denitrificación (Boerema, citado por Beecher et al., 1994b). Beecher et al. (1994a) al encontrar poca respuesta al largo de la fase de pasturas sugiere que una mayor mineralización pudo haber ocurrido en la fase de pasturas más larga, los cuales fueron luego sujetos al incremento de pérdidas por desnitrificación o lixiviación durante los sucesivos riegos. Alternativamente, la tasa de incremento de N pudo haber declinado con el tiempo resultando en una curva "plateau". Herridge, citado por Beecher et al (1994a), indica que la fijación del N declina a medida que los niveles de nitratos del suelo aumentan.

#### **2.5.5.4. Absorción de N**

Beecher et al. (1994b), encontraron que la secuencia de cultivos tuvo un efecto mayor en la absorción del nitrógeno por el cultivo. Hubo diferencias significativas en el consumo de nitrógeno a lo largo de la estación de crecimiento. A los 85 días después de la siembra los dos tratamientos con pasturas tomaron más nitrógeno ( $P < 0.05$ ) que el arroz continuo. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos con pasturas (fase corta y fase larga). En madurez fisiológica, la absorción de nitrógeno de los dos

tratamientos con pasturas y sin fertilización fue similar, y significativamente mayor que el arroz continuo. Los tratamientos con pasturas y fertilizados acumularon significativamente más nitrógeno a madurez fisiológica que los tratamientos con pasturas y sin fertilización.

La recuperación aparente del nitrógeno aplicado en la fertilización fue afectada por la secuencia de cultivos. La recuperación aparente de nitrógeno fue 59% en el arroz continuo, 26% en el tratamiento con pasturas de corta duración, y 25% para el tratamiento con fase larga de pasturas. La cantidad de N recuperado en la parte aérea representó alrededor del 70% de lo mineralizado durante la estación de crecimiento. Este porcentaje de extracción de N por las plantas fue aproximadamente constante entre las distintas secuencias de cultivos.

Las diferencias en absorción de N fueron atribuidas a las diferencias en la tasa de mineralización aparente, y no la concentración de N mineral *per se*. El hecho de que el 70% del N mineralizado fuera absorbido por el cultivo de arroz, sugiere que la absorción de este N está limitada por las pérdidas de N del sistema.

Al inicio de la estación de crecimiento hubo suficiente mineralización de N del suelo en los tratamientos con pasturas como para estimular el crecimiento a través del incremento de la absorción.

#### **2.5.6. El P en rotaciones con praderas.**

La mayor diferencia entre pradera y retorno se encuentra en el contenido de P, duplicando la pradera los valores del suelo natural y del retorno: pradera = 5.2-6.7 ppm; retorno = 2.2 ppm y perfil natural = 3.0 ppm (todas al Bray N°1) (Da Rosa, 1981).

Según Da Rosa (1981), el rendimiento del testigo de la pradera fue superior al del retorno. Estas diferencias desaparecen con el agregado de 40 unidades de P.

Hernandez et al. (2003), en estudios realizados durante varias temporadas de cultivo de arroz, cuantificaron la respuesta al agregado de P en el cultivo de arroz bajo diferentes situaciones de historia de chacra. Estas diferentes situaciones de manejo previo de los suelos marcaron diferencias importantes en los niveles de P asimilable de los suelos evaluados por diferentes métodos. Para los suelos de la zona este-noreste (grupo A) los valores promedio encontrados fueron: campo natural o regenerado (sin agricultura en los últimos 10 años) < retorno largo (suelos donde el último cultivo de arroz fue sembrado entre 4 y 10 años atrás, luego de los cuales el campo recuperó el tapiz natural)

< pradera (cultivos sembrados luego de praderas de 3 años con leguminosas con alguna fertilización baja durante el período) < retorno corto (suelos donde el último cultivo fue arroz 3 años atrás, luego de los cuales el campo recuperó el tapiz natural) < rastrojo del año anterior. Dicho orden guarda relación con la frecuencia y/o cercanía de la última fertilización con P. Para los suelos de la zona norte, con influencia del basalto (grupo B), la secuencia no es tan clara además de menores extracciones de P por parte de todos los métodos, indicando dificultades analíticas.

Hernandez et al. (2003), constataron que en aquellas situaciones donde existe menor residualidad de P (campo natural y retornos largos) existe efecto positivo de la fertilización fosfatada. Los sitios con historia más reciente de fertilización fosfatada (cultivo previo de arroz y praderas) mostraron menor respuesta a la fertilización con P, y ésta no resultó significativa.

Gijsman et al. (1997), comparando distintas rotaciones de arroz-pasturas, encuentran que los tratamientos que habían sido recientemente cultivados con arroz muestran valores de fósforo en suelo relativamente altos debido a la aplicación de fertilizante fosfatado para establecer el cultivo.

Los valores de fósforo en la biomasa microbiana fueron mas bajos con arroz continuo y sabana natural que con rotaciones arroz-pasturas. No se observaron diferencias significativas en el contenido de P de la biomasa entre las distintas rotaciones con pasturas, pero la relación C/P fue significativamente más bajo en los tratamientos que incluyeron leguminosas.

Cuando el contenido microbiano de nutrientes es expresado como una fracción del contenido total de nutrientes del suelo, el sistema arroz continuo se separa claramente por su baja relación  $P_{mic}/P_{org}$ . Esto puede ser atribuido no solo al bajo contenido de nutrientes microbianos, sino también a un incremento en el fósforo de la materia orgánica por la aplicación anual de fertilizante.

#### **2.5.7. El K en la rotación.**

Deambrosi et al. (2004), midieron la evolución del contenido de potasio de suelos en los que se practicó la rotación arroz-pasturas. Observaron una recuperación de los niveles que lucían deficitarios para el cultivo, resultado del intenso uso anterior.

Ten Have, citado por Da Rosa (1981), destaca la importancia que puede tener la incorporación de la paja del rastrojo al suelo en la reincorporación de K, Ca y Si.

#### **2.5.8. Enfermedades en la rotación con pasturas.**

De acuerdo con Avila et al. (2000), la Podredumbre del tallo y Mancha agregada (o manchado confluyente) de las vainas, causadas por los hongos del suelo *Sclerotium oryzae* y *Rhizoctonia oryzae sativae* respectivamente, se han transformado en las enfermedades más importantes para el cultivo en el país. El aumento de estas enfermedades se ha visto favorecido por el uso más frecuente de los suelos con arroz, al acortarse los ciclos de las rotaciones, así como por la dificultad cada vez mayor de ocupar suelos nuevos en algunas zonas.

Avila et al. (2000), Avila et al. (2001), y Avila et al. (2002), cuantificaron las poblaciones de *Sclerotium oryzae* y *Rhizoctonia oryzae sativae* presentes en el suelo en campos con diferentes historias de cultivo de arroz. Encontraron que los potreros con mayor intensidad de uso con arroz en los últimos diez años (5 y 6 cultivos en ese período), presentaron mayores densidades de esclerocios de *Sclerotium*, que los potreros con menor intensidad (2 y 3 cultivos en ese período).

Avila et al. (2002), expresan que el hecho de que la densidad de inóculo de *Sclerotium oryzae* sea mayor en los sitios de historia intensiva que en los de historia no intensiva, en forma consistente a través de los tres años de investigación, estaría evidenciando que el cultivo de arroz con el tipo de manejo que se ha utilizado en los sitios estudiados, provoca un incremento en la densidad de este patógeno. Sin embargo, no se detectó aumento significativo del número de esclerocios en suelo entre las distintas zafras. En cambio, dos de los sitios estudiados tuvieron una disminución significativa (Avila et al., 2004).

Los valores medios del número de esclerocios en cada zafra fueron significativamente menores en los sitios de uso no intensivo en todos los años. Se da por lo tanto una asociación entre el cultivo de arroz durante 3 años consecutivos (sitio intensivo) y un alto nivel de inóculo de *Sclerotium oryzae* en suelo. Esta asociación se mantiene en cuatro de los cinco sitios de uso intensivo estudiados, aún cuando han transcurrido entre 6 y 10 años de rotaciones de menor intensidad (Avila et al., 2004).

Por otra parte, el hecho de que no se haya producido aumento significativo en la densidad del inóculo entre las distintas zafras en los sitios estudiados, indicaría que las rotaciones realizadas en los años en que se llevó a cabo este estudio (rotaciones con praderas artificiales y verdeos de raigras), fueron más conservadoras con respecto al nivel de dicho inóculo en suelo (Avila et al., 2004).

El trabajo también muestra que la incorporación de residuos al suelo en años consecutivos produce un incremento significativo de inóculo en el mismo. En este caso un incremento potenciado por la incorporación de residuos al suelo durante 3 años consecutivos pudo haber producido un aumento significativo del nivel de inóculo en los sitios de uso intensivo, el cual, luego de instalado se mantiene a lo largo de los años por la larga sobrevivencia de los esclerocios en el suelo. Este hecho podría explicar por qué los sitios que tuvieron 3 años consecutivos de arroz continúan comportándose como sitios de uso intensivo luego de transcurridos entre 6 y 10 años de rotaciones menos intensivas (Avila et al., 2004).

El Índice de Severidad de Daño (ISD) por podredumbre del tallo también difirió significativamente entre los distintos sitios, siendo mayor en aquellos potreros con mayor número de esclerocios por gramo de suelo (Avila et al. 2000, Avila et al. 2002).

Dado que la densidad de inóculo de *Sclerotium oryzae* en suelo en un año dado, está relacionada con el índice de severidad de Podredumbre de tallo en el año siguiente (Webster et al., citado por Avila et al., 2002) y que los esclerocios producidos en un cultivo permanecen en el suelo, es dado esperar que cuánto más altos sean los índices de daño producidos en el cultivo mayor será el incremento del inóculo en suelo.

El número de años de cultivo necesarios para provocar un aumento significativo de la densidad de inóculo en suelo se relacionará entonces con la severidad de la enfermedad producida a través de sucesivos cultivos; sobre la cual a su vez actúan una serie de factores relacionados con el propio cultivo, así como con el manejo del cultivo y de los rastrojos (Avila et al., 2002)

En cuanto a *Rhizoctonia oryzae sativae*, los resultados obtenidos en las distintas zafras son contradictorios (Avila et al. 2000, Avila et al. 2001, Avila et al. 2002).

Teniendo en cuenta que *Rhizoctonia* presenta la misma estrategia reproductiva que *Sclerotium oryzae*, sería esperable un comportamiento similar. La densidad de inóculo de *Rhizoctonia* mostró mayores niveles en los sitios con historia intensiva en la última zafra estudiada; pero este resultado no ha sido consistente a través de las distintas zafras.

#### **2.5.9. Crecimiento del cultivo y rendimiento**

Según Da Rosa (1981), el rendimiento de arroz sobre praderas fue superior al del retorno. Sin embargo, el buen nivel de fertilidad de la pradera se reflejó principalmente en los caracteres vegetativos altura de planta y

producción de paja (MS), y en menor grado en el rendimiento en grano, logrado principalmente por el mayor tamaño de panoja (espiguillas/panoja).

En el caso de la pradera, la producción de paja sube fundamentalmente al aumentar la altura de plantas con las aplicaciones de cobertura sobre el encañado ya que en las primeras etapas no es limitante, mientras que en el retorno es fundamental el agregado de N desde el comienzo del cultivo para que el desarrollo vegetativo se vea aumentado y se aproxime a los testigos de la pradera.

Los resultados de Beecher et al. (1994b), indican que la producción de materia seca del cultivo varió con la secuencia de cultivos, pasando de 12 t/ha en el arroz continuo a más de 22 t/ha en la fase corta de pasturas. También encontraron diferencias significativas en el número de tallos entre las distintas secuencias. En madurez fisiológica los dos tratamientos con pasturas tuvieron mayor número de tallos que el arroz continuo.

Beecher et al. (1994a), obtiene sin fertilización, mayor acumulación de MS tanto en iniciación panicular como en madurez fisiológica, en los tratamientos con pasturas (2, 3 y 4 años, tanto con trébol blanco como con trébol subterráneo). En el segundo cultivo de arroz luego de la fase con pasturas, la producción de MS fue más baja que en el primer cultivo, pero el ranking entre las secuencias fue similar. Todas las secuencias respondieron significativamente a la aplicación de N, pero las secuencias con pasturas requirieron menos N para alcanzar la máxima producción de materia seca.

En cuanto al rendimiento, Bonilla et al. (2001), señalan que el arroz producía mas al volver sobre pradera, pese a tener menos años de descanso, y la producción de carne se multiplicaba varias veces.

Beecher et al. (1994b), muestra que los tratamientos con pasturas alcanzaron valores iguales al tratamiento con arroz continuo que recibió 160 kg de urea /ha, y fueron significativamente más altos que el arroz continuo sin fertilización. Beecher et al. (1994a), también obtuvo rendimientos en grano significativamente mayores en las secuencias con pasturas que en las secuencias con cultivos. Los beneficios residuales de la pastura en rendimiento en grano fueron aún significativos en el segundo cultivo de arroz, tal como fuera encontrado por Rixon y Holford, citados por Beecher et al. (1994a). En las secuencias con pasturas cortas y pasturas largas, los tratamientos sin fertilización fueron capaces de suministrar suficiente N como para acumular un total de materia seca igual a los que recibieron fertilización, pero produjeron menos tallos y menor rendimiento en grano que estos (Beecher et al., 1994b).

Según Beecher et al. (1994b), las diferencias en rendimiento entre los tratamientos con pasturas cortas y pasturas largas fueron muy pequeñas. Estos resultados sugieren que la fase de pasturas en la rotación con arroz pueden ser tan cortas como de dos años si estas son altamente productivas y si los tréboles son dominantes en éstas. Beecher et al. (1994a) arriba a una conclusión similar, expresando que en sistemas pasturas-arroz no habrían ventajas para el rendimiento en grano del arroz de fases de pasturas de leguminosas mayores a dos años si estas fueron bien instaladas y mantenidas.

Heenan, citado por Beecher et al. (1994a), reporta que pasturas de corta duración en el invierno entre dos cultivos de arroz consecutivos no tienen efectos significativos en rendimiento en grano del cultivo de arroz siguiente.

Beecher et al. (1994a) no encontraron diferencias en el tipo de leguminosa utilizada (anual vs. perenne) en rendimiento en grano.

Beecher et al. (1994a) concluye que incluso las fases de pasturas más productivas y dominantes en leguminosas requieren fertilizante nitrogenado suplementario para producir altos rendimientos en granos de arroz de 12-14 tt/ha.



### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.**

##### **3.1.1. Ubicación.**

Los ensayos fueron llevados a cabo durante el año agrícola 2004-2005 en el establecimiento “El Junco” perteneciente a la firma Otegui Hnos. El predio se ubica en las proximidades de Colonia Rubio en el departamento de Salto, 53 km al este de la capital departamental.

##### **3.1.2. Suelos.**

Los suelos pertenecen a la Unidad Itapebí - Tres Árboles de acuerdo con la clasificación de suelos de la Dirección Nacional de Suelos, Aguas y Fertilizantes (MGAP). La historia reciente de esta chacra es de 3 años de arroz (zafra 00-01, 01-02 y 02-03). Dentro de esta chacra, en 2003 se instaló un ensayo parcelario de rotaciones, sembrando en distintas parcelas arroz, soja y pradera, mientras otras permanecían en barbecho. En 2004 continuando con las rotaciones previstas se sembró nuevamente arroz, soja y pasturas sobre los distintos antecesores. El arroz quedó cultivado en parcelas que el año anterior habían sido ocupadas con soja, arroz y sin cultivo (cuadro 3).

**Cuadro 3. Historia previa de cada parcela.**

<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
ARROZ	ARROZ	ARROZ	PRADERA 1º
ARROZ	ARROZ	ARROZ	SOJA
ARROZ	ARROZ	ARROZ	ARROZ
ARROZ	ARROZ	ARROZ	SOJA
ARROZ	ARROZ	ARROZ	<b>SOJA</b>
ARROZ	ARROZ	ARROZ	<b>ARROZ</b>
ARROZ	ARROZ	ARROZ	SOJA
ARROZ	ARROZ	ARROZ	PRADERA 1º
ARROZ	ARROZ	ARROZ	<b>BARBECHO</b>

##### **3.1.3. Diseño experimental.**

El diseño experimental fue de bloques al azar. Cada parcela ocupa un área de 135 m<sup>2</sup>, siendo sus dimensiones 9m x 15m. Los tratamientos fueron tres, a saber: arroz teniendo como antecesor un cultivo de arroz, arroz con soja como antecesor y arroz sobre barbecho.

##### **3.1.4. Manejo del cultivo.**

Se realizó una aplicación de glifosato (2 l/ha de Round up Full) 20 días previo a la siembra, y una segunda aplicación (igual producto y dosis) dos días previos a la siembra por no haberse logrado un adecuado control de las malezas presentes con la primera aplicación.

El 27 de octubre se construyeron las taipas, de forma independiente en cada parcela. El mismo día se sembró en directa a 19 cm de distancia entre hileras. La variedad utilizada fue Tacuarí con una densidad de 150 kg/ha de semilla (580 semillas por m<sup>2</sup>). Se fertilizó con 100 kg/ha de 18-46-0.

Se hicieron dos aplicaciones de herbicidas en post emergencia temprana para controlar malezas gramíneas anuales. La primera fue el 19 de noviembre con 5 g. de Ally por hectárea. La segunda aplicación fue el 30 de noviembre y se usó una mezcla de Command, Propanil y Quincloram, a razón de 1.5, 3.3 y 1.5 l/ha respectivamente.

El cultivo fue inundado el 2 de diciembre, a los 36 días de haberse sembrado.

Se refertilizó con urea el 10 de diciembre, cuando el cultivo se encontraba iniciando el macollaje, con 85 kg de urea/ha (40u de nitrógeno). El 18 de enero, cuando el cultivo se encontraba en “embarrigado”, se hizo la segunda aplicación de urea a la misma dosis.

El 12 de marzo se aplicó funguicida para evitar el vuelco, dada una alta infestación de Sclerotinia y Rizhoctonia. El cultivo fue drenado el 15 de abril y se cosechó el día 19.

## **3.2. DETERMINACIONES**

### **3.2.1. Suelo**

El 27 de octubre, previo a la siembra, se realizó el muestreo de suelo para determinar los niveles de humedad. Se sacaron muestras de todas las parcelas con taladro, a 20 cm de profundidad, realizando entre 4 y 6 tomas por parcela.

En el laboratorio de la EEMAC las muestras fueron pesadas, secadas en estufa y pesadas nuevamente luego de estar secas. En base a estos datos se calculó humedad gravimétrica usando la siguiente fórmula:

$$H \%p = (\text{peso suelo fresco} - \text{peso suelo seco}) / \text{peso suelo seco} * 100.$$

### **3.2.2. Determinaciones en rastrojo**

En las parcelas que habían tenido arroz el año anterior, se estimó la cobertura del suelo por paja. Se hicieron 10 lecturas por parcela con cuadrado de 0,3 x 0,3 m estimando visualmente el porcentaje de este que era ocupado por el rastrojo.

Se sacaron 3 muestras de paja de 0.09 m<sup>2</sup> cada una por parcela, para determinar cantidad (kg de MS/ha) de rastrojo en superficie y su contenido de nitrógeno. Estas muestras fueron secadas en estufa y pesadas para calcular posteriormente kgMS/ha. Luego se molieron en molino eléctrico, para determinar su contenido de nitrógeno.

### **3.2.3. Determinaciones en planta**

#### **3.2.3.1. Implantación**

A los 17 días de haberse sembrado se contabilizó el número de plantas por metro. Se usó para esto una piola de 3 m de largo y se contó el número de plantas a cada lado de la piola (6 metros lineales), haciendo una lectura en el cuadro y otra en la taipa en cada parcela.

#### **3.2.3.2. Fenología y cortes de materia seca.**

Se realizó un primer muestreo de plantas el día 10 de diciembre, a los 44 días de sembrado. Se tomaron 20 plantas consecutivas en una línea por parcela. Se determinó el número de macollos por planta y número de hojas en el tallo principal (Haun). La parte aérea de las plantas fue pesada, secada en estufa y pesadas luego de secas en el laboratorio de la EEMAC. Las muestras se molieron en molino eléctrico para posterior determinación de nitrógeno en planta.

El 27 de diciembre, 61 días pos siembra, el cultivo estaba entrando en la etapa de primordio floral. Se realizó el segundo muestreo, siguiendo el mismo método que en la primera fecha y haciendo las mismas determinaciones.

El 18 de enero (83 dps), cuando el cultivo se encontraba en “embarrigado”, se contó el número de tallos por metro. Para esto se utilizó una regla de 1,79 m de largo y se contó el número de tallos a cada lado de esta, totalizando una muestra de 3,58 m lineales por parcela.

El último corte de materia seca se realizó el 25 de enero (90 dps). Se cortaron a ras de suelo en la hilera las plantas comprendidas en el espacio de 1 m lineal, tomando dos muestras en distintos lugares de la parcela. Las muestras fueron pesadas en el campo. De cada muestra se extrajo una

submuestra que se pesó también en el campo y fueron luego secadas, pesadas en seco y molidas en el laboratorio de la EEMAC.

El 10 de marzo fue determinado el número de panojas por metro. En un espacio de dos metros se contó el número de panojas de dos hileras adyacentes, repitiendo una vez más el procedimiento. En total la muestra de cada parcela comprendía el número de plantas en 8 m lineales.

### **3.2.3. Malezas.**

El 27 de diciembre se realizó la determinación de frecuencia de malezas. Para esto se colocó una piola de 10m de largo en diagonal con nudos cada 20 cm. En cada nudo se bajó un alambre en forma perpendicular hasta tocar una planta o suelo. Se especificó si lo que se tocaba era arroz, maleza gramínea, maleza hoja ancha o suelo, y si corresponde a cuadro o taipa.

### **3.2.4. Rendimiento**

Para obtener una muestra más representativa, se cosechó el centro de cada parcela con cosechadora de cereales embolsando separadamente los granos de cada parcela para su posterior pesaje. El ancho cosechado (correspondiente al ancho de la cosechadora), fue de 5,4 m, calculándose el área cosechada de cada parcela de acuerdo con su largo que varió levemente entre ellas, siendo el promedio 89.5 m<sup>2</sup>.

Se sacó una muestra de granos de cada parcela para su secado y el análisis de rendimiento industrial. Estos análisis fueron hechos en el laboratorio de "El Junco" por personal de la empresa.

## **3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.**

A los efectos de realizar los análisis estadísticos correspondientes, se utilizó el paquete estadístico SAS. Para evaluar el efecto del tratamiento se realizaron análisis de varianza y para la comparación de tratamientos se realizó comparación de medias a partir de mínima diferencia significativa (MDS) con la prueba t de Student. Para esto se usaron niveles de significación de 0,1.

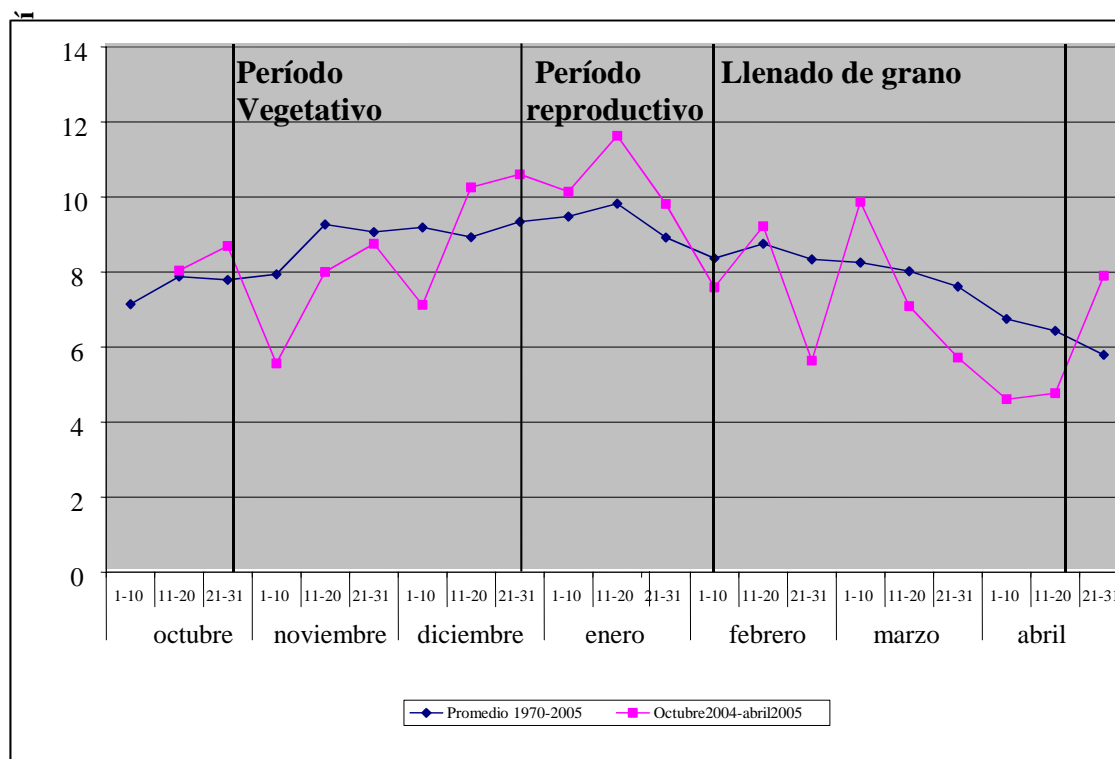
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA

En este apartado se presentan las variables meteorológicas de mayor relevancia para el cultivo de arroz. Los datos provienen de INIA Salto Grande por ser ésta la estación agrometeorológica más cercana al lugar de los ensayos. Se comparan los valores registrados durante el transcurso del experimento con los de la serie histórica, que van desde 1970 al presente.

#### 4.1.1. Heliofanía.

La heliofanía u horas de sol por día se relaciona positivamente con el rendimiento. Es determinante de la cantidad de radiación incidente, y por lo tanto, de la energía disponible para realizar la fotosíntesis. Una disminución importante de las horas de sol afectará negativamente el componente del rendimiento en formación.



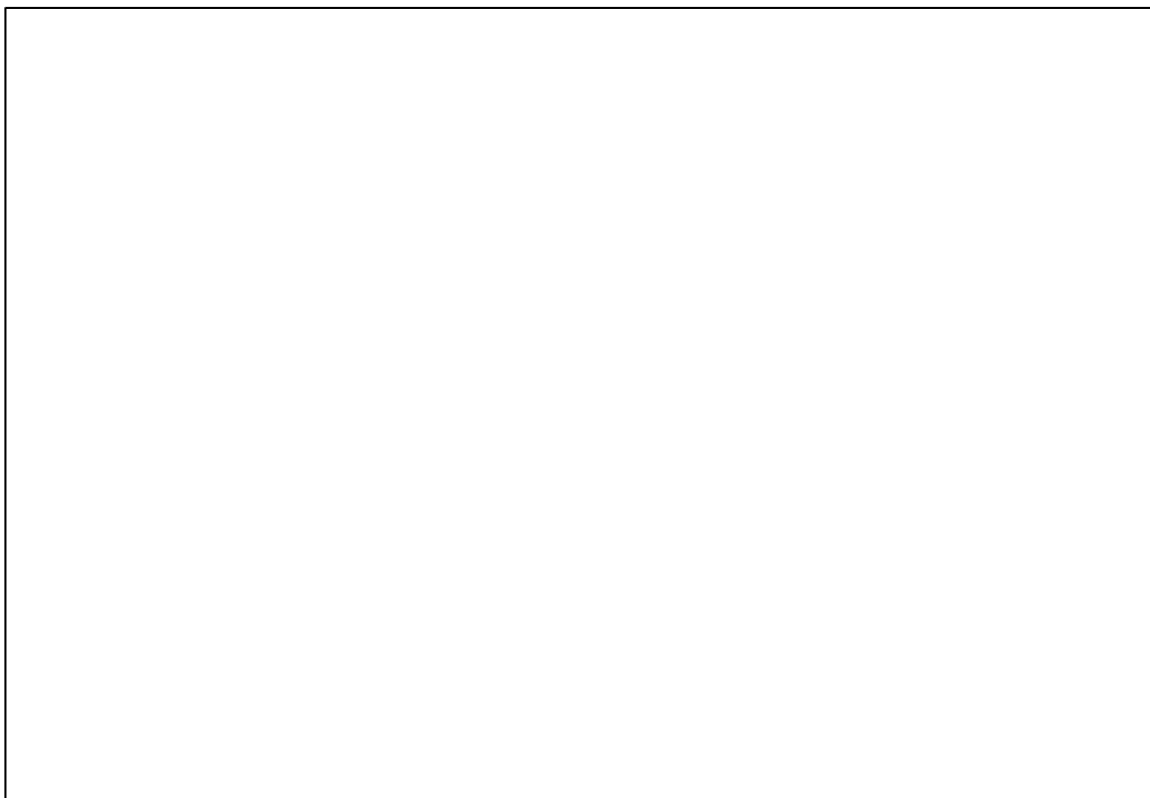
**Figura 1. Heliofanía. Promedios decádicos de la serie histórica y durante el ciclo del cultivo evaluado. INIA Salto Grande.**

En la figura 1 se presenta la heliofanía promedio por década de la serie histórica y lo registrado durante el ciclo de cultivo y la ubicación aproximada de

las distintas etapas del ciclo del cultivo. Se aprecian promedios decádicos relativamente bajos en comparación con la serie histórica, de hasta 2 horas menos durante la implantación, macollaje y llenado de grano. Por su parte, desde la segunda década de diciembre y hasta la última década de enero, los registros fueron superiores al promedio de la serie histórica, alcanzando el valor máximo cercano a las 12 horas de sol en la segunda década de enero.

La cantidad de horas de sol acumuladas durante el ciclo del cultivo es similar al promedio histórico para el mismo período. La mayor diferencia ocurre en la etapa reproductiva, siendo esta 13% superior en el período evaluado respecto a la media histórica. En la etapa vegetativa y durante el llenado de grano, lo acumulado fue levemente inferior a la media histórica. Por la magnitud de estas diferencias no es de esperar que el potencial de rendimiento se haya visto alterado.

#### **4.1.2. Temperatura.**



**Figura 2. Temperaturas mínimas medias decádicas para la serie histórica y para la zafra 04/05 (INIA Salto Grande).**

Las temperaturas registradas durante la zafra no se apartan demasiado de los promedios de la serie histórica por lo que se puede considerar en este aspecto como un año normal. En la figura 2 se muestran las temperaturas mínimas toleradas por el cultivo de arroz según cada etapa del desarrollo (tomado de Yoshida, citado por Borghi et al., 2003<sup>1</sup>) y su momento aproximado de ocurrencia. Se aprecia que en la etapa de antesis las temperaturas mínimas medias registradas estuvieron muy por encima del umbral tolerado y la temperatura media para igual período se ubicó cerca del óptimo. De este modo, no se aumentaría el porcentaje de esterilidad, por lo que el componente número de granos logrados por panoja no se afectaría. A su vez, en las demás etapas del desarrollo las temperaturas medias se situaron en el entorno de los valores óptimos.

#### **4.1.3. Precipitaciones.**

En el cuadro 4 se comparan las precipitaciones promedio de la serie histórica con las ocurridas durante el ensayo. El total de precipitaciones en la zafra superó en 122 mm al promedio histórico. Esta diferencia se debe principalmente a las precipitaciones ocurridas durante el llenado de grano que superaron al promedio histórico en la misma magnitud. Durante la implantación la diferencia fue 61 mm a favor de la zafra 04/05, mientras que en la etapa de panojamiento llovió 53 mm menos que el promedio histórico. En la etapa de macollaje el registro fue similar a la media histórica.

**Cuadro 4. Precipitaciones en mm, según etapa del ciclo de cultivo. Media histórica y período evaluado.**

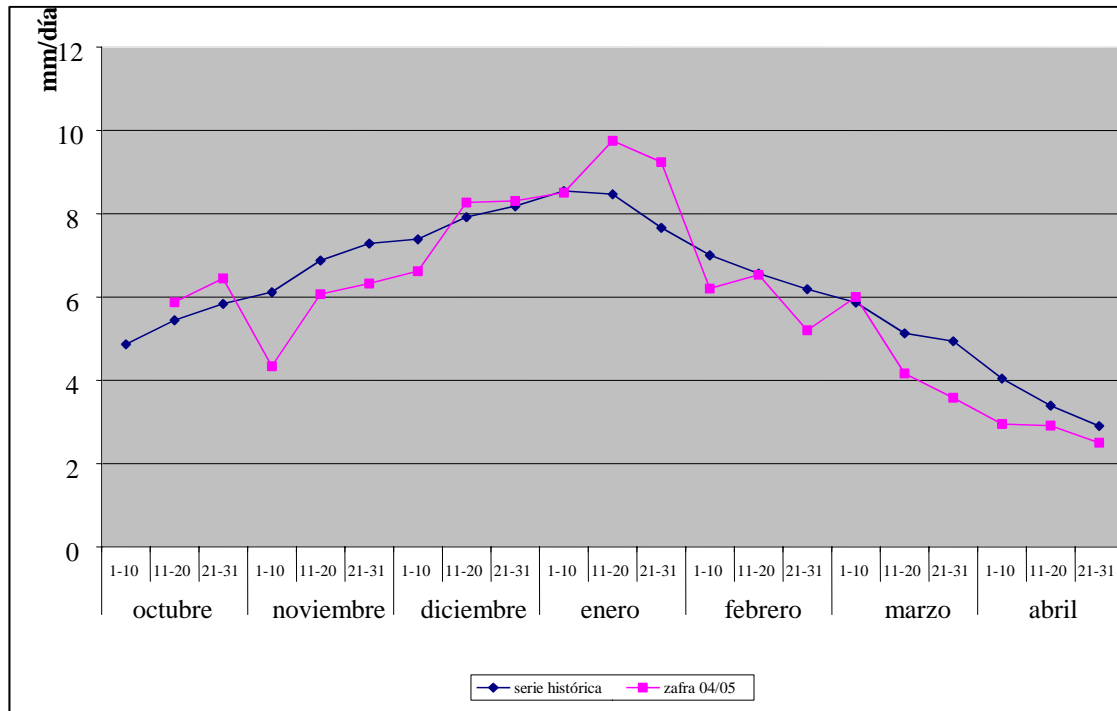
<b>Etapa del ciclo</b>	<b>Período aproximado</b>	<b>Serie histórica</b>	<b>Período evaluado</b>
Siembra-implantación	27/10-22/11	121	182
Macollaje	23/11-28/12	136	137
Panojamiento	29/12-30/1	136	83
Llenado de grano	31/1-19/4	394	507
Total ciclo	27/10-19/4	787	909

#### **4.1.4. Evaporación Tanque A.**

En la figura 3 se presentan los promedios decádicos de evaporación del tanque A para la zafra 04/05 y para la serie histórica. Se aprecia una menor evaporación respecto a la media histórica en los meses de noviembre, primera

<sup>1</sup> BORGHI, E.; ERNST, O. 2003. El cultivo de arroz en el Uruguay. In: Seminario Cereales y Cultivos Industriales (2003, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. 20 p.

década de diciembre y de febrero en delante, siendo ésta diferencia del entorno de 1 mm diario. Como contrapartida, durante el mes de enero, la evaporación fue superior a la media histórica, alcanzando hasta 2 mm diarios de diferencia.



**Figura 3. Evaporación del tanque A. Promedio decádico de la serie histórica y de la zafra 04/05.**

#### 4.2. CONDICIONES DE SIEMBRA E IMPLANTACIÓN.

Previo a la siembra, el 27 de octubre, visualmente se notaban diferencias entre los tratamientos. En los que permanecieron sin cultivo durante la zafra anterior (B-A) predominaban malezas de hoja ancha, siendo las principales *Verbena montevidiensi*, *Dichondra microcalyx*, y *Cyperus sp* entre otras. Los tratamientos que venían de soja (S-A) tenían menos malezas, más suelo desnudo y algunas plantas de soja. La gran diferencia la hacían los tratamientos que habían tenido arroz (A-A), con escasas malezas y un espeso mulch de paja. La cantidad de paja de arroz en estas parcelas, superó en promedio las 5 tt por hectárea y cubrió el 93% de la superficie del suelo. Coberturas de este tipo ejercen un control muy importante de la erosión, regulan la entrada y salida del agua del suelo manteniéndolo más húmedo (cuadro 5) a la vez que dificulta la emergencia de malezas. El importante aporte de materia orgánica ejercerá un rol fundamental en la conservación de las propiedades físico-químicas del suelo y en el reciclaje de nutrientes. Según Young-Son Cho (2005) el mulch provee nutrientes en estados avanzados del



arroz. En promedio, para este experimento, se devuelve al suelo (aunque no disponible en el corto plazo) 27 kg de N. ha<sup>-1</sup> lo que equivaldría a 59 kg de urea. ha<sup>-1</sup>.

A pesar de estas ventajas, el mantenimiento en superficie de los restos de cultivo puede tener algunas desventajas. Una de ellas es que puede dificultar las labores de preparación de suelo, las semillas pueden no quedar ubicadas a la profundidad deseada o incluso quedar en superficie si la sembradora no logra cortar la capa de rastrojo. Otra desventaja es el mantenimiento de una temperatura más baja en el suelo pudiendo enlentecer la emergencia de las plántulas (Ernst et al., 2003<sup>2</sup>). Por último, la alta relación carbono/nitrógeno del rastrojo provoca inmovilización de nitrógeno en el corto plazo (Gijsman et al. 1997, Perdomo et al. 2001).

**Cuadro 5. Humedad gravimétrica en el estrato 0 – 20 cm de profundidad (% en peso).**

Tratamiento	Humedad gravimétrica %
S-A	26.8 b
A-A	34.8 a
B-A	26.0 b

**Nota:** valores seguidos de la misma letra en la columna no difieren significativamente entre si (P<0.10).

El contenido de humedad fue efectivamente superior en el tratamiento A-A, superando a los demás en alrededor de 8% (cuadro 5). Los demás tratamientos prácticamente no difieren entre si. Las causas de estos resultados, como se mencionara anteriormente, pueden ser dos: 1- la cobertura por paja en el tratamiento A-A mantuvo la humedad del suelo al evitar la evaporación de agua en los primeros 20 cm del suelo; y 2- la mayor población de malezas en los demás tratamientos al momento de tomadas las muestras (datos no presentados) provocaron una mayor extracción de agua del suelo.

Según la granulometría de los suelos de ésta Unidad (Duran, 1991) y las formulas de cálculo utilizadas (Fernández, citado por García et al., 2004), éstos se encuentran a Capacidad de Campo cuando su contenido de humedad alcanza 41% y el Punto de Marchitez Permanente cuando la humedad desciende a 27%. De esta forma los tratamientos S-A y B-A estarían por debajo de Marchitez Permanente y el tratamiento A-A estaría con 53% del Agua Disponible. Considerando las condiciones de humedad del suelo y nivel de competencia inicial por malezas era esperable un mejor comportamiento en las parcelas que habían tenido arroz el año anterior. Contrariamente a esto, dichas

<sup>2</sup> ERNST, O.; SIRI, G. 2003. Manejo de suelos para cultivos de verano. In: Seminario Cereales y Cultivos Industriales (2003, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. 20 p.

parcelas mostraron un comportamiento inferior en cuanto a implantación tanto en el cuadro como en la taipa (figura 4).

En el cuadro, la implantación del tratamiento A-A fue significativamente más baja que en los demás ( $P \leq 0,02$ ). El tratamiento S-A se situó en una posición intermedia, siendo su valor significativamente más bajo que el tratamiento B-A.



**Figura 4. Implantación del cultivo de arroz en el cuadro y en la taipa.**

Dada la densidad de semillas sembradas en este experimento (580 semillas  $m^2$ ), el porcentaje de implantación promedio obtenido en el cuadro fue 53.3%. El máximo logrado fue 79.3% en el tratamiento B-A y el mínimo fue 19,7% en el tratamiento A-A. Para el método de siembra empleado (siembra directa), tanto los valores máximos como el promedio son relativamente altos, considerando los valores citados en la bibliografía (Gamarra, 1996), exceptuando el tratamiento A-A donde fue muy baja.

En la taipa, el valor más alto se obtuvo en el tratamiento S-A, pero sin diferir significativamente con el tratamiento B-A. El valor más bajo pertenece al tratamiento A-A siendo esta cifra inferior estadísticamente a las demás ( $P > 0,01$ ). Este tratamiento logra entre 54 y 60 % menos plantas que los demás.

Para las condiciones del experimento, los efectos negativos del rastrojo prevalecieron sobre los positivos, condicionando la implantación en las parcelas donde se sembró sobre rastrojo de arroz. Méndez et al. (1997) encuentran también una incidencia desfavorable en la implantación de un exceso de rastrojo de raigras del cultivo previo, siendo esta reducción mayor en la medida en que el raigras aporta más materia seca.

Por su parte, en las parcelas que habían tenido soja o estuvieron en barbecho el año previo, la implantación fue alta a pesar de las malas condiciones de siembra. Las precipitaciones caídas a pocos días de sembrado levantaron las restricciones de humedad en éstas, creando un ambiente propicio para la germinación de las semillas y la emergencia de plántulas (cuadro 4). No obstante el número de plantas logradas fue excesivo teniendo en cuenta un número aproximado de 250 plantas/m<sup>2</sup> como adecuado para la variedad.

### **4.3. DESARROLLO DEL CULTIVO.**

#### **4.3.1. Haun del tallo principal.**

En la primera determinación (44 dps), los antecesores soja y barbecho no mostraron diferencias significativas entre si, y ambos superaron significativamente al antecesor arroz ( $P \leq 0,06$ ) (Cuadro 6). La velocidad de aparición de hojas está determinada por la suma térmica. Una menor temperatura a nivel del suelo debido a la presencia del rastrojo sería causante de este menor desarrollo.

**Cuadro 6. Haun del tallo principal a los 44 y 61 días pos siembra.**

Tratamiento	44 días pos siembra	61 días pos siembra
S-A	4.0(a)	4.1(ns)
A-A	3.6(b)	3.9(ns)
B-A	3.8(a)	3.8(ns)

**Nota:** valores seguidos de la misma letra en la columna no difieren significativamente entre si ( $P < 0.10$ ).

A los 61 días pos siembra no se detectan diferencias significativas en esta característica entre tratamientos ( $P \leq 0,42$ ). El tratamiento A-A entra a primordio floral después que los tratamientos S-A y B-A por lo que continúa con el desarrollo de hojas por más tiempo, logrando de este modo llegar a un mismo valor de Haun que los demás tratamientos.

#### **4.3.2. Macollaje.**

A los 44 días pos-siembra (primera fecha de muestreo) se pudo apreciar menor macollaje en el tratamiento B-A y valores significativamente más altos en las secuencias S-A y A-A ( $P \leq 0,07$ ) (cuadro 7). En la segunda fecha de muestreo (61 días pos-siembra) hay un mayor número de macollos por planta en el tratamiento A-A, pero sin haber diferencia significativa con las demás secuencias de cultivo ( $P \leq 0,25$ ). Entre las dos fechas de muestreo las plantas del tratamiento S-A prácticamente mantuvieron el mismo número de macollos, mientras que el tratamiento A-A tuvo un incremento importante. El tratamiento B-A mostró un comportamiento intermedio, partiendo de un número inferior de macollos, llegando a la segunda fecha con igual número que el tratamiento S-A.

El mayor macollaje ocurrió en el tratamiento que tuvo la menor implantación y viceversa. El menor número de plantas en la hilera permite una menor competencia inicial entre ellas y una mayor intercepción de luz en los estratos inferiores de la canopia lo que favorece la sobrevivencia de los nuevos macollos.

**Cuadro 7. Macollos por planta y por m<sup>2</sup> a los 44 y 61 días pos siembra.**

Tratamiento	44 días pos siembra		61 días pos siembra	
	Macollos/pl.	Macollos/m <sup>2</sup>	Macollos/pl.	Macollos/m <sup>2</sup>
S-A	1.4(a)	489(a)	1.5(ns)	515(a)
A-A	1.4(a)	77(b)	2.0(ns)	107(b)
B-A	1.2(b)	545 (a)	1.5(ns)	706(a)

**Nota:** valores seguidos de la misma letra en la columna no difieren significativamente entre si ( $P < 0.10$ ).

A los 44 días pos siembra, el número de macollos por m<sup>2</sup> en el tratamiento A-A fue significativamente más bajo que en los demás tratamientos ( $P \leq 0,02$ ).

La tendencia a aumentar el macollaje que tuvieron las plantas de las parcelas A-A en la segunda fecha (61 dps), no fue suficiente para compensar la baja implantación y nuevamente el tratamiento A-A se destaca por su baja población de macollos. Mientras que el tratamiento S-A logra una población adecuada, el tratamiento B-A alcanza una población de macollos excesivamente alta.

Los tratamientos S-A y B-A no difieren entre sí y superan significativamente al tratamiento A-A ( $P \leq 0,07$ ).

Aunque el número de macollos por planta fue mayor en el tratamiento A-A, el bajo número de plantas por m<sup>2</sup> en estas parcelas condicionó su potencial. Para las condiciones del experimento, el logro de un número mínimo de plantas

por m<sup>2</sup> tuvo mayor impacto que la capacidad de macollaje de la especie y del cultivar en particular, para el logro de una cantidad de tallos que aseguren un buen desempeño del cultivo.

#### **4.3.3. Tallos y panojas**

El número de tallos logrados a los 83 días pos siembra cuando el cultivo se encontraba alargando los entrenudos, no difiere significativamente entre los tratamientos que tuvieron soja o barbecho como antecesor y ambos superaron al tratamiento A-A ( $P > 0,01$ ) (figura 5).

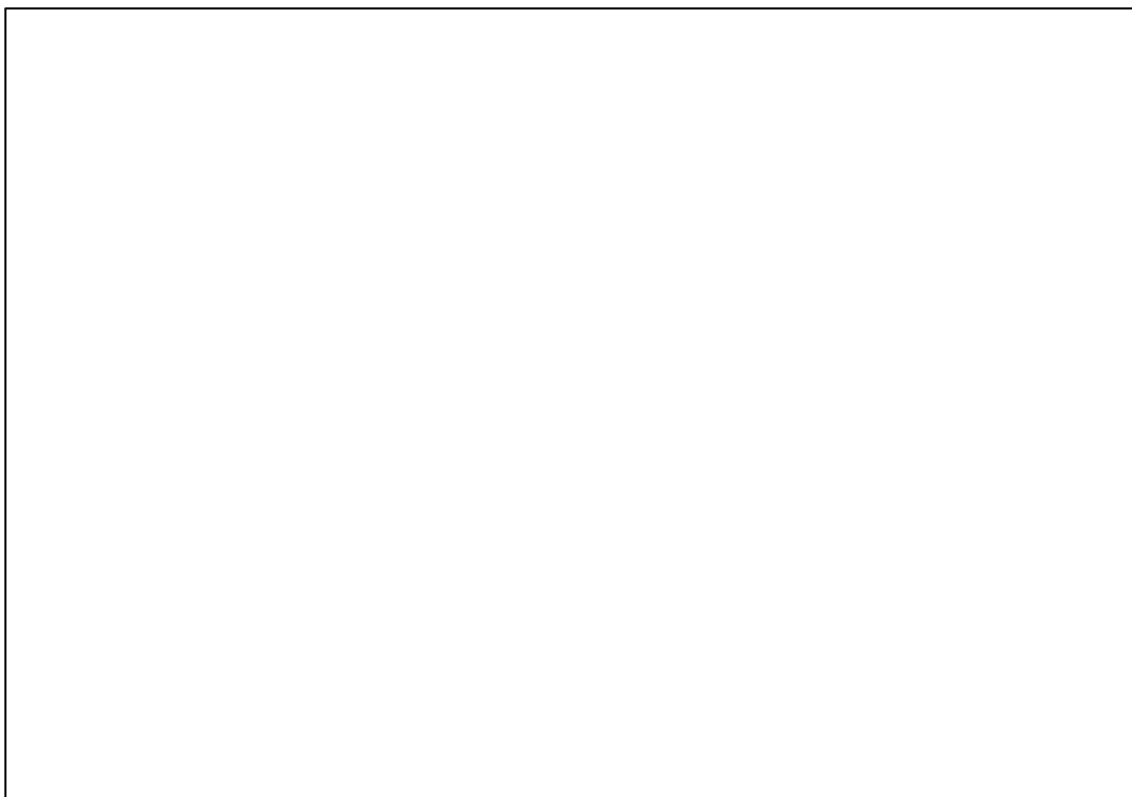
El porcentaje de macollos inducidos fue 66% en el tratamiento B-A y 82% en el S-A. En el tratamiento A-A se registró un número mayor de tallos a primordio que de macollos. El número de tallos continuó creciendo entre los 61 y 86 días como consecuencia de la muy baja población, lo que a su vez se tradujo en una alta fertilidad de éstos.

También se observa la tendencia a un mayor número de macollos en el tratamiento B-A respecto al tratamiento S-A, mientras que el número de estos que se indujeron fue el mismo. Pasado cierta población de macollos no aumenta el número de tallos a primordio, lográndose un máximo en el entorno de 450 tallos por m<sup>2</sup>.

El tratamiento afectó significativamente ( $P \leq 0,08$ ) también el número de panojas por m<sup>2</sup>. Con un promedio general de 350 panojas por m<sup>2</sup>, los tratamientos S-A y B-A no tuvieron diferencias significativas entre sí, pero el tratamiento A-A fue significativamente más bajo (figura 5). Se aprecia como al avanzar el desarrollo del cultivo las diferencias entre tratamientos disminuye. La capacidad de compensación del cultivo, expresada en el tratamiento A-A, y la competencia por una excesiva población de plantas en los tratamientos B-A y S-A provocarían este acercamiento en los valores.

Resultados similares pero utilizando leguminosas forrajeras en rotación con arroz fueron encontrados por Beecher et al. (1994). En madurez fisiológica los tratamientos con pasturas tuvieron mayor número de tallos que el arroz continuo.

Los resultados de Méndez et al. (1997) también son concordantes respecto a la incidencia de grandes volúmenes de rastrojo sobre este parámetro. Dichos autores trabajando con raigras, encuentran que a altas densidades esta cobertura afectó el número de panojas de arroz por metro cuadrado siendo más alto el registro en el promedio de las parcelas que no tenían raigras.



**Figura 5. Evolución del número de tallos/m².**

#### **4.4. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA.**

El peso por planta como medida de crecimiento individual no mostró diferencias significativas (44 dps  $P \leq 0,19$ ; 61 dps  $P \leq 0,68$ ). No obstante esto, existió la tendencia a un mayor peso en los tratamientos que tuvieron plantas con más macollos (Cuadro 8).

En la primera fecha las secuencias soja-arroz y arroz-arroz tuvieron las plantas más pesadas seguidos del tratamiento barbecho-arroz que mostró menor peso de plantas.

**Cuadro 8. Peso por planta en miligramos a los 44 y a los 61 días pos siembra.**

Tratamiento	44 días pos siembra	61 días pos siembra
S-A	142(ns)	338(ns)
A-A	142(ns)	294(ns)
B-A	118(ns)	304(ns)

ns = no significativo.

Cuando se mide el desempeño del cultivo el ranking es el inverso (cuadro 9). El tratamiento B-A logra mayor producción de materia seca por m<sup>2</sup> en las tres fechas de muestreo. El tratamiento A-A alcanzó producciones muy bajas siendo el de peor desempeño en las tres fechas. En este tratamiento, en la segunda fecha se acumuló un 50% de materia seca de lo que acumularon los demás tratamientos. En la tercera fecha, si bien las diferencias en porcentaje son menores, acumuló entre 1940 y 2480 Kg menos de materia seca por hectárea que los otros dos tratamientos. A pesar de la magnitud de estas diferencias solo difieren estadísticamente a los 44 dps y a los 83 dps.

**Cuadro 9. Materia seca en gramos por m<sup>2</sup> a los 44, 61 y 83 días pos siembra.**

Tratamiento	44 dps (P=0,01)	61 dps (P=0,35)	83 dps (P=0,04)
S-A	50(a)	120(ns)	618(a)
A-A	7(b)	64(ns)	423(b)
B-A	53(a)	143(ns)	671(a)

ns = no significativo.

Diferencias de este tipo fueron encontradas por varios autores (Da Rosa 1981, Beecher et al. 1994). Los resultados de Beecher et al. (1994), indican que la producción de materia seca varió con la secuencia de cultivos, pasando de 12 ton.ha<sup>1</sup> en el arroz continuo a más de 22 ton.ha<sup>1</sup> en la fase corta de pasturas. Beecher et al. (1994b) también encuentra mayor acumulación de materia seca en las distintas etapas de desarrollo del cultivo cuando fue rotado con leguminosas forrajeras.

El aumento en la producción de materia seca es atribuido por Da Rosa (1981) al aumento de la altura de las plantas. Sin embargo no sería la causa de las diferencias en este experimento. En primer lugar la gran diferencia en el número de plantas logradas le pone un límite al potencial alcanzable. El otro factor fue la fuerte competencia con malezas en el tratamiento A-A. Este hecho incidió negativamente en la cantidad de nitrógeno acumulado por el cultivo y la competencia por luz que limitó la fotosíntesis, siendo éstos los principales factores que afectan directamente en la acumulación de materia seca.

#### **4.5. NITRÓGENO EN PLANTA.**

En general la literatura es concordante respecto a la mayor capacidad de aporte de nitrógeno desde el suelo y mayor absorción por parte del cultivo de arroz cuando se practican rotaciones con soja (Anders et al. 2004, Anders et al. 2005, Olk et al. 2005) y con pasturas (Da Rosa 1981, Beecher et al. 1994, Beecher et al. 1994b). Contrariamente a esto, no hubo diferencias en absorción

de nitrógeno entre los distintos tratamientos (Cuadro 10) medido como porcentaje de la materia seca, coincidiendo con Gamarra (1996) quien expresa que no se ha encontrado que la soja deje un residuo de nitrógeno aprovechable por el arroz. Posiblemente la falta de respuesta en este aspecto se deba al hecho de que en cinco años de historia de chacra, los tratamientos difieren en solo uno, no siendo suficiente como para provocar diferencias.

**Cuadro 10. Absorción de nitrógeno. Porcentaje de nitrógeno en la materia seca y kg de nitrógeno acumulado por hectárea.**

Tratamiento	44 dps		61 dps		83 dps	
	%N en la MS (P=0,26)	Kg N. ha <sup>-1</sup> (P=0,17)	%N en la MS (P=0,6)	Kg N. ha <sup>-1</sup> (P=0,38)	%N en la MS (P=0,83)	Kg N. ha <sup>-1</sup> (P=0,19)
S-A	2.5	12.7	1.5	18.2	1.9	116.1
A-A	2.2	5.9	1.7	10.6	1.9	81.8
B-A	2.5	13.3	1.6	23.4	1.8	119.9

Sin embargo, al haber un menor stand de plantas en el tratamiento arroz-arroz, a un mismo nivel de N en suelo, habría mayor disponibilidad del nutriente para cada planta individual, por lo que el porcentaje de nitrógeno en planta debió ser superior que en los demás tratamientos. En realidad, la alta población de malezas presentes debió absorber parte del nitrógeno disponible, disminuyendo la cantidad del nutriente tanto para cada planta individual como para el cultivo.

Este porcentaje de nitrógeno indica un mal estado nutricional del cultivo considerando los valores obtenidos por otros autores. Méndez et al. (2002) obtiene valores entre 3.09 y 3.86 a inicio de macollaje según largo del barbecho químico.

El aumento del porcentaje de nitrógeno entre la segunda y la tercera fecha, período en el que debería disminuir por el gran aumento en producción de materia seca que ocurre en esta etapa (elongación de entrenudos), se explica por el hecho que el muestreo fue realizado 7 días después de la segunda aplicación de urea (ver materiales y métodos), lo que favoreció un leve aumento de la misma concentración del nutriente.

#### **4.6. MALEZAS.**

Lo primero que se aprecia es la diferente composición del enmalezamiento entre el antecesor arroz y los que permanecieron en secano (antecesores soja y barbecho). Este hecho es mencionado por varios autores cuando se practican rotaciones con cultivos de secano y es atribuido a la modificación del medio donde crecen (De Datta 1981, Pedrotti 1984, Erasmo et al. 2004).



A pesar de haberse logrado en la implantación un stand de plantas significativamente más bajo en el tratamiento A-A, no se aprecian diferencias significativas en la frecuencia relativa de plantas de arroz en el cuadro entre los distintos antecesores ( $P \leq 0,58$ ). Tampoco hubo diferencias en la frecuencia de suelo desnudo, situándose los valores en el entorno de 0,50 (50 %), con un  $P \leq 0,36$  (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Frecuencia de plantas de arroz, malezas y suelo desnudo en cuadro y taipa a los 61 días pos siembra.**

Tratamiento	Arroz		Malezas gramínea		Malezas hoja ancha		Suelo desnudo	
	Cuadro	Taipa	Cuadro	Taipa	Cuadro	Taipa	Cuadro	Taipa
S-A	0.29(ns)	0.32 (a)	0.02 (b)	0.13 (b)	0.11 (ns)	0(ns)	0.58(ns)	0.55(ns)
B-A	0.33(ns)	0.44 (a)	0.04 (b)	0.15 (b)	0.10 (ns)	0(ns)	0.53(ns)	0.41(ns)
A-A	0.22(ns)	0.11 (b)	0.22 (a)	0.57 (a)	0.04 (ns)	0(ns)	0.52(ns)	0.31(ns)

**Nota:** valores seguidos de la misma letra en la columna no difieren significativamente entre sí ( $P < 0.10$ ).

Las malezas gramíneas dominaron en el tratamiento A-A, con una frecuencia de 0,22, valor significativamente más alto que en los demás tratamientos que no superaron el 0,04 ( $P \leq 0,07$ ). Las malezas hoja ancha tuvieron la mayor frecuencia en los tratamientos S-A y B-A. El tratamiento A-A tuvo la frecuencia más baja de hojas anchas pero sin diferir significativamente de los demás.

En la taipa la frecuencia de suelo desnudo tampoco tuvo diferencias significativas entre los distintos tratamientos ( $P \leq 0,12$ ), aunque existió una tendencia a una menor proporción de suelo desnudo en el tratamiento A-A y a una mayor proporción de este en el tratamiento S-A.

La media de los tres tratamientos para frecuencia de plantas de arroz fue similar en la taipa y en el cuadro. A diferencia de lo ocurrido en el cuadro, sí hubo diferencias significativas en esta variable. Los antecesores soja y barbecho no mostraron diferencias significativas entre ellos y superaron al antecesor arroz que tuvo la frecuencia más baja con un valor de 0,11 ( $P \leq 0,05$ ).

La contribución de las malezas hoja ancha en la taipa fue nula, incluso en las parcelas que tuvieron una infestación alta con estas malezas en el cuadro. Esto pudo ser causado por el movimiento de suelo (construcción de taipas), eliminando estas malezas sin que haya un nuevo flujo de emergencia, posiblemente por aspectos de la biología de estas especies y requerimientos específicos para la germinación.

Las malezas gramíneas tuvieron la frecuencia más alta en el tratamiento A-A con un valor de 0,57 superando significativamente a los demás tratamientos ( $P \leq 0,05$ ). En estos tratamientos si bien la frecuencia de gramíneas fue menor, en promedio hubo mayores registros en la taipa que en el cuadro. El mayor enmalezamiento con gramíneas en la taipa es un hecho frecuente en las explotaciones comerciales. El movimiento de tierra para la construcción de taipas trae nuevas semillas a la superficie. Además, las aplicaciones de herbicidas no se complementan con la inundación como ocurre en el cuadro, debido a que la taipa no queda totalmente sumergida.

Estos resultados se explican por la historia de la chacra. Las parcelas que tuvieron arroz, han permanecido bajo cultivo continuo lo que favorece el desarrollo de gramíneas anuales por ser las más adaptadas al ambiente del arrozal. En este caso las que dominaron fueron *Echinochloa sp.* y *Digitaria sanguinalis*, en igual proporción. Es muy importante el cambio en la composición del enmalezamiento que ocurre solo con incluir un cultivo de soja en la rotación o dejar un año sin cultivo. En estos últimos el enmalezamiento fue principalmente de hojas anchas, siendo las principales *Verbena montevidiensi*, *Dichondra microcalyx*, y en menor grado *Cyperus sp.* Estas malezas no toleran el anegamiento, por lo que detuvieron su crecimiento con la inundación del cultivo, entrando posteriormente en senescencia. Por lo tanto, estas malezas ejercieron competencia al cultivo solo en las etapas iniciales, mientras que las gramíneas continuaron compitiendo durante todo el ciclo.

Las causas de la disminución en la frecuencia de malezas gramíneas en los antecesores soja pueden estar en las aplicaciones de glifosato que debió haber recibido este cultivo. Esto redujo el banco de semillas de estas malezas al darse los flujos de emergencia pero impidiendo que completen su ciclo y hagan nuevos aportes de semillas al suelo, al aplicarle el herbicida. Sin embargo, esta misma disminución ocurrió también en las parcelas que estuvieron en barbecho sin recibir tales aplicaciones. Por lo tanto el cambio en la composición del enmalezamiento es probable que sea consecuencia del cambio de ambiente, desde el ambiente húmedo del arrozal, al de seco.

#### **4.7. RENDIMIENTO EN GRANO.**

Los rendimientos promedio por tratamiento se muestran en la figura 6. El promedio de todos los tratamientos fue 7380 kg. Ha<sup>-1</sup> con un máximo de 8713 kg.ha<sup>-1</sup> en el tratamiento S-A y el mínimo, en el tratamiento A-A con 5322 kg.ha<sup>-1</sup>. No se observan diferencias significativas entre los antecesores soja y barbecho y ambos superan significativamente al antecesor arroz ( $P \leq 0,01$ ).

La bibliografía es coincidente en la obtención de rendimientos decrecientes bajo cultivo continuo de arroz (Topolanski 1975, Litzenberger citado por Priore

et al. 1980, Anders et al. 2005) y en la obtención de mayores rendimientos en grano de arroz cuando este cultivo es rotado con otros, especialmente soja y pasturas (Kurtz et al. 1993, Beecher et al. 1994a, Beecher et al. 1994b, Mascarenhas et al. 1998, Bonilla et al. 2001, Anders et al. 2004, Anders et al. 2005).



**Figura 6. Rendimiento en grano seco (13% de humedad).**

El tratamiento A-A rindió entre 34 y 39 % menos que los tratamientos en que se rotó con soja o que permanecieron un año en barbecho. La misma tendencia pero con diferencias menores fue obtenida por Olk et al. (2005) en Arkansas. El cultivo continuo de arroz rindió entre 12 y 23 % menos, que cuando éste siguió a la soja.

Los mayores rendimientos del arroz cuando sigue a la soja son atribuidos por Anders et al. (2005) y Olk et al. (2005) a una mayor absorción de nitrógeno del suelo y de los fertilizantes. Además Beecher et al. (1994a) obtiene rendimientos similares de arroz cuando es rotado con leguminosas forrajeras y con cultivo continuo cuando se aplican altas dosis de nitrógeno, demostrando de esta forma que el nitrógeno sería el factor limitante en esas condiciones. Los bajos rendimientos que se obtienen en suelos cultivados con arroz en forma continua son atribuidos a una serie de factores que sumados sus efectos negativos llevan a rendimientos decrecientes. Olk et al. (2005) menciona la acumulación de compuestos fenólicos en el suelo, mientras que Gamarra (1996) identifica problemas tales como pérdida de nutrientes y materia orgánica del suelo, deterioro de las condiciones físicas del suelo, e infestación creciente de malezas entre otros.

En este caso, el rendimiento obtenido en el tratamiento A-A es consecuencia de su mala implantación, que a pesar de haber compensado en parte con un mayor macollaje por planta y mayor porcentaje de macollos inducidos, no fue suficiente como para alcanzar una mayor población de panojas. Sumado a lo anterior, la composición del enmalezamiento en estas parcelas determinó una mayor competencia a lo largo de todo el ciclo. Como consecuencia, hubo un menor desarrollo del aparato fotosintético (menor producción de materia seca en la etapa vegetativa) y baja absorción de nitrógeno, afectando de esta forma el rendimiento en grano.

#### **4.7.1. Calidad industrial.**

Era probable encontrar diferencias en algunos de los parámetros de calidad evaluados (Cuadro 12 como por ejemplo, en porcentaje de basura. A pesar del gran volumen de materia seca producida por las malezas que podrían aumentar la cantidad de basura en el tratamiento A-A, las diferencias no fueron significativas con los demás tratamientos.

El porcentaje de blanco fue prácticamente igual en todos los tratamientos, con un promedio de 69%. En cuanto al porcentaje de quebrado y entero los valores obtenidos muestran algunos puntos porcentuales de diferencia entre tratamientos, con el peor comportamiento en la secuencia B-A pero sin ser significativas las diferencias. Según Blanco et al. (1993) la media de entero para esta variedad se encuentra en 64,5% por lo que los valores obtenidos en este ensayo son bajos.

Los porcentajes de mancha y yeso fueron los que mostraron tendencias más fuertes, siendo en ambos casos el tratamiento A-A el que muestra los porcentajes más altos. Blanco et al. (1993) menciona 4,5% de yeso como promedio para INIA-Tacuarembó.

**Cuadro 12. Calidad industrial**

Tratamiento	Humedad a cosecha % (P=0.4)	Basura verde % (P=0.21)	Basura seco % (P=0.98)	Basura total % (P=0.28)	Verde % (P=0.63)
Soja-arroz	19.9	2.4	0.2	2.6	2.9
Arroz-arroz	20.9	3.9	0.2	4.1	3.9
Barb.-arroz	20.0	2.3	0.2	2.6	2.6

Tratamiento	Blanco % (P=0.72)	Quebrado % (P=0.54)	Entero % (P=0.61)	Mancha cargo % (P=0.15)	Mancha blanco % (P=0.16)	Yeso % (P=0.14)
Soja-arroz	68.7	9.4	59.3	1.1	0.2	3.9
Arroz-arroz	68.9	10.3	58.6	1.7	0.2	4.5

Barb.-arroz	68.3	12.5	55.8	1.0	0.1	3.1
-------------	------	------	------	-----	-----	-----

El porcentaje de granos verdes osciló entre 3,9% en el tratamiento A-A y 2,6% en el tratamiento B-A. Los antecesores pudieron haber provocado diferencias en largo de ciclo llevando a diferencias en grado de maduración al momento de la cosecha. Las diferencias obtenidas indican que esto no ocurrió.

La secuencia de cultivos, que afectó varios factores relacionados al desarrollo y evolución del cultivo, entre ellos el rendimiento en grano, no afectó los parámetros de calidad. Las alteraciones que pudieron haber provocado los distintos antecesores, tales como largo de ciclo, presión de inóculo de patógenos o algún tipo de estrés, no fueron suficientes como para disminuir o mejorar la calidad de forma significativa.

## **5. CONCLUSIONES**

- Los antecesores determinaron que hubiesen diferencias en cantidad y degradabilidad de restos de cultivos y población de malezas al momento de la siembra. Esto provocó diferencias en contenido de humedad, y posiblemente, en temperatura del suelo y en disponibilidad inicial de nutrientes. Concretamente, el tratamiento A-A se encontraba con un 53% del Agua Disponible mientras que los tratamientos S-A y B-A se encontraban en Marchitez Permanente; coberturas de rastrojo como las del tratamiento A-A mantendrían el suelo con menor temperatura.
- El hecho de sembrar en directa y con rastrojo en superficie provocó una mala implantación en el tratamiento A-A, lográndose una población de plantas muy baja. Por otra parte, la limitante de humedad en los tratamientos S-A y B-A se levantó con las precipitaciones ocurridas en los días siguientes a la siembra favoreciendo una alta implantación que llegó a ser excesiva.
- El efecto del rastrojo en la temperatura provocaría un retardo en el desarrollo de las plantas en el tratamiento A-A, logrando éstas a los 44 días pos siembra un menor número de hojas en el tallo principal. Estas diferencias desaparecen luego de la etapa de primordio.
- La mayor población de plantas en el tratamiento B-A limitó el macollaje, siendo este menor significativamente a los 44 días pos siembra. Lo inverso ocurrió en el tratamiento A-A donde hubo tendencia a un mayor macollaje a los 61 dps. Sin embargo, no fue suficiente para compensar la baja implantación y lograr una población adecuada de macollos. Ésta fue significativamente más alta en los tratamientos S-A y B-A a los 44 y a los 61 días pos siembra, resultando en una población excesiva en B-A.
- Un porcentaje muy alto de macollos fue inducido en el tratamiento A-A pero esto tampoco fue suficiente para lograr una población de panojas adecuada. Los tratamientos S-A y B-A a pesar de la elevada población de macollos logran en promedio 350 panojas/m<sup>2</sup>, siendo este valor significativamente más alto que el obtenido en el tratamiento A-A.
- En cuanto a la producción de materia seca por unidad de superficie, los antecesores soja y barbecho fueron significativamente superiores a los 44 y a los 83 dps. A los 61 dps tendieron a ser superiores, produciendo hasta un 50% más de materia seca, como consecuencia de la diferente población de plantas de arroz y competencia por malezas.

- Aunque pudo existir diferencias en la capacidad de aporte de nitrógeno desde el suelo, el antecesor no modificó el porcentaje de nitrógeno en planta y los valores obtenidos resultaron deficitarios. Si la capacidad de aporte desde el suelo fue similar, al haber menor cantidad de plantas en el antecesor arroz, el porcentaje de nitrógeno en planta debió ser superior (mayor disponibilidad por planta). Posiblemente el consumo de nitrógeno por parte de las malezas evitó una mayor absorción del nutriente por cada planta. Este hecho impidió una mayor compensación por parte del cultivo de arroz al haber menor acumulación por parte del cultivo.
- Los tratamientos modificaron la población y tipo de malezas presentes, y con esto, el nivel de competencia ejercida. En los tratamientos S-A y B-A la frecuencia relativa de malezas fue menor y dominaron malezas hoja ancha. En el tratamiento A-A hubo una mayor frecuencia relativa de malezas predominando malezas gramíneas. Las hojas anchas fueron desplazadas por el cultivo y por el anegamiento, mientras que las gramíneas, adaptadas al medio, ejercieron una fuerte competencia durante todo el ciclo.
- La sumatoria de los efectos de los tratamientos sobre los distintos parámetros evaluados resultó en diferencias significativas en rendimiento en grano. Las secuencias soja-arroz y barbecho-arroz tuvieron similar comportamiento y superaron al arroz-arroz con rendimientos entre 25 y 39% superiores.
- Los tratamientos no afectaron los parámetros de calidad del grano. Las alteraciones que pudieron haber provocado los distintos antecesores, no fueron suficientes como para disminuir o mejorar la calidad de forma significativa.
- En la mayoría de los parámetros medidos, los antecesores soja y barbecho tuvieron similar comportamiento, y superior al antecesor arroz. Por lo tanto, la utilización del cultivo de soja en lugar de un barbecho le brindaría los mismos beneficios que éste al cultivo siguiente de arroz, además de mantener el suelo cubierto y mejorar la eficiencia productiva del sistema.

## **6. RESUMEN**

El área de soja ha tenido aumentos exponenciales en los últimos años y este aumento no se limita a los suelos agrícolas del litoral si no que avanza hacia otras zonas del país, pasando a ocupar también suelos arroceros en la zona Norte. Por su parte, la intensificación en el uso del suelo en el área arroceros a pesar de los avances de la investigación nacional, continúa teniendo algunas limitantes como el enmalezamiento progresivo de las chacras, el aumento de la incidencia de enfermedades, las limitadas posibilidades de aumento de su frecuencia en las rotaciones con pasturas y la ausencia de rotaciones más intensivas que incluyan cultivos graníferos. En tal sentido la soja se abre como una alternativa por su adaptabilidad a diversos ambientes, por la posibilidad de controlar malezas, disminuir la presión de inóculo de algunos patógenos del arroz y por las características de su rastrojo que facilitan la preparación del suelo luego de su cultivo. Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación en el que se pretende evaluar la viabilidad del cultivo de soja en la zona arroceros del Norte. En esta instancia se evalúa el comportamiento del cultivo de arroz en siembra directa sobre distintos antecesores.

Los ensayos fueron llevados a cabo durante el año agrícola 2004-2005 en el departamento de Salto sobre suelos de la Unidad Itapebí-Tres Árboles. El diseño fue de bloques al azar y los tratamientos fueron: antecesor soja (S-A), antecesor arroz (A-A) y antecesor barbecho (B-A), sembrados en directa. Previo a la siembra se determinó contenido de humedad del suelo y en el antecesor arroz se determinó cobertura por paja. Se siguió la evolución de la población de tallos desde implantación hasta panojamiento, producción de materia seca y % de N en planta desde inicio de macollaje hasta encañado, Haun del tallo principal al inicio del macollaje y a primordio, malezas, rendimiento y calidad de grano.

Los tratamientos S-A y B-A tuvieron igual comportamiento en prácticamente todos los parámetros medidos. Las diferencias que existieron fueron entre éstos y el tratamiento A-A. En la implantación, los efectos negativos del rastrojo de arroz prevalecieron sobre las ventajas que este brinda. El tratamiento A-A logró una población de plantas significativamente más baja que los demás tratamientos y que lo recomendado en la bibliografía. A su vez los tratamientos S-A y B-A alcanzaron una población excesiva de acuerdo con la literatura. La baja implantación en el tratamiento A-A condicionó la población de tallos y la producción de materia seca alcanzable en las etapas siguientes. El menor número de plantas en la hilera permitió una mayor intercepción de luz en los estratos inferiores de la canopia favoreciendo el macollaje, el que tendió a ser superior a los 61 dps ( $P \leq 0,25$ ). A pesar de esto, no fue suficiente como



para compensar la baja implantación. A los 44 y a los 61 dps la población de macollos fue significativamente menor que en los demás tratamientos. La población de tallos al encañado y la población de panojas también fue superior en los tratamientos S-A y B-A ( $P \leq 0,01$  y  $P \leq 0,08$  respectivamente). La producción de materia seca a los 44 y 83 dps fue significativamente menor en el tratamiento A-A. El efecto del rastreo en la temperatura del suelo provocó un retraso en el desarrollo de las plantas del tratamiento A-A al tener estas menor Haun a los 44 dps ( $P \leq 0,06$ ). No se encontraron diferencias en absorción de N, siendo el % de N bajo de acuerdo con la bibliografía. La frecuencia de malezas gramíneas fue menor en los tratamientos S-A y B-A ( $P \leq 0,07$ ) debido probablemente, a las aplicaciones de glifosato durante el cultivo de soja y a la modificación del ambiente que implica pasar de un ambiente húmedo al de seco. La mala implantación que no pudo ser compensada por el cultivo y la competencia por malezas en el tratamiento A-A redundó en un menor rendimiento en grano ( $P \leq 0,01$ ). Los rendimientos obtenidos fueron 8713 kg.ha<sup>-1</sup> en el tratamiento S-A, 8106 kg.ha<sup>-1</sup> en el tratamiento B-A y 5322 kg.ha<sup>-1</sup> en el tratamiento A-A. No hubo diferencias en calidad de grano.

Palabras clave: arroz, rotación, siembra directa, soja, rastreo, antecesor.

## **7. SUMMARY**

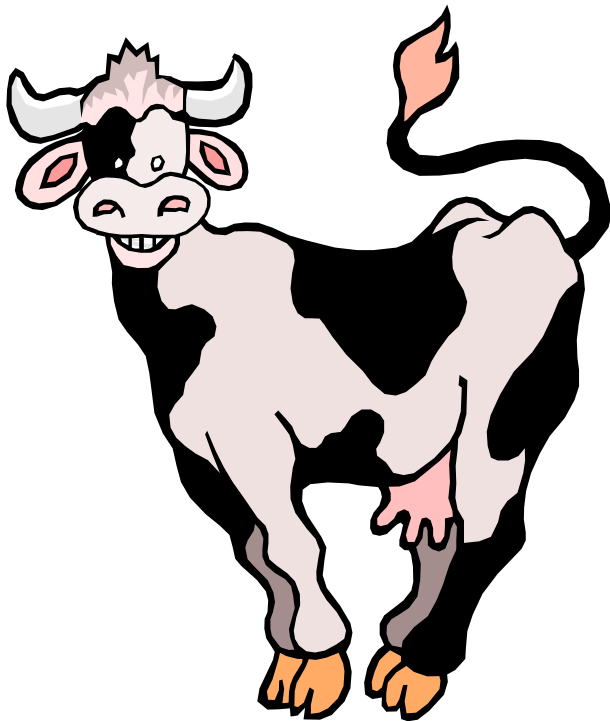
The soybean area has had a significant increase in the last years and not only is this occurring in the littoral agricultural grounds, but it also is advancing towards others regions in the country as rice grounds in the North region. By the way, the intensification of use in the rice grounds is still having some limitations despite of national investigation advances, such as progressive weed invasions, increased incidence in diseases, limited possibilities of increasing rice frequency in rotations with pastures and the lack of more intensive rotations which includes grain crops. In such way, the soybean crop appears as an option because of its adaptability to different environments, weeds control possibility, to reduce incidence of some rice pathogens and for its stubble characteristics that facilitates the land working after its harvest. This work is part of an investigation project that intends to evaluate the viability of the soybean crop in the North rice region. At this stage, the behaviour of rice crop in direct sowing over different preceding crops, is evaluated.

The experiments were made during the growing season of 2004/2005 in Salto department, in soils of the Itapebí-Tres Árboles Unit. The treatments were: soybean as the preceding crop (S-A), rice as the preceding crop (A-A), and a fallow land preceding the rice crop (B-A), sowed with no tillage. Previously to sowing it was determined the humidity content in the ground and in A-A treatment, the straw covering. The evolution of stems population was followed, since implantation to panicle stage, also dry matter production and % of N in plant, Height of principal stem, weeds, yield and quality grain parameters.

The S-A and B-A treatments had the same behaviour in almost all measured parameters. The differences found were between those and the A-A treatment. At the implantation stage, the negative effects of the rice straw prevailed over the advantages that it offers. The A-A treatment obtained a significantly lower plant population than the others and those achieved in the bibliography. At the same time, the S-A and B-A treatments achieved an excessive population according to literature. The low implantation in A-A treatment conditioned the stems population and the dry matter production in the following stages. The low number of plants in the line allowed a bigger light interception in the canopy base causing a great stem production per plant, being this superior at 61 days after sowing, although not enough to be significant ( $P \leq 0,25$ ). In spite of this, it was not enough to compensate the low implantation. At 44 days after sowing the stem population was lower than in the other treatments, and at 61 days after sowing the numeric difference was important although not significant. The stem population at 83 days after sowing and the panicle population were also superior in the S-A and B-A treatment ( $P \leq 0,01$  and  $P \leq 0,08$  respectively). The dry matter production was significantly

lower in the A-A treatment at 44 and 83 days after sowing. The straw effect in the ground temperature cause a delay on plants development in the A-A treatment, having this lower Haun at 44 days after sowing ( $P \leq 0,06$ ). It was not found differences in N absortion, being the N% lower according to the bibliography. The graminea weeds frecuency were lower in the S-A and B-A treatments ( $P \leq 0,07$ ) probably due to glyphosate aplicaciones during the soybean crop and to the enviroment change from a wetland to a dryland. The bad implantation that couldn't be compensate by the crop and the weed interference in the A-A treatment resulted in a lower grain yield ( $P \leq 0,01$ ). The output obtained were  $8713 \text{ kg.ha}^{-1}$  in S-A treatment,  $8106 \text{ kg.ha}^{-1}$  in B-A treatment and  $5322 \text{ kg.ha}^{-1}$  in A-A treatment. There were no differences in grain quality.

Key words: rice, rotation, direct sowing, soybean, straw, predecessor.



#### **4. BIBLIOGRAFÍA**

1. AHMAD, T.; HAFEEZ, F.Y.; MAHMOOD, T.; MALIK, K.A. 2001. Residual effect of nitrogen fixed by Mungbean (*Vigna Radiata*) nd Blackgram (*Vigna Mungo*) on subsequent rice and wheat crops. Australian Journal of Experimental Agriculture. 41(2): 245 – 248.
2. ANDERS, M.M.; OLK, D.C.; HARPER, T.; DANIEL, T.; HOLZHAUER, J. 2004. The effect of rotation, tillage, and fertility on rice grain yields and nutrient flows. North Carolina Agricultural Research Service Technical Bulletin. 1 disco compacto, 8 mm.
3. -----; -----; GRANTHAM, J.; HOLZHAUER, J. 2005. Effects of rotation, tillage, fertility, and variety on rice grain yield and nutrient uptake. In: Rice Technical Working Group Meeting (2005, Little Rock). Proceedings. Little Rock, University of Arkansas. pp. 159-160.
4. AVILA, S.; BELDARRAIN, G.; CASALES, L. 2000. Manejo de enfermedades. Monitoreo de la población de *Sclerotium oryzae* y *Rhizoctonia oryzae* en suelo. In: Arroz; resultados experimentales 1999-2000. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 224)
5. -----; -----. 2001. Comportamiento de las enfermedades del tallo y sus organismos causales en distintas situaciones de chacra. In: Arroz; resultados experimentales 2000-2001. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 257)
6. -----; -----. 2002. Comportamiento de las enfermedades del tallo y sus organismos causales en distintas situaciones de chacra. In: Arroz; resultados experimentales 2001-2002. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de difusión no. 292)
7. -----; -----. 2004. Estudio de las poblaciones de hongos causantes de enfermedades del tallo. In: Arroz; resultados experimentales 2003-2004. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 373)
8. BEECHER, H.G.; THOMPSON, J.A.; BACON, P.E.; HEENAN, D.P. 1994a. Effect of cropping sequences on soil nitrogen levels, rice growth, and grain yields. Australian Journal of Experimental Agriculture. 34 (7): 977-986.
9. -----; -----; -----; DUNN, B. W. 1994b. Soil nitrogen supply to rice: crop sequence effects. Australian Journal of Experimental Agriculture. 34 (7): 987-994.

10. BERNARDES, B.C. 1945. Melhoramentos da rizicultura no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Industria e Comercio. 278 p.
11. BLANCO, P.; PÉREZ DE VIDA, F.; PÍRIZ, M. 1993. INIA-Tacuareí; nueva variedad de arroz precoz de alto rendimiento. Montevideo, INIA. 10 p. (Boletín de Divulgación no. 30).
12. BONILLA, O.; ZORRILLA, G. 2001. Descripción del proyecto de la Unidad de Producción Arroz-Ganadería (UPAG). In: Jornada Unidad de Producción Arroz-Ganadería (2001, Treinta y Tres). Resultados 2000-2001. Treinta y Tres, INIA. pp. 2-8 (Actividades de Difusión no. 258)
13. CARÁMBULA, M. 2002. Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Hemisferio Sur. t.1, 357 p.
14. DA ROSA, R. 1981. Respuesta del arroz a la fertilización sobre una pradera artificial arada en dos épocas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 189 p.
15. DEAMBROSI, E.; BONILLA, O. 2004. Resultados de producción arroz ejercicio 2003-2004. In: Jornada Unidad de Producción Arroz-Ganadería (UPAG) (2004, Treinta y Tres). Resultados 2003-2004. Treinta y Tres, INIA. pp. 14-21. (Actividades de Difusión no. 362).
16. DE DATTA, S. 1981. Principles and practices of rice production. New York. Wiley-Interscience. 618 p.
17. DÍAZ G. S.; POLÓN R. 2003. Prácticas agroecológicas para disminuir las afectaciones del arroz rojo (*Oryza sativa* L.). I. Rotación con soya, manejo del agua y laboreo del suelo en húmedo. Cultivos Tropicales. 24 (2): 45-49.
18. DURÁN, A. 1991. Los suelos del Uruguay. 2° ed. Montevideo, Hemisferio Sur. 398 p.
19. ERASMO, E.A.L., PINHEIRO, L.L.A., COSTA, N.V. 2004. Levantamento fitossociológico das comunidades de plantas infestantes em áreas

de produção de arroz irrigado cultivado sob diferentes sistemas de manejo. Planta Daninha. 22 (2): 195-201.

20. GAMARRA, G. 1996. Arroz; manual de producción. Montevideo, Hemisferio Sur. 439 p.

21. GARCÍA, M.; PUPPO, L.; HAYASHI, R. 2004. Curso de riego y drenaje; guías de clase. Montevideo, Facultad de Agronomía. 252 p.
22. 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 & Biochemistry*. 29 (9/10): 1433-1441.
23. 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 Agronómicas; Programa Nacional de Arroz. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Reporte Técnico Anual RTA n° 01).
24. INTERNACIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. 1979. Nitrogen and rice. Los Baños, Philippines, IRRI. 499 p.
25. KURTZ, M. E.; SNIPES, C. E.; STREET, J. E.; COOKE, F.T., JR. 1993. Soybean yield increases in Mississippi due to rotations with rice. *Bulletin of Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station* no. 994: 6.
26. LATTIMORE, M.E. 1994. Pastures in temperate rice rotations of south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34 (7): 959-965.
27. MASCARENHAS, H.A.A.; NOGUEIRA, S.S.S.; TANAKA, R.T.; MARTINS, A.L.M.; CARMELLO, Q.A.C. 1998. The effect of crotalaria cropped in the winter and of crop rotation on the yield of summer crops. (en línea). *Sci. Agric.* 55 (3): 534-537. Consultado 10 ago. 2005. Disponible en [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90161998000300024&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161998000300024&lng=en&nrm=iso)
28. McINTYRE, S. 1985. Seed reserves in temperate Australian rice fields following pasture rotation and continuous cropping. *Journal of Applied Ecology*. 22: 875-884.
29. MÉNDEZ, R.; DEAMBROSI, E. 1997. Evaluación del tapiz anterior al arroz sobre la implantación del cultivo. *In*: Arroz; resultados experimentales 1996-1997. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 135)

30. -----; ----- . 2002. Efectos del barbecho químico para la siembra directa de arroz. In: Arroz; resultados experimentales 2001-2002. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 292)
31. -----; ----- . 2004. Determinación del momento óptimo de aplicación de glifosato sobre una pradera para la implantación y rendimiento del arroz sembrado con siembra directa. In: Arroz; resultados experimentales 2003-2004. Treinta y Tres, INIA. p. irr. (Actividades de Difusión no. 373)
32. OLK, D.C.; ANDERS, M.M.; BOECKMANN, J.M.; GRANTHAM, J.; HOLZHAUER, J. 2005. Impaired cycling of soil nitrogen under continuous rice rotations in the Arkansas Grand Prairie area. In: Rice Technical Working Group Meeting (2005, Little Rock). Proceedings. Little Rock, University of Arkansas. pp. 148-149.
33. PALMER, B.; ISMUNADJI, M.; VO-TONG XUAN.1990. Phosphorus management in lowland rice-based cropping systems. In: Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania (1990, Manila, Philippines). Proceedings. Manila, IRRI. p. 326.
34. PANDEY, R. K.; MCINTOSH, J.L. 1990. Phosphorus requirements and management of grain legumes. In: Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania (1990, Manila, Philippines). Proceedings. Manila, IRRI. pp. 362-370.
35. PEDROTTI, J. 1984. Control de malezas en arroz. In: Jornadas de Actualización Técnica sobre Arroz (1as., 1984, Paraná, Entre Ríos). Trabajos Presentados. Paraná, Universidad Nacional de Entre Ríos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 111 p.
36. PERDOMO, C.; BARBAZAN M. 2001. Nitrógeno. Montevideo, Facultad de Agronomía. 72 p.
37. PRIORE, J.; LIMA, C.1980. Respuesta del arroz a la fertilización sobre rastrojo de dos años de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 207 p.
38. TOPOLANSKI, E. 1975. El Arroz; su cultivo y producción. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 304 p.
39. Young-Son Cho. 2005. Effects of cover crop and straw mulching on no-tillage, no-fertilised, direct-sown rice cropping systems. Australian Journal of Experimental Agriculture. 45 (10): 1297–1305.





## **ANEXOS**

### THE MIXED PROCEDURE

Dependent Variable		x1		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	3	20.13	0.0183
Dependent Variable		x2		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	3	66.69	0.0033
Dependent Variable		x3		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	3	6.97	0.0745
Dependent Variable		x4		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	3	16.49	0.0241
Dependent Variable		x5		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	6.40	0.0567
Dependent Variable		x6		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	3	3.11	0.1859
Dependent Variable		x7		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	3	25.87	0.0128
Dependent Variable		x8		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	3	2.28	0.2503
Dependent Variable		x9		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	3	7.25	0.0710
Dependent Variable		x10		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	1.10	0.4167
Dependent Variable		x11		

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	3	0.46	0.6677
Dependent Variable		x12		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	1.37	0.3516
Dependent Variable		x13		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	3	62.67	0.0036
Dependent Variable		x14		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	8.21	0.0383
Dependent Variable		x15		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	4.91	0.0837
Dependent Variable		x16		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	27.70	0.0045
Dependent Variable		x17		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	1.92	0.2608
Dependent Variable		x18		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	0.60	0.5921
Dependent Variable		x19		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	0.19	0.8325
Dependent Variable		kgN1 (kgN/ha 44 dps)		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	2.78	0.1748
Dependent Variable		kgN2 (kgN/ha 61 dps)		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	1.26	0.3757

Dependent Variable		kgN3 (kgN/ha 86 dps)		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	2.62	0.1873

Dependent Variable		h		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
T	2	4	199.75	<.0001