

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**EFFECTO DE DISTINTAS ALTERNATIVAS DE CULTIVOS
DE COBERTURA INVERNAL SOBRE LA RESPUESTA A
NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE ARROZ EN SIEMBRA
DIRECTA**

por

Ana Inés SÁNCHEZ IRIARTE

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2011**

Tesis aprobada por:

Director: _____
Ing. Agr. José TERRA

Ing. Agr. Carlos PERDOMO

Ing. Agr. Guillermo SIRI

Fecha: 22 de diciembre de 2011

Autor: _____
Ana Inés SÁNCHEZ IRIARTE

AGRADECIMIENTOS

A todo el personal de INIA Treinta y Tres que colaboró de una u otra forma con la realización de este trabajo.

Al personal de biblioteca de Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

A mis compañeros tesisistas de la misma institución que colaboraron en el trabajo de laboratorio.

A mi familia, amigos y a todos los que me acompañaron y apoyaron durante toda la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VI
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 INTRODUCCIÓN	3
2.2 BASES ECOFISIOLÓGICAS DEL CULTIVO DE ARROZ.....	4
2.2.1 <u>Etapas de desarrollo del cultivo de arroz</u>	4
2.2.2 <u>Requerimientos del cultivo</u>	5
2.3 MANEJO DEL CULTIVO	6
2.4 MANEJO DE SUELOS Y EPOCA DE SIEMBRA	7
2.5 REQUERIMIENTOS DE NITRÓGENO DEL CULTIVO.....	7
2.6 DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN SUELOS INUN-	
DADOS	8
2.7 PROCESO DE PÉRDIDA DE NITRÓGENO EN SUELOS	
INUNDADOS	10
2.8 FUENTES DE NITROGENO PRINCIPALES PARA	
EL CULTIVO	12
2.9 MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN.....	13
2.9.1 <u>Nitrógeno en la etapa vegetativa</u>	13
2.9.2 <u>Nitrógeno en la etapa reproductiva y llenado de grano</u>	13
2.10 EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE NITROGENO	14
2.11 ESTIMACION DEL INDICE DE CLOROFILA	15
2.12 MANEJO DEL SUELO E INTERACCIÓN CON LA DINÁ-	
MICA DEL NITROGENO	16
2.13 CULTIVOS DE COBERTURA.....	18
2.13.1 <u>Principales ventajas de los cultivos de cobertura</u>	18
2.13.2 <u>Estimación de retención de nitrógeno en los diferentes</u>	
<u>cultivos de coberturas</u>	21
2.13.3 <u>Mineralización de los cultivos de cobertura</u>	21
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	23
3.1 SITIO	23
3.2 SUELOS	23
3.3 TRATAMIENTOS Y DISEÑO ESTADÍSTICO	23
3.4 MANEJO DEL ENSAYO	24
3.5 DETERMINACIONES.....	25
3.5.1 <u>Coberturas</u>	25
3.5.2 <u>Cultivo de arroz</u>	26

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	27
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	28
4.1 FACTORES CLIMÁTICOS PARA LA ZAFRA 2009-2010	28
4.1.1 <u>Temperatura</u>	28
4.1.2 <u>Radiación solar</u>	28
4.1.3 <u>Precipitaciones (mensuales acumuladas)</u>	29
4.1.4 <u>Evaporación Tanque A (acumulado mensual)</u>	30
4.2 CULTIVOS DE COBERTURA	31
4.3 ARROZ.....	32
4.3.1 <u>Instalación y crecimiento inicial</u>	32
4.3.1.1 <u>Implantación</u>	32
4.3.1.2 <u>Materia seca a macollaje</u>	33
4.3.1.3 <u>Número de tallos a pleno macollaje</u>	34
4.3.2 <u>Producción de biomasa</u>	35
4.3.3 <u>Altura de planta</u>	37
4.3.4 <u>Índice de clorofila</u>	38
4.3.5 <u>Contenido de nitrógeno en planta</u>	40
4.3.5.1 <u>Nitrógeno en planta a inicio de macollaje</u>	40
4.3.5.2 <u>Nitrógeno en planta a primordio</u>	41
4.3.5.3 <u>Nitrógeno en planta a floración</u>	42
4.3.5.4 <u>Nitrógeno en planta a cosecha</u>	42
4.3.5.5 <u>Nitrógeno en grano</u>	43
4.3.6 <u>Contenido de nitrógeno en suelo a primordio</u>	44
4.3.6.1 <u>Nitrógeno en suelo como nitrato (NO₃)</u>	44
4.3.6.2 <u>Nitrógeno en suelo como amonio (NH₄)</u>	45
4.3.7 <u>Rendimiento en grano</u>	46
4.3.8 <u>Componentes de rendimiento</u>	48
4.3.9 <u>Índice de cosecha</u>	50
4.3.10 <u>Calidad industrial</u>	51
5. <u>CONCLUSIONES</u>	54
6. <u>RESUMEN</u>	56
7. <u>SUMMARY</u>	57
8. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	58
9. <u>ANEXOS</u>	64

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Análisis Químico de Suelo.....	23
2. Fraccionamiento de dosis de nitrógeno.....	24
3. Biomasa de rastrojo y aporte de nitrógeno de las diferentes coberturas invernales y su efecto sobre el contenido de nitrógeno y agua del suelo a la siembra del cultivo de arroz	32
4. Efecto del tipo de cobertura invernal sobre la acumulación de materia seca a macollaje.....	34
5. Efecto de la cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada en la altura de planta	38
6. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización basal sobre el contenido de nitrógeno en planta a macollaje	40
7. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrógeno en planta a primordio	41
8. Efecto de la fertilización nitrogenada y del tipo de cobertura invernal sobre el contenido de nitrógeno en planta a floración	42
9. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrógeno en planta a cosecha	43
10. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrógeno en grano a cosecha.....	44
11. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrato en suelo a primordio	45
12. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de amonio en suelo a primordio.....	46
13. Efecto de distintas coberturas invernales en el cultivo de arroz sobre los componentes de rendimiento.....	49
14. Efecto de las coberturas invernales y de las dosis de fertilización nitrogenada sobre los indicadores de calidad industrial del grano de arroz	52

Figura No.

1. Temperatura promedio de la serie histórica y de la zafra 2009/10	28
2. Rdiación (horas de sol) promedio de la serie histórica y de la zafra 2009/10.....	29
3. Precipitaciones promedio de la serie histórica y de la zafra 2009/10	30
4. Evaporación del Tanque A promedio para de la serie histórica y de la zafra 2009/10.....	30
5. Efecto de la cobertura vegetal sobre el numero de tallos en la etapa de implantación.....	33
6. Efecto de la cobertura invernal y de las dosis de nitrógeno en el número de tallos en pleno macollaje.....	35
7. Efecto del tipo de cobertura invernal y la dosis de nitrógeno sobre la producción de biomasa aérea a primordio, floración y cosecha en el cultivo de arroz.....	37
8. Efecto de la cobertura invernal sobre la actividad clorofiliana del cultivo.....	39
9. Efecto de la cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en grano.....	48
10. Efecto de la cobertura vegetal sobre el índice de cosecha	50

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas cinco zafras el área de siembra del cultivo de arroz fue de aproximadamente 162.735 has y la producción de arroz a nivel nacional fue de 1.241.051 toneladas de arroz cáscara (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2010). El 30% del área se sembró en siembra directa (Molina et al., 2010). El rendimiento promedio nacional para esta zafra (2009-2010) fue 8% inferior al de zafras anteriores (7636 kg./ha), debido principalmente a excesos de agua en las etapas de implantación y floración, y en menor medida a la incidencia de enfermedades en el cultivo (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2010).

En las últimas zafras, más del 60% del área del cultivo de arroz en Uruguay fue sembrada sobre algún tipo de pastura (natural, regenerada o artificial). El laboreo anticipado del suelo, en el verano-otoño previo a la siembra del cultivo, es una práctica de manejo ampliamente difundida luego de una fase de pasturas entre los productores arroceros. En la zafra 2009-2010 el área sembrada en el país sobre laboreo anticipado de verano fue un 33% del área de cultivo (Molina et al., 2010). La anticipación de las operaciones de laboreo, nivelación y drenaje permiten aumentar las probabilidades de sembrar el arroz en la época recomendada que es un factor clave en la productividad del cultivo en Uruguay.

En la zona Este del país el cultivo se realiza asociado a la producción ganadera lo que podría explicar que sea en dicha zona, la región donde mayor proporción del área fue sembrada sobre verdeos de invierno (4,8%) durante la zafra 2009-2010, en relación al área de siembra total sobre dichos antecesores (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2010). Además cabe destacar en esta zona la mayor importancia de la siembra en fecha, por lo cual se ha implementado ampliamente el laboreo anticipado.

En rotaciones cultivos-pasturas con laboreo, estas últimas cumplen un rol significativo en la sostenibilidad del recurso suelo mediante la restauración de muchas propiedades físicas, químicas y biológicas habitualmente degradadas durante la fase de cultivos (Sawchik s.f, Díaz 1992). Uno de los mayores beneficios de las pasturas de leguminosas y gramíneas en rotación con cultivos radica en su capacidad de recuperar los niveles de carbono orgánico del suelo y fijar nitrógeno atmosférico a través de la fijación biológica de nitrógeno (Sawchik, s.f). Por esta razón, los principales beneficios relacionados a la mejora de las propiedades físicas y aumento de fertilidad que aportan las pasturas en estos sistemas son capitalizados en mayor medida por los cultivos inmediatos a las mismas (Díaz 1992, Ernst 1999).

La roturación de un suelo en el verano, luego de una fase de pasturas (natural o artificial), acelera la descomposición de la materia orgánica lábil acumulada con las pasturas y expone al nitrógeno generado por la mineralización a procesos de pérdidas importantes (Sawchik s.f, Díaz 1992). Debido a la inestabilidad y alta movilidad del

nitrógeno mineralizado, ante condiciones de humedad y temperatura favorables como las que se registran al inicio del otoño, las pérdidas pueden ser magnificadas ante la ausencia de un cultivo en activo crecimiento con capacidad de absorber el nitrógeno disponible (Terra et al., 2009).

El uso de cultivos de cobertura que atrapen transitoriamente el nitrógeno disponible en el suelo y lo transfieran a cultivos siguientes es una práctica de manejo utilizada en varios sistemas productivos para ahorrar fertilizantes nitrogenados, proteger el suelo de la erosión y conservar agua (Kristensen et al., 2003). El uso de estos cultivos en los sistemas arroz pasturas no es una práctica sistemática de manejo, más allá de la regeneración espontánea del tapiz luego del laboreo de verano y su pastoreo ocasional durante el invierno. La siembra de verdes de invierno como cobertura y la desecación de los mismos con suficiente tiempo de barbecho, favorece el crecimiento y la producción de los cultivos de verano en siembra directa (Ernst 1999, Ernst y Bentancur 2004). La cobertura con mezcla de gramíneas y leguminosas incrementan el nivel de nitrógeno en el suelo, disminuyendo la respuesta al nutriente para el próximo cultivo (Méndez y Deambrosi, 2009). Trabajos extranjeros mostraron que el uso de cultivos de cobertura de leguminosas o gramíneas previo a un cultivo de arroz puede contribuir con ahorros importantes de nitrógeno en el sistema y aumentar los rendimientos, particularmente en suelos pobres (Schulz et al., 1999). Más allá de la relativamente baja dosis de nitrógeno aplicado comercialmente (70 kg N/ha) y de la baja y errática respuesta del arroz al nitrógeno comparado con otros cultivos; el incremento de los costos de los fertilizantes y las implicancias ambientales de pérdidas de nitrógeno del sistema ameritan generar conocimiento adicional sobre los impactos productivos y ambientales del uso de cultivos de cobertura en los sistemas arroz-pasturas.

La hipótesis de trabajo fue que la inclusión de cultivos de cobertura luego del laboreo de verano permitiría absorber parte del nitrógeno mineralizado, mitigar sus pérdidas y mantener el nutriente en el sistema para transferírsele al cultivo de arroz y así reducir las necesidades de fertilizantes nitrogenados en el mismo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de distintas coberturas vegetales invernales para atrapar y mantener en el sistema nitrógeno generado luego del laboreo de verano y evaluar la respuesta productiva a la fertilización del cultivo de arroz sembrado directamente sobre las mismas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUCCIÓN

En el mundo, el cultivo de arroz junto con otros cereales consume aproximadamente un 60% del nitrógeno empleado como fertilizante. El posible aumento de la producción de estos cereales traería aparejado la necesidad de incrementos en el uso de los fertilizantes nitrogenados. De ahí surge la necesidad de aumentar la eficiencia de uso del nitrógeno.

Los factores considerados para optimizar el uso de los fertilizantes nitrogenados son la utilización de la dosis correcta, época correcta, forma de localización y equilibrio con otros nutrientes. La fertilización aplicada en el momento correcto maximiza el efecto del nitrógeno y minimiza la posible contaminación del ambiente. El balance adecuado de los nutrientes es de fundamental importancia para lograr la mayor eficiencia de uso de nitrógeno, ya que todos actúan influenciándose mutuamente. La eficiencia de utilización del nutriente se puede estimar de varias formas, las más comunes, la eficiencia agronómica (kg de aumento en la producción por kg de nitrógeno aplicado) y el factor parcial de productividad (kg de producto cosechado por kg de nitrógeno aplicado) (Boaretto et al., 2007).

Los “cultivos trampa” son cultivos de cobertura utilizados para capturar el nitrógeno del suelo. En general se instalan durante el otoño-invierno para reducir las pérdidas de ese nutriente en el suelo y “atraparlo” en tejidos vegetales que luego durante su descomposición lo reintegren de forma sincronizada con la demanda del cultivo comercial. De esta manera se reduce el uso de fertilizantes nitrogenados, al tiempo que mejora la eficiencia de uso del nutriente. La fijación biológica de nitrógeno puede ser la mayor fuente de nitrógeno en la agricultura cuando se usan especies de leguminosas como cultivos de cobertura durante períodos críticos. El uso de especies gramíneas también es viable pero su capacidad de acumular nitrógeno es más limitada (Kristensen et al. 2003, Sullivan 2003, USDA 2009).

En los cultivos de verano el crecimiento y la demanda por nutrientes se produce en forma más sincronizada con el aporte del suelo (Ernst, 1999). Para el cultivo de arroz particularmente las condiciones de crecimiento bajo inundación modifican la dinámica de los nutrientes. El ambiente anaeróbico creado por el agua de inundación en el suelo crea condiciones para un uso más eficiente del suelo como de los fertilizantes. Por otra parte el laboreo anticipado y la inclusión de la siembra directa han permitido mejorar los rendimientos debido al ajuste de la fecha de siembra que es una de las principales limitantes para el cultivo en el país.

2.2 BASES ECOFISIOLÓGICAS DEL CULTIVO DE ARROZ

2.2.1 Etapas de desarrollo del cultivo de arroz

Oryza sativa L. es una planta anual de origen subtropical, de hábito semiacuático y con un metabolismo de carbono de tipo C3 (Gamarra, 1996).

Desde siembra hasta mediados de la etapa de macollaje, su tasa de crecimiento es muy baja, con una duración de 50 a 60 días. Necesita temperatura y humedad óptima para germinar e implantarse y es muy afectada por la competencia de malezas en dicho momento. Esta es la etapa vegetativa del cultivo, en la cual comienza a determinarse el primer componente de rendimiento que es la máxima cantidad de tallos/há que luego determinarán las panojas/há (Gamarra 1996, Borghi y Ernst 2002a).

Desde mediados de macollaje a fin de floración, con una duración de 35 a 45 días en promedio, se define la etapa reproductiva. Esta se caracteriza por un incremento exponencial en la tasa de crecimiento. A mitad de macollaje comienzan los cambios a nivel del meristema del tallo principal, dejando de producir primordios foliares para producir primordios florales. Estos se hacen visibles a fines de macollaje y se denomina etapa de primordio floral (Gamarra 1996, Borghi y Ernst 2002a).

A partir de este estadio el cultivo comienza una etapa con altas tasas de crecimiento y los entrenudos comienzan a elongarse elevando el ápice reproductivo. Cuando la panoja queda visiblemente envuelta dentro de la hoja bandera se denomina embarrigado. Los momentos más cercanos a floración son los más críticos, ya que en esta etapa se define el segundo componente de rendimiento que es el tamaño de la panoja expresado a través del número de granos/panoja (Gamarra, 1996).

La última etapa es la de llenado de grano y maduración, que va desde comienzo de llenado del grano hasta madurez fisiológica y tiene una duración promedio de 30 a 35 días. En esta etapa se define el último componente de rendimiento que es el peso del grano. Este es el componente más estable, las condiciones ambientales en esta etapa además del tamaño del grano son determinantes de la calidad del mismo (Borghi y Ernst, 2002a).

Las primeras etapas del cultivo ocurren en seco siendo inundado el cultivo entre los 35 a 55 días después de la emergencia. Toda la etapa reproductiva y de llenado de grano ocurre bajo inundación, siendo suprimido el riego 10 días antes de madurez fisiológica (Borghi y Ernst, 2002a).

2.2.2 Requerimientos climáticos del cultivo

La ocurrencia de fríos y la falta de radiación solar en la etapa reproductiva y de llenado de grano del cultivo son dos limitantes importantes de la producción de arroz (Deambrosi et al., 1997).

El cultivo de arroz se desarrolla en base a suma térmica, y sobrevive en un amplio rango de temperaturas (10 a 50 °C), siendo más afectado por mínimas extremas. Durante la implantación y la etapa reproductiva pueden darse los mayores problemas por temperatura para el cultivo (Gamarra 1996, Borghi y Ernst 2002a).

La implantación con temperaturas inferiores a 10 o 12 °C en suelo se ve comprometida y demorada. La implantación y crecimiento de la plántula es normal con temperaturas medias entre 18 a 25 °C en suelo (Gamarra 1996, Borghi y Ernst 2002a).

Para que la emergencia del cultivo suceda se necesitan humedad y temperatura adecuadas en suelo. La fecha de emergencia es determinante en el desarrollo del cultivo (Gamarra, 1996). Temperaturas entre 15 a 37 °C, similares a las condiciones del país reportaron un período de emergencia de 5 días, con germinación mayor al 90% (Yoshida, citado por Deambrosi et al. 1997, Deambrosi et al. 1997). El cultivo debe acumular determinada suma térmica a partir de una temperatura base de 10 °C para alcanzar la floración y maduración, dicha suma térmica es variable según los diferentes genotipos (Roel y Blanco, citados por Deambrosi et al., 1997). Los menores requerimientos térmicos a floración que poseen algunas variedades reducen la probabilidad de problemas por bajas temperaturas (Borghi y Ernst, 2002b).

Durante la etapa reproductiva, temperaturas mínimas inferiores a 15 °C pueden causar problemas de esterilidad en las panojas y pérdidas de rendimiento desde los 30 días previos a la floración hasta 30 días posteriores a la misma. Dentro de una panoja la floración empieza por el tercio superior y luego transcurre en el medio y tercio inferior, demorando todo de 5 a 10 días (Borghi y Ernst, 2002a). Las distintas variedades presentan diferente resistencia y/o tolerancia a la ocurrencia de frío durante la etapa reproductiva del cultivo. Durante el mes de enero y las dos primeras décadas de febrero, en el Este, existe un 20% de probabilidad de obtener promedios de temperaturas mínimas decádicas menores a 15°C que pueden causar esterilidad en el cultivo. De fines de febrero en adelante dicha probabilidad aumenta (Deambrosi et al., 1997).

Las bajas temperaturas no solo afectan la etapa reproductiva de los cultivares de tipo indica sino además someten a las plantas de arroz en la etapa vegetativa a estrés dificultando la absorción de coberturas de nitrógeno (Deambrosi y Méndez, 2002). El impacto de las bajas temperaturas en la falta de respuesta al agregado de nitrógeno se da cuando ocurren temperaturas bajas por varios días seguidos o cercanos (Deambrosi y Méndez, 2007).

Los requerimientos de radiación solar se hacen máximos desde la diferenciación de la panoja hasta 10 días antes de llegar a la madurez (Stansel, citado por Deambrosi et al., 1997).

La máxima luminosidad sucede desde mediados de diciembre hasta fines de enero, luego disminuye. La mayor probabilidad de encontrar décadas con entre 10 y 12 horas de sol se da entre el 10 y el 20 de enero. Por lo tanto sería deseable situar la floración del cultivo en este período para lo que se debe considerar la fecha de siembra y el cultivar a utilizar (Gamarra 1996, Deambrosi 1997). En la zona Este es deseable que la floración del cultivo se alcance antes del 10 de febrero (Deambrosi et al., 1997).

La baja oferta solar durante la etapa reproductiva disminuye las posibilidades de incremento de la productividad por el agregado de nitrógeno, e incluso se puede tornar depresivo sobre los rendimientos; incrementa la altura de plantas y disminuye el índice de cosecha (Deambrosi y Méndez, 2007). La respuesta en el número de flores por panoja ante el agregado de nitrógeno durante la etapa de primordio, está directamente asociada a la radiación solar. Cuando se dan condiciones de alta temperatura durante la etapa vegetativa y baja luminosidad en la fase reproductiva, se pueden encontrar bajas respuestas a la fertilización nitrogenada e incluso disminución del rendimiento del cultivo (Gamarra, 1996). Para maximizar la respuesta se debería ajustar la cantidad y el momento de aplicación del nitrógeno en las diferentes etapas teniendo en cuenta las predicciones meteorológicas (Deambrosi y Méndez, 2007).

2.3 MANEJO DEL CULTIVO

Considerando la importancia de la temperatura y la luminosidad para el cultivo, es necesario realizar la siembra temprana del cultivo posibilitando aumentar y estabilizar los rendimientos. Por lo que es importante tener en cuenta que el laboreo de verano-otoño, con nivelación y construcción de drenajes superficiales, facilita la realización de siembras más tempranas (Deambrosi et al., 1997).

Las medidas de manejo del cultivo facilitan la obtención de buenos rendimientos. El ajuste de algunas de ellas (fecha de siembra, fertilización y riego) disminuyen la influencia negativa de factores como la falta de luz y las bajas temperaturas en períodos críticos del cultivo con lo que podrían disminuir la variabilidad interanual de los rendimientos de chacra (Deambrosi et al., 1997).

La falta de humedad puede ser crítica a la siembra sobre laboreo de verano y sin cobertura invernal. El momento de aplicación de riego en el cultivo puede afectar el rendimiento del cultivo. Se ha visto que el riego temprano puede incrementar el rendimiento final del cultivo, especialmente si se trata de un año con déficit hídrico

después de la siembra (Méndez et al., 2001). Los efectos de la fecha de siembra y de la fertilización se detallan más adelante.

2.4 MANEJO DE SUELOS Y EPOCA DE SIEMBRA

Luego de una fase de pasturas, la investigación recomienda anticipar las operaciones de laboreo, nivelación y drenaje de la chacra en el verano-otoño previo a la siembra del cultivo, incluir un cultivo de cobertura y reducir o eventualmente eliminar el laboreo de primavera inmediatamente antes de la siembra del cultivo de arroz (Méndez et al. 2001, Terra et al. 2009)

La reducción o eventual eliminación del laboreo ha demostrado que es una práctica de manejo que permite aumentar las probabilidades de sembrar en fecha y tiene poco o nulo impacto sobre el rendimiento del cultivo cuando se la compara con el laboreo convencional (Deambrosi et al. 1997, Méndez et al. 2001a, Terra et al. 2009).

La época de siembra determina la mayor o menor incidencia de los factores climáticos (radiación y temperatura) en el rendimiento final (Deambrosi et al. 1997, Borghi 2002d). El atraso en la fecha de siembra determina en términos medios menores rendimientos. Además los rendimientos también son más variables, ya que el período crítico del cultivo transcurre en una fecha en la cual existe mayor probabilidad de ocurrencia de bajas temperaturas y se incrementa el porcentaje de esterilidad de los granos, variable entre cultivares.

Parte del comportamiento al frío de un cultivar es explicado por su composición genética. El “escape por frío” es otro tipo de comportamiento que presenta la especie, para una misma fecha de siembra, los cultivares que posean un ciclo a floración más corto tendrán más chance de escapar a bajas temperaturas en los momentos de floración (Borghi, 2002d)

2.5 REQUERIMIENTOS DE NITRÓGENO DEL CULTIVO

La absorción de nitrógeno en la planta durante su ciclo se asemeja a la curva de producción de materia seca (Lopes et al., citados por Méndez y Deambrosi, 2009).

La planta de arroz tiene dos momentos claves donde la tasa de absorción de nitrógeno es más elevada, durante el máximo macollaje y durante la formación de la panoja (Gamarra 1996, Shoji et al., citados por Méndez y Deambrosi 2009). En estos momentos resulta clave el suministro de nitrógeno de rápida disponibilidad para el cultivo, ya que la fertilización con la fuente adecuada pero con métodos y/o momentos inadecuados resulta en bajos rendimientos y altos costos (Gamarra, 1996). En general las

fuentes amoniacales son las más recomendadas para estos sistemas de producción (Fageria et al., 2003b).

Los requerimientos de nitrógeno del cultivo están relacionados a la productividad potencial del mismo, a las condiciones ambientales durante su estación de crecimiento y al suministro de otros nutrientes. Las principales etapas del cultivo en las cuales se recomienda fraccionar la fertilización con nitrógeno son siembra, macollaje y elongación de entrenudos. La aplicación a macollaje se debe realizar en suelo seco con la inmediata inundación del cultivo (Deambrosi y Méndez, 2007). De esta manera se espera mayor sincronía entre la demanda del cultivo y la disponibilidad del nitrógeno, lo que aumenta la eficiencia de uso (Fageria et al., 2003a).

Las prácticas de manejo del cultivo pueden afectar estas relaciones y la cantidad de nitrógeno suministrado por las fuentes naturales (Deambrosi y Méndez, 2007). El agregado de cantidades menores a las requeridas puede limitar el rendimiento, pero agregados excesivos del nutriente no solo reducen la eficiencia de uso del mismo, sino que pueden provocar problemas de vuelco y enfermedades (Gamarra, 1996).

Las respuestas de INIA Olimar al agregado de nitrógeno durante las zafras 2001/02 y 2002/03 no fueron consistentes, pero debe tenerse en cuenta a la hora de la fertilización con urea que su ciclo es más corto para llegar a tiempo (Blanco et al., 2004).

2.6 DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN SUELOS INUNDADOS

En el sistema convencional de siembra en Uruguay, el ciclo del cultivo de arroz ocurre en dos condiciones de humedad: una con el suelo drenado desde la siembra hasta aproximadamente 30 días después de la emergencia y otra donde la planta se desarrolla en condiciones de suelo inundado hasta la madurez fisiológica. En la primera el nitrógeno experimenta una alternancia de condiciones aerobias y anaerobias mientras que las condiciones cambian con la inundación (Méndez y Deambrosi, 2009). Las principales transformaciones que sufre el nitrógeno en suelos inundados son mineralización, inmovilización, nitrificación, desnitrificación, volatilización del amoníaco y fijación biológica de nitrógeno (Buresh et al., 2008).

La inundación afecta la eficiencia de utilización del nitrógeno por el cultivo de arroz (Fageria et al., 2003a). La exclusión del oxígeno luego de la inundación origina procesos biológicos de oxidación-reducción que alteran la disponibilidad de nitrógeno. El pH tiende a neutralizarse aumentando la liberación y disponibilidad de los nutrientes contenidos en la materia orgánica, para el consumo de la planta (Sahrawat, 2005). Como resultado de la inundación del suelo hay acumulación de nitrógeno en forma amoniacal, inestabilidad del nitrato y menor necesidad de nitrógeno para la descomposición de la

materia orgánica (Reddy 1982, Moraes y Freire, Patrik et al., citados por Méndez y Deambrosi 2009).

La cantidad de nitrógeno amoniacal, que es la fuente de nitrógeno más importante para las plantas luego de la inundación, depende del balance entre la amonificación de la materia orgánica y la inmovilización de nitrógeno por los microorganismos del suelo. El nitrógeno amoniacal puede encontrarse en el suelo en tres formas: en la solución del suelo, en las posiciones de intercambio, y en forma no intercambiable (Mengel, citado por Méndez y Deambrosi, 2009). El nitrógeno como nitrato presente en suelos inundados está muy expuesto a la pérdida por desnitrificación o lavado debido a su gran movilidad (Fageria et al., 2003b).

El arroz puede consumir tanto nitrato como amonio. Su consumo diferencial de una u otra forma dependerá del pH del suelo, del estadio de crecimiento y desarrollo, de las condiciones agroclimáticas y genéticas. Según Arima, citado por Méndez y Deambrosi (2009) el nitrato es absorbido preferentemente a pH ácido y el amonio en suelos con pH básico. Según Fageria et al. (2003b) la forma en la cual el nitrógeno se encuentra en mayor proporción en el suelo determina cual de las dos formas consumirá el cultivo. Fried et al., citados por Fageria et al. (2003b) mostró que raíces de las plantas de arroz absorbían 5 a 20 veces más rápido amonio que nitrato dependiendo del pH. El nitrógeno en forma de amonio es consumido principalmente durante la etapa vegetativa, mientras que el nitrato es preferentemente consumido durante la etapa reproductiva (Takenga, citado por Fageria et al., 2003b). Muhammad y Kumazawa, citados por Méndez y Deambrosi (2009), señalan que el cultivo transloca más amonio a las hojas más jóvenes durante el inicio de la panoja y el embarrigado, y que el nitrato es mayormente destinado a las hojas recientemente desarrolladas. Mientras que al estado de hoja bandera, la planta presenta mayor distribución de amonio que de nitrato. En cuanto a las condiciones agroclimáticas y genéticas, la subespecie indica ha demostrado mejor comportamiento con nitrato (Ta y Ohira, citados por Méndez y Deambrosi, 2009).

El nitrógeno aplicado antes de la inundación del cultivo se transforma en amonio y permanece en el suelo por un tiempo. Si el nitrógeno es aplicado en la mitad del ciclo del cultivo el consumo de las plantas es menor que cuando se realizan aplicaciones únicas, pero es más eficiente la utilización del mismo. Si la aplicación de nitrógeno en las primeras etapas del cultivo, previo a la inundación no es suficiente, se ve afectada la respuesta del cultivo a aplicaciones posteriores durante la etapa reproductiva del mismo (Méndez y Deambrosi, 2009).

Bajo condiciones óptimas de siembra de arroz la recuperación del nitrógeno basal, con retraso en la inundación puede ser de 70%. Sin embargo si la aplicación de nitrógeno se realiza sobre suelo húmedo o la inundación no es bien manejada la eficiencia de recuperación decrece. A medida que se incrementa la dosis de fertilización basal, la eficiencia de recuperación del nitrógeno es menor, lo que pone de manifiesto

que las pérdidas de nitrógeno exceden la tasa de absorción de las plantas. Cuando la aplicación del fertilizante se hace con demasiada anticipación respecto a la inundación del cultivo se forma gran cantidad de nitrato, que se perderá rápidamente por desnitrificación (Fageria et al., 2003b).

En suelos inundados, el nitrógeno aplicado como urea, desaparece rápidamente. Su hidrólisis se da mayormente en la capa de suelo oxidada, luego en la capa de suelo reducido y por último en el agua de inundación (Savant et al., citados por Méndez y Deambrosi, 2009). Es importante el estado de crecimiento del cultivo en el proceso de hidrólisis de la urea, ya que en etapas como el macollaje o durante el desarrollo de la panoja la hidrólisis es más rápida (Fageria et al., Pattnaik et al., citados por Méndez y Deambrosi, 2009). La eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado en esta etapa varía entre 45 y 82%, siendo la máxima absorción durante los primeros tres días post-aplicación (Westcott et al., Wilson et al., citados por Fageria et al., 2003b).

2.7 PROCESOS DE PÉRDIDA DE NITRÓGENO EN SUELOS INUNDADOS

En sistemas de rotación cultivos-pasturas el contenido de nitrógeno en el suelo tiene un comportamiento cíclico, durante la fase de pastura se produce un incremento del nitrógeno total en el suelo y luego en la fase de cultivos se producen pérdidas por diferentes procesos (Sawchik, s.f.).

Las pérdidas de nitrógeno en suelos inundados, como ocurre en el cultivo de arroz, se dan por desnitrificación, volatilización de amoníaco, lavado y escurrimiento superficial (Méndez y Deambrosi, 2009). La mayor parte se atribuye a las pérdidas por desnitrificación y volatilización (Frey et al., citados por Fageria et al. 2003b, Buresh et al. 2008). Se estima que un 25 % del fertilizante aplicado son pérdidas del sistema (Reddy, 1982). Si se utilizan cultivos trampa de nitrógeno, las pérdidas de urea aplicada durante el ciclo del cultivo son menores (Buresh et al., 2008). La inmovilización por microorganismos y la fijación de amonio en el complejo de intercambio son pérdidas temporarias sin que el nutriente desaparezca del sistema agua-suelo-planta y es recuperado por las plantas (Méndez y Deambrosi, 2009). El desfasaje entre la disponibilidad del nitrógeno y la demanda del cultivo, sobre todo en etapas tempranas, puede ser otra causa importante de pérdidas del nutriente en el sistema (Cassman et al., 1996).

Las pérdidas por lavado en general son bajas en los suelos en los que se siembra arroz, su mayor importancia puede darse durante el período en que no se encuentra el cultivo. La principal causa de este proceso es el uso no controlado de la fertilización nitrogenada. La rotación de arroz con cultivos que presenten un sistema radicular profundo podría reducir dichas pérdidas (Buresh et al., 2008).

La nitrificación ocurre en la capa de suelo oxidada y la desnitrificación en la capa reducida. El sustrato de la nitrificación que antecede a la desnitrificación es suministrado por la amonificación y por la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Méndez y Deambrosi, 2009). La magnitud de la misma está determinada por la cantidad de oxígeno disponible y la concentración de amonio en la capa oxidada del suelo (Reddy 1982, Buresh et al. 2008). La mineralización y las pérdidas de nitrógeno en el suelo pueden ser enlentecidas según el pool de materia orgánica existente, de la cantidad de nitrógeno orgánico y del ambiente químico generado por la inundación. Como consecuencia también las pérdidas de nitrógeno por nitrificación - desnitrificación pueden verse reducidas (Cassman et al. 1996, Sahrawat 2006).

En la capa de suelo oxidada luego de la inundación del cultivo se encuentran bacterias oxidantes del amonio y del nitrito que nitrifican el amonio disponible a amonio y nitrato respectivamente (Arth et al., citados por Méndez y Deambrosi, 2009). La nitrificación puede darse en el agua de inundación, en la capa de suelo oxidada y en la rizósfera (Patrick 1982, Reddy y Patrick, Arth et al., citados por Méndez y Deambrosi 2009).

La difusión de amonio desde la capa de suelo reducida a la capa oxidada responde por el 50% de las pérdidas de nitrógeno de los suelos inundados. Los dos procesos que controlan las pérdidas de nitrógeno son la tasa de difusión de amonio desde la capa reducida a la capa oxidada y la nitrificación del amonio en la capa oxidada. Los procesos de difusión del nitrato a la capa reducida y la reducción del nitrato a nitrógeno molecular son procesos rápidos por lo cual el nitrógeno es perdido del sistema (Méndez y Deambrosi, 2009).

La desnitrificación a su vez es mediada por microorganismos heterotróficos, y la tasa a la que se da este proceso es determinada por la concentración de nitrato y la disponibilidad de carbono (Reddy 1982, Buresh et al. 2008, Fageria et al., Buresh et al., Beauchamp et al., citados por Drury et al. 2008). Es así que las pérdidas por desnitrificación podrían ser favorecidas como resultado del agregado de carbono a partir de los cultivos de cobertura (Drury et al., 2008). La disponibilidad en el suelo de nitrógeno para las plantas como para los procesos de pérdidas está relacionada al proceso de adsorción y desorción de amonio en el suelo. La alternancia de drenaje y re inundación también favorecen este tipo de pérdidas (Buresh et al., 2008).

La pérdida por volatilización de amoníaco consiste en el pasaje del amoníaco del agua de inundación a la atmósfera siendo el amonio la fuente principal del proceso (Vlek y Craswell, citados por Méndez y Deambrosi, 2009). La volatilización de amoníaco es rápida y puede darse hasta 10 días post aplicación de nitrógeno (Fillery et al., Diest, citados por Méndez y Deambrosi, 2009). Las aplicaciones de urea favorecen las pérdidas por volatilización debido al aumento de pH producido luego de su aplicación. La volatilización es afectada por el pH del agua de inundación mayor a 8, la

temperatura, la cantidad, el momento y la forma de aplicación del nitrógeno en el cultivo (Méndez y Deambrosi, 2009).

La falta de humedad en el suelo luego de la hidrólisis completa de la urea provoca aumentos en las pérdidas por volatilización (Buresh et al. 2008, Reynolds y Wolf, citados por Méndez y Deambrosi 2009). Si se dan condiciones alternantes de humedecimiento y secado del suelo las pérdidas de amoníaco son mayores que si el suelo permaneciera inundado (Fageria et al. 2003a, Patra et al., citados por Méndez y Deambrosi 2009). La aplicación del fertilizante inmediatamente antes de la inundación reduce la volatilización (Griggs et al., citados por Buresh et al., 2008).

Según varios autores la magnitud de las pérdidas de nitrógeno por volatilización depende del estado del cultivo. Durante la etapa vegetativa estas pérdidas pueden ser de entre 27 y 56%, mientras que durante la etapa de primordio las pérdidas solo representarían entre 10 y 15% de la urea aplicada. Una forma de reducir las pérdidas por volatilización durante el período vegetativo es aplicar la urea sobre suelo saturado y luego incorporarla mediante el agua de inundación. Otra forma de reducir estas pérdidas es disminuir el intercambio gaseoso entre el agua de inundación y la atmósfera (Buresh et al., 2008).

2.8 FUENTES DE NITROGENO PRINCIPALES PARA EL CULTIVO

Entre 70 y 90 % del nitrógeno absorbido por el cultivo proviene de fuentes diferentes al fertilizante utilizado (Méndez y Deambrosi, 2009). Reddy (1982) determinó que durante las primeras etapas el cultivo consume principalmente el nitrógeno proveniente del fertilizante, mientras que en etapas más avanzadas el suelo se convierte en la fuente de nitrógeno principal para el cultivo.

El nitrógeno orgánico de rápida descomposición en el suelo es absorbido en las primeras etapas del cultivo y el de descomposición más lenta es absorbido en las etapas más tardías del cultivo (Méndez y Deambrosi, 2009).

La disponibilidad de nitrógeno para las plantas es aumentada por el efecto estimulante de las mismas plantas de arroz (Kundu y Ladha, citados por Méndez y Deambrosi, 2009), así como también por el nitrógeno aplicado como fertilizante (Reddy y Patrick, Patrick y Reddy, Bacon et al., citados por Méndez y Deambrosi, 2009).

En los sistemas de rotaciones cultivos-pasturas, la entrada de nitrógeno vía fijación simbiótica por las leguminosas es relevante, representando una fuente de suministro de nitrógeno de magnitud para los cultivos posteriores (Sawchik, s.f.). Trabajos nacionales han reportado 30 kg de nitrógeno fijado mediante simbiosis por cada tonelada de materia seca producida de leguminosas (García et al., 1994). Sin embargo, trabajos realizados en rotaciones arroz pasturas en la unidad experimental Paso de la

Laguna reportaron un aporte insignificante de nitrógeno de las leguminosas mediante fijación simbiótica. Los mismos trabajos mostraron una baja eficiencia de uso del nitrógeno del fertilizante y una gran capacidad de suministro del nutriente por el suelo (Castillo et al., 2010).

2.9 MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN

El nitrógeno es una de las limitantes más importantes para el crecimiento y desarrollo de los cultivos según varios autores. Para el cultivo de arroz existe una clara relación entre la cantidad de nitrógeno absorbido y el rendimiento alcanzado. El contenido de materia orgánica del suelo y el potencial de mineralización del nitrógeno en el suelo son la clave para determinar la cantidad necesaria de fertilizante nitrogenado para agregar al sistema (Cassman et al., 1996).

En general la fertilización nitrogenada se realiza fraccionando la cantidad de fertilizante estimado para el cultivo en tercios. Se reparte en cantidades iguales durante los tres períodos “críticos” del cultivo en cuanto a requerimientos de nitrógeno: siembra, macollaje y la etapa de primordio floral. Estudios realizados por Ferrés y Píriz, citados por Méndez y Deambrosi (2009) demuestran que el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada resultó en los mayores rendimientos en grano.

El nitrógeno aplicado en las etapas tempranas del cultivo se destina más a la producción de paja, mientras que aquel aplicado más tarde se destina a la producción de grano. La aplicación de nitrógeno a primordio aumenta el número de espiguillas por panoja (Yoshida, citado por Méndez y Deambrosi, 2009).

2.9.1 Nitrógeno en la etapa vegetativa

En esta etapa el nitrógeno favorece el macollaje y el número de espigas potenciales /m². Si las temperaturas son bajas el nutriente del fertilizante cumple un rol más importante que el aportado por el suelo (Lopes, citado por Méndez y Deambrosi, 2009).

2.9.2 Nitrógeno en la etapa reproductiva y llenado de grano

En estas etapas se definen el número de espiguillas por panojas y el peso de los granos, y se da la máxima acumulación de materia seca (Méndez y Deambrosi, 2009). Al aumentar la cantidad de nitrógeno aplicado, aumenta la materia seca de hojas y tallos y hasta cierta cantidad de nitrógeno agregado aumenta también la cantidad de granos. Debido a esto es que la relación paja/grano disminuye hasta cierto punto con la cantidad de nitrógeno agregada (Tanaka, citado por Méndez y Deambrosi, 2009).

En la etapa final de formación de la panoja, el nitrógeno disminuye el número de espiguillas degeneradas (Mae, citado por Méndez y Deambrosi, 2009). La aplicación de nitrógeno a primordio mejora la supervivencia de los macollos aunque la mayoría del nitrógeno de los órganos vegetativos y de la hoja bandera es translocado a los granos en formación (Wilson et al., Norman et al., Bufogle et al., Mae, citados por Méndez y Deambrosi, 2009).

2.10 EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE NITROGENO

La eficiencia de uso de nitrógeno por un cultivo puede definirse como el máximo rendimiento económico obtenido por unidad de nutriente utilizado por la planta para producir grano y materia seca. La misma se ha clasificado en cinco tipos de eficiencias: eficiencia agronómica, fisiológica, agrofisiológica, eficiencia de recuperación de nitrógeno y eficiencia de utilización del mismo (Fageria y Baligar, 2005c).

El manejo del suelo y del cultivo así como de otros factores afectan la eficiencia de uso de nitrógeno. El momento de aplicación para obtener la mayor eficiencia de nitrógeno en grano depende de la cantidad de nutriente a aplicar y de la translocación del mismo en la planta (Fageria y Baligar, 2005c).

Varios autores expresan la superioridad de la aplicación de nitrógeno como urea en suelo seco antes de inundar para el desarrollo vegetativo, en la nutrición de la planta y en la producción de granos.

Méndez y Deambrosi (2009) en ensayos en los que se aplicó la urea al macollaje con diferentes momentos de baños, encontraron que los tratamientos de suelo drenado donde ocurrieron lluvias posteriores disminuyeron las probables pérdidas y mejoraron la eficiencia de la urea. La aplicación de la urea en suelo seco no debe ser muy anticipada a la inundación ya que la ocurrencia de precipitaciones puede provocar la hidrólisis de la misma con la consecuente pérdida de nitrógeno.

La dosis de nitrógeno necesaria para el rendimiento óptimo es influenciada por el uso anterior del suelo. El uso óptimo de nitrógeno surge del aporte de las cantidades necesarias al cultivo de arroz para satisfacer su demanda durante todo el ciclo, por lo que es conveniente aplicar el mismo en forma fraccionada según el aporte del suelo. De esta manera sería posible una mayor eficiencia en el uso del nutriente (Fageria y Baligar, citados por Fageria y Baligar 2005c, Ferrés y Píriz, citados por Méndez y Deambrosi 2009). A pesar de esto, en suelo con alto potencial de mineralización, el fraccionamiento de las dosis de fertilizantes puede resultar insuficiente para mejorar la eficiencia de uso del nitrógeno (Castillo et al., 2011).

Se ha demostrado la mayor eficiencia de utilización del nitrógeno aplicado con la inundación temprana del cultivo, que permite obtener los máximos físicos de producción con menores dosis de fertilizantes (Chebataroff y Deambrosi, citados por Deambrosi y Méndez, 2007). Por otro lado la mayor eficiencia de utilización se da a menor tasa de aplicación de nitrógeno y decrece con los incrementos en la cantidad de nitrógeno aplicado (Fageria y Baligar, 2005c).

Otra forma de medir cuan eficiente es la utilización del nitrógeno por las plantas es el índice de cosecha de nitrógeno. Este indica que cantidad del nitrógeno utilizado se destina a la producción de grano. Valores altos de dicho índice indican la eficiente utilización del nutriente (Fageria y Baligar, citados por Fageria y Baligar, 2005c).

Según Deambrosi y Méndez (2007) la respuesta a la fertilización nitrogenada puede ser significativa pero varía en los diferentes ambientes de producción. La variabilidad de las condiciones ambientales en nuestra región determinan que los efectos de la fertilización nitrogenada puedan ser tanto beneficiosos para el cultivo, así como volverse negativos antes condiciones adversas de temperatura y radiación. Altas aplicaciones de nitrógeno a cultivares de tipo indica, y ocurrencia de bajas temperaturas durante la etapa reproductiva, incrementan la esterilidad de espiguillas y disminuyen los rendimientos.

Para que se manifiesten los efectos positivos de la fertilización nitrogenada en la productividad del cultivo son necesarias durante la fase reproductiva, alta luminosidad y poca o nula presencia de tres o más días con temperaturas inferiores a 15° C. (Deambrosi y Méndez, citados por Méndez y Deambrosi, 2009). La buena disponibilidad de radiación solar incrementa la respuesta a la aplicación de nitrógeno (Deambrosi y Méndez, 2007).

2.11 ESTIMACIÓN DEL INDICE DE CLOROFILA

El suministro insuficiente de nitrógeno resulta en menor área foliar (Fernández et al., citados por Fang Lin et al., 2010) y menor fotosíntesis, menor contenido de clorofila en hojas y menor producción de biomasa (Zaho y Oosterhuis, citados por Fang Lin et al., 2010), provocando pérdida de rendimiento y calidad. El uso excesivo de fertilizante nitrogenado provoca no solo aumento de la producción sino también mayor contaminación ambiental. Por lo tanto es importante desarrollar diagnósticos efectivos sobre el nivel de nitrógeno en el cultivo de arroz para manejar correctamente la producción.

Si bien la concentración de nutrientes es influenciada por varios factores, la concentración de nutrientes en los tejidos de la planta es un parámetro más estable y útil

que la concentración de los mismos en el suelo para determinar el nivel nutricional de un cultivo (Fageria y Baligar, 2005c).

Los equipos medidores de clorofila como SPAD (Minolta Camera Co. Osaka, Japón) fueron realizados para determinar la concentración de clorofila en las hojas. Es un método basado en la absorción de la luz mediante la hoja en un espectro específico de bandas (Tsuda, 1999). Es posible monitorear el nivel de nitrógeno en hojas usando el sensor SPAD y utilizarlo como guía para la fertilización nitrogenada en cultivos de arroz irrigados (Peng et al., 1996).

El sensor SPAD permitiría determinar el nivel nutricional del cultivo y en base al mismo realizar el ajuste de la fertilización nitrogenada. Con el ajuste de la fertilización es posible alcanzar rendimientos tan altos como con niveles de fertilización fijos, e incrementar la eficiencia de utilización del nitrógeno (Peng et al., 1996).

Los valores de SPAD tienen una correlación positiva con la concentración de nitrógeno en las hojas en arroz, pero estos son significativamente afectados por la variedad de arroz, el estado de crecimiento, la posición de la hoja y el punto de la hoja en que se hace la lectura. Por otra parte el nivel de nitrógeno en hoja es altamente relacionado con la tasa fotosintética y la producción de biomasa (Yoshida, Peng et al., citados por Peng et al., 1996).

El nitrógeno de las hojas viejas es retranslocado hacia las hojas jóvenes cuando las plantas sufren deficiencias de nitrógeno. Entonces los valores de SPAD medidos en la primera hoja son mayores que los de la tercera hoja cuando las plantas sufren deficiencia de nitrógeno, pero el promedio de las lecturas de SPAD en la primera hoja es menor que en la tercer hoja cuando las plantas tienen niveles adecuados o excesivos de nitrógeno.

Valores de SPAD considerados como críticos para el cultivo de arroz según varios autores se sitúan entre 35 y 37.5 durante el período vegetativo y 45 luego de iniciado el período reproductivo. Por encima de este último no hay respuesta a la fertilización nitrogenada. El valor de dicho índice puede ser influenciado por las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo (Turned y Jund 1994, Peng et al. 1996, Singh et al. 2002).

2.12 MANEJO DEL SUELO E INTERACCIÓN CON LA DINÁMICA DEL NITROGENO

En la zona Este la instalación más temprana del cultivo en siembra directa cobra importancia debido a la alta probabilidad de ocurrencia de bajas temperaturas en la etapa reproductiva del cultivo en esta zona (Méndez et al., 2001b).

La introducción de la siembra directa en los sistemas de producción permite reducir las pérdidas de suelo por erosión, mayor intensidad de uso del suelo y el aprovechamiento de zonas marginales. Contribuye a la disminución de los costos, al tiempo que aumenta la rentabilidad para el cultivo de arroz (Sawchik s.f., Méndez et al. 2001b).

El manejo del suelo bajo siembra directa influye en la dinámica de nitrógeno en los sistemas de producción. Reduce las pérdidas del mismo durante la fase de cultivos e incrementa la materia orgánica en la superficie del suelo, dejando una marcada estratificación de nutrientes en esa zona. El aporte de nitrógeno de las pasturas se hace más estable y posibilita mayor recuperación del mismo por parte de los cultivos. El incremento en el contenido de materia orgánica en la zona superficial, depende del manejo anterior del suelo, de la secuencia de cultivos, y de la cantidad y tipo de fertilizante aplicado (Sawchik, s.f.).

Debido a la no remoción del suelo, al mayor contenido de humedad y a la menor temperatura, afecta la mineralización del nitrógeno. Se produce mayor inmovilización del mismo en las primeras etapas, lo que aumenta la respuesta a la fertilización nitrogenada en ese período. De ahí que el tiempo de barbecho afecta la dinámica del nitrógeno en el corto plazo. Sin embargo a largo plazo en sistemas de rotación cultivos-pasturas bajo siembra directa el potencial de mineralización de nitrógeno aumenta. Otra de las ventajas de la siembra directa en estos sistemas mixtos es la mejora en el balance de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), sumado al efecto de la disminución del uso de los fertilizantes (Sawchik, s.f.).

La instalación de cultivos sin laboreo puede reducir la lixiviación de nitrógeno del suelo hasta un 26 % dependiendo del tipo de suelo y del clima (Hansen y Djurhuus, Oorts et al., citados por Constantin, 2010). Los niveles de nitrógeno en profundidad se incrementan a niveles cercanos a los obtenidos en la capa arable con laboreo convencional (Constantin, 2010). Además de los efectos mencionados, el laboreo reducido mejora la calidad del suelo e incrementa la disponibilidad y la utilización de nitrógeno por los cultivos (Fageria y Baligar, 2005c). El nitrógeno retenido en el suelo se encuentra en su mayoría como amonio retenido en las posiciones de intercambio catiónico, lo que aumenta la posibilidad de pérdida por desnitrificación (Durán y García, 2007).

La distribución del sistema radicular de las plantas de arroz en siembra directa se da en los primeros 5 cm de suelo y en forma muy dividida. Debido a esa menor penetración de las raíces en el suelo es importante ajustar el suministro de nutrientes. La fertilización basal del cultivo con nitrógeno y fósforo incrementa los rendimientos finales. La aplicación de la urea en el surco puede afectar la población de plantas si es utilizada en dosis mayores a las recomendadas, lo que se refleja en el rendimiento del cultivo (Méndez et al., 2001a).

El manejo de cultivos en siembra directa propone realizar el fraccionamiento de la fertilización en forma sincronizada con la demanda del mismo. Esto a su vez ayuda a disminuir las pérdidas por lavado y desnitrificación de nitrógeno en el sistema (Marchesi de León, 2000).

Para obtener buenos rendimientos en grano es importante asegurar la buena implantación del cultivo y su desarrollo en las etapas tempranas. La variación en el stand de plantas es menor con siembra directa (Méndez et al., 2001b). La cobertura vegetal regula en estos sistemas tanto la temperatura como la humedad del suelo, importante para el manejo de la siembra. Para siembras tempranas es mejor manejar un tapiz bajo, mientras que para siembras tardías es mejor el tapiz alto de forma que mantenga más baja la temperatura y conserve la humedad del suelo. Sin embargo existe efecto depresor de algunas especies de cobertura, como el raigrás, sobre la implantación del cultivo (Méndez et al., 2001b).

2.13 CULTIVOS DE COBERTURA

2.13.1 Principales ventajas de los cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura pueden ser considerados la columna vertebral de cualquier sistema de cultivos anuales, que pretende ser sostenible (Sullivan, 2003). En general se trata de especies de leguminosas, gramíneas o mezclas de ambas utilizadas en suelos que requieren protección y/o mejora de los recursos naturales. Las leguminosas son usadas como fuente de nitrógeno para el próximo cultivo (Smith et al., citados por Fageira et al., 2003a), mientras que las gramíneas son principalmente usadas para reducir la lixiviación de nitrógeno y la erosión (Meisinger et al., citados por Fageira et al., 2003a). La mezcla de ambas especies es usada con la intención de aprovechar ambos beneficios simultáneamente (Ranells y Wagger, citados por Fageira et al., 2003a). Las mezclas, como cobertura, durante los meses previos a la siembra del cultivo comercial mejoran las condiciones del suelo lo que impacta en la productividad del mismo (Ruffo y Bollero, citados por Fageira et al. 2003a, Deambrosi y Méndez 2007). Algunas especies de cultivos de cobertura tienen efectos alelopáticos que inhiben o retardan el crecimiento de otras plantas por liberación de toxinas naturales o aleloquímicos (Sullivan, 2003).

Algunos de los beneficios de los cultivos de cobertura se citan a continuación (Doran 1991, Sullivan 2003, Roozebaum, citado por Cleland 2010):

- Mejoran la calidad del suelo
- Aumentan la materia orgánica
- Reducen la erosión del suelo

- Reducen la compactación del suelo
- Suministran nitrógeno
- Aumentan la infiltración de agua
- Disminuyen la escorrentía
- Eliminan las malezas
- Reducen la lixiviación de nitrato (N-NO₃)
- Aumentan los rendimientos de los cultivos siguientes.

Cuando se siembran cultivos de cobertura para reducir la lixiviación de nutrientes, se denominan “cultivos trampa”. Estos además de reducir la lixiviación de nutrientes, principalmente nitrógeno, se cultivan como cultivos intermedios en rotaciones a corto plazo. Para obtener los máximos beneficios de dichos cultivos, no se debe realizar el pastoreo ni el corte de los mismos durante su etapa de crecimiento, de manera de dejar suficiente acumulación de biomasa antes del inicio del barbecho (Sullivan, 2003).

Es importante que las especies a utilizar sean exigentes en relación a este nutriente. También debe considerarse la relación carbono: nitrógeno de la especie a utilizar, ya que ésta determinará el tiempo de descomposición de los residuos (Sullivan 2003, Mengel, citado por Cleland 2010). Si no se tiene en cuenta el tipo de cobertura puede verse desfavorecido el crecimiento del cultivo principal, debido a la baja o nula mineralización de los residuos (Kristensen et al., 2003).

La capacidad de cultivos de cobertura de invierno de servir como una efectiva fuente de nutrientes para los cultivos de grano depende en gran medida del clima, del estado de crecimiento y calidad del cultivo de cobertura, del suelo, de las características del cultivo y de las prácticas de laboreo (Doran, 1991).

Cuando la disponibilidad de nitrógeno en el suelo es mayor las ventajas de las leguminosas respecto a las gramíneas disminuyen (Kristensen, citado por Kristensen et al., 2003). Las gramíneas reducen las pérdidas por lavado tomando el nitrógeno del suelo, las leguminosas además fijan nitrógeno mediante fijación biológica de nitrógeno (Kristensen et al., 2003). La siembra en coberturas de leguminosas favorece la fijación simbiótica de nitrógeno, que puede ser aprovechado posteriormente por el cultivo disminuyendo la respuesta al agregado del nutriente (Méndez y Deambrosi, 2009).

Los efectos de los cultivos de cobertura durante el invierno en la reducción de la lixiviación de nitrato se dan a corto plazo pero pueden ser enmascarados por la historia de fertilización de la chacra (Wyland et al., 1996). La reducción de la lixiviación por los cultivos de cobertura se debe a que estos reducen el contenido de nitrato en el agua del suelo, transportan activamente el nitrógeno en sus raíces y disminuyen la

cantidad de agua de percolación en el suelo y así la cantidad de nitrato lavado (Kristensen et al., 2003).

Una vez que estos cultivos son descompuestos, parte del nitrógeno de sus tejidos pasa a formar parte de la materia orgánica del suelo, por lo cual mejoran propiedades físicas y químicas del mismo a un plazo más largo (Barbazán et al., 2001). Los cultivos de cobertura aumentan la mineralización de nitrógeno durante el otoño y durante su descomposición reincorporan el nitrógeno retenido en sus tejidos al suelo (Constantin, 2010).

La combinación de la práctica de cero laboreo y los cultivos de cobertura disminuyen las pérdidas de nitrógeno del suelo en los períodos críticos, disminuyen las emisiones de óxido nitroso y ayudan a mantener el nivel de materia orgánica del suelo en los sistemas de cultivos (Constantin, 2010).

La recuperación del nitrógeno del cultivo de cobertura en los cultivos de grano siguientes es menor que la del nitrógeno inorgánico proveniente de la fertilización, y es influenciada por el clima, la cantidad de nitrógeno agregado en los residuos, el nivel de fertilidad del suelo y la historia de chacra (Doran, 1991).

Además de la protección del suelo desnudo, el rastrojo de los cultivos muertos en sistemas con siembra directa mejora la infiltración de agua y reducen la evaporación de agua en la superficie del suelo. La cobertura del mismo reduce el encostramiento de la superficie y el escurrimiento superficial del agua. La retención de humedad puede ser una ventaja significativa (Méndez et al. 2001b, Sullivan 2003).

Los beneficios reconocidos de los cultivos de cobertura deben ser evaluados en términos de retornos de efectivo. Para la etapa de crecimiento inmediato los costos de semilla y la siembra deben sopesarse contra la reducción de las necesidades de fertilizantes nitrogenados y el efecto en los rendimientos de los cultivos comerciales. Estos cultivos tienen además beneficios indirectos para el sistema de producción, como la reducción de insectos y la protección de aguas subterráneas por reciclaje de nitrógeno. Los beneficios a más largo plazo sobre el suelo derivan de la acumulación de materia orgánica, que mejora la calidad del suelo (Sullivan, 2003). Varios años de uso de los cultivos de cobertura podrían aumentar los niveles de fertilidad del suelo y ser una fuente de nitrógeno disponible residual para las plantas (Doran, 1991). Hansen y Djurhuus (1997) trabajando con raigrás como cultivo de trampa de nitrógeno, sembrado en diferentes fechas (Otoño y Primavera), reportaron que el uso de estos cultivos durante varios años pueden disminuir la fertilización nitrogenada entre 11 y 23 kg/ha, sin reducciones en los rendimientos de los cultivos.

2.13.2 Estimación de retención de nitrógeno en los diferentes cultivos de coberturas

Las leguminosas como cobertura de invierno tienen mayores beneficios en cuanto a la fijación de nitrógeno. La fijación de nitrógeno por las mismas oscila entre 45 y 220 kg de nitrógeno por hectárea. La cantidad de nitrógeno de las leguminosas depende de las especies utilizadas, de la biomasa total producida, del porcentaje de nitrógeno en el tejido de la planta, y de la proporción de nitrógeno derivado de la atmósfera por fijación simbiótica. Las condiciones culturales y ambientales que afecten el crecimiento de las leguminosas, afectarán la fijación de nitrógeno (Sawchik s.f., Sullivan 2003). Según García et al., citados por Carámbula (2002) puede considerarse que por cada tonelada de materia seca producida por las leguminosas, se fijan 30 kg de nitrógeno, y el 90% es proveniente de la atmósfera.

Según varios autores citados por Kristensen et al. (2003) la cantidad de nitrógeno retenido por las gramíneas puede variar desde 10 a 200 kg/ha de nitrógeno, dependiendo de las condiciones climáticas en las que se desarrolla el cultivo, del crecimiento de la raíz y de la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo. La capacidad de absorber nitrógeno del suelo de estas especies está regulada por su propio crecimiento.

2.13.3 Mineralización de los cultivos de cobertura

El cultivo de cobertura se deseca tan tarde como sea posible para maximizar la producción de su biomasa vegetal, ya que brinda varios beneficios y en función del objetivo con el que se utiliza se determina el manejo a realizar. El momento adecuado para “matar” el cultivo de cobertura dependerá de la rotación específica en la que se incluya y del tiempo. Se debe considerar el tiempo que permita preparar el suelo para la próxima cosecha y evitar el exceso de humedad o el agotamiento de la misma por estos cultivos. Cuando el objetivo sea la rápida mineralización de los nutrientes “atrapados” en la biomasa, el mejor momento para matar la cobertura será en la etapa vegetativa cuando la relación carbono : nitrógeno es más baja. Es durante los meses de otoño, en general, cuando se desea capturar el exceso de nutrientes en el perfil del suelo, por lo que es necesario que el cultivo de cobertura esté creciendo antes de ese período crítico de lixiviación de nutrientes (Stenberg et al. 1999, Kristensen et al. 2003, USDA 2009). La mayoría de las pérdidas de nitrógeno se dan como nitrato durante otoño, invierno y primavera temprana cuando la evaporación es baja, las precipitaciones son altas y no hay cultivos creciendo (USDA, 2009).

La calidad inicial de los residuos juega un papel preponderante en determinar la tasa de descomposición de los residuos y la mineralización de nitrógeno (Knapp et al., citados por Somda et al., 1991). La tasa de descomposición de los residuos en superficie es más lenta. Este proceso es además influenciado por factores como el contenido de lignina, condiciones ambientales (temperatura y humedad), contenido inicial de

nitrógeno y la población microbiana (Schomberg et al., citados por Sawchik s.f., Pam y Papendick, citados por Somda et al. 1991).

Si el objetivo es sincronizar la mineralización rápida de los nutrientes reciclados por los cultivos de cobertura con la absorción del cultivo siguiente se debe considerar la relación carbono:nitrógeno de las especies a utilizar como cobertura vegetal. Relaciones carbono:nitrógeno mayores a 33/1 (12,1 g N/kg MS en tejidos) generalmente producen inmovilización neta de nitrógeno; relaciones carbono:nitrógeno menores a 15/1 (26,7 g N/kg MS) en cambio liberan nitrógeno mineral al sistema, produciendo mineralización neta (Perdomo y Barbazán, citados por Barbazán et al. 2001, Sullivan 2003). Cuando la relación carbono: nitrógeno es baja la mineralización puede ocurrir en pocos meses (Marstorp y Kirchmann, citados por Kristensen et al., 2003). Especies que tienen una relación carbono:nitrógeno, que hace que la liberación del nitrógeno de sus tejidos sea lenta, tienen como beneficio extraer en nitrógeno del suelo para que el mismo no esté disponible para perderse del sistema contaminando las aguas subterráneas (Mengel, citado por Cleland, 2010).

Mejoras en la productividad del suelo asociadas con el manejo de los residuos de cultivos están relacionadas a la descomposición de dichos residuos y a las tasas de mineralización de nutrientes (Pam y Papendick, citados por Somda et al., 1991).

Según Sawchik (s.f.) se presume que en cultivos de verano la economía ante la necesidad de fertilización nitrogenada podría ser mayor debido a las mejores condiciones de mineralización del nitrógeno orgánico. Además los cultivos de grano de verano siguientes a los cultivos de cobertura de invierno son los primeros que obtienen beneficios de los cultivos de cobertura (Doran, 1991).

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 SITIO

El experimento fue realizado durante la zafra 2009 - 2010 en la unidad Experimental Paso de la Laguna, perteneciente a la estación experimental del Este, INIA Treinta y Tres a 28 km de la capital departamental (33°:16'22"S, 54°:10'22"W, 22-m de elevación).

3.2 SUELOS

El suelo sobre el cual se ubicó el ensayo fue un Solod melánico perteneciente a la unidad "La Charqueada" de la carta de suelos 1:1000000 según la clasificación de la Dirección Nacional de Suelos, Aguas y Fertilizantes del MGAP y al grupo CONEAT 3.52.

El experimento se instaló sobre un campo con vegetación regenerada luego de 3 años de descanso desde el último cultivo de arroz. El análisis químico del suelo (0 – 15 cm profundidad) al inicio del experimento se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1: Análisis químico de suelo (0-15 cm) del sitio experimental.

pH (agua)	C. Org. (%)	N (%)	N-NO3 (ppm)	P ac. cit. (ppm)	K int. (meq/100 g)
5.8±0.2	1.0±0.1	0.09±0.02	18.0	4.2±0.6	0.22±0.01

3.3 TRATAMIENTOS Y DISEÑO ESTADÍSTICO

El experimento consintió en un arreglo factorial de 5 alternativas de cobertura del suelo durante el invierno (entre el laboreo de verano y la siembra del arroz) y 4 dosis de nitrógeno en el cultivo de arroz sembrado directamente sobre las mismas.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo de parcelas divididas con 4 repeticiones.

Las coberturas invernales fueron ubicadas en las parcelas mayores (9.6m*10m), las cuales se dividieron en parcelas menores (2.4m*10m) combinando las 4 dosis de nitrógeno.

Los 5 tratamientos de coberturas invernales consistieron en: sorgo forrajero (*Sorghum sp.*), raigrás (*Lolium multiflorum*), trébol rojo (*Trifolium pratense*), vegetación espontánea de malezas y suelo desnudo (sin vegetación).

Los tratamientos de nitrógeno (cuadro 2), se aplicaron de forma fraccionada en 3 momentos del ciclo del cultivo (siembra, inicio macollaje y elongación de entrenudos) y consistieron en: un testigo sin fertilización nitrogenada (0kg N/ha), 62 kg N/ha, 82 kg N/ha, y 102 kg N/ha. El tipo de fertilizante utilizado varió según el momento de aplicación a la siembra se utilizó fosfato de amonio, mientras que en los demás momentos se utilizó urea.

Cuadro 2: Fraccionamiento de dosis de nitrógeno.

Dosis Total N (kg/ha)	Siembra	Macollaje	Primordio
0	0	0	0
62	22	20	20
82	22	30	30
102	22	40	40

3.4 MANEJO DEL EXPERIMENTO

El suelo del sitio experimental se acondicionó mediante la aplicación de 4l/ha de glifosato en diciembre seguido por operaciones de laboreo y nivelación en la primera quincena de enero de 2009. El laboreo anticipado de verano consistió en una pasada de excéntrica, dos pasadas de rastra de discos y una pasada de landplane. Toda el área experimental fue fertilizada inmediatamente a la nivelación con 30 kg P₂O₅/ha aplicados como fosforita granulada (110 kg/ha N0-P13-27-K0).

Las diferentes coberturas fueron instaladas entre febrero y abril de 2009. El sorgo forrajero (cv. AGT BMR ultra) fue sembrado el 3/02/2009 a una densidad de 12 kg/ha de semilla en líneas a una distancia de 36 cm entre hileras. Inmediatamente luego de la siembra las parcelas con sorgo recibieron una aplicación de 3 l/ha de Atrazina (48% i.a) como herbicida pre-emergente.

Todas las parcelas sin sorgo forrajero, tuvieron una aplicación de 3 l/ha de glifosato (Rango) el 18/03/2009. El tratamiento sin vegetación recibió 1 aplicación de herbicida (Rango) adicional el 20/07/2009 para mantenerlo libre de vegetación espontánea. En el tratamiento de malezas, se dejó crecer libremente la vegetación espontánea luego de la aplicación del herbicida hasta el momento de comienzo del barbecho químico antes de la siembra. El tratamiento de raigrás fue sembrado el

17/04/2009 al voleo con una densidad de 20 kg/ha de semilla. El trébol rojo se sembró al voleo a una densidad de 10 kg/ha de semilla el 17/04/2009. Todos los tratamientos se mantuvieron libres del efecto de pastoreo, con la finalidad de eliminar los efectos del componente animal sobre la acumulación de biomasa, la dinámica de nitrógeno y las propiedades físicas del suelo.

El barbecho químico para el cultivo de arroz comenzó el 14/09/2009 con la aplicación de 3 l/ha de glifosato: 612 g/l sal potásica (Power Rango) en todos los tratamientos.

El cultivo de arroz (cv. INIA Olimar) fue sembrado directamente sobre las coberturas el 08/10/2009. La densidad de siembra fue de 134 kg/ha, con una distancia entre hileras de 0.17m. La semilla utilizada fue curada con 200cc/100 kg semilla de Yunta (imidacloprid + tebuconazol) para prevenir ataques de insectos y hongos del suelo entre la siembra y la emergencia.

La fertilización basal con nitrógeno sobre los tratamientos con fertilización se realizó utilizando 120 kg/ha de fosfato de amonio ($N_0P_{46}K_0$), mientras que los sin fertilización nitrogenada recibieron 120 kg/ha de superfosfato triple ($N_0P_{46}K_0$). Todas las parcelas además se fertilizaron con 50 kg/ha de cloruro de potasio. No se realizaron baños previos a la inundación definitiva. El control de malezas se realizó mediante dos aplicaciones de mezcla de tanques de herbicidas, una de preemergencia y otra de postemergencia. La aplicación de preemergencia fue realizada el 13/10/2009 y consistió en una mezcla de 2 l/ha de glifosato (Power Rango) y 1 l/ha de Clomazone (Cibelcol). Al inicio del macollaje del cultivo, el 27/11/2009, se aplicó una mezcla de 100cc/ha de Bispyribac (Bispirine), 1.3 l/ha de Quinclorac (Facet) y 850cc/ha Plurafac.

La aplicación de urea a macollaje sobre suelo seco se realizó el 1/12/2009, con la aplicación diferencial según tratamiento de las diferentes dosis de nitrógeno. La inundación definitiva del cultivo se realizó el 5/12/2009. La aplicación de urea correspondiente a la etapa de primordio floral se realizó el 23/12/2009. Al inicio de la floración del cultivo se realizó una aplicación de fungicida preventivo para el control de pyricularia y rizhoptonia de Tebuconazol: 150 g/l Kresoxim-metil: 125 (Conzerto) el 28/01/2010, a una dosis de 1 l/ha.

3.5 DETERMINACIONES

3.5.1 Coberturas

A la siembra de las coberturas se determinó el contenido de nitrógeno, carbono orgánico, fósforo (Bray I y Acido cítrico), potasio intercambiable, y pH (agua) en suelo (0-15 cm profundidad). Las determinaciones realizadas sobre las coberturas invernales fueron la materia seca acumulada, así como la cantidad de nitrógeno asimilado en las

mismas durante el invierno. La materia seca de todas las coberturas, a excepción del sorgo, se determinó cortando, con cuadros y tijeras, 4 muestras por parcela de 0.1 m^2 cada una. En el cultivo de sorgo la materia seca se determinó mediante el corte de 4 hileras de 2 m de largo por parcela (1.36 m^2). Estas determinaciones se realizaron previo a la aplicación de herbicida al inicio del barbecho, el 14/09/2009. El nitrógeno en planta se determinó mediante análisis químico, con el método de Kjeldahl.

3.5.2 Cultivo de arroz

Inmediatamente antes de la siembra del cultivo de arroz se tomaron muestras de suelo (0 – 15 cm) para determinar el contenido de agua gravimétrico y el contenido de nitrógeno en forma de nitrato (N-NO_3) y amonio (N-NH_4). Las determinaciones de nitrato en suelo se realizaron a partir de muestras de suelo seco a 40°C , mediante extracción con CuSO_4 y posterior medición del nitrato de la muestra por potenciometría. El contenido de amonio en suelo se determinó mediante colorimetría, por lectura de la absorbancia de la muestra. En la etapa de macollaje y primordio del cultivo nuevamente se extrajeron muestras de suelo, previo a la fertilización, para determinar el contenido de nitrato (N-NO_3) y amonio (N-NH_4).

Durante la implantación se midió el stand de plantas por superficie (No. de plantas/ m^2) el 11/10/2009. El conteo se realizó tomando 4 muestras (0.34 m^2) en cada parcela mayor.

En macollaje, primordio, floración y cosecha se realizó muestreo de plantas por parcela menor, cortando 4 muestras de 0.085 m^2 cada una, para determinar el número de tallos, la cantidad de biomasa aérea total del cultivo y su contenido de nitrógeno. El contenido de nitrógeno en planta se determinó mediante el método de Kjeldahl. Se estimó la actividad clorofiliana en la hoja más desarrollada mediante un sensor SPAD al momento de primordio y floración, utilizando 5 determinaciones dentro de cada tratamiento menor en cada etapa. Se determinó la altura de plantas en la etapa de floración realizando 5 mediciones por parcela menor.

Previo a la cosecha se midió la incidencia de enfermedades en el cultivo. Finalmente se realizó la cosecha del cultivo en forma manual durante los días 15/03/2010 y 19/03/2010. En base a la biomasa aérea acumulada a cosecha se estimó el índice de cosecha. Se determinó la partición de materia seca del cultivo en biomasa aérea y en grano luego de la trilla (separación de grano y paja) de las muestras colectadas. Para dicho procedimiento se utilizó una cosechadora experimental. Se determinó el rendimiento en kilogramos de grano por hectárea de cada uno de los tratamientos menores a partir del corte de 6m lineales de las 7 hileras centrales de cada sub-parcela, ajustando el peso de grano al 13% de humedad. Luego se procedió al análisis de los otros componentes de rendimiento (granos llenos y peso de granos)

mediante el corte de 20 panojas al azar dentro de cada uno de los tratamientos menores. Se evaluó también la calidad industrial del grano (blanco total, entero, yesado y manchado) a partir de muestras obtenidas durante la cosecha.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las respuestas agronómicas de los tratamientos fueron evaluadas utilizando los modelos mixtos (PROC MIXED) del paquete estadístico SAS (Littell et al., 1996). Los tratamientos de cobertura, las dosis de nitrógeno evaluadas y las posibles interacciones entre ambos fueron considerados como efectos fijos. Por otra parte los bloques y la interacción de estos con las coberturas invernales fueron considerados como efectos aleatorios. La significancia estadística de los efectos fijos del modelo fue determinada mediante un test F con un $P=0,05$.

4 RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 FACTORES CLIMÁTICOS PARA LA ZAFRA 2009-2010.

4.1.1 Temperatura

El período entre la siembra y la emergencia del cultivo fue muy largo y se extendió aproximadamente durante un mes. Esto podría estar relacionado a las bajas temperaturas registradas durante el mes de octubre. Las mismas estuvieron 1.4 grados por debajo del promedio histórico y están ligeramente por debajo de las consideradas óptimas tanto para la germinación como para la implantación del cultivo.

Durante las etapas de máximo macollaje y floración la temperatura registrada resultó inferior a la temperatura óptima para cada una de estas etapas (8 grados y 7 grados respectivamente). Por último la temperatura en la que el cultivo alcanzó la madurez fisiológica si resultó ser la temperatura óptima (20 a 25 ° C) para el cultivo en esa etapa según Borghi y Ernst (2002a) (Figura 1).

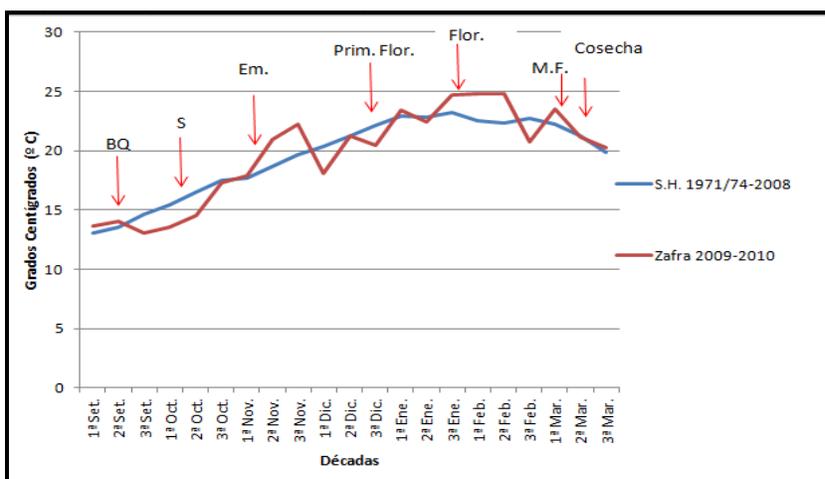


Figura 1. Temperatura promedio de la serie histórica y de la zafra 2009/10.

4.1.2 Radiación solar

La radiación solar fue muy variable a lo largo del ciclo del cultivo, registrando un máximo de casi 10 horas de sol y un mínimo de 3.5 horas de sol. El promedio total de horas de sol a lo largo del ciclo resultó 13% inferior al promedio de la serie histórica. El período de floración a llenado del grano resulta el más sensible para el cultivo ante la disminución de la radiación solar según Deambrosi et al. (2002).

Como se observó durante las primeras décadas del mes de febrero (Figura 2), la radiación solar disminuyó, coincidiendo con el período crítico del cultivo (32 % inferior

al promedio histórico). Esto pudo haber provocado incrementos en el porcentaje de yesado del grano mientras transcurría la etapa de llenado ya que la radiación presentó valores inferiores a 6 horas de sol. A pesar de esto los valores de yesado no resultaron demasiado elevados, lo que podría explicarse por un incremento en las horas de sol al final del período crítico.

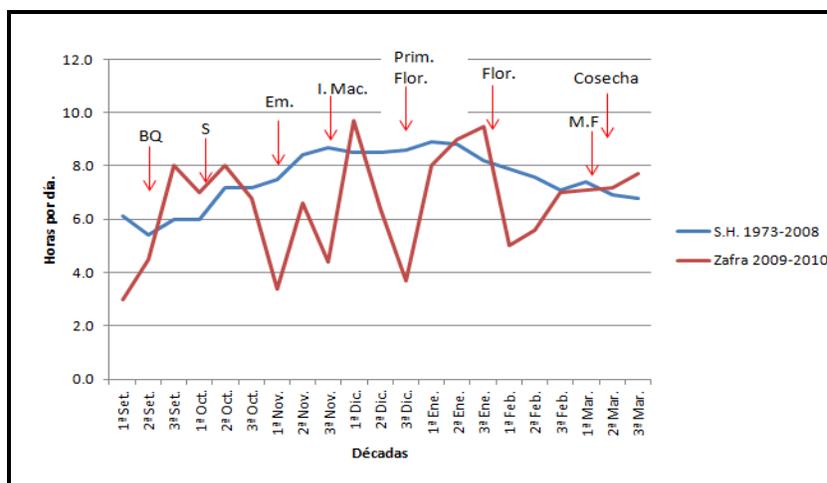


Figura 2. Radiación (horas de sol) promedio de la serie histórica y de la zafra 2009/10.

4.1.3 Precipitaciones (mensuales acumuladas)

Si bien las precipitaciones durante el ciclo del cultivo de arroz no son una limitante, debido a la inundación del mismo, estas podrían afectar el ciclo del cultivo. Durante las primeras etapas del cultivo las precipitaciones fueron similares al promedio histórico (Figura 3). El total de precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo resultó 40% superior al promedio histórico.

Las precipitaciones ocurridas durante el mes de febrero (449 mm), superiores al promedio histórico (Figura 3), afectaron el período a madurez del cultivo de arroz. Además del desfase en el tiempo de emergencia de algunos tratamientos, el momento de cosecha varió entre ellos. La combinación de dosis de nitrógeno y nivel de precipitaciones durante la etapa reproductiva del cultivo causaron diferencias en el porcentaje de grano verde a un mismo momento entre tratamientos. Lo mismo dificultó el secado de los granos entre madurez fisiológica y cosecha.

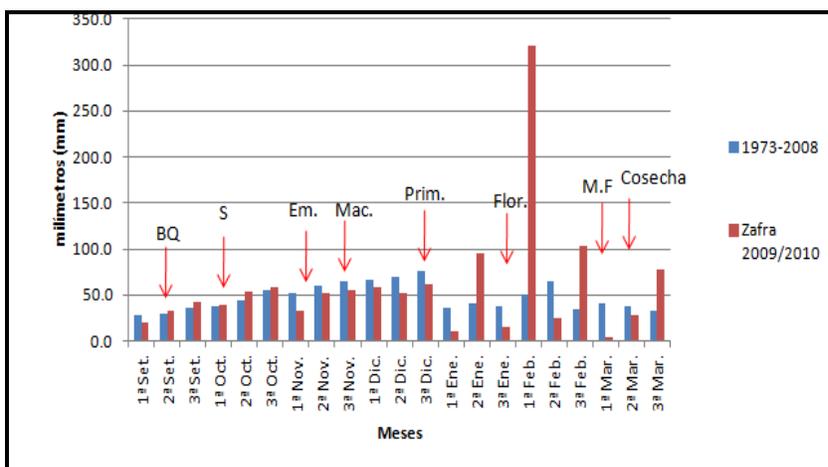


Figura 3. Precipitaciones promedio de la serie histórica y de la zafra 2009/10.

4.1.4 Evaporación “Tanque A” (acumulado mensual)

Durante las primeras etapas del cultivo las precipitaciones ocurridas y la evaporación medida en el tanque “A” (Figura 4) resultaron iguales, lo cual podría relacionarse con el atraso en la emergencia del cultivo.

En febrero, la evaporación medida en el “Tanque A” (137 mm) resultó inferior a las precipitaciones ocurridas, lo que podría relacionarse con la dificultad en el secado de los granos a madurez fisiológica.

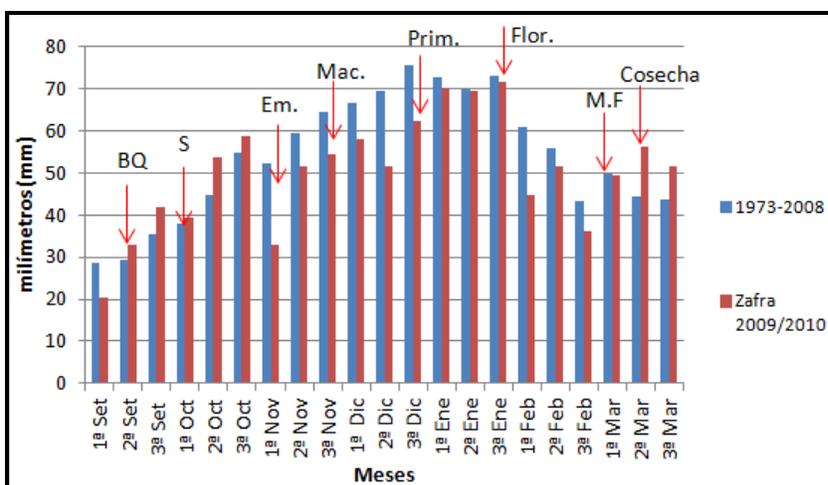


Figura 4. Evaporación del “Tanque A” promedio para de la serie histórica y de la zafra 2009/10.

4.2 CULTIVOS DE COBERTURA

Las precipitaciones durante el período otoño – invierno, durante el cual se implantaron y crecieron los cultivos de cobertura, resultaron 36 % inferiores al promedio histórico. La temperatura media para el mismo período (15.7 °C) resultó 4 % inferior a la de la serie histórica (1980 - 2009).

La mayor acumulación de biomasa se observó en el cultivo de sorgo (Cuadro 3). Las malezas presentaron la menor acumulación de biomasa mientras que el trébol rojo y el raigrás tuvieron una acumulación intermedia. La acumulación de materia seca del trébol rojo representó solo un 30 % de lo estimado según la evaluación nacional de cultivares. La acumulación de materia seca de raigrás pudo verse deprimida respecto al año anterior por el retraso en la fecha de siembra a consecuencia del déficit hídrico del otoño. La calidad del rastrojo de trébol rojo resultó superior a todas las demás especies ya que la concentración de nitrógeno del mismo fue superior. El trébol rojo retuvo en sus tejidos 47.6 kg de nitrógeno/ha, cantidad que resultó 2 y 3 veces mayor al nitrógeno retenido en raigrás y malezas. El rastrojo de menor calidad fue el de sorgo, que presentó solo 0.89% de nitrógeno en sus tejidos. Estos resultados confirman que las leguminosas con una menor relación carbono:nitrógeno en sus tejidos, pueden hacer un mejor aporte de nitrógeno al cultivo siguiente. Por otro lado especies de gramíneas tienen mayor relación carbono:nitrógeno y pueden resultar en rastrojos de difícil mineralización comprometiendo la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos posteriores.

La mayor acumulación de nitrato en el suelo se encontró en las parcelas sin vegetación. La acumulación de nitrato en las parcelas de trébol rojo resultó intermedia lo que podría indicar que la mineralización de dicho rastrojo no fue total o que existieron pérdidas de residuos que disminuyeron la acumulación de nitrato en el suelo. Los resultados observados sobre suelo desnudo podrían explicarse debido a que no existieron precipitaciones elevadas durante el período otoño-invierno que pudieran causar pérdidas importantes de nitrógeno en el suelo.

En cuanto al contenido de agua gravimétrico, si bien el menor valor se encontró en las parcelas sin vegetación, no existieron diferencias significativas entre tratamientos. En general los valores encontrados para este parámetro resultaron inferiores a los encontrados para el mismo ensayo durante la zafra anterior. Esto concuerda con la caracterización agroclimática realizada para el período otoño – invierno donde se implantaron estas coberturas, en el cual las precipitaciones resultaron inferiores al promedio histórico.

Cuadro 3 . Biomasa de rastrojo y aporte de nitrógeno de las diferentes coberturas invernales y su efecto sobre el contenido de nitrógeno y agua del suelo a la siembra del cultivo de arroz.

Tratamiento	Biomasa (kg MS/ha)	N rastrojo (g/kg MS)	N rastrojo (kg/ha)	N-NO3 suelo ($\mu\text{g N/g}$)	Agua gravimétrico (g/kg)
Sin Veg.	0	0	0	7a	227 ^a
Malezas	740c	20.6b	15.2c	4c	241 ^a
Raigrás	1570b	15.7c	24.6bc	3c	239 ^a
Sorgo	3490a	8.9d	31.1b	4b	233 ^a
Trébol Rojo	1380bc	34.5a	47.6a	4bc	231 ^a

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3 ARROZ

4.3.1 Instalación y crecimiento inicial

4.3.1.1 Implantación

La emergencia del cultivo de arroz fue muy lenta, los diferentes tratamientos emergieron un mes después de la siembra, posiblemente como consecuencia de las bajas temperaturas. El arroz sembrado sobre trébol rojo y raigrás emergió el 06/10/2009, mientras que el sembrado sobre sorgo y malezas lo hizo el 10/10/2009. El arroz sembrado sobre suelo desnudo presentó una emergencia despereja debido al encostramiento de la superficie. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la implantación del cultivo entre las diferentes coberturas y dosis de nitrógeno basal (Figura 5). El número de plantas promedio encontrado en esta etapa entre los tratamientos de cobertura fue de 112 plantas/m².

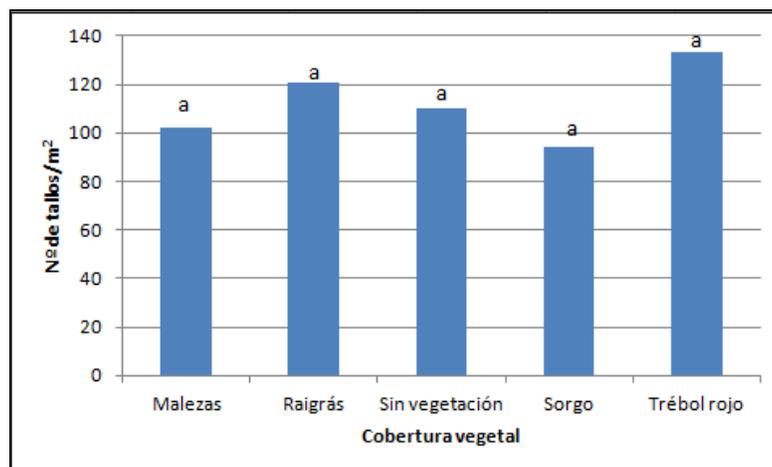


Figura 5. Efecto de la cobertura invernal sobre el número de tallos en la etapa de implantación. Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma gráfica no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.1.2 Materia seca a inicio de macollaje

El arroz sembrado sobre suelo desnudo y trébol rojo presentó la mayor producción de biomasa aérea. La menor acumulación de biomasa aérea se observó sobre cobertura de raigrás tanto con fertilización como sin fertilización basal nitrogenada. La mayor respuesta al agregado de nitrógeno basal se observó en el cultivo sembrado sobre raigrás (98%). Por otro lado la menor respuesta se observó en el cultivo sobre suelo desnudo. La respuesta observada sobre malezas, sorgo y trébol rojo fue 86%, 69% y 40%, respectivamente. (Cuadro 4). La mayor respuesta encontrada en el arroz sobre raigrás podría explicarse por su alta relación carbono: nitrógeno, por lo que es de esperar inmovilización de nitrógeno durante las primeras etapas de la descomposición de los residuos, y por lo tanto menor disponibilidad de nitrógeno para el cultivo. Los resultados concuerdan con el contenido de nitrógeno encontrado en el suelo al momento de la siembra.

La mayor eficiencia agronómica de uso de nitrógeno se observó sobre malezas (4.56 kilos de materia seca por kilo de nitrógeno aplicado). La menor eficiencia fue sobre las parcelas sin vegetación, esto concuerda nuevamente con el contenido de nitrógeno en suelo a la siembra.

Cuadro 4. Efecto del tipo de cobertura invernal sobre la acumulación de materia seca a macollaje.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo
	kg MS/ha				
0	116bC	94bC	215aA	115bC	175bB
22	216aAB	186aB	223aA	194aB	245aA

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

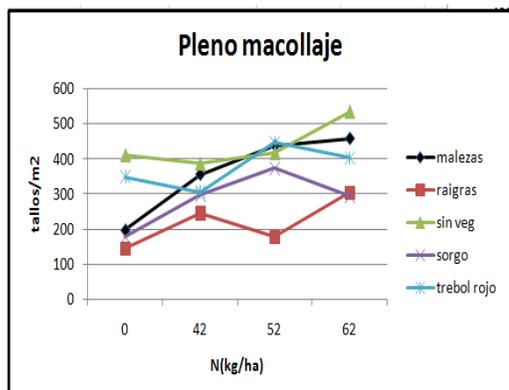
4.3.1.3 Número de tallos a pleno macollaje

El número de macollos por planta fue afectado tanto por la cobertura invernal como por la fertilización nitrogenada y las dosis de nitrógeno. Sin embargo la interacción entre dichos factores no resultó significativa.

El mayor número de macollos por superficie se dio en el cultivo sembrado sobre suelo desnudo, que resultó 14 % y 18 % superior a los obtenidos sobre trébol rojo y malezas respectivamente. El menor número de macollos por superficie lo obtuvo el cultivo instalado sobre cobertura de raigrás, que resultó aproximadamente 50 % inferior al obtenido sobre suelo desnudo (Figura 6).

La respuesta a la fertilización nitrogenada ocurrió hasta la dosis máxima de fertilización, aunque algunos tratamientos no tuvieron diferencias significativas entre sí. El mayor número de macollos por metro cuadrado, en general, se obtuvo con la dosis máxima, mientras que el menor número de macollos por superficie se observó a la dosis mínima. Este último resultó 64% inferior al número de tallos obtenido a la dosis máxima.

Los resultados observados sobre raigrás concuerdan con lo encontrado por Méndez et al. (2001b), donde se cita el efecto depresor de la cobertura de raigrás sobre la implantación del cultivo de arroz. Por otro lado podría explicarse de acuerdo a lo expresado por varios autores sobre la relación carbono:nitrógeno de las especies, el período de descomposición y el manejo de los residuos en el suelo. Donde especies con alta relación carbono:nitrógeno, como raigrás, producen inicialmente inmovilización del nitrógeno por los microorganismos del suelo, pudiendo afectar la nutrición del cultivo. A partir de la respuesta observada ante el agregado de nitrógeno se podría inferir que los niveles iniciales de este en suelo limitaban el potencial de crecimiento vegetativo del arroz.



$$\text{Malezas: } y = -34.6x^2 + 259.2x - 35.4 \quad r^2 = 0.99$$

$$\text{Raigrás: } y = 40.8x + 117.2 \quad r^2 = 0.550$$

$$\text{Sin Veg.: } y = 35.3x^2 - 136.6x + 515.4 \quad r^2 = 0.996$$

$$\text{Sorgo: } y = -50.36x^2 + 294.1x - 70.58 \quad r^2 = 0.97$$

$$\text{Trébol rojo: } y = 30.2x + 301.8 \quad r^2 = 0.400$$

Figura 6. Efecto de la cobertura invernal y dosis de nitrógeno en el número de tallos en pleno macollaje.

4.3.2 Producción de biomasa

Los efectos de las coberturas vegetales y de las dosis de nitrógeno sobre la producción de biomasa de arroz resultaron diferentes a lo largo del ciclo del cultivo (Figura 7).

Al momento de pleno macollaje se observó efecto tanto de las coberturas vegetales como de la fertilización nitrogenada, pero no así de la interacción entre ambos. La mayor producción de biomasa aérea se observó en el cultivo de arroz sembrado sobre suelo sin vegetación, malezas y trébol rojo. Por otro lado el cultivo instalado sobre raigrás mostró la menor acumulación de materia seca, resultando 45 % inferior respecto al cultivo sobre suelo desnudo, que presentó la mayor producción de biomasa aérea. El cultivo sobre sorgo tuvo una producción de biomasa intermedia que resultó 31% inferior al cultivo sobre suelo desnudo.

La biomasa aérea producida aumentó al incrementar las dosis de nitrógeno sobre el cultivo. Esta respuesta a la fertilización se observó hasta las dosis mayores, las mayores diferencias se observaron entre los tratamientos sin fertilización y la dosis mayor de nitrógeno. La producción promedio de biomasa aérea a la dosis máxima fue 89 % superior que la de los tratamientos testigos.

En la etapa de floración resultaron significativos los efectos de las coberturas invernales y de las dosis de nitrógeno, pero no así la interacción entre estos.

La mayor acumulación de materia seca en promedio se dio en el arroz sobre trébol rojo, mientras que la menor acumulación se observó sobre raigrás. La acumulación de biomasa de arroz sobre suelo desnudo o trébol rojo sin nitrógeno resultó

36 % superior a la acumulada en promedio sobre sorgo y raigrás. Si bien estas relaciones se mantuvieron a la dosis máxima de nitrógeno, su magnitud disminuyó a un 20%.

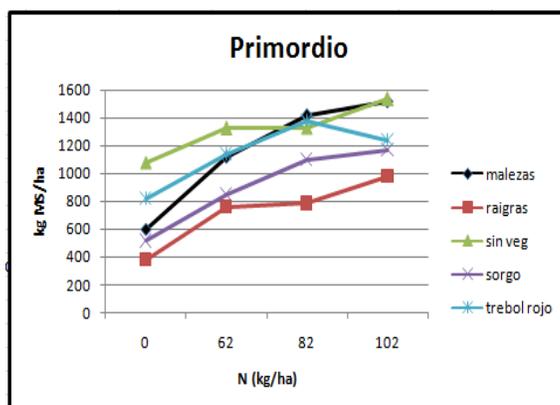
Si bien no existió una tendencia clara de respuesta a la fertilización, las dosis de 62 kg N/ha y 102 kg N/ha presentaron la mayor acumulación de biomasa aérea. En promedio la dosis de 102 kg N/ha presentó el mayor valor absoluto de materia seca acumulada, resultando 40 % superior a la dosis mínima. La menor respuesta al agregado de nitrógeno se encontró sobre suelo desnudo (14 %) y la mayor en el arroz sobre raigrás (70 %).

Se observaron efectos significativos de las coberturas invernales y de las dosis de nitrógeno sobre la biomasa acumulada por el cultivo a la cosecha. No se observaron interacciones entre ambos factores.

La mayor cantidad de biomasa acumulada se observó en el cultivo sembrado sobre suelo desnudo, malezas y trébol rojo con un promedio de 18059 kg MS/ha. Esto resultó 13 % superior a la acumulada sobre raigrás y sorgo. El arroz sobre raigrás tuvo la menor acumulación de materia seca a cosecha.

La mayor acumulación de biomasa aérea se observó a la dosis máxima de fertilización, lo que resultó superior a la dosis mínima en un 16 % (17804 kg MS/ha). Sin embargo, la respuesta a la fertilización se dio solo hasta la primera dosis de nitrógeno. Si bien la interacción entre factores no resultó significativa, cabe destacar que el cultivo sobre suelo desnudo presentó, sin fertilización nitrogenada, la mayor acumulación de materia seca (18515 kg MS/ha). Mientras tanto, el cultivo sembrado sobre cobertura de sorgo presentó la menor acumulación de biomasa, cuando no recibió fertilización nitrogenada. Por otro lado estas relaciones se modificaron a la dosis máxima de fertilización, donde el arroz sobre malezas presentó la mayor acumulación de materia seca y resultó 18% superior al cultivo sobre raigrás que tuvo la menor acumulación de biomasa. La mayor respuesta ante el agregado de nitrógeno se encontró en el arroz sobre malezas (34 %), mientras que la menor respuesta se dio sobre suelo desnudo (3%).

Si bien la interacción entre coberturas y dosis de nitrógeno no resultó significativa en ninguna de las etapas, existieron diferencias en la respuesta al agregado de nitrógeno sobre las diferentes coberturas. El arroz sembrado sobre las coberturas con menor relación carbono nitrógeno mostraron mejor desarrollo durante todo el ciclo del cultivo. Por otro lado el cultivo sembrado sobre gramíneas presentó menor desarrollo, y las diferencias respecto a las demás coberturas no pudieron ser compensadas con el agregado de nitrógeno. Esto podría relacionarse con la tasa de mineralización del rastrojo y la liberación del mismo. En el caso del raigrás la liberación tardía del nitrógeno de sus tejidos no logró compensar la limitante que determinó en las etapas tempranas del cultivo, donde se construyó el rendimiento del mismo.



$$\text{Malezas: } y = 103.7x^2 + 822x - 115.9$$

$$r^2 = 0.999$$

$$\text{Raigrás: } y = 181.6x + 271.9$$

$$r^2 = 0.879$$

$$\text{Sin vegetación: } y = 136.6x + 974.9$$

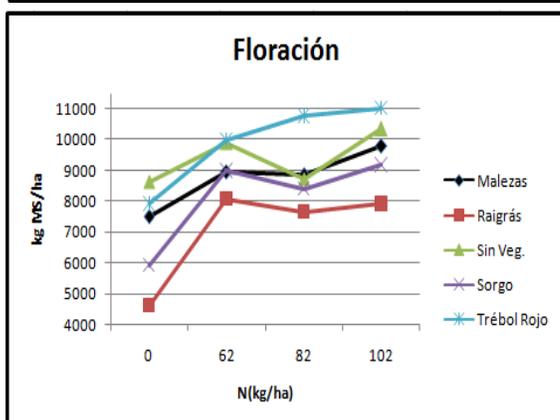
$$r^2 = 0.906$$

$$\text{Sorgo: } y = -66.24x^2 + 552.4x + 21.86$$

$$r^2 = 0.998$$

$$\text{Trébol rojo: } y = -113.2x^2 + 716x + 203.8$$

$$r^2 = 0.970$$



$$\text{Malezas: } y = 677.9x + 7066$$

$$r^2 = 0.853$$

$$\text{Raigrás: } y = -799.4x^2 + 4943x + 706.3$$

$$r^2 = 0.873$$

$$\text{Sin vegetación: } y = 91.21x^2 + 56.19x + 8852$$

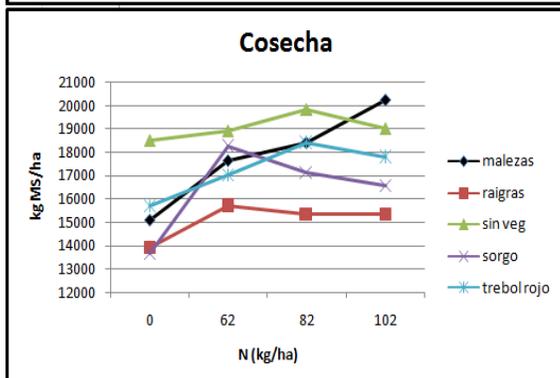
$$r^2 = 0.377$$

$$\text{Sorgo: } y = -574.1x^2 + 3790x + 2950$$

$$r^2 = 0.814$$

$$\text{Trébol rojo: } y = -450x^2 + 3268x + 5127$$

$$r^2 = 0.994$$



$$\text{Malezas: } y = 1611x + 13835$$

$$r^2 = 0.959$$

$$\text{Raigrás: } y = -437.5x^2 + 2587x + 11897$$

$$r^2 = 0.843$$

$$\text{Sin vegetación: } y = -305.1x^2 + 1777x + 16930$$

$$r^2 = 0.731$$

$$\text{Sorgo: } y = -1273x^2 + 7129x + 8145$$

$$r^2 = 0.830$$

$$\text{Trébol rojo: } y = -487x^2 + 3196x + 12892$$

$$r^2 = 0.953$$

Figura 7. Efecto del tipo de cobertura invernal y la dosis de nitrógeno sobre la producción de biomasa aérea a primordio, floración y cosecha en el cultivo de arroz.

4.3.3 Altura de planta

La altura de planta a floración (Cuadro 5) resultó afectada por la cobertura vegetal, por las dosis de nitrógeno y por la interacción entre ambos.

La máxima altura de planta se observó en el arroz sobre trébol rojo (78 cm). El cultivo sembrado sobre raigrás y sorgo presentó menor altura, 72.5 cm en promedio. La altura de planta aumentó en el cultivo sobre malezas o raigrás al aumentar la fertilización nitrogenada, mientras que el arroz sobre suelo desnudo no tuvo respuesta al agregado de nitrógeno. Esto podría deberse a la mayor disponibilidad de nitrógeno para el crecimiento del cultivo sobre suelo desnudo, lo que permitió una mejor partición hacia el desarrollo vegetativo del cultivo. Los resultados sobre raigrás y malezas ponen de manifiesto la falta o insuficiencia del nutriente sobre dichos tratamientos para el crecimiento del cultivo.

Cuadro 5. Efecto de la cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada en la altura de planta.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	cm					
0	69 Bb	64Cb	76Aa	67BCb	74Ab	70b
62	76ABa	73Ba	77ABa	74Ba	78Aab	76a
82	77ABa	74Ba	77ABa	76Ba	80Aa	77a
102	79Aa	76Aa	76Aa	76Aa	79Aa	77a
Media	75A	72B	76a	73AB	78A	75
Error estándar	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2/0.8

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.4 Índice de clorofila

Se observaron efectos tanto de la cobertura invernal como de la fertilización nitrogenada sobre el índice de clorofila previo a primordio. Mientras que la interacción entre factores no resultó significativa en esta etapa. A medida que avanzó el ciclo del cultivo el índice de clorofila disminuyó.

Durante la etapa de primordio el cultivo sobre suelo desnudo o trébol rojo mostró la mayor actividad clorofiliana resultando 4 % superior a la encontrada sobre las demás coberturas. El cultivo instalado sobre malezas fue el que presentó menor índice de actividad clorofiliana (Figura 8).

Como era de esperar la actividad clorofiliana aumentó con el aumento de las dosis de nitrógeno. Los tratamientos de 62 y 52 kg de nitrógeno/ha no mostraron diferencias significativas entre ellos, presentando los mayores valores de clorofila. Los

mismos resultaron 14 y 13% mayores al tratamiento testigo respectivamente, que mostró el menor índice de clorofila.

Al momento de floración del cultivo no resultaron significativos los efectos de la cobertura vegetal, de las dosis de nitrógeno ni de la interacción entre ambos. El índice de clorofila promedio en el cultivo fue 31.6, el cual resultó por debajo del nivel crítico (45) para esta etapa según Turned y Jund (1994), Peng et al. (1996), Singh et al. (2002).

En general el índice de clorofila a primordio se relaciona con el contenido de nitrógeno en planta en dicha etapa. Era de esperar una mayor actividad clorofiliana en el arroz sobre suelo desnudo, debido a la mayor cantidad de nitrato en suelo y al nitrógeno proveniente del fertilizante, que determinaron a su vez mayor contenido de nitrógeno en planta. El índice de clorofila en el cultivo sin fertilización resultó por debajo de los niveles críticos, lo que podría relacionarse al menor contenido de nitrógeno y al efecto de dilución del mismo en la biomasa producida. Mientras que el índice de clorofila, para las diferentes dosis de nitrógeno, se encontró dentro del rango de suficiencia (35 y 37.5) según Turned y Jund (1994), Peng et al. (1996), Singh et al. (2002).

Los resultados encontrados a floración podrían estar indicando deficiencias de nitrógeno o representar el menor contenido de nitrógeno en planta debido a la translocación del mismo a las estructuras reproductivas.

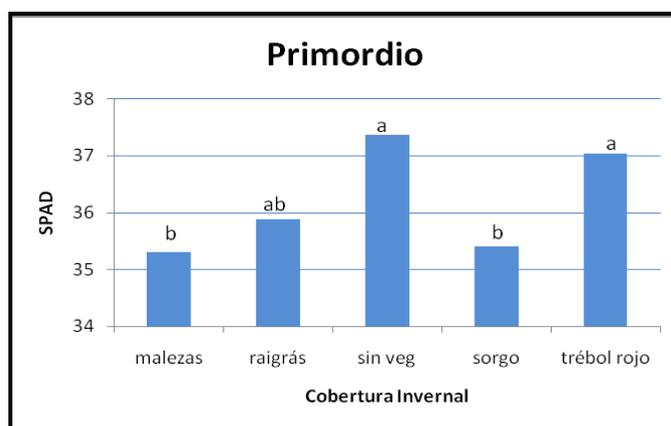


Figura 8. Efecto de la cobertura invernal sobre la actividad clorofiliana del cultivo. Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma gráfica no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.5 Contenido de nitrógeno en planta

4.3.5.1 Nitrógeno en planta a inicio de macollaje

Se observaron efectos significativos sobre el contenido de nitrógeno en planta a macollaje tanto de las coberturas como de la aplicación basal de nitrógeno y de sus interacciones (Cuadro 6).

Se observaron respuestas positivas ante el agregado de nitrógeno en el cultivo instalado sobre suelo desnudo y malezas al aumentar la fertilización nitrogenada. No hubo respuesta a la fertilización nitrogenada en el arroz sobre sorgo y trébol rojo; mientras que en el cultivo instalado sobre raigrás la respuesta a la fertilización nitrogenada resultó negativa. El mayor contenido de nitrógeno en planta, en los tratamientos sin fertilizar, fue encontrado en el arroz sobre suelo desnudo, sorgo o trébol rojo, resultando 10 % superior a las demás cobertura. El cultivo sembrado sobre raigrás con fertilización presentó 14 % menos contenido de nitrógeno en planta que las demás coberturas. Estos resultados están relacionados con el contenido de nitrógeno en suelo a la siembra. A mayor concentración de nitrato en suelo, mayor contenido de nitrógeno en planta a macollaje. Lo mismo podría explicarse por una buena recuperación por parte del cultivo del nitrógeno en el suelo proveniente de las coberturas. Además de la buena sincronización de la mineralización del rastrojo con la demanda del cultivo, lo que coincide con lo citado por Ernst (1999) para cultivos de verano en siembra directa. El aumento en el contenido de nitrógeno con fertilización basal respecto al tratamiento sin fertilización, pone de manifiesto el efecto estimulante del nitrógeno en el crecimiento del cultivo y en la absorción de nitrógeno por el mismo citado por Méndez y Deambrosi (2009).

Cuadro 6. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización basal sobre el contenido de nitrógeno en planta a macollaje.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	g N/kg MS					
0	29.8Bb	29.8Ba	33.6Ab	31.8ABa	32.5Aa	31.5b
22	32.1Ba	28.0Cb	37.2Aa	32.9Ba	32.5Ba	32.5a
Media	30.9B	28.9C	35.4A	32.4B	32.5B	32.0
Error estándar	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08/0.04

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.5.2 Nitrógeno en planta a primordio

Se observaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno en planta al estado de primordio entre coberturas y dosis de nitrógeno, pero no de las interacciones entre estos (Cuadro 7).

El menor contenido de nitrógeno en planta se observó en el cultivo sembrado sobre malezas. El promedio para las demás coberturas fue de 23.8 g de nitrógeno/kg de materia seca, que resultó 8 % superior al contenido sobre malezas. El mayor valor de nitrógeno en planta se observó sobre suelo desnudo. El cultivo sembrado sobre raigrás no mostró respuesta a la fertilización nitrogenada.

La respuesta a la fertilización nitrogenada se observó solo hasta la dosis de 42 kg de nitrógeno/ha. El tratamiento testigo mostró el menor contenido de nutriente en planta. En promedio la respuesta a la fertilización nitrogenada de los demás tratamientos resultó 10 % superior al testigo. El arroz que recibió fertilización nitrogenada presentó 28.2 kg de nitrógeno/ha, mientras que el arroz sin fertilización presentó 14.7 kg de nitrógeno/ha.

La ausencia de respuesta al agregado de nitrógeno sobre raigrás podría relacionarse con la liberación de nitrógeno del rastrojo en descomposición en esta etapa. Por otra parte el menor contenido de nitrógeno en el cultivo sin fertilización respondería a la menor disponibilidad de nitrógeno en suelo que afectó tanto la producción de biomasa del cultivo como la cantidad de nitrógeno en su materia seca. Sin embargo, cabe destacar que en todos los casos el contenido de nitrógeno en planta resultó superior al óptimo al momento de primordio (12.8 g de nitrógeno/kg de materia seca) citado por Fageria (2003b).

Cuadro 7. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrógeno en planta a primordio.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	g N/kg MS					
0	20.5Ab	22.5Aa	22.0Ab	22.1Ab	21.5Ac	21.7b
42	21.8Bab	23.1Ba	25.5Aa	23.4ABab	23.7ABab	23.5a
52	23.3Ba	24.5ABa	25.4Aa	24.2ABa	23.5ABb	24.1a
62	22.0Bab	23.7ABa	25.6Aa	25.0Aa	25.5Aa	24.3a
Media	21.9B	23.4A	24.6A	23.7A	23.5A	23.4
Error estándar	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.096/0.04

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.5.3 Nitrógeno en planta a floración

Se observaron efectos de la cobertura vegetal sobre el contenido de nitrógeno en planta a floración, pero no existieron efectos del agregado de nitrógeno ni interacciones entre ambos (Cuadro 8).

Al igual que en primordio, el arroz sobre malezas resultó diferente del sembrado sobre las demás coberturas. El cultivo de arroz sobre malezas mostró el menor contenido de nitrógeno en planta (13.8 g de nitrógeno/kg materia seca), siendo 14 % inferior a la media de las demás coberturas. El mayor contenido de nitrógeno en planta se observó sobre raigrás, mientras que trébol rojo tuvo la mayor acumulación de nitrógeno por superficie (157 kg de nitrógeno/ha). El resultado encontrado sobre raigrás, al igual que en la etapa anterior, podría estar relacionado a la recuperación más lenta del nitrógeno de la cobertura debido a su relación carbono: nitrógeno. Su mayor relación carbono: nitrógeno y las condiciones ambientales durante las primeras etapas del cultivo podrían haber retrasado su descomposición, el aporte de nitrógeno al cultivo, y afectado la respuesta a la fertilización.

Cuadro 8. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrógeno en planta a floración.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	g N/kg MS					
0	14.2Ba	16.7Aa	14.5Bb	15.6ABa	15.7ABa	15.3a
62	14.0Ba	16.8Aa	15.8Aab	16.4Aa	15.2ABa	15.7a
82	13.4Ba	16.3Aa	15.3Aab	15.6Aa	16.1Aa	15.4a
102	13.5Ba	16.5Aa	16.4Aa	15.2ABa	16.0Aa	15.5a
Media	13.8B	16.6A	15.5A	15.7A	15.8A	15.5
Error estándar	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.09/0.04

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.5.4 Nitrógeno en planta a cosecha

El contenido de nitrógeno en planta a cosecha no tuvo efecto de ninguno de los factores, ni de la interacción entre ambos (Cuadro 9). El promedio de nitrógeno en los tejidos de las plantas fue de 8.3 g de nitrógeno/kg materia seca (106 kg de nitrógeno/ha). Estos resultados podrían deberse a la partición de nitrógeno en grano y paja del cultivo. Los bajos contenidos de nitrógeno en planta podrían estar relacionados a mejor contenido de nitrógeno en grano.

Cuadro 9. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrógeno en planta a cosecha.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	g N/kg MS					
0	8.9Aa	7.8Aa	8.0Aa	8.3Aa	8.1Aa	8.2a
62	8.5Aa	7.7Aa	8.2Aa	8.1Aa	8.8Aa	8.3a
82	8.5Aa	8.4Aa	8.1Aa	8.3Aa	8.7Aa	8.4a
102	8.9Aa	8.0Aa	8.3Aa	7.8Aa	8.2Aa	8.2a
Media	8.7A	8.0A	8.1A	8.1A	8.4A	8.3
Error estándar	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05/0.02

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.5.5 Nitrógeno en grano

El contenido de nitrógeno en grano resultó afectado por las coberturas invernales y por las dosis de fertilización nitrogenada, pero no hubo efecto de la interacción entre ambos (Cuadro 10).

El mayor valor absoluto de nitrógeno en grano se determinó en el cultivo sobre trébol rojo (14.2 g de nitrógeno/kg materia seca), y el menor contenido absoluto se observó sobre raigrás y malezas, resultando 6 % inferior al anterior.

Existió respuesta a la fertilización nitrogenada solo hasta la dosis de 62 kg de nitrógeno/ha. Si bien hubo efecto de las diferentes dosis de nitrógeno aplicadas sobre el cultivo, estas no resultaron diferentes entre sí, pero sí se diferenciaron del testigo. El contenido de nitrógeno en grano en promedio fue de 13.7 g/kg de materia seca, siendo 1% superior al tratamiento testigo. Por otro lado el contenido de nitrógeno en grano en todos los casos resultó dentro del rango óptimo (10-15 g/kg) citado por Mae (1997). En general comparando estos resultados con los observados en planta a cosecha se puede constatar que no existió una relación clara entre el nivel de nitrógeno en planta y el contenido del mismo en grano.

Cuadro 10. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrógeno en grano a cosecha.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	g N/kg MS					
0	12.7Aa	12.9Aa	13.4Aa	13.0Ab	13.6Ab	13.1b
62	13.5Aa	13.2Aa	13.9Aa	13.6Aab	14.0Aab	13.6a
82	13.4Ba	13.5Ba	13.9ABa	12.9Bb	14.6Aa	13.7a
102	13.4Ba	13.6ABa	13.9ABa	14.0ABa	14.5Aa	13.9a
Media	13.3B	13.3B	13.8AB	13.4B	14.2A	13.6
Error estándar	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04/0.02

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.6 Contenido de nitrógeno en suelo a primordio

4.3.6.1 Nitrógeno en suelo como nitrato (NO_3)

El contenido de nitrato en suelo no tuvo efecto de la cobertura vegetal ni de la fertilización nitrogenada, y tampoco de la interacción entre ambos. En promedio el contenido de nitrato en el suelo en esta etapa fue de $3.2 \mu\text{g}$ de nitrógeno/g de suelo (Cuadro 11). Los bajos niveles de nitrato en esta etapa concuerdan con lo citado por Méndez y Deambrosi (2009), de que en suelos con bajo pH, el cultivo absorbe más cantidad de nitrógeno en forma de nitrato. El mayor valor de nitrato sobre suelo desnudo podría explicarse por el mayor nivel inicial de nitrato en el suelo. Además la mayor recuperación del nitrógeno del fertilizante (50%) por el cultivo en relación al de las coberturas según Kristensen et al. (2003), dejaría más cantidad de nitrato disponible en suelo. Cabe destacar que salvo para el cultivo sobre raigrás y malezas, el mayor contenido de nitrato en suelo a primordio correspondió a mayor contenido de nitrógeno en planta.

Cuadro 11. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrato en suelo a primordio.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	_____µg N/g de suelo_____					
0	3.21ABa	3.26ABa	2.96Bb	4.43Aa	2.63Ba	3.3a
42	3.28Aa	3.26Aa	3.3Aab	3.1Ab	2.99Aa	3.18a
52	3.74ABa	2.66Ba	4.47Aa	2.69Bb	2.72Ba	3.26a
62	2.99Aa	3.21Aa	3.58Ab	3.35Ab	3.02Aa	3.23a
Media	3.31A	3.1A	3.6A	3.4A	2.84A	3.2
Error estándar	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.62/0.28

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.6.2 Nitrógeno en suelo como amonio (NH_4)

El contenido de amonio en suelo a primordio resultó afectado por la cobertura vegetal y la fertilización nitrogenada, pero no así por la interacción entre ambos (Cuadro 12).

El contenido de amonio en suelo fue superior en las parcelas sobre raigrás, malezas o trébol rojo, resultando 46% superior al promedio encontrado sobre sorgo y suelo desnudo. El menor contenido de amonio se observó en las parcelas sobre suelo desnudo (10.5 µg de nitrógeno/g de suelo).

El nivel de amonio en suelo se incrementó al aumentar las dosis de fertilizante. El tratamiento testigo (11.4 µg de nitrógeno/g de suelo) se diferenció significativamente de las demás dosis. Las parcelas que recibieron la dosis máxima de nitrógeno estuvieron 54% por encima del valor encontrado sobre el testigo.

El menor contenido de amonio sobre suelo desnudo podría explicarse por una mayor disponibilidad del nutriente para ser absorbido más rápidamente por el cultivo en crecimiento. El mayor contenido de nitrógeno como amonio en suelo encontrado a primordio concuerda con lo anteriormente citado por Méndez y Deambrosi (2009) en relación a la forma de absorción de nitrógeno. El incremento de amonio ante el agregado de nitrógeno podría estar relacionado a un uso menos eficiente del nitrógeno por el cultivo, ya que no solo aumenta el contenido de amonio en suelo sino también la posibilidad de pérdida del mismo.

Cuadro 12. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de amonio en suelo a primordio.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	_____µg N/g de suelo_____					
0	14.4Ab	11.4Ab	9.43Aa	9.03Aa	12.9Aa	11.4c
42	16.4ABb	18.8Aa	9.7Ba	12.8ABa	14.8ABa	14.5b
52	15ABb	20.9Aa	11.8Ba	14.7ABa	14.9ABa	15.5ab
62	22.7Aa	22.8Aa	10.9Ba	13.5Ba	17.6ABa	17.5a
Media	17.1AB	18.5A	10.5C	12.5BC	15AB	14.7
Error estándar	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.9/1.3

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.7 Rendimiento en grano

Existió efecto significativo de las dosis de nitrógeno evaluadas, de los tratamientos de cobertura y de la interacción entre ambos factores.

El mayor rendimiento en grano se observó en el cultivo sembrado sobre trébol rojo (10167 kg grano/ha). El cultivo sobre suelo desnudo y sorgo tuvo un rendimiento 8% inferior al máximo. El cultivo sobre malezas y raigrás, tuvo los menores rendimientos promedios, resultando 16% inferior al rendimiento obtenido sobre trébol rojo (Figura 9). El cultivo sembrado sobre suelo desnudo mostró menor eficiencia agronómica de uso de nitrógeno (9.8 kg grano adicional/kg nitrógeno agregado) que los demás tratamientos. El cultivo sobre trébol rojo mostró valores de eficiencia de uso de nitrógeno (12.4 kg grano adicional/kg nitrógeno agregado). La mayor eficiencia de conversión de nitrógeno en grano se observó en el cultivo sembrado sobre malezas, cuyo valor fue de 29 kg grano adicional/kg de nitrógeno agregado. Los demás tratamientos presentaron eficiencias de conversión de nitrógeno en grano intermedias (25 kg grano adicional/kg nitrógeno agregado) y mostraron mejor partición del nitrógeno de los tejidos hacia los granos.

El mayor rendimiento promedio se observó a la dosis máxima de nitrógeno, mientras que el menor valor se observó a la dosis mínima (7887 kg de grano/ha). El rendimiento máximo obtenido fue 21% superior al observado con la dosis mínima de nitrógeno y representó una eficiencia de conversión de nitrógeno en grano de 20.1:1. El factor de productividad parcial, al igual que la eficiencia de uso de nitrógeno, disminuyó con el agregado de nitrógeno. La máxima diferencia fue de 54 kg de grano cosechado por kilo de nitrógeno aplicado entre la dosis máxima y la dosis de 62 kg de nitrógeno/ha.

Por otro lado, la eficiencia interna de uso de nitrógeno fue variable ante el agregado de nitrógeno y resultó mayor en el arroz sobre malezas, raigrás y sorgo (75 kg de grano/ kg de nitrógeno absorbido en grano). La menor eficiencia interna de uso de nitrógeno se encontró sobre trébol rojo, lo que resultó 6% inferior a la obtenida sobre los anteriores.

Existió respuesta lineal a la fertilización nitrogenada hasta la máxima dosis en los tratamientos sobre malezas, raigrás y sorgo. Para el cultivo sembrado sobre suelo desnudo y trébol rojo solo existió respuesta hasta la primera y segunda dosis de nitrógeno, respectivamente. La respuesta sobre estos antecesores fue de tipo exponencial. La menor respuesta a la fertilización nitrogenada en rendimiento en grano se observó sobre suelo sin vegetación o cobertura de trébol rojo, siendo el incremento relativo de la dosis máxima respecto al testigo de 11 y 12%, respectivamente. La mayor respuesta a la fertilización nitrogenada se dio en el cultivo sembrado sobre malezas, 31% (2955 kg grano) de incremento relativo de rendimiento en grano a la dosis máxima respecto al testigo. Los tratamientos de raigrás y sorgo presentaron respuestas intermedias ante el incremento de las dosis de fertilizante, 2715 y 2329 kg de incremento en rendimiento en grano con la dosis máxima respecto al testigo.

La eficiencia de conversión de nitrógeno en grano se encuentra entre los rangos de eficiencia agronómica de uso de nitrógeno (15 a 25 kg grano/ kg de fertilizante) citado por Fageria et al. (2003a). La menor eficiencia de uso de nitrógeno sobre suelo desnudo podría relacionarse a la mayor disponibilidad de nitrógeno en suelo para el cultivo a lo largo del ciclo. La eficiencia de uso de nitrógeno observada sobre trébol rojo estaría relacionada a lo expresado por varios autores de que gran parte del nitrógeno necesario para el cultivo es aportado por el suelo. El contenido de nitrógeno del suelo sumado al agregado de nitrógeno del fertilizante potenció el crecimiento del cultivo sobre este antecesor. La liberación del nitrógeno de los tejidos de las malezas en etapas más tempranas y/o la menor translocación del nitrógeno de los tejidos al grano en el cultivo de arroz, dejó menos nitrógeno disponible para la etapa reproductiva, lo que se expresó en mayor eficiencia interna de uso de nitrógeno. El rendimiento y la eficiencia intermedia en el uso del nitrógeno sobre raigrás podrían explicarse contrariamente a lo expresado sobre malezas. Las limitantes en las primeras etapas del cultivo no fueron compensadas con la mayor disponibilidad de nitrógeno en etapas avanzadas. Estos resultados a su vez se reflejan en la eficiencia de uso interna para producción de grano, donde sobre ambas coberturas se encontraron los menores valores.

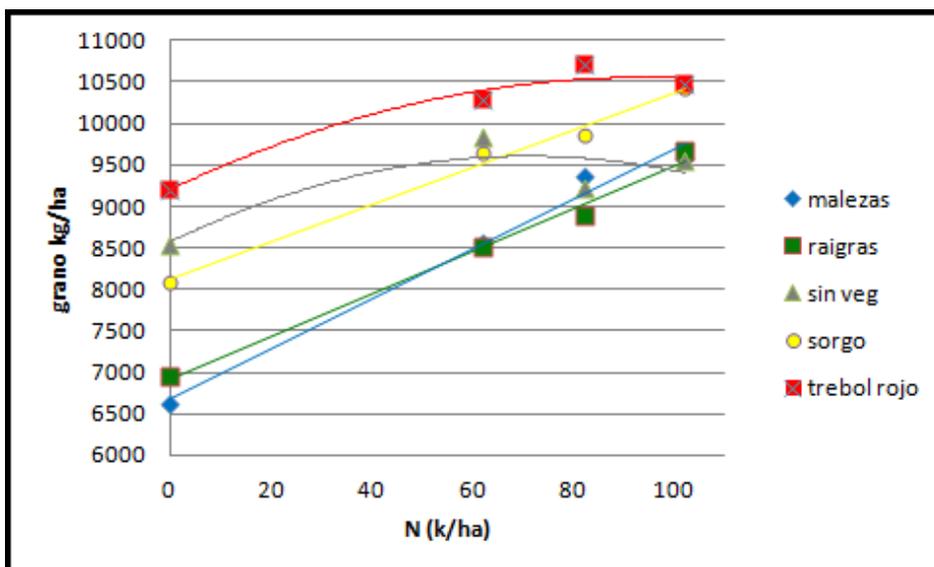


Figura 9. Efecto de la cobertura invernal y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en grano.

4.3.8 Componentes de rendimiento

El número de espigas por superficie solo tuvo efecto de la fertilización nitrogenada. No existió efecto de la cobertura vegetal ni de la interacción entre tratamientos. Sin embargo podría decirse que sí existieron diferencias agronómicas en el número de espigas/m² sobre las diferentes coberturas vegetales. El máximo número de espigas por metro cuadrado se encontró sobre los tratamientos sin vegetación, mientras que el mínimo número de espigas fue para los tratamientos sembrados sobre cobertura de sorgo. El arroz sin nitrógeno mostró el menor número de espigas por metro cuadrado, mientras que este componente se incrementó al aumentar la dosis de nitrógeno.

No se observaron efectos de la cobertura vegetal ni de la fertilización nitrogenada en el número de granos por espiga; mientras que si resultó significativo el efecto de la interacción entre ambos. El valor máximo para este componente de rendimiento se encontró en el arroz sobre suelo desnudo y el mínimo sobre raigrás, que resultó 13 % inferior al anterior. El arroz sobre malezas y raigrás presentó mayor número de granos por panoja a las dosis menores de nitrógeno. Por otro lado el arroz sobre suelo desnudo y trébol rojo no tuvo respuesta al agregado de nitrógeno. El resultado encontrado sobre malezas y raigrás podría explicarse debido a que el potencial de rendimiento estuvo limitado desde las etapas tempranas del cultivo y no hubo compensación en las etapas finales. Lo observado sobre suelo desnudo y trébol rojo estaría relacionado a la buena disponibilidad de nitrógeno para el cultivo.

No se observó efecto significativo de la cobertura vegetal ni de la interacción entre estas y la fertilización nitrogenada, mientras que si hubo efecto de la fertilización nitrogenada sobre el porcentaje de esterilidad del cultivo. A pesar de esto podría decirse que existen diferencias agronómicas entre las diferentes coberturas vegetales. El porcentaje de esterilidad disminuyó al aumentar la dosis de fertilización nitrogenada. Sin embargo solo hubo respuesta significativa a la fertilización sobre raigrás y malezas, lo que confirmaría lo expresado anteriormente respecto a las limitantes del cultivo. El mayor porcentaje de esterilidad sobre malezas estaría relacionado a la menor disponibilidad de nitrógeno durante la etapa reproductiva; mientras que el menor valor observado sobre sorgo podría explicarse por el mejor contenido de nitrógeno en planta y su mayor translocación al grano.

El peso de mil granos presentó efecto de la cobertura vegetal y de las dosis de nitrógeno, pero no de la interacción entre ambos. El mayor valor absoluto fue para los tratamientos sobre sorgo y suelo desnudo. El menor peso de mil granos se obtuvo sobre malezas y trébol rojo, estos además presentaron similar número de granos por espigas. Los resultados sobre sorgo y suelo desnudo reflejan el mayor contenido de nitrógeno sobre dichos tratamientos no solo como nitrato a primordio sino también a la siembra, que fueron capitalizados en mayor rendimiento en grano. El peso de mil granos gramos estuvo cercano a al peso promedio de esta variedad según Blanco et al. (2004).

A diferencia de lo esperado no existió clara relación entre el número de granos por espiga y peso de mil granos, así como entre cantidad de granos por espiga y porcentaje de esterilidad de las espiguillas (Cuadro 14).

Cuadro 13. Efecto de distintas coberturas invernales en el cultivo de arroz sobre los componentes de rendimiento.

Componente	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
espigas/m²	450a	432a	500a	429a	435a	449
Granos/espiga	110ab	104b	119a	111ab	109b	111
%Esterilidad	14.7a	13.1a	13.4a	11.3a	13.3a	13.2
Peso 1000 granos(g)	25.7c	26.2b	26.7ab	26.8a	25.5c	26.2

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.9 Índice de cosecha

No existió efecto de la cobertura vegetal, ni de la fertilización nitrogenada y tampoco de la interacción entre ambos. El valor promedio de índice de cosecha del cultivo de arroz fue de 0.48 (Figura 9).

El cultivo sembrado sobre los tratamientos de sorgo, suelo desnudo y trébol rojo presentó los mayores valores de índice de cosecha. El cultivo sembrado sobre malezas presentó el menor índice de cosecha (0.44), resultando 13% inferior al tratamiento sobre sorgo que presentó el mayor valor absoluto (0.50). Los mayores valores de índice de cosecha están relacionados a la mayor disponibilidad de nitrógeno para el cultivo durante todo el ciclo.

Los resultados sobre malezas podrían relacionarse al bajo aporte de nitrógeno de los residuos y a una menor disponibilidad de nitrógeno durante la etapa reproductiva del cultivo. Esto podría haber provocado deficiencia de nutrientes para concreción de potencial sobre esta cobertura. Por otra parte a la cosecha el cultivo sobre malezas presentó mayor contenido de nitrógeno en planta y menor en grano, lo que indicaría menor translocación y por lo tanto menor formación de grano. El índice de cosecha alcanzado sobre raigrás podría relacionarse a la mineralización tardía del nitrógeno, que se liberó cerca de la etapa reproductiva pero que no resultó suficiente para mejorar el rendimiento ya determinado. El cultivo de sorgo fue de los que presentó menor contenido de nitrógeno en planta a cosecha, por lo que su eficiencia de uso de nitrógeno para rendimiento en grano fue buena. Podría decirse que aquellos tratamientos que presentaron mayor índice de cosecha, particionaron mayor cantidad de su materia seca acumulada durante el ciclo a la formación y producción de grano.

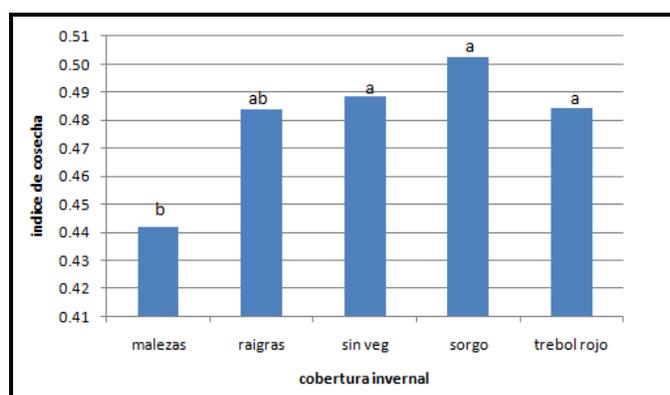


Figura 10. Efecto de la cobertura invernal sobre el índice de cosecha. Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma gráfica no difieren significativamente con $p=0.05$.

4.3.10 Calidad industrial

Se constataron algunos efectos significativos de la cobertura invernal, de la dosis de nitrógeno y de la interacción entre ambos sobre la calidad industrial del grano.

En general, la calidad industrial del grano fue mayor en el arroz sobre malezas, que tuvo menor porcentaje relativo de grano quebrado, yesado y manchado que los demás tratamientos. El cultivo sembrado sobre el sorgo presentó los peores índices de calidad industrial como lo revelan su mayor porcentaje de quebrado y yesado. El mayor porcentaje de grano blanco total fue encontrado en el arroz sembrado sobre malezas y trébol rojo que tuvieron además el menor porcentaje de quebrado. Por otro lado, el menor porcentaje de blanco total se constató en el arroz sembrado sobre sorgo debido a su mayor porcentaje de quebrado. La fertilización a la dosis máxima de nitrógeno aumentó el grano blanco total respecto al testigo sin nitrógeno debido a una reducción del porcentaje de quebrado. En general, el menor porcentaje de grano entero y yesado se encontró sobre el cultivo sin nitrógeno, mientras que ambos aumentaron al incrementarse las dosis de nitrógeno.

El porcentaje de blanco resultó inferior al valor exigido como mínimo para un grano de calidad a nivel nacional (70%). Mientras que el porcentaje de grano entero resultó superior al exigido para un grano de calidad a nivel nacional según Lavecchia y Deambrosi (2009). Los valores obtenidos para grano yesado podrían relacionarse a las condiciones climáticas durante el período de llenado de grano. La falta de radiación (menos de 6 hs. de sol) durante las últimas etapas del cultivo pudieron haber afectado la deposición del almidón y aumentar el porcentaje de yesado con mayor disponibilidad de nitrógeno. El mayor porcentaje de yesado también puede relacionarse con mayor probabilidad de quebrado del grano durante el molinado según Borghi y Ernst (2002d). Esto podría explicar el mayor porcentaje de quebrado para el cultivo sobre sorgo y suelo desnudo.

Cuadro 14. Efecto de las coberturas invernales y de las dosis de fertilización nitrogenada sobre los indicadores de calidad industrial del grano de arroz.

Blanco Total												
%												
N (Kg/ha)	Malezas		Raigrás		Sin Veg.		Sorgo		Trébol		Media	
									Rojo			
0	69.0	b	69.5	ab	70.0	a	69.1	a	69.9	a	69.5	b
62	69.7	ab	70.3	ab	69.0	a	69.3	a	70.9	a	69.8	ab
82	70.8	a	68.8	b	69.8	a	68.6	a	70.8	a	69.8	ab
102	70.8	a	70.5	a	69.8	a	69.3	a	70.8	a	70.2	a
Media	70.1	AB	69.8	B	69.7	B	69.1	B	70.6	A	69.8	
Grano Entero (%)												
N (Kg/ha)	Malezas		Raigrás		Sin Veg.		Sorgo		Trébol		Media	
									Rojo			
0	62.6	b	62.4	b	64.1	a	62.1	a	64.5	a	63.1	b
62	64.6	ab	65.3	a	62.2	a	63.0	a	65.4	a	64.1	a
82	66.0	a	61.6	b	63.5	a	62.3	a	64.3	a	63.5	ab
102	65.6	a	64.7	a	62.3	a	62.2	a	64.9	a	63.9	ab
Media	64.7	A	63.5	AB	63.0	B	62.4	B	64.8	A	63.7	
Grano Quebrado												
(%)												
N (Kg/ha)	Malezas		Raigrás		Sin Veg.		Sorgo		Trébol		Media	
									Rojo			
0	6.4	a	7.1	a	5.9	b	7.0	a	5.4	a	6.3	a
62	5.1	a	5.0	b	6.8	ab	6.3	a	5.5	a	5.7	a
82	4.9	a	7.2	a	6.3	ab	6.3	a	6.5	a	6.2	a
102	5.2	a	5.9	ab	7.6	a	7.1	a	5.9	a	6.3	a
Media	5.4	B	6.3	A	6.6	A	6.7	A	5.8	AB	6.2	
Grano Yesado (%)												
N (Kg/ha)	Malezas		Raigrás		Sin Veg.		Sorgo		Trébol		Media	
									Rojo			
0	1.9	b	1.9	b	2.2	b	2.2	b	3.0	a	2.2	c
62	1.9	b	2.3	ab	2.6	b	2.5	ab	3.0	a	2.5	bc
82	2.2	ab	2.4	ab	2.6	b	2.8	ab	3.5	a	2.7	b
102	2.8	a	2.7	a	3.5	a	3.2	a	3.5	a	3.1	a
Media	2.2	B	2.3	B	2.7	AB	2.7	AB	3.2	A	2.6	
Grano Manchado												
(%)												
N (Kg/ha)	Malezas		Raigrás		Sin Veg.		Sorgo		Trébol		Media	
									Rojo			
0	0.4	a	0.5	a	0.6	a	0.5	a	0.5	a	0.5	a
62	0.3	a	0.7	a	0.6	a	0.4	a	0.5	a	0.5	a
82	0.5	a	0.5	a	0.5	a	0.4	a	0.5	a	0.5	a
102	0.4	a	0.5	a	0.5	a	0.3	a	0.5	a	0.4	a
Media	0.4	A	0.6	A	0.5	A	0.4	A	0.5	A	0.5	

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren

significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

5 CONCLUSIONES

La inclusión de los cultivos de cobertura, luego del laboreo de verano y previo a la siembra del cultivo de arroz, permitió absorber parte del nitrógeno del suelo pero no transferirlo al cultivo de arroz. Ninguna de las coberturas logró superar los niveles de nitrógeno adsorbidos en los tratamientos de suelo desnudo, y se produjo inmovilización del nitrógeno contenido en los restos vegetales. A pesar de esto las distintas especies mostraron diferente capacidad para atrapar el nitrógeno en sus tejidos, y algunas de ellas resultaron efectivas en reducir la respuesta a la fertilización nitrogenada.

Los cultivos de cobertura sembrados afectaron significativamente el desempeño del cultivo de arroz. Sus efectos se manifestaron desde la siembra hasta la cosecha del mismo. Algunos no afectaron el desarrollo del cultivo respecto al testigo sin cobertura, mientras que otros tuvieron efectos depresivos que dependieron del estadio del cultivo y de la mineralización del nitrógeno de sus tejidos.

El cultivo de raigrás y la vegetación espontánea no resultaron buenos antecesores del cultivo de arroz ya que disminuyeron el rendimiento final. La inmovilización del nitrógeno de sus tejidos (a pesar del contenido del mismo en los tejidos) afectó al cultivo desde sus etapas iniciales y este efecto no pudo ser contrarrestado en etapas más avanzadas. A pesar de esto la mayor disponibilidad durante la etapa reproductiva disminuyó la respuesta a la fertilización nitrogenada. Las malezas a pesar del mayor contenido de nitrógeno en sus tejidos, produjeron baja cantidad de materia seca lo que determinó menor disponibilidad de nitrógeno para el cultivo y por tanto menor rendimiento con mayor respuesta a la fertilización nitrogenada.

El cultivo de sorgo si bien no fue un rastrojo de alta calidad, tuvo gran acumulación de biomasa y suficiente tiempo de barbecho, por lo que resultó una buena alternativa de cobertura.

El trébol rojo como alternativa de cobertura invernal resultó altamente eficiente. Presentó la mayor productividad en grano con menor respuesta a la fertilización nitrogenada. Estos resultados llevan a recomendar el uso de esta alternativa en los sistemas de producción con el objetivo de lograr los mejores resultados.

Contrariamente a lo esperado el cultivo sobre suelo desnudo presentó la menor respuesta en rendimiento en grano ante la fertilización nitrogenada. El desarrollo del cultivo sobre dicho tratamiento resultó superior a las demás coberturas. Las diferencias respecto al cultivo sobre trébol rojo y sorgo fueron menores que las encontradas respecto a raigrás y malezas. Debido a esto en condiciones similares a las que se realizó el ensayo sería posible mantener el suelo sin crecimiento vegetal hasta la siembra del cultivo de arroz.

Ante los resultados encontrados resulta necesario profundizar en prácticas de manejo que capitalicen mejor el nitrógeno del suelo y permitan un uso más eficiente del mismo por parte del cultivo. Una de las posibles alternativas a manejar sería la inclusión de especies de leguminosas anuales con buena producción de materia seca y buena cantidad de nitrógeno en sus tejidos. El largo del barbecho es otra de las posibles alternativas de manejo importantes para la mejora en la eficiencia de uso del nitrógeno para el cultivo de arroz según las especies utilizadas en la rotación.

6 RESUMEN

El laboreo anticipado durante el verano para sembrar arroz en la primavera siguiente expone al suelo a pérdidas de nitrógeno durante el período otoño-invierno. Para minimizar esas pérdidas se utilizan cultivos trampa de nitrógeno durante dicho período. Las especies a utilizar afectan la eficiencia de uso de esta alternativa de manejo, pero pueden considerarse tanto gramíneas como leguminosas. En este trabajo se evaluó el efecto de 5 coberturas invernales y 4 dosis de nitrógeno en el rendimiento de arroz en siembra directa. El mismo se realizó en la estación experimental Paso de la Laguna perteneciente a INIA Treinta y Tres. Las coberturas sembradas luego del laboreo de verano consistieron en trébol rojo (*Trifolium pratense*), raigrás (*Lolium multiflorum*), sorgo (*Sorghum bicolor*), vegetación espontánea (malezas) y suelo desnudo. Sobre estas (tratamientos mayores) se aplicaron al arroz 0, 62, 82 y 102 kg N/ha, fraccionado a la siembra, macollaje y primordio. Las coberturas vegetales que mayor aporte hicieron al momento de la siembra, aproximadamente un mes después de la aplicación del herbicida, fueron las de trébol rojo y sorgo. Sin embargo la mayor acumulación de nitrógeno en suelo como nitrato, se observó en las parcelas de suelo desnudo. Estas diferencias se manifestaron a lo largo del ciclo del cultivo para las diferentes estimaciones realizadas. La producción de biomasa del cultivo estuvo fuertemente influenciada por la fertilización nitrogenada, mientras que en el rendimiento en grano existió interacción de ambos tratamientos. El mayor rendimiento en grano del cultivo se obtuvo en los tratamientos sobre trébol rojo, 10167 kg de grano/ha. Dicho rendimiento se obtuvo con una eficiencia de utilización del nitrógeno de 12.4 kg de grano/ kg de nitrógeno aplicado. El cultivo sembrado sobre sorgo y suelo desnudo presentó rendimientos intermedios (9509 y 9284 kg de grano/ha). Cabe destacar la menor eficiencia de uso del nitrógeno en el cultivo sobre suelo desnudo (9.8 kg de grano/ kg de nitrógeno) respecto a la eficiencia obtenida sobre sorgo (22.8 kg de grano/ kg de nitrógeno). La mayor respuesta al agregado de nitrógeno en grano se obtuvo sobre cobertura de malezas. El menor rendimiento en grano se observó sobre raigrás (8502 kg de grano/ha) y su eficiencia de utilización de nitrógeno fue de 26.6 kg de grano/ kg de nitrógeno. El cultivo instalado sobre dicho antecesor resultó afectado severamente desde el inicio del cultivo y sus limitantes no fueron superadas. Si bien la productividad en grano de las coberturas con mayor aporte de nitrógeno desde la siembra fue mayor, la calidad del grano cosechado fue mayor en el cultivo sembrado sobre malezas. El mismo presentó mayor porcentaje de grano entero, menor porcentaje de quebrado y yesado del grano.

Palabras clave: Arroz; Nitrógeno; Cultivos de cobertura.

7 SUMMARY

Advanced tillage during the summer to sow rice in the following spring exposed soil to nitrogen losses during the autumn-winter period. To minimize these losses nitrogen trap crops (catch crops) are used during that period. The efficiency of use this alternative of management are affected by the species that are used, but can be regarded both grasses and legumes. In this study was evaluated the effect of 5 winter cover crops and 4 nitrogen rates on rice yield with no-tillage. It was carried out at the experimental unit "Paso de la Laguna", INIA Treinta y Tres. Cover crops sowed after tillage consisted of red clover, ryegrass, sorghum, weeds and bare soil. Above these (major treatments) were applied to rice 0,62,82 and 102 kg N/ha, split at sowing, tillering, and heading. The best return of nitrogen at sowing were made by the cover of red clover and sorghum. However the greatest accumulation of nitrogen in soil as nitrate was observed in bare soil plots. These differences were evident along the crop cycle for different estimates. The crop biomass production was strongly influenced by nitrogen fertilization, while grain yield was an interaction of both treatments. The highest grain yield of the crop was obtained in the treatments on red clover, 10167 kg of grain/ha. This performance was obtained with an efficiency of nitrogen utilization of 12.4 kg grain/kg nitrogen applied. The crop grown on sorghum and bare soil had intermediate yields (9509 and 9284 kg of grain/ha). Note that the lower efficiency of nitrogen use in the crop growing on bare soil (9.8 kg grain/kg nitrogen) than the efficiency obtained on sorghum (22.8 kg grain/ kg nitrogen). The greatest response to applied nitrogen in grain was on weed cover. The lowest grain yield was observed on ryegrass (8502 kg grain/ ha) and efficiency of nitrogen utilization was 26.6 kg grain/ kg nitrogen. The crop installed on this predecessor was severely affected since the beginning of the crop and its limitations were not exceeded. While grain productivity of the crop on the different cover crops with higher return of nitrogen from sowing was highest, the quality of harvested grain was higher in the crop grown on weeds. This had the highest percentage of whole grain and lowest percentage of broken and "yesado" grain.

Keywords: Rice; Nitrogen; Winter cover crops.

8. BIBLIOGRAFIA

1. BARBAZAN, M.; FERRANDO, M.; ZAMALVIDE, J.P. 2002. Acumulación de materia seca y nitrógeno en gramíneas anuales invernales usadas como cobertura vegetal en viñedos. *Agrociencia* (Montevideo). 6(1): 10-19.
2. BLANCO, P.; MOLINA, F.; PEREZ DE VIDA, F.; AVILA, S.; LAVECCHIA, A.; MARCHESI, C.; DEAMBROSI, E.; MENDEZ, R.; SALDAIN, N.; ROEL, A.; ZORRILLA, G.; ACEVEDO, A. 2004. Inia Olimar. Características y comportamiento en la zafra 2003-2004. *Revista ACA*. 38: 40 -47.
3. BOARETTO, A.; MURAOKA, T.; TREVELIN, P. 2007. Uso eficiente de nitrogênio nos fertilizantes convencionais. *Informações Agrônomicas*. 120:13-14.
4. BORGHI, E.; ERNST, O. 2002a. Bases fisiológicas del cultivo de arroz en Uruguay. Paysandú, Facultad de Agronomía. 9 p.
5. _____. 2002b. Cultivares de arroz. Paysandú, Facultad de Agronomía. 10 p.
6. _____. 2002c. Densidad de siembra. Paysandú, Facultad de Agronomía. 4 p.
7. _____. 2002d. Época de siembra. Paysandú, Facultad de Agronomía. 4 p.
8. BURESH, R.J.; REDDY, K.; VAN KESSEL, C. 2008. Nitrogen transformation in submerged soils. In: Al-Amoodi, L. ed. Nitrogen in agricultural systems. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp. 401-436.
9. CARÁMBULA, M. 2002. Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Hemisferio Sur t. 1, 357 p.
10. CASSMAN, K.G; DOBERMANN, A; SANTA CRUZ, P.C; GINES, G.C; SAMSON, M.I; DESCALSOTA, J.P; ALCANTARA, J.M; DIZON, M.A; OLK, D.C. 1996. Soil organic matter and the indigenous nitrogen supply of intensive irrigated rice systems in the tropics. *Plant and Soil*. 182: 267 – 278.
11. CASTILLO, J; TERRA, J; PERDONO, C; MORI, C. 2011. Contribución relativa de las distintas fuentes de nitrógeno al cultivo de arroz evaluada mediante la técnica isotópica de abundancia natural ¹⁵N. In: Arroz.

Resultados experimentales 2010 – 2011. Treinta y Tres, INIA. pp. 55 – 69.

12. CLELAND, N. 2010. The advantages of cover crops. (en línea). Kansas, Newspaper Farm Talk. s.p. Consultado 8 oct. 2010. Disponible en <http://farmtalknewspaper.com/crops/x250444731/The-advantages-of-cover-crops>.
13. CONSTANTIN, J.; MARY, B.; LAURENT, F.; AUBRION, G.; FONTAINE, A.; KERVEILLANT, P.; BEAUDOIN, N. 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 135: 268 -278.
14. DEAMBROSI, E.; MENDEZ, R.; ROEL, A. 1997. Estrategia en la producción de arroz. Para un mejor aprovechamiento de las principales variables climáticas. Treinta y Tres, INIA. 19 p. (Serie Técnica no. 89).
15. _____; MENDEZ, R. 2007. Respuesta de cultivares de arroz de tipo indica a densidades de siembra y aplicaciones de nitrógeno en la zona este de Uruguay. Treinta y Tres, INIA. 42 p. (Serie Técnica no. 167).
16. DORAN, J.; SCOTT, M. 1991. Role of cover crops in nitrogen cycling. In: Hargrove, W.L. ed. *Cover crops for clean water*. Ankeny, Iowa, Soil and Water Society. pp. 85-90.
17. DRURY, C.F.; STONE, J.A.; FINDLAY, W.I. 1991. Influence of cover crops on denitrification and nitrogen mineralization. In: Hargrove, W.L. ed. *Cover crops for clean water*. Ankeny, Iowa, Soil and Water Society. pp. 94-96.
18. DURÁN, A.; GARCÍA PRÉCHAC, F. 2007. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. t. 2, 358 p.
19. ERNST, O. 1999. Siembra sin laboreo de cultivos de verano. Paysandú, Facultad de Agronomía. 16 p.
20. _____; BENTANCUR, O. 2004. Efecto del laboreo sub-superficial y manejo del barbocho químico sobre la disponibilidad de N-NO₃ en el suelo y rendimiento de maíz en siembra directa después de avena pastoreada. *Agrociencia*. 8 (1): 29 – 40.

21. FAGERIA, N.K; SLATON, N.A.; BALIGAR, V.C. 2003a. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. *Advances in Agronomy*.80: 63-152.
22. _____. 2003b. Plant tissue test for determination of optimum concentration and uptake of nitrogen at different growth stages in lowland rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 34: 259 – 270
23. _____.; BALIGAR, V.C. 2005c. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*. 88: 97-185.
24. GAMARRA, G. 1996. *Arroz manual de producción*. Montevideo, Hemisferio Sur. 440 p.
25. GARCIA, J.A; LABANDERA, C; PASTORINI, D; CURBELO, S. 1994. Fijación de nitrógeno por leguminosas en La Estanzuela. *In: Seminario de Actualización Técnica (1994, La Estanzuela, Colonia). Nitrógeno en pasturas*. Montevideo, INIA. pp. 13 – 18 (Serie Técnica no. 51).
26. HANSEN, E.; DJURHUUS, J. 1997. Yield and nitrogen uptake as affected by soil tillage and catch crop. *Soil and Tillage Research*. 42: 241-252.
27. KRISTENSEN, K.T.; MAGID, J.; JENSEN, L. S. 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy*. 79: 227-302.
28. LIN, F.F.; FENG QIU, L.; SONG DENG, J.; SHI, Y.Y.; SU CHEN, L.; WANG, K. 2010. Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status. *Computers and Electronics in Agriculture*. 715: 560 – 565.
29. LIVORE, A. 2004. Calidad industrial y culinaria del arroz. *Revista IDIA XXI*. 6: 190-194.
30. MAE, T. 1997. Physiological nitrogen efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis and yield potencial. *In: Ando, T.; Fujita, K.; Mae, T.; Tsumoto, H.; Mori, S.; Sekiya, J. eds. Plant nutrition for sustentable food production and environment*. Dordrecht, Kluwer. pp. 51 – 60.
31. MARCHESI DE LEÓN, E. 2000. La siembra directa en el Uruguay. *Revista Plan Agropecuario*. 90: 48-50.

32. MARKWELL, J.; OSTERMAN, J.; MITCHELL, J. 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis Research*. 46: 467-472.
33. MÉNDEZ LARROSA, R.; DEAMBROSI, E. 2001a. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en el crecimiento y desarrollo del arroz sembrado con laboreo cero o reducido. *In: Arroz; resultados experimentales 2000 – 2001*. Treinta y Tres, INIA. pp. 1 -15.
34. _____.; _____.; BLANCO, P.; SALDAIN, N.; PEREZ DE VIDA, F.; GAGGERO, M.; LAVECCHIA, A.; MENDEZ, J.; MARCHESI, C. 2001b. Reducción de laboreo y siembra directa en el cultivo de arroz. Treinta y Tres, INIA. 18 p. (Serie Técnica no. 122).
35. _____.; DEAMBROSI CHURRUT, E. 2009. Coberturas nitrogenadas para la producción de arroz. Parte I eficiencia de aplicación. Treinta y Tres, INIA. 44 p. (Serie Técnica no. 179).
36. MOLINA, F.; CANTOU, G.; ROEL, A. 2010. Resumen; base de datos empresas arroceras. *In: Grupo de Trabajo Arroz (2010, Treinta y Tres)*. Trabajos presentados. Treinta y Tres, INIA. pp. 1-21.
37. MOLLER HANSEN, E.; DJURHUUS, J. 1997. Yield and N uptake as affected by soil tillage and catch crop. *Soil and Tillage Research*. 42: 241 – 252.
38. PENG, S.; GARCÍA, F.; LAZA, R.C.; SANICO, A.L.; VISPERAS, R.M.; CASSMAN K.G. 1996. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on irrigated rice. *Field Crop Research*. 47: 243-252.
39. REDDY, K.R. 1982. Nitrogen cycling in a flooded-soil ecosystem planted to rice (*Oryza sativa* L.). *Plant and Soil*. 67: 209 – 220.
40. ROEL, A. 1999. Riego en arroz: manejo eficiente de la inundación. Treinta y Tres, INIA. 21 p. (Boletín de Divulgación no. 67).
41. SAHRAWAT, K.L. 2005. Fertility and organic matter in submerged rice soils. *Current Science*. 88 (5): 735 – 739.
42. _____. 2006. Organic matter and mineralizable nitrogen relationships in wetland rice soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37 (5): 787 – 796.

43. SAWCHIK, J. s.f. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. s.l., INIA. 24 p.
44. SCHULZ, S.; KEATINGE, J. D. H.; WELLS, G. J. 1999. Productivity and residual effects of legumes in rice-based cropping systems in a warm-temperate environment; II. Residual effects on rice. *Field Crops Research*. 61:37-49.
45. SINGH, B.; SINGH, Y.; LADHA, J.; BRONSON, K.; BALASUBRAMANIAN, V.; SINGH, J.; KHIND, C. 2002. Chlorophyll meter- and leaf color chart-based nitrogen management for rice and wheat in Northwestern India. *Agronomy Journal*. 94:821-829.
46. SOMDA, Z.; FORD, P.B.; HARGROVE, W. 1991. Descomposición and nitrogen recycling of cover crops and crop residues. *In*: Hargrove, W.L. ed. *Cover crops for clean water*. Ankeny, Iowa, Soil and Water Society. pp. 103-105.
47. STENBERG, M.; ARONSSON, H.; LINDÉN, B.; RYDBERG, T.; GUSTAFSON, A. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil and Tillage Research*. 50: 115-125.
48. SULLIVAN, P. 2003. Overview of cover crops and green manures; fundamentals of sustainable agriculture. Arkansas, NCTA. 16 p.
49. TERRA, J.; CANTOU, G.; DEAMBROSI, E.; MOLINA, F.; PRAVIA, V.; ROEL, A.; PEREIRA, M.; SARTORI, J.; STIRLING, N. 2009. Impacto de la intensidad de laboreo en los rendimientos de arroz de la unidad de producción arroz ganadería, durante tres zafra (2006/07, 2007/08, 2008/09). *In*: Deambrosi, E.; Montossi, F.; Saravia, H.; Blanco, P.; Ayala, W. eds. *10 años de la unidad de producción arroz – ganadería*. Treinta y Tres, INIA. pp. 167 – 188.
50. TSUDA, M. 1999. Errors in leaf area measurement with an automatic area meter due to leaf chlorophyll in crop plants. *Annals of Botany*. 84: 799-801.
51. TURNER, F.T.; JUND, M.F. 1994. Assessing the nitrogen requirements of rice crops with a chlorophyll meter. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34: 1001-1005.

52. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA. 2010. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. 2010. Encuesta de arroz, zafra 2009-2010. Montevideo. 25 p.
53. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. 2009. Cover crops. Delaware. pp. 340-343.
54. WYLAND, L.J.; JACKSON, L.E.; CHANEY, W.E.; KLONSKY, K.; KOIKE, S.T.; KIMPLE, B. 1996. Winter cover crops in a vegetable cropping system; impacts on nitrate leaching, soil water, crop yield, pests and management costs. Agriculture, Ecosystems and Environment. 59: 1 – 17.

9. ANEXOS

Anexo 1. Efecto de la cobertura invernal y la dosis de nitrógeno sobre el número de espigas por superficie.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	Tallos/m ²					
0	374 b	403 a	494 a	374 a	406 a	410 b
62	444 ab	465 a	491 a	468 a	491 a	472 a
82	465 ab	444 a	509 a	441 a	429 a	458 a
102	515 a	418 a	503 a	441 a	418 a	459 a
Media	450 A	432 A	500 A	429 A	435 A	449
Error estándar	42	42	42	42	42	47/21

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

Anexo 2. Efecto de la cobertura invernal y la dosis de nitrógeno sobre el número de granos por espiga.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	gr/esp					
0	120 a	106 ab	112 a	104 b	111 a	110 a
62	103 b	109 a	123 a	116 ab	110 a	112 a
82	109 ab	105 ab	117 a	121 a	106 a	112 a
102	108 ab	95 b	124 a	105 b	110 a	108 a
Media	110 AB	104 B	119 A	111 AB	109 B	111
Error estándar	5	5	5	5	5	7-3

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

Anexo 3. Efecto de la cobertura invernal y la dosis de nitrógeno sobre el porcentaje de esterilidad.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	%					
0	22,0 a	13,2 ab	16,2 a	10,9 a	13,8 a	15,2 a
62	16,9 a	15,1 a	11,9 a	13,1 a	12,8 a	13,9 a
82	10,4 b	15,3 a	12,1 a	11,9 a	13,6 a	12,6 ab
102	9,5 b	8,7 b	13,3 a	9,3 a	13,2 a	10,8 b
Media	14,7 A	13,1 A	13,4 A	11,3 A	13,3 A	13,2
Error estándar	2	2	2	2	2	3 - 1

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

Anexo 4. Efecto de la cobertura invernal y la dosis de nitrógeno sobre el peso de mil granos.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	gr					
0	25.1 c	25.8 b	26.6 a	26.4 b	25.2 a	25.8 b
62	25.9 ab	26.2 ab	26.8 a	27.0 a	25.8 a	26.3 a
82	26.3 a	26.2 ab	26.7 a	27.0 a	25.6 a	26.4 a
102	25.6 bc	26.7 a	26.7 a	26.9 ab	25.3 a	26.3 a
Media	25.7 C	26.2 B	26.7 AB	26.8 A	25.5 C	26.2
Error estándar	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.29/0.13

Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$.

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en la misma fila no difieren significativamente con $p=0.05$.

Anexo 5. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización basal sobre el contenido de nitrógeno en planta a macollaje.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo
	kg/ha				
0	4	3	7	4	6
62	7	5	8	6	8
Media	5.1	4.0	7.8	5.0	6.8

Anexo 6. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización basal sobre el contenido de nitrógeno en planta a primordio.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	kg/ha					
0	12.3	8.6	23.7	11.3	17.7	14.7
62	24.4	17.6	33.7	19.8	26.9	24.4
82	32.9	19.2	33.8	26.6	32.4	28.9
102	33.3	23.2	39.2	29.2	31.6	31.3
Media	25.4	17.0	32.4	21.5	26.9	24.6

Anexo 7. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización basal sobre el contenido de nitrógeno en planta a floración.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	kg/ha					
0	106	77	125	92	124	106
62	125	136	156	147	152	144
82	119	125	133	131	173	137
102	132	131	170	140	177	150
Media	121	117	146	128	157	134

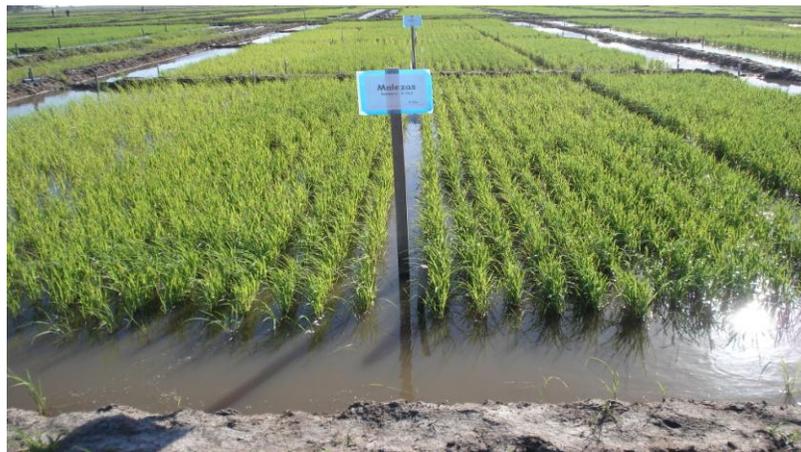
Anexo 8. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización basal sobre el contenido de nitrógeno en planta a cosecha.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	kg/ha					
0	106	69	93	86	98	75
62	103	88	111	101	126	106
82	114	107	100	111	130	112
102	122	113	111	110	121	115
Media	111	94	103	102	117	106

Anexo 9. Efecto del tipo de cobertura invernal y de la fertilización basal sobre el contenido de nitrógeno en grano a cosecha.

N (kg/ha)	Malezas	Raigrás	Sin Veg.	Sorgo	Trébol Rojo	Media
	kg/ha					
0	84	90	115	105	125	103
62	116	112	137	131	144	127
82	126	120	128	127	156	132
102	129	132	133	146	152	138
Media	114	113	128	127	144	125

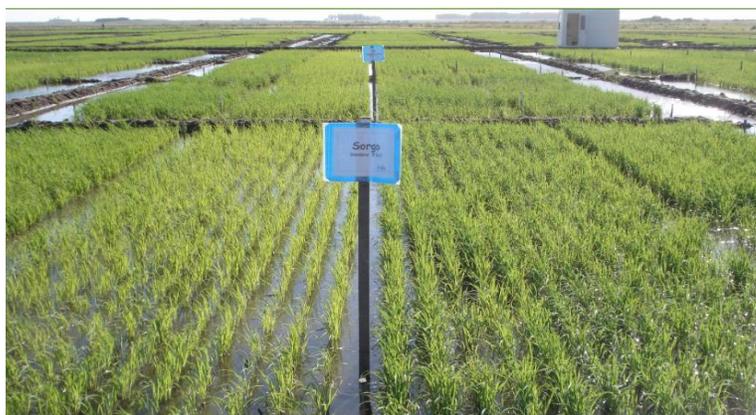
Anexo 10. Cultivo de arroz sobre cobertura de malezas.



Anexo 11. Cultivo de arroz sobre cobertura de Trébol Rojo.



Anexo 12. Cultivo de arroz sobre cobertura de Sorgo.



Anexo 13. Cultivo de arroz sobre cobertura de Raigrás.



Anexo 14. Cultivo de arroz sobre suelo desnudo.

