

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFECTO DEL MANEJO DEL BARBÉCHO SOBRE LA
DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN MAÍZ.**

por

**Ignacio DANRÉE CHAPPE
Gonzálo REYNOSO OLIVER**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2007**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Ruben Oswaldo Ernst

Ing. Agr. (PhD) Guillermo Siri Prieto

Ing. Agr. (MSc.) Jorge Sawchik

Fecha: 21 de marzo del 2007.

Autores:

Ignacio Melchor Danrée Chappe

Luis Gonzalo Reynoso Oliver

AGRADECIMIENTOS

- A nuestras familias por el apoyo incondicional durante todo el proceso de estudio.
- A los tutores, por el tiempo dedicado en nuestro trabajo.
- A funcionarios de la EEMAC por la contribución en la ejecución del trabajo de campo y laboratorio.
- A la empresa Agroterra, por la actitud y contemplación de su tiempo de trabajo en beneficio de que pueda terminar esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA.</u>	3
2.1 FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES.....	3
2.2 CULTIVOS DE COBERTURA Y NITRÓGENO ACUMULADO.....	4
2.3 ESTIMACIÓN DEL APORTE DE NITROGENO DESDE UN CC...	7
2.4 EFICIENCIA DE LA RECUPERACIÓN DE N FIJADO POR EL CC.	8
2.5 TIPO Y MADUREZ DEL CULTIVO DE CC.....	9
2.6 FECHA DE APLICACIÓN DEL HERBICIDA Y TIEMPO DE BARBECHO.....	10
2.7 PROCESOS DE DESCOMPOSICIÓN, MINERALIZACIÓN E INMOVILIZACIÓN.....	11
2.8 TIPOS DE RESPUESTA.....	12
2.9 EFICIENCIA DE USO DEL AGUA.....	13
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	14

4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	17
4.1 DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL CULTIVO DE MAÍZ	17
4.2 APORTE DE N AL CULTIVO, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO EN GRANO DE MAÍZ	21
4.3 APORTE DE N DE LOS CC Y EL SUELO	22
4.3.1 <u>Crecimiento de los CC y su aporte potencial de N al maíz</u>	22
4.3.2 <u>Concentración de N-NO₃⁻ en el suelo sobre los CC a la siembra y V6</u>	23
4.4 IMPLANTACION DEL MAIZ SOBRE LOS CC	25
4.5 ABSORCIÓN DE NITRÓGENO DEL MAÍZ A V6	25
4.6 LAS COBERTURAS Y EL N EN EL CRECIMIENTO DEL MAIZ DESDE V6 HASTA FLORACIÓN	27
4.6.1 <u>Efecto de los CC en el desarrollo del maíz</u>	27
4.6.2 <u>Efecto de la refertilización con N en la temperatura del cultivo</u>	28
4.6.3 <u>Efecto del manejo de los CC en el crecimiento del maíz</u>	30
4.7 RENDIMIENTO EN GRANO DEL MAÍZ	33
4.7.1 <u>Efectos del manejo en el rendimiento en grano</u>	33
4.7.2 <u>Efectos del manejo en los componentes del rendimiento</u>	35

4.8 CONCENTRACION Y ABSORCION DE N EN	
GRANO Y DISPONIBILIDAD DE N-NO ₃ ⁻ A COSECHA.....	39
4.8.1 <u>Efectos del manejo en la concentración y</u>	
<u>absorción de N en grano</u>	39
4.8.2 <u>Concentración de N-NO₃⁻ en el suelo a la</u>	
<u>cosecha</u>	41
5. <u>CONCLUSIONES</u>	43
6. <u>RESUMEN</u>	45
7. <u>SUMMARY</u>	46
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	47
9. <u>ANEXOS</u>	56

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Descripción de los tratamientos según CC.....	14
2. Resumen de las variables climáticas para el periodo de crecimiento del cultivo de maíz para el año en estudio y una serie histórica de 30 años (1935-1995).....	17
3. Efectos de la presencia o no de un cultivo cobertura (CC) y la fertilización nitrogenada al maíz (N), sobre la disponibilidad de N-NO ₃ suelo, el N absorbido, producción de MS y el rendimiento en grano.....	21
4. Producción de MS y aporte de nitrógeno de los cultivos de cobertura (CC).....	22
5. Efecto de las CC en el crecimiento de maíz y su interacción con dosis de N al momento de la floración (R1).....	30
6. Efecto de la cobertura en los componentes del rendimiento y su interacción con N.....	35
7. Interacción de las CC y dosis de nitrógeno en los componentes del rendimiento.....	36

Ilustracion No.	Página
1. Curvas teóricas de respuesta al agregado de fertilizante N en cultivos de verano sembrados sobre una leguminosa (+) o sobre barbecho (-). (Fuente: Smith, M.S. et al., 1987).....	12
2. Condiciones ambientales (precipitaciones y temperatura media) ocurridas desde la aplicación del herbicida hasta la cosecha del maíz para el año en estudio.....	18
3. Humedad gravimetrica del suelo medida dos días de realizada la siembra del maíz.....	19
4. Concentración de N-NO ₃ ⁻ en el suelo a la siembra y V6.....	23
5. Influencia de las coberturas en el N absorbido y en planta en V6.....	26
6. Numero de hojas expandidas a 58 días post siembra. Fenología del maíz (según Ritchie y Hanway, 1982) medida en las diferentes CC.....	27
7. Temperatura medida en la 7ma hoja a 56 días post siembra como evaluación de la condición hídrica de la planta a ese momento.....	29
8. Respuesta en MS total ha ⁻¹ del maíz a R1 para las distintas dosis de N refertilizado. La MS total es presentada como la suma entre MS tallos y hojas por hectárea.....	32
9. Respuesta en rendimiento en grano del maíz a los CC con diferentes dosis de N agregadas en V6.....	33
10. Porcentaje de esterilidad de espigas en función de la población (a) y del rendimiento del maíz (b).....	37

11. Correlación entre el rendimiento en grano del maíz y las espigas logradas por superficie.....	38
12. Absorción y concentración de N en grano y concentración de N-NO ₃ ⁻ en el suelo a cosecha para la interacción CC*N.....	40

1. INTRODUCCIÓN

Las posibilidades de expansión de la agricultura a través de un incremento del área sobre suelos de alto potencial productivo son cada vez menores. Es así, como se han intensificado los sistemas de producción agropecuarios del país y como consecuencia, han provocado un alargamiento de la fase agrícola dentro de la rotación tradicional de cultivos-pasturas. A su vez, la diagramación de secuencias agrícolas actualmente están cargadas hacia los cultivos de verano, y esto origina, cuando el cultivo antecesor deja un escaso rastrojo sobre el suelo graves problemas de erosión física y química, y con ello, la consecuente pérdida de fertilidad de los mismos cuando no hay crecimiento vegetal durante el invierno.

Esta mayor intensificación de la agricultura, también supone aumentos crecientes en el uso de insumos, muchos de los cuales (fertilizantes nitrogenados) son derivados del petróleo, quien ha incrementado un 127% su valor internacional de comercialización en los últimos tres años, originando aumentos en los costos de producción de la agricultura. El uso de abultadas cantidades de fertilizante nitrogenado, origina problemas de contaminación de aguas en profundidad (napa freática), cuando no existe cobertura vegetal creciendo sobre el suelo capaz de secuestrar nitratos, principalmente en aquellas situaciones donde se realizan barbechos químicos prolongados, habitualmente entre dos cultivos de verano.

La utilización de la siembra directa y sistemas de producción sin laboreo y sin quema de rastrojos en estas secuencias agrícolas largas a traído la reducción o eliminación del ingreso de nitrógeno (N) al sistema. Ya que la no utilización de leguminosas en la rotación agrícola no ha permitido el ingreso de N al sistema por fijación simbiótica. A su vez los barbechos de invierno sin cobertura han producido una degradación física y química del suelo al quedar expuesto al lavado por la lluvia, originando la pérdida de nitrógeno y contaminación de aguas. Todo esto determina una mayor necesidad de fertilizante nitrogenado.

Es así, como surgen los cultivos de cobertura (CC) como una opción capaz de atender a estos problemas planteados. Los CC son capaces de secuestrar y fijar nitrógeno en caso de leguminosas para después aportarlo al siguiente cultivo, y además cumplir con la cobertura del suelo para evitar la erosión en el periodo intercultivos.

La utilización de cultivos de cobertura leguminosas anuales o bianuales en el periodo de barbecho en la secuencia, sin ser incorporados al suelo, ni pastoreados o cosechados, permitiría mantener el ingreso de N al sistema y a su vez, mantener el suelo cubierto reduciendo el riesgo de erosión.

El objetivo de este trabajo, es estudiar la posibilidad de mantener un ingreso extra de N dentro de la fase agrícola en una rotación mantenida en siembra directa durante siete años, ubicando leguminosas de ciclo corto entre la cosecha de un cultivo y la siembra del siguiente y cuantificar sus efectos sobre la necesidad de fertilizantes nitrogenados y la dinámica del N.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1 FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES

Cultivos de cobertura (CC) se define a aquellos que crecen eficientemente para mantener el suelo cubierto, protegiéndolo de la erosión, evitando la pérdida de nutrientes por lavado y escurrimiento y, en caso de ser leguminosa, incorporando nitrógeno (N) al sistema. Las coberturas pueden aportar el C y N orgánico, sumado a un aumento de la adición de residuos a la tierra (Hargrove 1986, Kuo et al. 1997), pueden sustituir el fertilizante N (Blevins et al. 1990, Hesterman et al. 1992), reducir al mínimo la erosión del suelo (Hargrove et al., 1984), mantener la materia orgánica del suelo y mejorar la estructura del mismo (Smith et al. 1987, Frye et al. 1988), como también reducir la biomasa y densidad de las malezas (Teasdale et al., 1991), teniendo también un efecto beneficioso en la productividad de los cultivos sobre todo en el resultado del efecto de la rotación más bien que contribuciones directas de N que pueden hacer los CC (Andraski et al., 2005). Se diferencian de una pastura porque no son de renta directa y crecen fuera de estación dentro de un sistema de siembra de cultivos anuales. Cuando la estación de crecimiento supera los 180 días libre de heladas, el CC es sustituido por un cultivo de renta, cumpliendo con los mismos objetivos (Reeves et al., 1991).

La propuesta se adecua a climas con inviernos templados y no se justifica en zonas con nieve ni en zonas de buena disponibilidad hídrica estival, donde siempre existe la posibilidad de incorporar cultivos de renta. En general es utilizada en secuencias de cultivos estivales, como Maíz (*Zea mays*) / barbecho/Maíz, y Sorgo grano (*Sorghum bicolor*) / barbecho/Sorgo grano (Smith et al., 1987), soja (*Glycine Max*) / barbecho / Maíz (Cox et al., 2001). Los cultivos de leguminosas como cobertura y su posterior uso como abono verde fueron evaluados en Uruguay en condiciones de laboreo y sólo durante el verano. Torres y del Pino (1995), utilizaron trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) asociado al trigo logrando un escaso impacto sobre el trigo siguiente. En cambio, encontraron un efecto equivalente a 100 kg N ha⁻¹ agregado como urea cuando la secuencia siguió con maíz. El uso de la técnica está agrónomicamente limitada por la ventana de tiempo para producir materia seca (Johnson et al., 1998). Diferentes autores coinciden en que la cantidad de N fijado está directamente relacionado a la producción de materia seca de la leguminosa, ya que en promedio las leguminosas fijan 30 kg N ha⁻¹ cada 1000 kg⁻¹ de materia seca producida. Por lo tanto, las condiciones climáticas durante

el período de crecimiento de la leguminosa, es determinante del éxito de la propuesta. Por otro lado la fecha de siembra y de eliminación del abono verde queda definida por la cosecha de un cultivo y la siembra del próximo. Por ejemplo, la cosecha de un cultivo de verano fija la fecha de siembra de la leguminosa invernal y la siembra del cultivo de verano posterior determina la fecha a partir de la cual debe iniciarse el barbecho químico para recargar con agua y nutrientes el perfil del suelo. El retraso de la fecha de siembra para alargar la estación de crecimiento de la cobertura no resulta en una buena práctica porque reduce el rendimiento del cultivo de renta (Mansoer et al., 1997). A pesar de los efectos positivos producidos a menudo por los cultivos de cobertura anuales en la producción del maíz, hay también un potencial para la reducción en la producción del maíz. El crecimiento en la primavera de la leguminosa puede disminuir el agua disponible en el subsuelo, que crea condiciones de estrés de humedad para el maíz en años en donde las precipitaciones son bajas (Frye et al. 1988, Badaruddin et al. 1989, Hesterman et al. 1992, Hesterman et al. 1998).

2.2 CULTIVOS DE COBERTURA Y NITROGENO ACUMULADO

Los CC pueden ser no leguminosas como centeno (*Secale cereale sp*), Moha (*Setaria italica*), Raigrás anual (*Lolium multiflorum L.*), Girasol (*Helianthus Annus sp*) entre otras, o CC leguminosas. En el primer caso, el aporte de nitrógeno para el cultivo siguiente, si se cuantifica, es el resultado de reducir las pérdidas del nutriente que ocurren durante el periodo de barbecho. García y Mautner (1989), utilizando Moha y Girasol como CC, determinaron un traslado de N desde el verano hacia el cultivo de invierno equivalente a 40 kg N ha^{-1} como urea. En este caso, el cultivo actuó como trampa de N, el que fue liberado durante la estación de crecimiento del cultivo de renta. En secuencias donde el suelo queda en barbecho durante el invierno, el nitrógeno excedente del cultivo anterior y o liberado durante el periodo, queda sujeto a pérdidas por lixiviación, lo que representa un riesgo importante de contaminación de aguas (Weinert et al., 2002). El CC gramínea en estos casos es más efectivo que el CC leguminosa (Sainju et al., 1998). Logsdon et al. (2002) utilizando coberturas de avena y centeno cuantificó el lavado de NO_3^- y determinó una disminución de la pérdida de NO_3^- , además de una menor evapotranspiración y un aumento del agua en el suelo, con el uso de estas coberturas frente al barbecho invernal.

Por otro lado, existen muchos casos en que la contribución de un CC gramínea al cultivo siguiente es negativa debido a una alta relación C/N del

rastrojo (Reeves y Touchton 1991, Torbert y Reeves 1991). Los cultivos de cobertura gramínea tienen típicamente contenido de N bajo y altos cocientes de C/N, demostrando poco o nada de efectos beneficiosos sobre el rendimiento de los cultivos en el corto plazo. Se incluyen las leguminosas como cultivo de cobertura ya que la composición de estas permite aumentar el contenido de N de los rastrojos (Ranells et al. 1996, Clark et al. 1997a).

Entonces cuando el CC es una leguminosa existe un aporte adicional de N producto de la fijación simbiótica. Smith et al. (1987) presento resultados experimentales en los que este aporte aparente de N varió entre 15 y 200 kg ha⁻¹, con valores mas probables entre 60 y 100 kg N ha⁻¹. Las variaciones respondieron a la producción de materia seca de la leguminosa, al manejo del barbecho y del cultivo. Las situaciones de menor aporte aparente fueron aquellas en el que el rendimiento del cultivo de renta fue limitado por otro factor, como disponibilidad de agua, implantación, malezas, época de siembra.

El trébol rojo (*Trifolium pratense*) utilizado como cobertura es una práctica común en el noreste de EEUU (Cox et al., 1998) que puede proporcionar hasta 85 kilogramos de N ha⁻¹ al cultivo siguiente de maíz (Vyn et al., 1999). Otro cultivo de cobertura leguminosa utilizado frecuentemente es hairy vetch (*Vicia villosa Roth*) (Duo et al. 1994, Sainju et al. 2001, Kuo et al. 2002). En la bibliografía demuestran que puede proporcionar entre 90 y 150 kilogramos de N ha⁻¹ al cultivo de renta siguiente (Sainju et al., 2001). El trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum*) es una leguminosa de porte erecto también utilizada como cobertura anual de invierno en la región mediterránea y en EEUU. Westcott et al. (1995), Shrestha et al. (1998), divulgaron una producción total en la estación de crecimiento entre 5 y 7.7 Tn ha⁻¹ cuando el trébol alejandrino fue cosechado dos veces, aportando 62 Kg N ha⁻¹ en el ultimo caso.

Las leguminosas tropicales pueden ofrecer una alternativa a las leguminosas invernales porque producen la biomasa adecuada antes de sembrar el maíz. En el centro de Alabama Balkcom y Reeves (2005) utilizaron sunn-hemp (*Crotalaria juncea L.*) como leguminosa tropical que con una estación de crecimiento de 14 semanas produjo en promedio (de 3 años) 7.6 Tn ha⁻¹ con un contenido de N de 144 Kg ha⁻¹, lo que equivalió a 58 kg ha⁻¹ de fertilizante de N durante ese periodo.

En promedio 70% del nitrógeno acumulado en la parte aérea de las leguminosas proviene de la fijación simbiótica y un 12% del total del N está en la parte radicular (entre 8 y 23%) (Mitchel et al., 1977). Al avanzar el estado de madurez se reduce la concentración de N en la planta. En los CC leguminosas, aunque se reduce la concentración de N en los tejidos, la cantidad de N

aumenta con los días de crecimiento. Por el contrario, en CC gramíneas, la compensación puede determinar que la cantidad de N absoluta no se modifique (Vaughan et al., 1998).

Kuo y Jellum (2002), encontraron en un promedio de 4 años que la vicia presenta mayores concentraciones de nitrógeno en tejido con promedios de 32.5 g N kg^{-1} . De modo, que la acumulación total de N fuera levemente más alta en suelo (58 kg N ha^{-1} en promedio) obteniendo mayores rendimientos en el maíz en comparación con el raigrás o con el bicultivo (raigrás-vicia o vicia-centeno). En cuanto al CC raigrás (*Lolium multiflorum* L.), este presentó menor concentración en tejido con un promedio de 13 g N Kg^{-1} , exhibiendo en suelo valores de 18 kg N ha^{-1} y con una relación C/N de 30 provocando inmovilización del N.

Por otra parte la bibliografía indica que el CC leguminosa vicia además de obtener los valores mas altos de N acumulado en tejido y en suelo, tiene los valores mas bajos en cuanto a la relación C/N (11,7) (Kuo et al., 2002), que estaría determinando un aumento de la disponibilidad de N al incorporar la cobertura al suelo ya que permitiría disminuir la inmovilización del N (Hargrove et al. 1986, Smith et al. 1987, Ranells et al. 1996) y aumentar la tasa de mineralización. Cuando la concentración de N en el tejido de la planta aumentó o el cociente C/N disminuyó, el potencial de mineralización inicial de N y la tasa de mineralización de N aumentaron (Frankenberger et al. 1985, Kuo et al. 1998) y el tiempo para que ocurra la mineralización neta de N disminuyó (Kuo et al., 1998).

El uso de bicultivos leguminosa-gramínea disminuyó entre 12 a 22 la relación C/N. El componente leguminosa vicia fue eficaz en bajar el cociente de C/N de la mezcla cuando estuvo combinado con la gramínea (Ranells et al. 1996, Clark et al. 1997a). La transferencia de la fijación de N de la leguminosa a la gramínea es una ventaja de los bicultivos (Faris et al., 1987).

Sainju et al. (2005), concluyó sobre la ventaja de la utilización del bicultivo de hairy vetch y centeno sobre el monocultivo como CC en la producción de sorgo y algodón. Éstos logran una mayor producción de biomasa, contenido de C y de N, pueden aumentar la fuente de nitrógeno y la utilización del N comparado con centeno; y además aumentan el potencial de mejorar la materia orgánica del suelo y de reducir la lixiviación de N comparado con la hairy vetch, lo que en resumen mejora la calidad del suelo y la productividad de los cultivos de verano.

2.3 ESTIMACION DEL APORTE DE NITROGENO DESDE UN CC

Existen varias propuestas para estimar el aporte aparente de N de un CC. En algunos casos se utiliza la relación entre el rendimiento obtenido sobre un CC de leguminosa y el obtenido sobre barbecho. En otros, la relación entre los kg grano ha^{-1} obtenidos después de un CC no leguminosa con N y los kg grano ha^{-1} obtenidos después de un CC leguminosa sin N, descontando así, el aporte de N del suelo retenido por el CC no leguminosa. Smith et al. (1987), propuso utilizar la diferencia en N total absorbido en lugar de rendimiento en grano y Hargrove (1986) planteó el contenido de N en el grano como un indicador del aporte.

El nitrógeno equivalente fertilizante (NEF) es utilizado para estimar el aporte del nutriente por el CC al cultivo siguiente y se define como los kg de N como fertilizante que son necesarios para igualar el rendimiento obtenido sin fertilizante sobre un CC. El indicador es fácilmente cuantificable en términos económicos, lo que representa una ventaja para la difusión de la técnica. Tiene la desventaja de que cuenta como efecto N los efectos adicionales positivos o negativos del CC sobre el cultivo de renta. Utilizando NEF, Smith et al. (1987) citó un valor medio entre 70 y 100 kg N ha^{-1} . Reeves et al. (1991) utilizó como CC *Trifolium incarnatum* con nodulación efectiva con relación al mismo trébol sin nodulación y cultivos de cobertura gramíneas (*Secale cereale* L.). El maíz posterior a trébol con nodulación efectiva logró el mismo rendimiento en grano sin nitrógeno adicional que luego de centeno con 60 kg N ha^{-1} como urea. Griffin et al. (2000) concluyeron que es posible suministrar todo el N necesario para más de 20 Tn grano ha^{-1} de maíz dulce utilizando *Vicia villosa* como CC.

Ahmad et al. (2001) utilizaron el método de dilución isotópica de ^{15}N para estimar la cantidad de N ingresado por fijación simbiótica de un CC leguminosa que es utilizado por los cultivos siguientes de la rotación. Ladd et al. (1981), Azam et al. (1985), Müller et al. (1988), entre otros, también utilizaron ^{15}N para cuantificar el aporte de N desde residuos de rastrojos de leguminosas y gramíneas, ya sean utilizadas o no como CC.

2.4 EFICIENCIA DE LA RECUPERACION DE N FIJADO POR EL CC

Dentro de los factores que condicionan la eficiencia de recuperación del N fijado se citan el estado de madurez del CC, fecha de aplicación del herbicida, el tiempo entre la aplicación del herbicida al CC y la siembra del cultivo de renta, las condiciones de temperatura y humedad durante ese período y el manejo de la fertilización nitrogenada, factores todos que determinan el grado de sincronización entre la oferta del N y la demanda del cultivo de renta (Reeves et al. 1993, Vaughan et al. 1998, Vyn et al. 1999, Griffin et al. 2000).

Las eficiencias de recuperación del N fijado reportadas en la bibliografía son relativamente bajas, oscilando entre un mínimo de 3% y un máximo de 56%. La eficiencia del N fijado resulta menor a la del N agregado como fertilizante, por lo que una fracción de aquel quedaría incorporado al sistema suelo y podría ser recuperado en el mediano plazo (Varco et al., 1989) y de no existir coberturas podría quedar expuesto a pérdidas por lixiviación (Andraski et al., 2005).

En concordancia con lo expresado en el párrafo anterior Seoá et al. (2006) en un estudio reciente, compararon hairy vetch y sulfato de amonio (SA) marcados con ^{15}N para medir en el grano de maíz la eficiencia de recuperación de las fuentes marcadas durante 2 años. La eficiencia de recuperación fue de 32% cuando el SA fue aplicado a la siembra del maíz, un 46% cuando fue agregado en V6 y un 15% en el residuo marcado de hairy vetch. Inversamente, el suelo post-cosecha contuvo más ^{15}N en los residuos de hairy vetch (38%) comparados con SA a la siembra (15%) o agregado a 6 hojas (14%). Las recuperaciones del primer año totales de ^{15}N en cosecha más lo del suelo después de la cosecha fueron del 47% para SA a la siembra, el 54% para los residuos de hairy vetch, y del 60% para el agregado de SA a V6, que son constantes para un clima con altas lluvias de verano (850 milímetros). El maíz del segundo año tuvo una baja disponibilidad de ^{15}N residual, aunque los residuos de hairy vetch proveyeron alrededor dos veces más de N (3.5%) que como SA (1.5%). Ellos concluyen que el SA es alrededor de dos veces más eficiente que los residuos de la leguminosa en proveer N al grano de maíz, mientras que los residuos de la leguminosa contribuyen alrededor dos veces más de N al suelo.

Eficiencias del uso y lixiviación de los nutrientes en los sistemas orgánicos y convencionales de cultivos fueron abordados en Suecia por Aronsson et al. (2006). Ellos compararon dos sistemas, uno convencional (con uso de

fertilizante) y uno con abono verde, y encontraron que la lixiviación fue menor en el sistema convencional con contra sin cobertura, teniendo un valor promedio para 6 años de estudio de 25 y 38 kg N ha⁻¹ respectivamente. Cuando el nitrógeno lixiviado fue expresado como porcentaje del total del nitrógeno removido, esto represento un 22% para el abono verde y un 33 % para el sistema convencional. Estos resultados sugieren claramente que la eficiencia del uso del N esté mejorada si se utilizan fertilizantes nitrogenados inorgánicos juntamente con los abonos verdes.

2.5 TIPO Y MADUREZ DEL CC

En todos los cultivos, la cantidad de N fijado o absorbido aumenta con el estadio de desarrollo pero la concentración en los tejidos se reduce. En sistemas en los que se utilizan leguminosas como CC se debe lograr un balance entre la cantidad fijada y la calidad del rastrojo (concentración de N), ya que esto afecta la velocidad con que el nutriente se hace disponible y con ello, la sincronización con la demanda del cultivo. En muchos casos, la mayoría del N fijado es aportado después de la floración del maíz, lo que reduce su eficiencia de uso (Huntington et al. 1985, Varco et al. 1989, Reeves et al. 1993). Una alternativa es corregir la deficiencia inicial con fertilizante nitrogenado, para lo cual es posible utilizar los indicadores de suelo comunes y, en estos casos, raramente es necesario realizar una corrección posterior (Reeves et al. 1993, Vyn et al. 1999, Vyn et al. 2000, Griffin et al. 2000).

Kuo y Jellum (2000), encontraron una amplia variación en el N inicial entre años, en el manejo de las coberturas y del rastrojo en superficie, por lo cual acentúan la importancia de realizar análisis de suelo de N disponible temprano en la estación de crecimiento. Este análisis es crítico para desarrollar un programa apropiado de fertilización con N para aumentar la eficiencia del uso del fertilizante nitrogenado.

Janzen y Kucey (1988) citan que la mineralización del N, C y S depende directamente de la concentración de N en los tejidos del rastrojo ($R^2=0,98$) determinando un valor crítico de 1,5%, 1,2%, 1,0% y menor a 1% para que la liberación ocurra dentro de los 28, 56, 84 y más de 84 días post muerte del CC. Como contrapartida, el valor crítico para la existencia de inmovilización bajó desde 1,9% en el día 14 a 1,1% en el día 84, por lo que el estado nutricional de los rastrojos es determinante de la velocidad de aparición del N fijado. El continuo retiro de N desde la solución del suelo por un cultivo en crecimiento

podría retardar la descomposición de raíces y rastrojos enterrados de igual manera que bajas temperaturas de suelo y excesiva humedad (Reeves et al., 1993). Similares conclusiones obtuvieron Berg et al. (1987) quienes determinaron una fase inicial de descomposición rápida asociada a la concentración de N e hidratos de carbono solubles en el rastrojo y una fase posterior lenta, determinada por la concentración de lignina en los tejidos. Dou et al. (1994), utilizando como CC *Trifolium pratense* y *Vicia villosa roth*, encontraron que hay un rápido aumento del nitrógeno en el suelo en las primeras 4 semanas con laboreo luego de la incorporación y el pico se da a las 8 semanas cuando no se realiza laboreo a partir del agregado de herbicida, determinado por la degradación de los componentes más lábiles como glucosa, proteínas y celulosa; luego se observa una fase posterior más lenta determinada por los componentes más estructurales de las plantas. Similares resultados se obtuvieron en los experimentos realizados por Varco et al. (1986).

La tasa de descomposición de *Trifolium pratense* fue de 2,3% día⁻¹ durante los primeros 30 días de descomposición y se redujo a 0,06% día⁻¹ después del día 166. La mineralización de las leguminosas es más rápida que la de las gramíneas, lográndose un comportamiento intermedio cuando se trabaja con mezclas de ambos tipos de cultivos. Gil y Fick (2001) lograron una acumulación de N inorgánico en el suelo superior después de alfalfa (35–100 kg N ha⁻¹ año⁻¹), seguido por la mezcla con una gramínea (15–62 kg N ha⁻¹ año⁻¹) y el menor aporte después de la gramínea pura (*Tripsacum dactyloides* L.) (2–15 kg N ha⁻¹ año⁻¹).

La fecha de siembra del CC es una variable determinante de la acumulación de materia seca y N hasta la aplicación del herbicida (Odhiambo et al., 2001). Para alargar la fase de crecimiento, se han evaluado siembras en cobertura previo a la cosecha del cultivo de renta (Hiveley et al., 2001). De esta forma es posible ganar días de crecimiento sin afectar la fecha de siembra del cultivo siguiente.

2.6 FECHA DE APLICACIÓN DEL HERBICIDA Y TIEMPO DE BARBECHO

El tiempo de desecación es una de las variables determinantes de la cantidad de N fijada y la calidad del rastrojo. Cuanto más temprano se realiza la

aplicación de herbicida menor será la cantidad de N fijada pero mayor la calidad del rastrojo, por lo que el resultado en N aportado al cultivo siguiente puede ser el mismo. Cuando el tiempo de barbecho se acorta, la disponibilidad de N-NO_3^- en el suelo a la siembra es baja, lo que debe ser corregido por fertilización (Vaughan et al. 1998, Sainju et al. 2001). Si el período de barbecho es excesivo, la mayoría del N será aportado temprano en el ciclo del cultivo y, en casos de humedad excesiva, podría llegar a perderse antes de que el cultivo lo requiera. En estos casos, los rastrojos con mayor relación C/N resultan una mejor opción, ya que aportan el N más tardíamente (Müller et al. 1988, Mansoer et al. 1997).

2.7 PROCESOS DE DESCOMPOSICIÓN, MINERALIZACIÓN E INMOBILIZACIÓN

Las características del residuo determinan la descomposición y cinética de la mineralización, incluye el contenido de nitrógeno, química del carbono, tamaño de la partícula y volumen del rastrojo. La importancia de las características del suelo incluye: contenido de arcilla, pH, aireación y, para un bajo residuo de nutriente, el nivel de nutrientes del suelo. Entre el ambiente o factores climáticos, la temperatura y la humedad son los más significativos (Smith et al. 1987, Ruffo et al. 2002).

Las leguminosas tienen alta proteína, son bajas en lignina y generalmente bajas en otros compuestos de polifenoles (Vallis y Jones, 1973), y tienen una relativa fina estructura física logrando una mineralización más rápida que las gramíneas.

Stott et al. (1983) habla de que una alta proteína y baja lignina en la composición del residuo favorece la retención de carbono en la biomasa y productos microbianos, y con una alta lignina y baja proteína en la composición favorecen a la retención en la fracción humus.

La descomposición dinámica de las leguminosas hace una fuente potencial de N para el maíz. Sin embargo, su bajo contenido de N al momento de matarla debido a su escasa producción de biomasa en la estación de crecimiento puede reducir su capacidad de proporcionar N como para sustituir el fertilizante nitrogenado. En cambio, las gramíneas presentan una descomposición lenta, que no contribuye N al maíz y puede incluso inmovilizar

el N del suelo. Esto permite, que las gramíneas sean una herramienta excelente para los sistemas de conservación de suelo (Ruffo et al., 2002).

2.8 TIPOS DE RESPUESTA

La bibliografía marca que hay tres tipos de respuesta al nitrógeno en los cultivos de verano en función de la existencia o no de un cultivo de cobertura ver Figura 1.

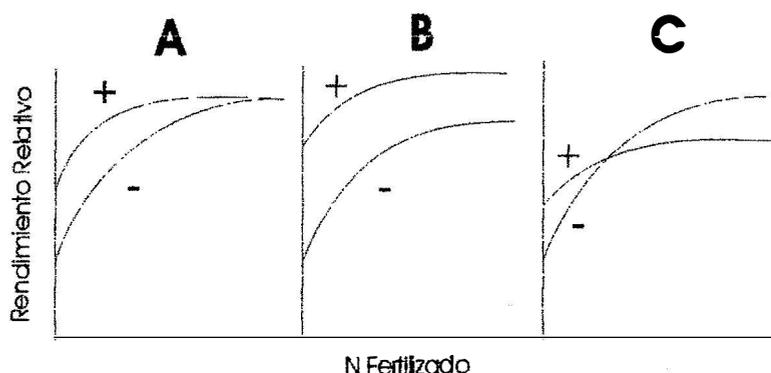


Figura 1. Curvas teóricas de respuesta al agregado de fertilizante N en cultivos de verano sembrados sobre una leguminosa (+) o sobre barbecho (-). (Fuente: Smith et al., 1987).

En el caso A, se observa que el rendimiento del maíz después de la leguminosa es superior al barbecho a bajas dosis de N, pero con dosis más altas esta diferencia desaparece (Hargrove 1986, del Pino et al. 1997). Fundamentalmente, el efecto del CC esta asociado al aporte de N. En otro de los casos (B), la diferencia entre CC y barbecho es máxima a bajas dosis de N, pero sigue siendo significativa aún a dosis de fertilizante que maximizan el rendimiento. En estos casos el CC además de aportar una considerable cantidad de N produce un incremento de rendimiento que ha sido denominado "efecto de rotación" y es encontrado solo en algunos años de investigación. Las causas de este efecto se atribuyen a la conservación del agua, control de malezas, mejora en propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y reducción de la presión de patógenos (Ebelhar et al. 1984, Touchton et al. 1984, Calegari et al. 1994, Parsons et al. 2004). En el caso C, se espera un incremento sobre la leguminosa pero luego a mayores dosis de N existe un

efecto negativo asociado a la misma, debido a fallas en la implantación o problemas de crecimiento por la extracción de agua de la cobertura y/o además por efectos explicados como alelopatías (Megie et al. 1967, Brown et al. 1985, Worsham 1986).

2.9 EFICIENCIA DEL USO DE AGUA

Uno de los principales efectos negativos de los CC podrá ser el uso del agua. Si no existe recarga del perfil durante el período de barbecho posterior al CC, el agua podría transformarse en una limitante para el cultivo siguiente, limitando así la respuesta al N adicional disponible (Corak et al., 1991). La fecha de desecación del CC parece ser la variable de mayor impacto sobre la disponibilidad de agua a la siembra del cultivo de renta (Waggen 1989, Ernst 2002). Por otro lado, la profundidad del perfil del suelo y el régimen de lluvias de la región son determinantes del resultado. Para las condiciones de Uruguay, es normal mantener el suelo cercano a capacidad de campo durante todo el invierno y en los inicios de la primavera (menor demanda atmosférica) y la posibilidad de recarga de agua del perfil es alta (Corsi, 1982). Esta recarga de agua, permitiría implementar la propuesta sin aumentar en forma excesiva el riesgo de no poder sembrar cultivos de verano a inicios de la estación de crecimiento con déficit de agua en el suelo. Como lo demuestra Andriani et al. (2001), para la secuencia maíz-avena-soja, el retraso en la aplicación del herbicida puede agregar incertidumbre sobre la cantidad de agua almacenada en el suelo a la siembra. Esto es esperable cuando se atrasa la muerte de los CC para que se beneficien de su mayor crecimiento en biomasa aérea y radicular en primavera, y que luego si las lluvias no son de importancia se pierde capacidad de acumular agua en los horizontes mas profundos del perfil del suelo que muchas veces son los que definen los rendimientos en los momentos mas críticos para los cultivos.

3. MATERIALES Y METODOS

El trabajo se desarrollo en el campo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la Republica del Uruguay en la Estación Experimental Dr. Mario Cassinoni (EEMAC) de la localidad de Paysandú, dentro de un área mantenida en agricultura continua sin laboreo durante siete años. El suelo es un Argiudolls Typic (Durán et al., 1999), perteneciente a la Unidad San Manuel apoyada sobre la Formación Fray Bentos.

El experimento se inserta en una secuencia de cultivos que se viene desarrollando con el siguiente esquema: trigo-soja-barbecho-maíz. En este lugar, luego de la cosecha de soja (antecesor del maíz), se sembraron dos cultivos como coberturas de invierno: trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum*) como leguminosa anual y raigrás (*Lolium multiflorum*) como cultivo gramíneo y conjuntamente a los dos tratamientos se dejo un testigo sin cobertura.

Cuadro 1. Descripción de los tratamiento según CC.

Tratamiento	Antecesor Verano	Cobertura	Cultivo verano
1	Soja	Barbecho (BQ)	Maíz
2	Soja	Alejandrino (TA) * ¹	Maíz
3	Soja	Raigrás (RG) * ²	Maíz

*¹ Cultivar INIA Calypso *² Cultivar INIA LE284

Las coberturas fueron sembradas el 26 de abril con una densidad de 14 y 20 Kg ha⁻¹ para el TA y RG respectivamente, con una sembradora SEMEATO SH11 de doble disco desfasado con una distancia de entre surcos de 0,19 mt.

El momento de matar las coberturas fue diferencial de acuerdo a las especies. Al TA con 119 días de crecimiento se le aplico 1 lt ha⁻¹ Starane (Fluroxipir-metil) el 23 de agosto cuando había logrado una producción de

biomasa aérea de 508 Kg MS ha⁻¹, en tanto al RG con 129 días de crecimiento y BQ se les aplicó 3,5 lt ha⁻¹ de glifosato el 2 de setiembre, habiendo alcanzado una producción de biomasa de 4000 y 1000 Kg MS ha⁻¹ respectivamente.

En los días previos a la siembra, el 12 de octubre, se hicieron muestras compuestas de suelo en las parcelas mayores para determinar los niveles de N-NO₃⁻ y P Bray N°1 en cada cobertura estudiada.

El maíz NK 900 td max, fue sembrado el 18 de octubre a una densidad de 6 semillas/mt lineal separadas a 52 cm. de entresurco y fertilizado con 60 Kg de Urea (46-0-0-0). Los niveles de fósforo estaban dentro del rango sin respuesta en rendimiento por lo que no fue agregado a la siembra.

A la siembra del maíz fue medido el contenido de agua del suelo en los primeros 70 cm de profundidad del suelo. La estimación fue realizada aplicando el método gravimétrico (w/w). Para ello, las muestras de humedad se obtuvieron por medio de un calador hidráulico, cuya dimensión es de 18x100mm. Las muestras tomadas se fraccionaban de 0-10, 10-20, 20-35, 35-50 y de 50 a 70 cm en la profundidad del perfil. Luego fueron pesadas en condiciones frescas y secadas en estufa a 105 °C durante 48 horas para volver a tomarles el peso seco y determinar el contenido de agua del suelo como la diferencia entre el peso fresco menos el seco para cada muestra del perfil calado. El punto de marchitez permanente (PMP) para estos suelos fue calculado como el 13% de la capacidad de campo (CC) para la profundidad de 0-35 cm y 17% entre los 35 y 70 cm de profundidad del perfil.

Al momento en que el maíz estaba en V5-V6 (3 de diciembre), se midió la implantación en 4 mt lineales por 6 surcos para cada parcela menor. Se saco una muestra compuesta de suelo (5 pinchazos) en las parcelas menores para determinar los niveles de N-NO₃⁻ y luego se refertilizaron las mismas con urea a 4 dosis distintas: 0, 30, 60, 90 Kg de N ha⁻¹. También se cortaron 6 plantas por mt lineal en una de las hileras centrales para determinar la producción de MS y la concentración de N (a través del método de Kjeldhal) en el laboratorio.

El 15 de diciembre se midió la fenología del maíz contando las hojas con lígula completamente visibles en 20 plantas ubicadas en los surcos centrales de las dosis 0 y 90 UN ha⁻¹ de las distintas coberturas. Tres días más tarde, se midió la temperatura de la séptima hoja en 15 plantas por parcela menor. Fue medida con un Termómetro Infrarrojo UEI modelo INF-150. Conjuntamente con la temperatura de hoja se realizó la medición del IAF a través de un bastón digital (MODELO LAI-2000 –Plant Canopy Analyser) en todas las parcelas.

La floración en el maíz ocurrió el 5 de enero, para lo cual se cortaron 5 plantas seguidas en el segundo surco de cada parcela menor. A partir de ellas, se determinó en el laboratorio el peso fresco de tallos y hojas, diámetro (en cm.) de la base del primer nudo de los tallos, altura (cm.) desde la base del tallo a la punta de la panoja y el número de hojas por planta. El peso fresco fue multiplicado por un valor constante en los tallos (0.26) para convertirlo en MS y en las hojas, el peso seco fue obtenido luego de ser secado en estufa a 60 °C.

La cosecha se realizó el 3 marzo en forma manual, cosechando las espigas de las tres hileras centrales en 3 metros lineales por surco. Luego en el laboratorio se trillaron las espigas con una desgranadora manual. Se midió la humedad de los granos (en %) con un humidímetro Dickey-John Multi-grain para corregir el rendimiento en grano a 13% de humedad. Además, se determinó el peso de 1000 semillas y el contenido de N en grano con el método Kjeldhal.

En el campo se tomaron muestras de suelo para valorar la concentración de $N_7NO_3^-$ a la cosecha del maíz.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas en tres bloques completos al azar. En la parcela mayor (6*24 m) se ubicaron los tratamientos 1 a 3 descritos en el cuadro 1 y en las parcelas menores (5*6 m) las dosis de nitrógeno (0, 30, 60, 90 Kg N ha⁻¹). Los resultados se analizaron utilizando el PROCEDIMIENTO GLM del sistema Statistical analysis systems (Ver. 6.11 1996; SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina U.S.A.). La separación de medias se realizó a través de MDS.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL CULTIVO DE MAÍZ

En el Cuadro 2, se resumen las precipitaciones ocurridas previo a la siembra, para el período siembra-V6 y V6-R1.

Cuadro 2. Resumen de las variables climáticas para el periodo de crecimiento del cultivo de maíz para el año en estudio y una serie histórica de 30 años (1935-1995).

Período	Duración días	Lluvias		Temperatura Media	
		2004-05 Histórico	2004-05 Histórico	2004-05 Histórico	2004-05 Histórico
		mm	mm	°C	°C
Herbicida-siembra	46 *	195	158	14.4	15.4
Siembra-V6	46	140	160	19.8	19.8
V6-R1	33	84	107	23.1	23.6
R1-Cosecha	57	250	226	24.0	24.2
Total	182	669	650	20.4	20.8

* Tiempo tomado para los tratamientos de RG y TA.

Las precipitaciones durante el periodo de barbecho fueron superiores a las necesarias para la recarga de agua del perfil del suelo al momento de la siembra. Durante el ciclo de crecimiento del maíz las lluvias se mantuvieron dentro del promedio histórico al igual que la temperatura.

Sin embargo, la distribución de las lluvias muestra la existencia de un período de déficit de precipitaciones durante todo el mes de diciembre, (Figura 2), lo que coincide con el período crítico para el cultivo.

Precipitaciones y temperatura durante la estación de crecimiento.

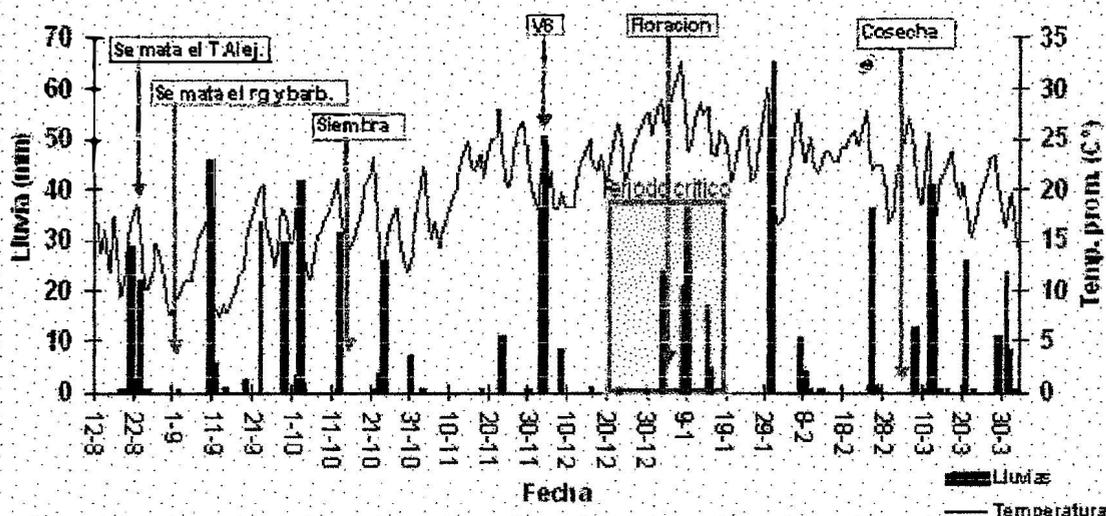


Figura 2. Condiciones ambientales (precipitaciones y temperatura media) ocurridas desde la aplicación del herbicida total sobre los CC hasta la cosecha del maíz.

Las precipitaciones ocurrieron en el periodo de V6 (58 mm) y entorno a la floración (24 mm), por lo que pese a tener un muy buen régimen en total durante el ciclo del cultivo, la ausencia de luvias durante esta etapa tan importante perjudico la definición del rendimiento en grano.

El crecimiento de los CC puede disminuir el agua disponible en el subsuelo cuando el tiempo de recarga de agua es muy corto y crea condiciones de estrés de humedad para el maíz en años en donde las precipitaciones son bajas (Frye et al. 1988, Badaruddin et al. 1989, Corak et al. 1991, Hesterman et al. 1992, Hesterman et al. 1998, Ernst 2003). En la Figura 3 se presenta la humedad residual en el perfil del suelo en función del manejo del período de barbecho, al momento de la siembra del maíz.

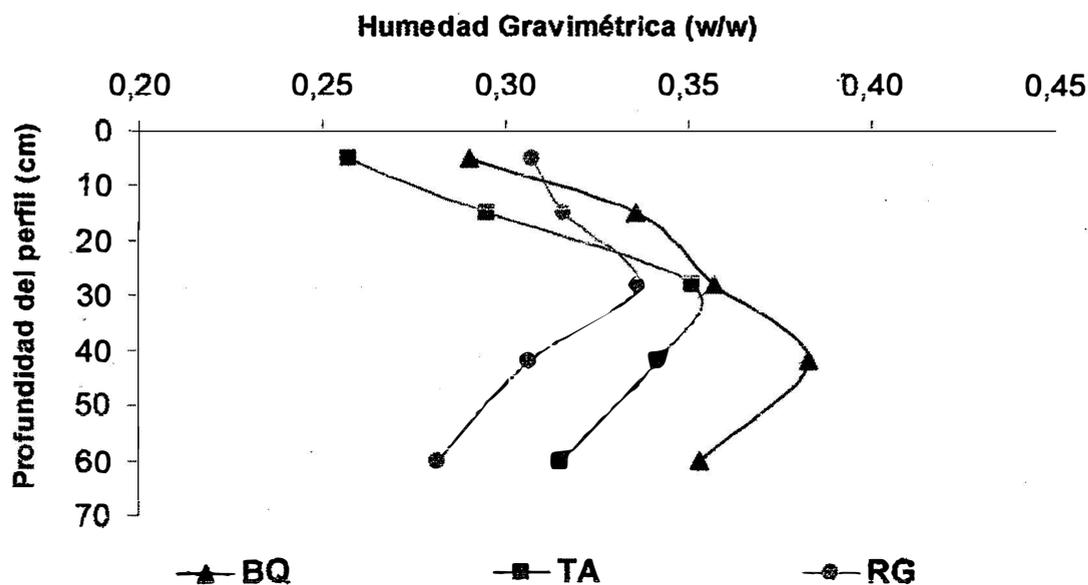


Figura 3 Humedad gravimétrica del suelo medida previo a la siembra del maíz.

El contenido de agua, medido como humedad gravimétrica varío significativamente en los CC ($P < 0.034$) y en la profundidad del perfil del suelo ($P < 0.0024$).

En superficie, todos las CC dejaron igual contenido de agua (0-30cm). Es probable que las lluvias registradas antes de la siembra (195 mm en 46 días) hayan contribuido en emparejar las posibles diferencias ocasionadas por el crecimiento de las coberturas previo a su muerte en los primeros cm del perfil del suelo. El RG con un mulch muy importante sobre la superficie es ventajoso en la recarga de agua al suelo cuando la tasa de infiltración es buena. La tasa de infiltración del horizonte A en el sitio experimental fue cuantificada en 17 mm/hora por Fleumer (1994), por lo que la cobertura del suelo dejada por el RG podría explicar la recuperación de humedad de este tratamiento que mantuvo una alta tasa de extracción de agua durante su etapa de crecimiento como CC. En el momento de aplicar el herbicida total el RG como CC produjo cuatro veces más biomasa que el BQ.

Sin embargo, el horizonte Bt de estos suelos tiene una tasa de infiltración cercana a los 4 mm/hora (Fleumer, 1994). Cuando las lluvias son de alta intensidad, es muy poca la posibilidad de recargar con agua en profundidad a este horizonte. Esto explica que las diferencias en humedad del suelo

antificadas en profundidad que generaron los CC permanezcan al momento la siembra a pesar de que las precipitaciones durante el período de rbecho superaron las necesidades para recargar el perfil. El RG con un ecimiento muy importante en MS extrajo mas agua de capas profundas y las lluvias sucesivas no pudieron eliminar este efecto.

En ese sentido el BQ fue quien tuvo mas agua disponible para el cultivo entre 28 y 70 cm de profundidad ($P < 0,0493$) con respecto al TA y RG.

Esta diferencia en agua disponible del BQ es de 27 y 38 mm con respecto al TA y RG respectivamente. Si tenemos en cuenta que hasta V6 el maíz tenía una buena condición hídrica y a partir de este estado no hubo lluvias hasta R1, la autonomía en el suministro de agua del BQ fue aproximadamente de 5 y 7 días más, que luego de un CC de TA o de RG (asumiendo una evapotranspiración de 5 mm/día para el período comprendido entre V6 y R1, Andrade et al., 1996).

Pese a tener una diferencia en los contenidos de agua, 186, 156 y 147 mm acumulados en BQ, TA y RG respectivamente, esta no es de tal magnitud como para que a floración el BQ se mantenga con agua útil para el cultivo, debido a que la capacidad de almacenaje de estos suelos restringe la propia autonomía. En ese sentido, es muy probable que a R1 todos los tratamientos se encontraran sin agua útil para el maíz, afectando seriamente la formación del rendimiento del cultivo.

4.2 APOORTE DE N AL CULTIVO, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO EN GRANO DE MAÍZ

Los efectos principales de los CC, dosis de N y la interacción entre CC*N sobre el cultivo de maíz, se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Efectos de la presencia o no de un cultivo cobertura (CC) y la fertilización nitrogenada al maíz (N), sobre la disponibilidad de N-NO₃⁻ suelo, el N absorbido, producción de MS y el rendimiento en grano.

	Efecto CC	Efecto N	CC*N
N-NO ₃ ⁻ suelo a la siembra (mg Kg ⁻¹)	**	---	---
N-NO ₃ ⁻ suelo a V6 (mg Kg ⁻¹)	ns	---	---
N-NO ₃ ⁻ suelo a cosecha (mg Kg ⁻¹)	ns	***	**
N absorbido hasta V6 (Kg ha ⁻¹)	ns	--	--
N absorbido en grano (Kg ha ⁻¹)	ns	ns	**
N en planta a V6 (mg Kg ⁻¹)	ns	---	---
N en grano (mg Kg ⁻¹)	ns	ns	***
MS hasta V6 (kg ha ⁻¹)	ns	---	---
MS hasta R1 (kg ha ⁻¹)	ns	*	ns
Rendimiento en grano (Kg ha ⁻¹)	**	ns	**

ns= no significativo sd= sin dato * P ≤0,10 ** P ≤0,05 *** P ≤0,001

Los CC tuvieron efecto significativo únicamente sobre la disponibilidad de N-NO₃⁻ en suelo a la siembra (P<0.026) y rendimiento en grano de maíz (P<0.0284), no teniendo influencia en el resto de las variables en estudio.

La refertilización con N a V6 en la producción de MS ha⁻¹ hasta R1 (P<0.0384) y en la concentración de N-NO₃⁻ residual en el suelo a cosecha (P<0.0001). De manera que el efecto de la dosis de N modificó el crecimiento del maíz hasta floración y dejó más residuo de N-NO₃⁻ en el suelo a la cosecha.

La interacción entre el CC*N produjo su efecto al finalizar el ciclo del cultivo, siendo significativa en las variables de respuesta medidas a la cosecha. Se encontró diferencia significativa en la concentración N-NO₃⁻ del suelo a la cosecha (P<0.0128), en el N absorbido en grano (P<0.0359) y muy fuerte en la

concentración de N del grano ($P < 0.0006$). El rendimiento en grano fue afectado por el manejo realizado, con una significancia de $P < 0.0349$.

4.3 APOORTE DE N DE LOS CC Y EL SUELO.

4.3.1 Crecimiento de los CC y su aporte potencial de N al maíz

El RG como cultivo de cobertura produjo más $MS \cdot ha^{-1}$ que TA y BQ. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Producción de MS aérea y aporte de nitrógeno de los cultivos de cobertura (CC).

	<i>BQ</i>	<i>TA</i>	<i>RG</i>
Kg de MS ha^{-1}	1000	508+716* = 1224	4000
% de nitrógeno	2	4.6	3
Kg N ha^{-1}	20	37.7	120

*kg MS ha^{-1} aportado por las malezas (con 2% de N).

Estas diferencias, es de esperar que tengan repetibilidad durante los años, dado que la distribución en la producción de forraje de las especies evaluadas tienen diferencias según la estación analizada. Según la evaluación de cultivares de INIA-INASE (1997-1998) la producción estacional del TA es del 34% otoño-invierno y 66% en primavera ($6700 \text{ Kg MS } ha^{-1} \text{ año}$), en tanto el RG presenta una distribución del 46 % otoño-invierno y 54% primavera ($9200 \text{ Kg MS } ha^{-1} \text{ año}$).

La adaptación del RG para las condiciones invernales de nuestro país hace que su producción, 300 % mayor que el TA, se pueda repetir para las condiciones en que se realizó el experimento. Lo que es menos probable en su ocurrencia, es que ese nivel de MS este acompañado de un alto valor de N en la MS en una gramínea (Kuo et al., 2000), lo cual se debe a las condiciones particulares del año durante la estación de crecimiento. Para las condiciones de

nuestro país es de esperar también que la producción de MS del TA sea relativamente baja, ya que su período de crecimiento (119 días) se desarrolló prácticamente durante invierno y su muerte temprana para iniciar el barbecho (23/8) eliminó el crecimiento de primavera que es en la estación donde tiene su mayor pico de producción. Resultado similar obtuvo Ernst (2003), trabajando con TA como CC previo a maíz. A pesar de la alta concentración de N en la materia seca del TA, la cantidad de MS producida resultó limitante para hacer un aporte significativo de N al cultivo siguiente. El aporte de N por las leguminosas está directamente relacionado a la producción de MS (Smith et al., 1987) y fuertemente condicionado por la fecha de siembra y el momento en que se aplica el herbicida para iniciar el periodo de barbecho (Odhiambo et al. 2001, Ernst 2003). En promedio las leguminosas aportan 30 Kg de N por cada 1000 Kg de MS producida. Para nuestro caso, el TA aportó 23 Kg N ha⁻¹ más que el tratamiento BQ como resultado de su producción de MS y su alta concentración de N, lo que se suma a los 14,3 Kg N ha⁻¹ aportado por las malezas.

4.3.2 Concentración de N-NO₃⁻ en el suelo sobre los CC a la siembra y V6

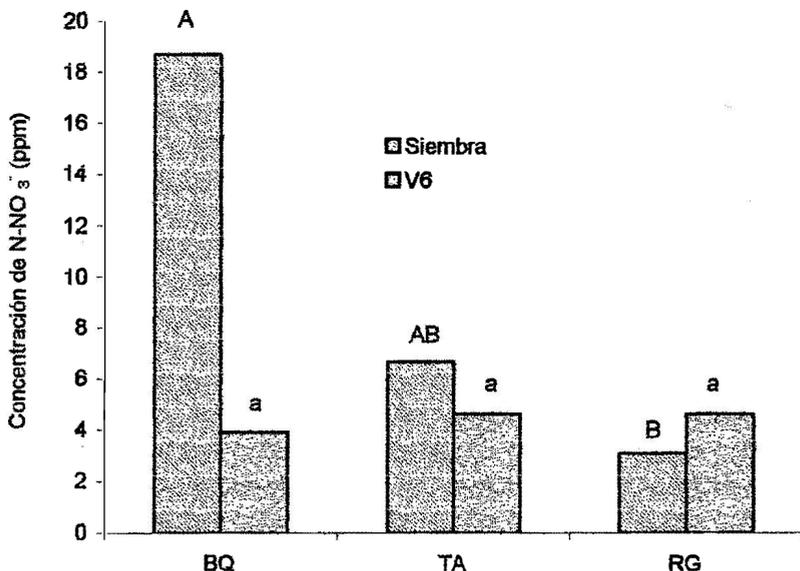


Figura 4. Concentración de N-NO₃⁻ en el suelo a la siembra y V6. Los días de barbecho para el BQ, TA, RG fueron: 145, 56 y 46 días respectivamente. Medias seguidas por igual letra no difieren significativamente, con P < 0.10

Cuando analizamos la disponibilidad de $N-NO_3^-$ a la siembra en suelo, esperábamos no tener diferencias entre tratamientos dada los valores de % de nitrógeno en planta que tenían las coberturas al momento de matárlas (Cuadro 1). Con un 3% de N en planta, caso del RG, según Janzen y Kucey (1988) es un valor donde estaría ocurriendo mineralización del rastrojo en superficie para el periodo de barbecho asignado (46 días), lo que no quiere decir que está a ese momento todo el rastrojo descompuesto y por consiguiente los 120 Kg. de N disponibles a la siembra. Tampoco podemos saber que esta pasando con el N en las raíces, y si éste ha estado inmovilizado por las mismas o esta formando parte de estructuras mas complejas que hacen que no este rápidamente disponible y que determinan que el nivel de $N-NO_3^-$ de 0-20 cm a la siembra sea muy bajo para ese período de barbecho. En este sentido el $N-NO_3^-$ en el suelo que estamos midiendo es el aportado por éste y no por el efecto de las coberturas.

La diferencia significativa en $N-NO_3^-$ a la siembra entre el BQ y RG se originó por el efecto tiempo de barbecho. El tratamiento BQ fue iniciado a partir de la cosecha del cultivo antecesor (soja) o lo que es lo mismo durante la estación de crecimiento del RG, y por lo tanto no hubo absorción de N al no tener crecimiento vegetal. A su vez el efecto del mulch hace que el suelo esté mas frío como para que los procesos de mineralización se den con igual velocidad a los del BQ con suelo desnudo (García Préchac, 1998). Por ello, la concentración de $N-NO_3^-$ estimada a la siembra es lo que es capaz de aportar el suelo con un amplio periodo de barbecho y dada esas condiciones del ambiente. En ese sentido, deberíamos de encontrar también diferencias entre el BQ y el TA ya que este ultimo fijo 23 Kg ha^{-1} de N sobre el BQ pero estas no fueron significativas posiblemente por tener un alto coeficiente de variación (44,9 %) y un bajo número de grados de libertad (2) que hacen necesario tener muchas medidas como para que el F observado sea mas bajo y poder registrar así diferencias significativas, ya que el error debido a los efectos no controlables es muy grande

La concentración de $N-NO_3^-$ en suelo a V6 indicaron en todos los tratamientos un nivel muy lejano al crítico hallado (18-20 ppm) por Borghi y Wornicov (1998) como modelo de ajuste de fertilización nitrogenada a este estado fenológico en Uruguay. Los valores en suelo encontrado para las coberturas sugieren que las plantas hallan estado con niveles de subnutrición para ese nutriente, lo cual es reflejado mas adelante en el % de N en planta para ese estado.

El nivel de $N-NO_3^-$ en suelo a V6 del RG aumento con respecto al hallado a la siembra, sin embargo no difirió de los demás tratamientos. Ese aumento en la disponibilidad de N en ésta cobertura fue atribuido al efecto del

mulch que permitió reducir la energía del impacto de las gotas de lluvia en el suelo y así disminuir las pérdidas de N-NO_3^- por escurrimiento superficial que ocurre en las primeras porciones de la zona en que se realiza el muestreo de suelo (0-20cm) para el monitoreo N-NO_3^- . Es decir que la cobertura reduce la magnitud de los dos procesos que conforman la erosión hídrica del suelo, que son la desagregación de partículas por el golpeteo de la lluvia y su transporte por el escurrimiento superficial (García Préchac, 1998), mejorando la disponibilidad de N, y además, por el efecto de la menor temperatura del suelo hace que el desarrollo del maíz sea más lento, con plantas más jóvenes (menor fenología). Esto permitió hacer coincidir en el RG una mayor disponibilidad del nutriente con una demanda más baja por el mismo, reflejando un mejor balance nutricional en planta.

El aporte potencial de N del CC leguminosa queda determinado por la producción de MS que logre alcanzar durante la ventana de crecimiento comprendida entre la cosecha del antecesor y la fecha de inicio del barbecho para la siembra del cultivo de renta, de lo contrario la FBN es muy baja y no se consigue hacer un aporte extra de N al sistema, mientras que un CC gramíneo es capaz de producir más MS debido a su mejor adaptabilidad al ambiente y secuestrar una cantidad más alta de N al suelo que hacen que el potencial de N disponible para el siguiente cultivo de interés económico sea más importante.

4.4 IMPLANTACION DEL MAIZ SOBRE LOS CC

Los CC no afectaron la implantación del maíz. Pese a tener diferencias en nitrato a la siembra no se encontró diferencia significativa ($P < 0.16$) en la implantación debido al efecto de las coberturas, lográndose un 83 % para los tres tratamientos con un promedio de $9,5 \text{ pl/m}^2$, siendo un valor muy alto de población para un cultivo de secano, y más aún, para las condiciones particulares del año en que se realizó el experimento, lo que influyó en los bajos valores de rendimiento obtenidos. Para las condiciones de secano de Uruguay, la población objetivo debería de encontrarse entorno a las $5-6 \text{ pl m}^{-2}$ Fernández, citado por Carrasco et al. (1985).

4.5 ABSORCIÓN DE NITRÓGENO DEL MAÍZ A V6

El % de N en planta es un buen indicador del status nutricional de las plantas para un momento puntual de muestreo (Borghi y Wornicov, 1998). Los valores en la concentración de N en planta (%) obtenidos sobre los CC (Figura

5) estuvieron por debajo de los hallados por Jones y Eck (1973); quienes establecieron un nivel crítico para la concentración de N en planta entera de 35 g Kg^{-1} . Estos valores de concentración de N en planta hallados concuerdan con lo encontrado a igual estado en el suelo, lo que sugiere que el cultivo estuvo con niveles de insuficiencia a este nutriente que mas adelante repercutió en el rendimiento en grano logrado.

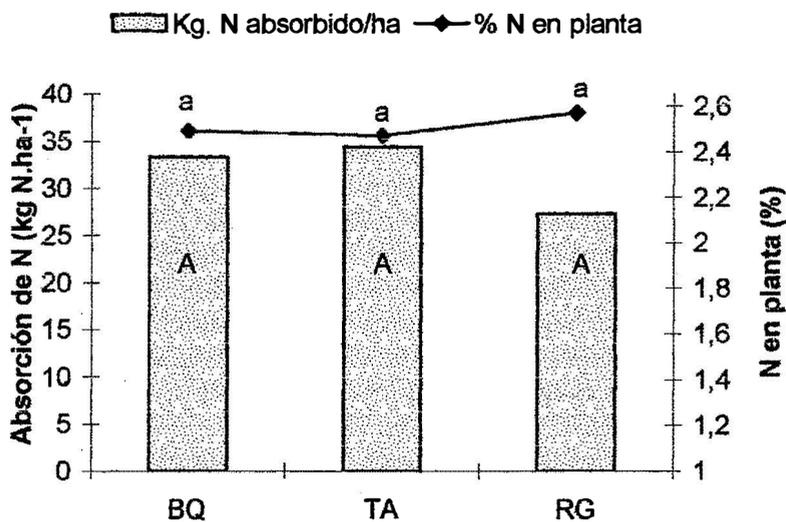


Figura 5 Influencia de las coberturas en el N absorbido y en planta en V6. Medias seguidas por igual letra no difieren significativamente, con $P < 0.10$

No hubo efecto adicional (ns) de los CC (TA y RG) sobre el suelo (BQ) en la absorción de nitrógeno a V6. Sin embargo, en RG por tener un atraso en la emergencia debida al suelo mas frío (por efecto del mulch), es mas joven fenologicamente ($P < 0.0804$) como para consumir igual cantidad de N a la de los suelos descubiertos. El efecto del mulch sobre el crecimiento y desarrollo es esperable que opere cuando el rastrojo en superficie es importante, como también así sobre el proceso mismo de descomposición de dicho rastrojo. En ese sentido es razonable que plantas mas jóvenes (caso del RG), hayan absorbido menos N y estén relativamente mejor nutricionalmente (mayor %N) al realizar la comparación a igual número de días post-siembra aunque las diferencias no fueron significativas.

Cuando analizamos la MS a este estado pese haber diferencias en los días de crecimientos del maíz, las diferencias en Kg de MS ha⁻¹ no fueron mayores a 522 kg ha⁻¹ (MDS) como para que los tratamientos se diferenciaron estadísticamente.

El aporte potencial de N de los distintos CC continúa sin marcar diferencias en la concentración y absorción de N, ni en la producción de MS del maíz hasta el estado V6.

4.6 LAS COBERTURAS Y EL N EN EL CRECIMIENTO DEL MAÍZ DESDE V6 HASTA FLORACIÓN

4.6.1 Efecto de los CC en el desarrollo del maíz

Los CC afectaron el desarrollo del maíz ($P < 0.0804$), produciendo diferencias en la fenología a los 58 días post siembra (dps) entre el RG y el BQ. Figura 6.

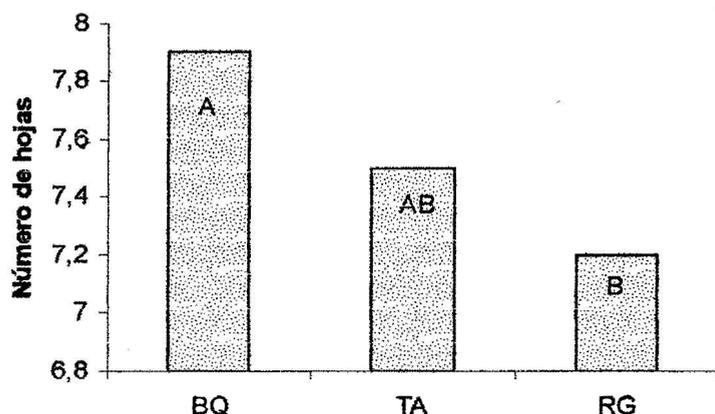


Figura 6. Numero de hojas expandidas a 58 días post siembra. Fenología del maíz (según Ritchie y Hanway, 1982) medida en las diferentes CC. Medias seguidas por igual letra no difieren significativamente, con $P < 0.10$

El RG con 4000 kg ha⁻¹ de biomasa aérea retrazó la emergencia del maíz al tener una menor temperatura en el suelo provocada por el efecto que generó ese mulch (Smith et al. 1987, Ruffo et al. 2002), teniendo 0.69 hojas menos a igual tiempo de comparación con el BQ.

Este factor debe de ser considerado cuando tenemos mucha cobertura y adelantamos la siembra de maíz (fin de agosto, principio de setiembre) para escapar a la mayor demanda atmosférica entorno a la floración; esto hace que la semilla permanezca mas días sin poder emerger y queda mas expuesta a los insectos de suelo, excesos hídricos, etc, que son fenómenos que pueden afectar la implantación del cultivo. Además, debe ser tenido en cuenta al momento de planificar (fecha de siembra) la fecha en que caiga la floración del maíz, dado que hay días de diferencia en la emergencia de las plántulas según sea el volumen del rastrojo en superficie y su efecto directo sobre la temperatura del suelo.

En este caso, el RG con menor temperatura del suelo retrazo la emergencia 6.6 ($P < 0.0804$) y 2.4 (ns) días con respecto al BQ y TA respectivamente, según la función ($Y = 0.02X - 0.07$, $R^2 = 0.85$) hallada por Cirilo (1994) para determinar la velocidad media de aparición de hojas liguladas en condiciones de campo para híbridos de adaptación zonal en Balcarce. Drury et al. (1999) encontró utilizando trébol rojo (*Trifolium pratense*) una disminución de la temperatura del suelo de 1 a 2°C en el período de siembra-emergencia del maíz cuando dejó el rastrojo sobre la superficie frente a incorporarlo con el laboreo, retrazando la emergencia del maíz 3 a 4 días.

Este efecto obtuvo implicancias luego en el rendimiento logrado sobre los CC, debido a que el stress por falta de agua entorno a la floración se dio en distinto momento en el maíz creciendo sobre los CC a consecuencia del retrazo en el desarrollo del cultivo.

4.6.2 Efecto de la refertilización con N en la temperatura del cultivo

Luego de la refertilización con urea, el pasar de las dosis de N menores a las mayores, los niveles de temperatura medidos en la 7ma hoja a los 18 días prefloración (Figura 7) aumentaron junto con el agregado de N, lo que determino que el aumento en la cantidad de N refertilizado provocara mayores problemas para bajar la temperatura de las plantas relacionándolo al stress hídrico que sufría el cultivo en ese momento.

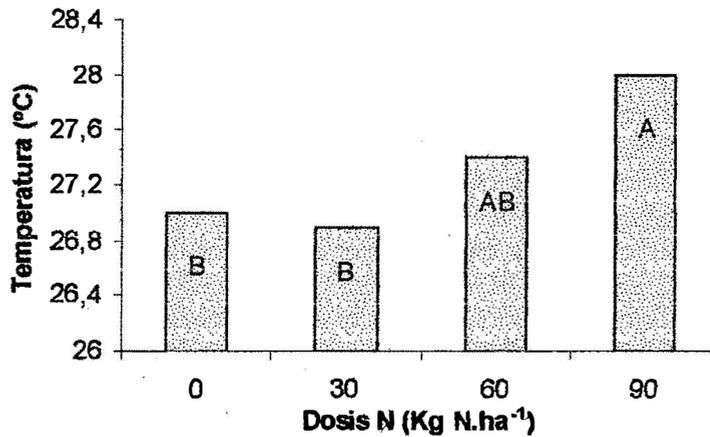


Figura 7 . Temperatura medida en la 7ma hoja a 56 días post siembra como evaluación de la condición hídrica de la planta a ese momento. Medias seguidas por igual letra no difieren significativamente, con $P < 0.10$

La dosis mayor (90 kg ha⁻¹) tuvo una diferencia significativa en temperatura de hoja con respecto a las dos menores (0 y 30 kg N ha⁻¹), lo que supone que ese aumento del N refertilizado acrecentó la extracción de agua al promover una mayor actividad en las plantas (Angus y Herwaarden, 2001) que al ir acentuándose cada vez mas el déficit de agua del suelo comenzó a tener problemas para bajar su temperatura, reflejando una peor condición hídrica previo a la floración en ese tratamiento.

4.6.3 Efecto del manejo de los CC en el crecimiento del maíz

El crecimiento del maíz a floración no tuvo diferencias entre los CC y se vio afectado únicamente por el efecto del N. (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de las CC en el crecimiento de maíz y su interacción con dosis de N al momento de la floración (R1).

<i>A Floración</i>	Efecto CC	Efecto N	CC*N
Nº hojas pl^{-1}	**	ns	**
Alturas (m)	*	ns	ns
IAF (cm^2/cm^2)	ns	ns	ns
Diámetro (cm)	ns	ns	ns
MS de tallo ha^{-1}	ns	*	ns
MS hojas ha^{-1}	ns	*	ns
MS ha^{-1} total	ns	**	ns

** P< 0,05 * P< 0,10 ns= no significativo.

Al momento de floración (R1) queda definido el índice de área foliar máximo (IAF) y la altura máxima de las plantas (Andrade et al., 1996).

El número de hojas fue significativo entre las coberturas ($P<0.0139$) y en la interacción CC*N ($P<0.016$). El BQ, fue quien logro un mayor número de hojas frente al TA y RG, siendo 13.9, 13.3 y 12.9 respectivamente. Es posible que la diferencia en el numero de hojas este influyendo la variación que hubo en el nacimiento del maíz sobre las distintas coberturas. El numero de días que le llevo al maíz emerger fue diferente, esto hace que se afecte la acumulación térmica para la aparición de hojas liguladas (Salaberry, 1992) generando diferencias significativas en este caso, entre el BQ y RG. La respuesta en la interacción de CC*N en el número de hojas fue porque el testigo del RG se diferencio del testigo del BQ, no existiendo respuesta al agregado de N dentro de una misma cobertura.

La altura máxima que logro el maíz de acuerdo a la cobertura fue un 6 y 23% inferior en el TA y RG frente al BQ, siendo solamente significativa la diferencia ($P<0.0739$) entre el BQ y RG. Estas diferencias estarían explicadas por la desigual suma térmica acumuladas por las CC, (diferencia en días de crecimiento) y además por el efecto que comenzó a magnificarse a través del agua acumulada en la profundidad del perfil del suelo. Una cobertura que creció

hasta lograr 4000 Kg de MS ha⁻¹ aérea, también logra un desarrollo radicular muy alto, que si bien no fue medido (en kg. de MS) creó diferencias en la cantidad de agua disponible en la profundidad del perfil del suelo a la siembra (figura 3). Esa extracción diferencial del RG, fue agudizada debido a que las precipitaciones desde V6 hasta R1 fueron inexistentes, y la diferencia en los contenidos de agua en profundidad del perfil ocasiona que la tasa de elongación de los tallos en BQ y TA no se halla resentido en la forma que ocurrió en el RG al no poder extraer agua de esas profundidades, sumado a una menor edad de las plantas, hace que las plantas de este tratamiento sean mas bajas. Sin embargo, las diferencias causadas por el agua no se manifiestan en el grosor de los tallos y por lo tanto en una mejor condición hídrica de las plantas, lo que nos hace pensar que el efecto mayor se deba a la edad diferencial entre las plantas creciendo sobre los CC y no a las diferencias en los contenidos agua en profundidad debajo de los CC, que suponemos que a R1 esas diferencias hallan desaparecido por la escasez de las lluvias y la baja autonomía de estos suelos.

Las diferencias en el número de hojas y en la altura entre las CC no resultaron en una diferencia significativa en el IAF medido 8 días antes de la floración (R1) entre CC ($P < 0,89$) ni en la interacción con N ($P < 0,98$). Es probable que no se haya originado una diferencia debido al efecto de tener una población alta, de 95000 plantas.ha⁻¹ en promedio, que logra cubrir el entresurco muy tempranamente en el ciclo de desarrollo del maíz.

Si bien existieron diferencias en los componentes de las plantas a R1 atribuidas a los CC, la MS del maíz a floración estuvo afectada solamente por el agregado de urea en V6 ($P < 0.0860$). Figura 8.

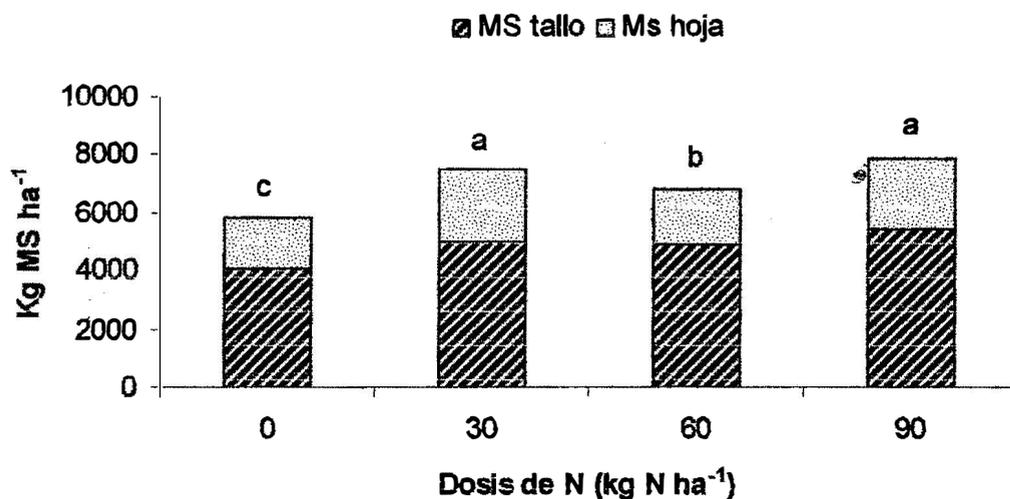


Figura 8. Respuesta en MS total ha⁻¹ del maíz a R1 para las distintas dosis de N refertilizado. La MS total es presentada como la suma entre MS tallos y hojas por hectárea. Medias seguidas por igual letra no difieren significativamente, con $P < 0.05$

Luego de la refertilización con N (Dosis de N), momento en el cual llovió 59 mm, las precipitaciones no volvieron a ocurrir hasta dos días previo a R1 (24 mm). Esto hizo, que el agregar N frente a no hacerlo marcara una diferencia en la producción de MS.ha⁻¹ de un 27% en crecimiento adicional en biomasa aérea en favor del N. Esto origina según Angus y van Herwaarden (2001) una mayor extracción de agua por parte del cultivo al promover un mayor crecimiento vegetativo, que aumenta la evapotranspiración (ET) y si no es cubierto por precipitaciones puede agudizar el estrés por agua a las plantas. La respuesta en MS a floración se dio hasta los 30 kg de N ha⁻¹ no existiendo más respuesta en el agregado de más N.

Por lo tanto, continúan sin aparecer diferencias significativas en la MS ha⁻¹ hasta floración entre los CC ni para la interacción de CC*N.

4.7 RENDIMIENTO EN GRANO DEL MAÍZ

4.7.1 Efectos del manejo en el rendimiento en grano

El rendimiento del maíz fue afectado significativamente por los CC ($P < 0.028$) y en la interacción CC*N ($P < 0.0349$), no siendo significativo el agregado de N como urea ($P < 0.3220$) en la variable de respuesta rendimiento en grano. Figura 9.

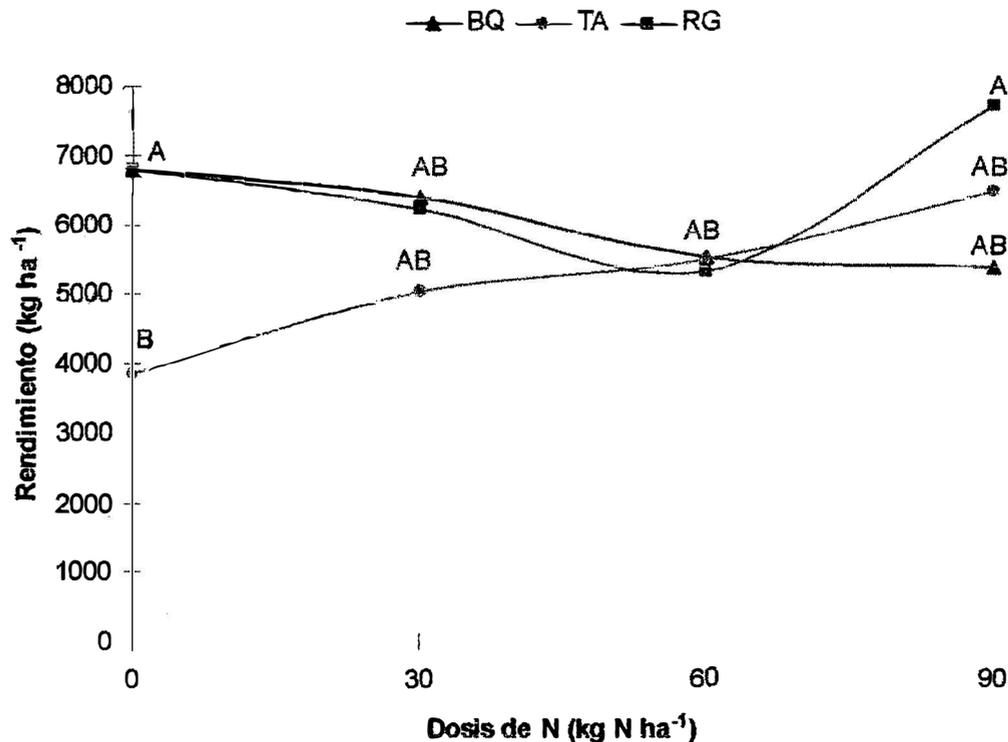


Figura 9. Respuesta en rendimiento en grano del maíz a los CC con diferentes dosis de N agregadas en V6. Medias seguidas por igual letra no difieren significativamente, con $P < 0.10$

Debido a que los CC afectaron el desarrollo del maíz, entre el RG y BQ hubo 6,6 días de diferencia de ciclo. El maíz llegó a R1 el 28 de diciembre en el BQ sin recibir precipitaciones desde que el cultivo tenía 7 hojas. En cambio el RG alcanzó dicho estado recién el 5 de enero, dos días más tarde de que los tratamientos recibieran 24 mm de lluvia; el TA se ubicó en una situación intermedia a ambos. Esta diferencia en la fenología del cultivo, sumada a una

elevada población lograda hizo que el tratamiento que venia mas perjudicado por la sequía (RG) y con menos agua en el suelo (Figura 3) fuera quien resulto más beneficiado por el agua de lluvia debido a que le llego en un mejor momento para definir los principales componentes del rendimiento en grano.

El BQ no obtuvo mas rendimiento agregándole N, su máximo rendimiento fue 6802 kg ha^{-1} con 0 kg de N. Si bien la respuesta no es significativa, la reducción del rendimiento a dosis mayores entendemos que ocurrió debido a que las plantas de este tratamiento fueron las mas perjudicadas por el déficit hídrico previo a floración (con mas edad), y el agregado de N incremento un 39% (ns) la producción de MS (Angus y van Herwaarden, 2001) que sumado a una elevada población no pudieron mantener la actividad que traía ese cultivo y con ello la tasa de crecimiento por planta (TCP) necesaria como para fijar el componente principal del rendimiento como es el número de granos (Andrade et al., 1996). Bennett et al. (1986) estudio que el agregado de altas dosis de N en el maíz provoca un aumento en la transpiración generando una mayor extracción de agua en el perfil del suelo, disminuyendo el potencial de turgencia de la hoja así como una menor resistencia estomatica que acentúan el stress hídrico en el cultivo.

No hubo una respuesta en rendimiento significativa en el TA*N, pero se obtuvo mas rendimiento cuando se agregó N. La dosis de 90 kg ha^{-1} fue quien rindió más, 6474 kg ha^{-1} . En ese sentido, la buena calidad (4.6% de N) de este rastrojo no fue capaz de ser aprovechado por el cultivo de maíz y los 23 kg N ha^{-1} adicionales producidos por el TA es posible que se hallan perdido por lavado con las lluvias ocurridas desde el barbecho a V6 (Müller et al. 1988, Mansoer et al. 1997, Andraski et al. 2005) o que a lo igual a lo encontrado por Varco (1989), Torres et al. (1995) estuvo en el suelo sin ser utilizado en el maíz y quizás en el siguiente cultivo pueda ser recuperado. Esto determino un incremento en el rendimiento del maíz (ns) en las dosis con y sin N sobre este CC.

La diferencia significativa en el rendimiento que tuvo el TA*0 con respecto a los testigos BQ, RG y RG*90 fue atribuida al porcentaje de esterilidad de espigas que registro este tratamiento. Su elevado número de plantas no pudo sostener una TCP necesaria para mantener la fertilidad de esas plantas, reduciendo el número de granos y además afectando luego el peso de esos granos.

4.7.2 Efectos del manejo en los componentes del rendimiento

El rendimiento en grano del maíz fue determinado principalmente por el número de granos por unidad de superficie ($R^2= 0.966$ con $P<0.0001$) y en menor medida por el peso que lograron esos granos ($R^2= 0.362$ con $P<0.0328$), similares valores fueron hallados por Andrade et al. (1996). En el cuadro 7 se presentan los componentes del rendimiento del maíz afectados por los CC y las dosis de N.

Cuadro 6. Efecto de la cobertura en los componentes del rendimiento y su interacción con N.

	Efecto CC	Efecto N	CC*N
Espigas ha^{-1}	ns	ns	ns
Nº de granos espiga $^{-1}$	ns	ns	**
Nº de granos ha^{-1}	ns	*	**
P1000 granos	*	ns	ns
Peso espiga $^{-1}$	ns	ns	**
Rendimiento ha^{-1}	**	ns	**

Diferencia significativa al ** $P<0,05$ y * $P<0,10$

Los CC tuvieron efecto significativo para el peso de 1000 granos ($P<0.071$) y mas fuerte en el rendimiento ($P<0.028$). Las dosis de N aplicadas en V6 fueron significativas en el número de granos ha^{-1} ($P<0.1023$), no teniendo influencia en ninguno de los demás componentes.

La interacción tuvo efecto significativo en todas las variables de respuesta cuantificadas, salvo en espigas ha^{-1} ($P<0,25$) y en el P1000 granos ($P<0.1653$). El detalle de la interacción de CC*N con los distintos componentes del rendimiento del maíz es resumida en el Cuadro 8.

Cuadro 7. Interacción de los CC y dosis de N en los componentes del rendimiento del maíz.

CC	Dosis (KgN ha ⁻¹)	Componentes del rendimiento					Rendimien
		Espiga s ha ⁻¹	Nº granos esp. ⁻¹	Nº granos m ⁻²	P1000 granos *	Peso espiga*	Kg ha ⁻¹
BQ	0	81482	335 ab	2735 a	251	83 ab	6802 a
	30	77778	312 ab	2421 a	264	82 ab	6392 ab
	60	79259	281 ab	2230 ab	248	70 ab	5518 ab
	90	79259	274 ab	2153 ab	248	69 ab	5776 ab
TA	0	82222	187 b	1534 b	247	47 b	3843 b
	30	80000	261 ab	2095 ab	240	63 ab	5035 ab
	60	74074	284 ab	2084 ab	262	75 ab	5488 ab
	90	83704	342 a	2780 a	234	79 ab	6474 ab
RG	0	77778	349 a	2667 a	253	89 a	6791 a
	30	78518	311 ab	2434 a	255	79 ab	6224 ab
	60	86667	239 ab	2039 ab	261	63 ab	5318 ab
	90	90617	312 ab	2866 a	258	80 ab	7290 a

Medias seguidas por igual letra no difieren significativamente, con $P < 0.10$

* medidos en gramos

La variable que explicó con mayor fuerza ($P < 0.0001$) al principal componente del rendimiento (granos.ha⁻¹) son los granos.espiga ($R^2=0,89$). La densidad de plantas redujo el número de espigas por plantas ($P < 0,0004$) y de granos por espigas ($R^2= -0.463$, $P < 0.0051$) debido a que las condiciones previas a la floración fueron desfavorables como para soportar una elevada población y una TC que evite el aborto de espigas y granos (Andrade et al.,

2000). En la Figura 10, se presentan los valores de esterilidad de espiga en función de la población y su efecto en el rendimiento en grano logrado.

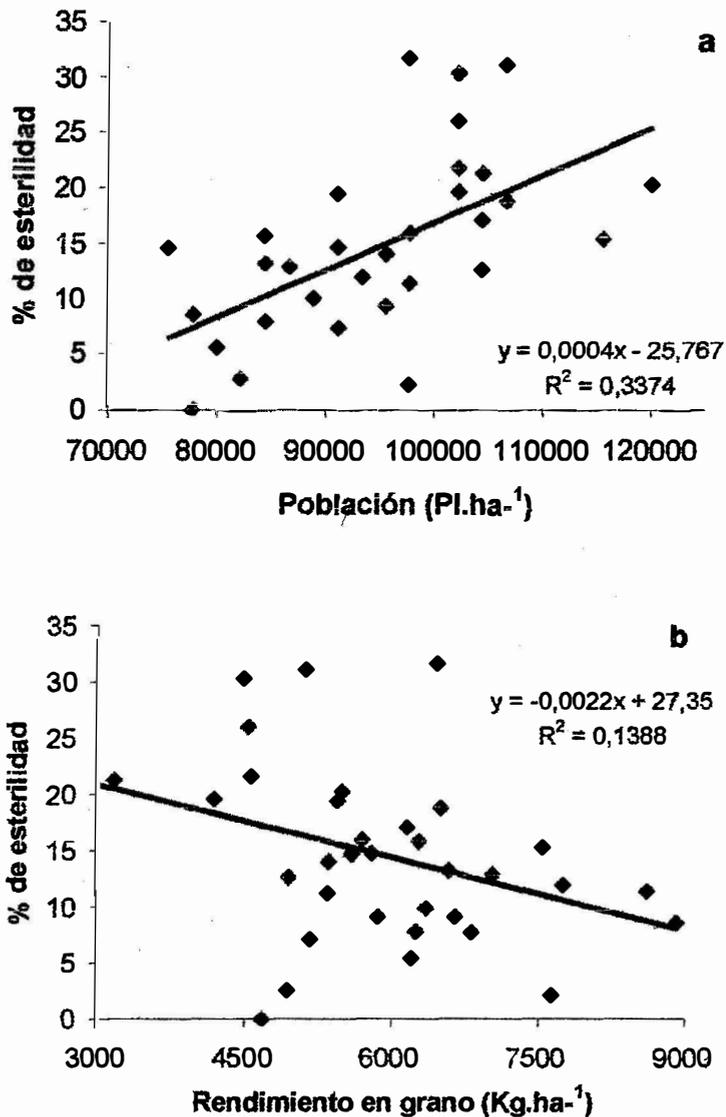


Figura 10. Porcentaje de esterilidad de espigas en función de la población (a) y del rendimiento del maíz (b).

El mayor número de plantas logradas aumento el aborto de espigas por plantas ($y = -24.5 + 0.00041X$), e hizo que el número de granos. ha^{-1} se afectara al provocar que muchas plantas actuaran como malezas frente a las fértiles al competir por los mismos recursos, principalmente por nutrientes y agua. Ese aumento en la esterilidad, redujo el rendimiento de acuerdo a la siguiente función $Y = 6805 - 64.18X$.

Sin embargo, en la Figura 11 no se encontró asociación entre las espigas logradas por superficie y el rendimiento en grano logrado por el maíz, y por lo tanto, la cantidad de granos que lograron fijar esas espigas son quienes explican las diferencias de rendimiento entre los CC con el manejo propuesto (agregado de Urea a V6). Esta variable (granos.espiga $^{-1}$), fue la que determino la diferencia significativa en el rendimiento que tuvo el TA*0 con respecto a los testigos BQ, RG y RG*90.

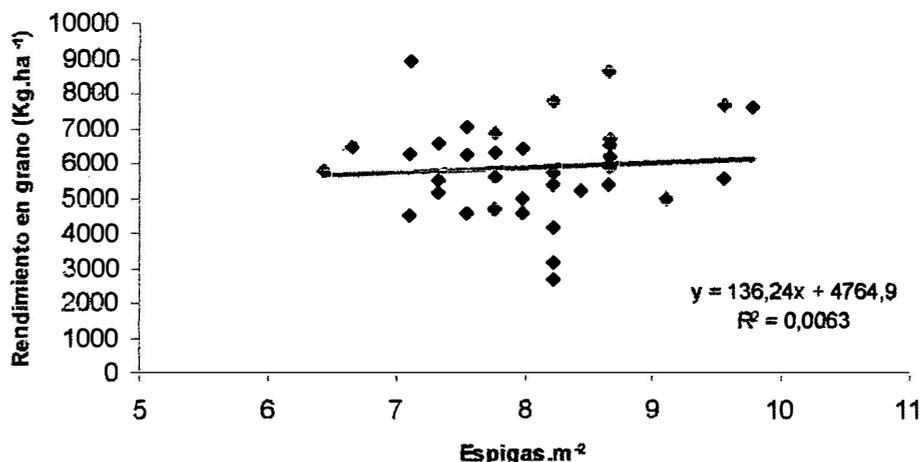


Figura 11. Correlación entre el rendimiento en grano del maíz y las espigas logradas por superficie.

La interacción del TA*N tuvo respuesta en el número de granos por ha^{-1} . La variable que influyó significativamente ($P < 0.091$) en este aumento fue el número de granos.espiga. La mayor dosis de N ($90 \text{ kg N } ha^{-1}$) en el TA le permitió fijar más granos en la espiga con respecto a su testigo ($0 \text{ kg N } ha^{-1}$) y lograr un mayor número de granos por superficie. Probablemente luego de R1, al mejorar la condición hídrica de las plantas luego de las lluvias, el N agregado permitió reducir el porcentaje de aborto de espiguillas y granos, y por lo tanto, aumentar el número de granos por espigas. Esto se demuestra, en la eficiencia

del uso de N (EUN) agregado como urea, 29 Kg grano. UN^{-1} , lo cual es una alta eficiencia según lo reportado por Fontanetto et al. (2001) quien halló valores de EUN entre 34-36 kg grano producido por kg de N agregado para ambientes de alta producción.

La interacción del RG y BQ con el N no tuvo respuesta significativa dentro de los componentes del rendimiento. Esto se explica debido a que el principal factor que limitó el rendimiento fue el agua previo a la floración condicionando cualquier respuesta al agregado de urea, además el aporte de N realizado por estos tratamientos de CC no fueron deficientes para los niveles de rendimiento que logró el maíz.

4.8 CONCENTRACION Y ABSORCION DE N EN GRANO Y DISPONIBILIDAD DE N-NO_3^- A COSECHA

4.8.1 Efectos del manejo en la concentración y absorción de N en grano

Los valores que se citan en la bibliografía para establecer el umbral mínimo en donde la concentración de N provoca disminuciones del rendimiento relativo se encuentran entre 10 y 15 grs Kg^{-1} de grano según Cerrato y Blackmer, Lubet y Juste, Hanway, Pierre et al., citados por Andrade et al. (1996), con un valor más probable de 12 grs Kg^{-1} de grano (Uhart y Echeverría, 2002). La concentración de N en grano para nuestras condiciones de experimentación es presentada en la Figura 12.

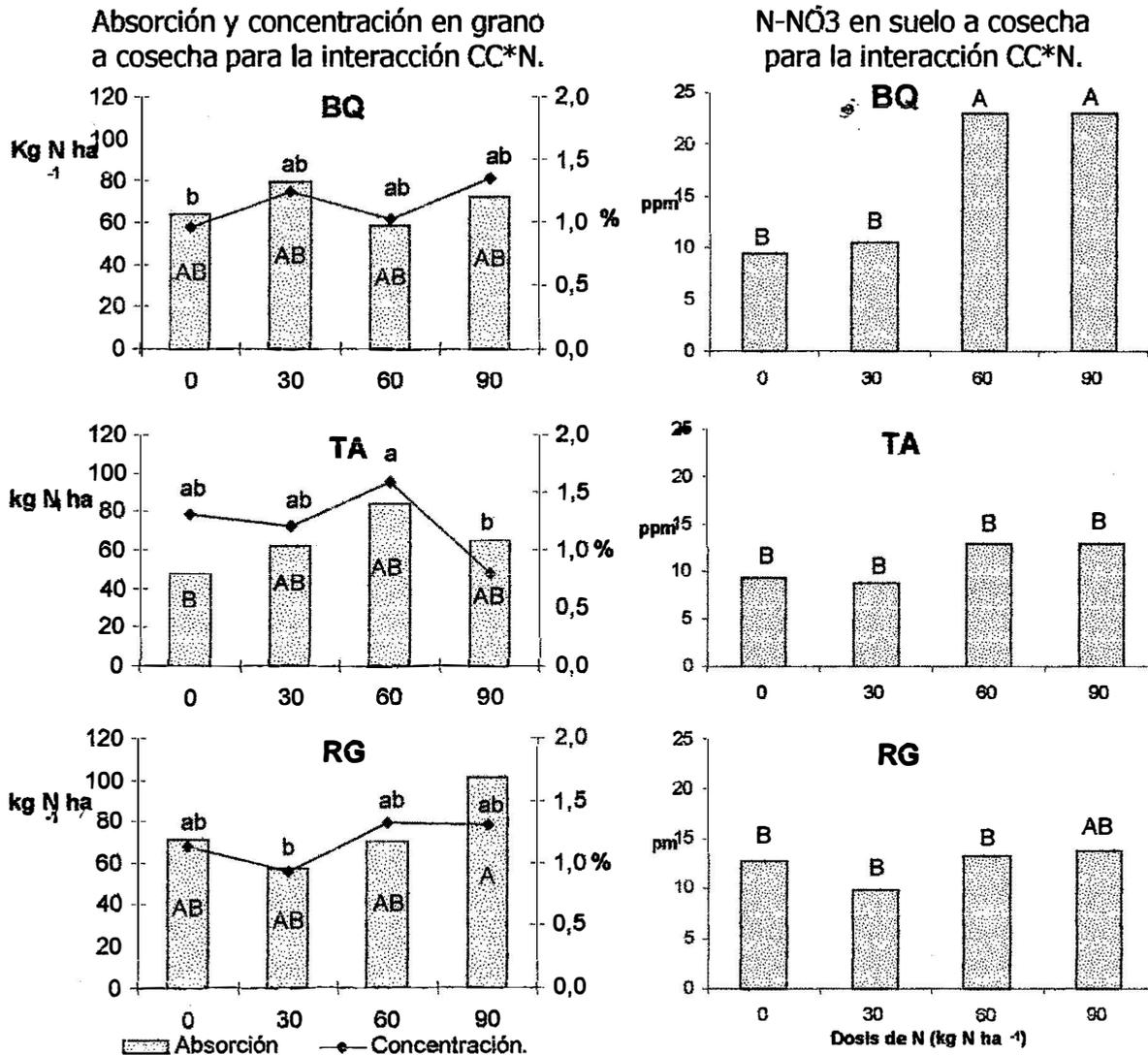


Figura 12. Absorción y concentración de N en grano y concentración de N-NO₃⁻ en el suelo a cosecha para la interacción CC*N. Medias seguidas por igual letra no difieren significativamente, con P < 0.05

La absorción de N tuvo diferencias significativas entre CC*N (P < 0.0359) solamente para los tratamientos de TA*0 Kg N ha⁻¹ y RG*90 Kg N ha⁻¹, no existiendo diferencias para el resto de los tratamientos.

En ese sentido, existió una interacción muy fuerte en TA*N (P < 0.0006) para la concentración en grano que tuvo un óptimo a la refertilización de 60 unidades de N ha⁻¹. El efecto de la caída con la dosis de N mayor en la

concentración de N se debe a un mayor número de granos por superficie que hace que se diluya la cantidad de nitrógeno hacia los granos. Además, a R1 el tratamiento 90 Kg N ha⁻¹ había alcanzado un 22% más de MS ha⁻¹ frente al de 60 Kg N ha⁻¹, haciendo que caigan los valores de concentración al sumar más MS y más rendimiento en grano, pese a tener 30 Kg más de N ha⁻¹. Esto no se reflejó en una diferencia en el N absorbido en grano, debido a que se asoció una mayor concentración con un menor rendimiento (TA*60), mientras que el TA*90 logró menor concentración (P<0.0009) para un nivel de rendimiento 18% superior.

En el RG es similar el efecto de un mayor número de plantas y de MS ha⁻¹ a R1 y su asociación con la caída en la concentración de N (dosis 30 kg ha⁻¹). Ambos factores, con un menor nivel de N disponible para ser absorbido frente a las dos dosis mayores hizo que el nivel crítico establecido por los autores citados anteriormente quedara en su límite inferior para lo cual es posible la pérdida de rendimiento en grano. El BQ estuvo con umbrales dentro de los establecidos a los citados por autores anteriormente, teniendo una residualidad de N-NO₃⁻ en suelo a las dosis mayores que hacen suponer que la disponibilidad a este nutriente con el manejo asignado nunca fue limitante en la etapa de llenado de granos.

De manera, que lo que explica las diferencias en la absorción de N en grano no es el N disponible sino el nivel de rendimiento en grano logrado. En ese sentido las explicaciones para esta variable fueron hechas en el capítulo anterior.

4.8.2 Concentración de N-NO₃⁻ en el suelo a la cosecha

La diferencia de N-NO₃⁻ en el suelo fue originada muy fuertemente por el efecto dosis de N (P<0.0001) y en menor medida por la interacción CC*N (P<0.0128). El efecto de la dosis de N es esperable cuando los requerimientos de N por parte del cultivo son cubiertos y las dosis son aumentadas, generando un pool de N en el suelo mayor.

La interacción con N se dio dentro del BQ y fue significativa en las dos dosis menores contra las dos mayores. Los niveles de N absorbido en grano fueron igual en todas las dosis de N (Figura 12) y por lo tanto las diferencias quedaron determinadas por agregar 60 y 90 kg más de N que generaron un pool más alto N-NO₃⁻ en el suelo. Sin embargo, al no poder analizar si el N

absorbido en planta a la cosecha fue igual para todas las dosis, no podemos concluir que la concentración de N-NO_3^- en el suelo estuvo mas influenciado por agregar mas fertilizante que por el efecto del barbechó.

Si bien era esperable encontrar un nivel mayor en la concentración de N-NO_3^- en el suelo bajo el RG que en el TA, esto no ocurrió. Es posible, que la composición estructural de los residuos gramíneos, con mayor contenido de lignina (Stott et al., 1983) y compuestos polifenoles (Vallis y Jones, 1973), el importante volumen del rastrojo en superficie hasta la cosecha sumado a la menor temperatura del suelo por el efecto del mulch (Smith et al. 1987, Ruffo et al. 2002) y el bajo registro de precipitaciones en el periodo comprendido entre V6 y R1, determinaron una tasa de descomposición lenta del RG que no permitió liberar aún el elevado contenido de N capturado en la biomasa durante su período de crecimiento como cobertura invernal y generar así un pool de N-NO_3^- en el suelo superior a los demás tratamientos.

Igualmente los valores de N-NO_3^- residuales en el suelo para la media de los tratamientos fueron altos (13 ppm) para una muestra que fue sacada al momento de la madurez fisiológica del maíz. Esto es debido a que el rendimiento medio fue de 5860 Kg ha^{-1} lo cual no es potencial importante para un alto consumo de N que exija una alta extracción al suelo por este nutriente. Con 68 Kg N absorbido en grano por ha^{-1} como media general para todos los tratamientos para ese nivel de rendimiento, y sumado al valor residual hallado en el suelo, hace suponer que los problemas de absorción hayan sido por dificultades en la absorción del N y no por la disponibilidad a este nutriente. Los problemas fueron causados en la etapa comprendida entre V6 y R1, en donde la absorción de N del cultivo se vio perjudicado por el bajo nivel de agua disponible en el suelo.

5. CONCLUSIONES

- El crecimiento del CC gramínea como cobertura invernal provocó una diferencia en los contenidos de agua del perfil del suelo a la profundidad del horizonte B textural al momento de la siembra, no pudiendo ser recargado por el agua de las lluvias durante un período de 46 días de barbecho.
- El aporte potencial de N del CC leguminosa queda determinado por la producción de MS que logre alcanzar durante la ventana de crecimiento comprendida entre la cosecha del antecesor y la fecha de inicio del barbecho para la siembra del cultivo de renta, de lo contrario la FBN es muy baja y no se consigue hacer un aporte extra significativo de N al sistema. El aporte adicional de N al sistema del TA fue de 23 kg N ha^{-1} .
- El CC gramíneo, fue capaz de producir una importante cantidad de MS durante el invierno por su adaptabilidad al ambiente, que le permitió secuestrar una elevada cantidad de N al suelo (120 kg N ha^{-1}), reduciendo las pérdidas de NO_3^- por lixiviación y manteniendo el N dentro del sistema durante el periodo sin cultivos de renta.
- Los CC, tuvieron efecto en retrasar la emergencia del maíz por el efecto que creó el mulch pero no afectaron la implantación del cultivo.
- El aporte potencial de N de los distintos CC no marcó diferencias en la concentración y absorción de N, ni en la producción de MS del maíz hasta R1 frente al BQ.
- Las diferencias en rendimiento del maíz sobre los CC no estarían explicadas por la disponibilidad de N, ya que las diferencias en el N absorbido en grano continuaron sin aparecer.
- No hubo respuesta del rendimiento en el maíz creciendo sobre el BQ y RG con el manejo propuesto. El máximo rendimiento del maíz se obtuvo sobre RG con $90 \text{ kg de N.ha}^{-1}$ diferenciándose solamente del TA sin agregado de N.
- El maíz creciendo sobre el TA tuvo respuesta lineal al agregado de N pero no significó que lograra un rendimiento estadísticamente superior. El componente que se vio fuertemente afectado sin el agregado de N fue el número de granos por espigas.

- El N extra aportado (TA) y retenido (RG) al sistema como CC, no fue capaz de aumentar la concentración de N-NO_3^- del suelo a la siembra, en V6 y a la cosecha, durante la estación de crecimiento del maíz.

6. RESUMEN

La consecuente intensificación de los sistemas de producción agropecuarios del país han tenido como consecuencia un alargamiento de la fase agrícola dentro de la rotación tradicional de cultivos-pasturas, lo que ha disminuido o eliminado el ingreso de N al sistema debido a la no utilización de leguminosas en la rotación agrícola no permitiendo el ingreso de N al sistema por fijación simbiótica. A su vez, los barbechos de invierno sin cobertura han producido una degradación física y química del suelo al quedar expuesto al lavado por la lluvia, trayendo como consecuencia una pérdida de nitrógeno y contaminación de aguas. Todo esto determina una mayor necesidad de fertilizante nitrogenado. El objetivo de este trabajo fue estudiar la posibilidad de mantener un ingreso extra de N dentro de la fase agrícola en una rotación mantenida en siembra directa durante siete años, ubicando una leguminosa y una gramínea de ciclo corto entre la cosecha de un cultivo de soja y la siembra de maíz y cuantificar sus efectos sobre la necesidad de fertilizantes nitrogenados y la dinámica del N-NO₃⁻ en el suelo. Para ello se realizó un diseño experimental de parcelas divididas en tres bloques completos al azar. En la parcela mayor se ubicaron los cultivos de coberturas: Barbecho químico (BQ), *Trifolium alexandrinum* (TA) y *Lolium multiflorum* (RG) sobre los cuales se sembró el maíz y en las parcelas menores se ubicaron 4 dosis de N (0, 30, 60 y 90 kg N ha⁻¹) como urea refertilizados cuando el maíz tenía 6 hojas. Se midió a la siembra del maíz el contenido de agua según el manejo del barbecho y la concentración de N-NO₃⁻ del suelo y durante el desarrollo del cultivo se midió: MS, concentración y absorción de N en el maíz, concentración de N-NO₃⁻ en el suelo y por último, el rendimiento en grano del maíz. Los CC afectaron el agua disponible del suelo a la siembra del maíz. El TA y RG dejaron 27 y 38 mm menos de agua disponible para el maíz con respecto al BQ, debido al crecimiento que registraron como CC. El aporte extra de N al sistema a través de la leguminosa fue de 23 kg N ha⁻¹, y el capturado al suelo por la gramínea durante el periodo intercultivos fue de 120 Kg N ha⁻¹. Para las condiciones particulares del año, no hubieron diferencias en las variables de crecimiento ni en la absorción de N hasta la cosecha debidas al manejo del barbecho propuesto. El rendimiento en grano del TA tuvo respuesta lineal al agregado de urea, logrando su máximo con 90 Kg de N ha⁻¹. El maíz sobre BQ y RG no respondió al agregado de urea, pese a que el rendimiento máximo del experimento, 7290 kg ha⁻¹, se obtuvo sobre RG con 90 kg de N ha⁻¹. La concentración de N-NO₃⁻ en el suelo a cosecha no fue afectada por los CC.

Palabras clave: Cultivos de cobertura; Maíz- Nitrógeno; FBN; Contenido de agua en el suelo; Rendimiento en grano.

7. SUMMARY

The consistent intensification of the farming production systems of the country has had as a consequence an extension of the agricultural phase within the traditional rotation of crops-pastures, which has diminished or eliminated the entrance of nitrogen (N) to the system, due to the no use of legumes in the agricultural rotation, not allowing the entrance of N to the system through symbiotic fixation. Also, uncovered winter fallows have produced a physical and chemical degradation of the ground when being exposed to the rain, producing as a consequence lost of nitrogen and water contamination. All this determines a bigger necessity of fertilized nitrogen. The objective of this work was to study the possibility of maintaining an additional entrance of N within the agricultural phase in a rotation maintained in no-till during seven years, placing a leguminous and a nonleguminous of short cycle between the harvest of a soybean crop and corn seedtime, and, to quantify its effects on the necessity of fertilized nitrogen and the dynamics of the N-NO₃⁻ in Soil. For this, an experimental design was made in divided parcels in three completed blocks at random. In the bigger plot the cover crops (CC) were placed: chemistry fallow (BQ), *Trifolium alexandrinum* (TA) and *Lolium multiflorum* (RG) on which corn was seeded; and in the smaller plots 4 doses of N were placed (0, 30, 60 and 90 kg N ha⁻¹) like source urea re-fertilized when the corn had 6 leaves. The water content of the corn's seedtime was measured according to the fallows handling and the concentration of N-NO₃⁻ in soil. During the development of the crop it was measured: Dry matter, concentration and absorption of N in corn, concentration of N-NO₃⁻ in soil and finally, the grain yield of the corn. The CC affected the soil water available for the corn's seedtime. TA and RG left 27 and 38 mm less water available for corn with respect to the BQ, due to the growth that was registered as CC. The extra contribution of N to the system through the legume was of 23 kg N has⁻¹, and the one captured from the soil by the nonlegume during the inter-crop period was of 120 kg N has⁻¹. For the particular conditions of this year, there were no differences in the growth variables nor in the absorption of N until the harvest, due to the proposed handling of the fallow. The grain yield of the TA had a lineal answer to the urea aggregate, obtaining its maximum with 90 kg of N has⁻¹. The corn on BQ and RG did not respond to the urea aggregate, although the maximum yield of the experiment, 7290 kg has⁻¹, was obtained on the RG with 90 kg of N has⁻¹. The concentration of N-NO₃⁻ in soil to harvest was not affected by the CC.

Key words: Cover Crops; Corn; Nitrogen; FBN; Soil water content; Yield grain.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AHMAD, W.; SAJJAD MIRZA, M.; LATIF, F.; HAURAT, J.; BALLY, R.; NORMAND, P.; MALIK, K. A. 2001. Isolation, partial characterization, and the effect of plant growth-promoting bacteria (PGPB) on micro-propagated sugarcane in vitro. *Plant and Soil*. 237: 47-54.
2. ANDRADE, F.H.; CIRILO, A.G.; UHART, S.A.; OTEGUI, M.E. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Buenos Aires, La Barrosa y Dekalb. 292 p.
3. _____; SADRAS, V.O. 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, INTA. Unidad integrada EEA Balcarce Fac. Cs. Agr. Univ. Nac. de Mar del Plata. 444 p.
4. ANDRASKI, T.W.; BUNDY, L.G. 2005. Cover crop effects on corn yield response to nitrogen on an irrigated sandy soil. *Agronomy Journal*. 97: 1239-1244.
5. ANDRIANI, J.M.; BACIGALUPPO, S.; MALASPINA, A. 2001. Dinámica del agua em sistemas agrícolas. In: Panigati, J.L.; Buschiazzi, D.; Marelli, H. 2001 eds. *Siembra Directa II*. San Juan, Argentina. Editorial Edita. INTA. 376 p.
6. AZAM, F.; MALIK, K.A.; SAJJAD, M.I. 1985. Transformation in soil and availability to plant of ¹⁵N applied as inorganic fertilizer and legume residues. *Plant and Soil*. 86: 3-13.
7. BADARUDDIN, M.; MEYER, D.W. 1989. Water use by legumes and its effect on soil water status. *Crop Science*. 29: 1212-1216.
8. BALKOM, K.S.; REEVES, D.W. 2005. Sunn-Hemp utilized as a legume cover crop for corn production. *Agronomy Journal*. 97: 26-31.
9. BERG, P.; ROSSWALL, T. 1987. Seasonal variations in abundance and activity of nitrifiers in four arable cropping systems. *Microbiology Ecology*. 13: 75-87.

10. BLEVINS, R.L.; HERBECK, J.H.; FRYE, W.W. 1990. Legume cover crops as a nitrogen source for no-till corn and grain sorghum. *Agronomy Journal*. 82: 769–772.
11. BROWN, S.M.; WHITWELL, T.; TOUCHTON, J.T.; BURMESTER, C.H. 1985. Conservation tillage systems for cotton production. *Soil Science Society of American Journal*. 49:1256-1260.
12. CALEGARI, A.; PEÑALVA, M. 1994. Abonos verdes; importancia agroecológica y especies con potencial de uso en el Uruguay. Canelones, Uruguay, MGAP. JUNAGRA/GTZ. 172 p.
13. CLARK, A.J.; DECKER, A.M.; MEISINGER, J.J.; McINTOSH, M.S. 1997a. Kill date of vetch, rye, and a vetch-rye mixture. I. Cover crop and corn nitrogen. *Agronomy Journal*. 89: 427–434.
14. _____, _____, _____. 1997b. Kill date of vetch, rye, and a vetch-rye mixture. II. Soil moisture and corn yield. *Agronomy Journal* 89:434–441.
15. CORAK, S.J.; FRYE, W.W.; SMITH, M.S. 1991. Legume and nitrogen fertilizer affects on soil water and corn production. *Soil Science Society of American Journal*. 55: 1395-1400.
16. CORSI, W.C. 1982. Regionalización agroclimática de Uruguay para cultivos. Centro de Investigaciones Agronómicas "Dr. Alberto Böerger". *Miscelánea* no. 40. s.p.
17. DARA, S.T.; FIXEN, P.E.; GELDERMAN, R.H. 1992. Sufficiency level and diagnosis and recommendation integrated system approaches for evaluating the nitrogen status of corn. *Agronomy Journal*. 84: 1006–1010.
18. DUO, Z.; FOX, R.H.; TOTH, J.D. 1994. Tillage effect on seasonal nitrogen availability in corn supplied with legume green manures. *Plant and Soil*. 162: 203-210.
19. EBELHAR, S.A.; FRYE, W.W.; BLEVINS, R.L. 1984. Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn. *Agronomy Journal*. 76: 51-55.

20. ERNST, O. 2000. Siete años de siembra sin laboreo. Cangüe. no. 20: 9-13.
21. _____. 2003. Efecto de la incorporación de una leguminosa invernal como cultivo de cobertura sobre las necesidades de nitrógeno de maíz sembrado sin laboreo. Trabajo final. Especialización en siembra directa. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados Alberto Soriano. s.p.
22. FISK, J. W.; HESTERMAN, O. B.; SHRESTHAC, A.; KELLSA, J.J.; HARWOODA, R.R.; SQUIRED, J.M.; SHEAFFERE, C.C. 2001. Weed suppression by annual legume cover crops in no-tillage corn. *Agronomy Journal*. 93: 319-325.
23. FONTANETTO, H.; VIVAS, H.; KELLER, O. 2002. Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz con siembra directa. Efecto de diferentes dosis de nitrógeno. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2001. INTA. EEA Rafaela. Publicación Miscelánea no.3. s.p.
24. FRANKENBERGER, W.T.; ABDELMAGID, H.M. 1985. Kinetic parameters of nitrogen mineralization rate of leguminous crops incorporated into soil. *Plant Soil*. 87: 257-271.
25. FRYE, W.W.; BLEVINS, R.L.; SMITH, M.S.; CORAK, S.J.; VARCO, J.J. 1988. Role of annual legume cover crops in efficient use of water and nitrogen. In: W.L. Hargrove ed. *Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen*. Madison, WI, ASA. pp. 129-154 (Special Publication No. 51)
26. GARCÍA, C.; MAUTNER, A. 1989. Abonos verdes, barbecho cubierto y sistema de laboreo para trigo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 172 p.
27. GARCÍA, F.O. 2002. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz; aproximaciones zonales. Acassuso, Buenos Aires, Argentina, INPOFOS Cono Sur. s.p.
28. GARCÍA PRÉCHAC, F.G. 1998. Fundamentos de la siembra directa y su utilización en Uruguay. (en línea). s.n.t. Consultado 18 ago. 2006. Disponible en [http://SiembraDirecta-Fundamentos \(F_García\).htm](http://SiembraDirecta-Fundamentos (F_García).htm)

29. GHAFARZADEH, M. 1997. Economic and biological benefits of intercropping berseem clover with oat in corn–soybean–oat rotations. *Journal of Production Agriculture*. 10: 314–319.
30. GIL, J.L.; FICK, W.H. 2001. Soil nitrogen mineralization in mixture of eastern gamagrass with alfalfa and red clover. *Agronomy Journal*. 93: 902-910.
31. GRIFFIN, T.; LIEBMAN, M.; JEMISON, J. 2000. Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. *Agronomy Journal*. 92: 144-151.
32. HARGROVE, W.L.; LANGDALE, G.W.; THOMAS, Q.W. 1984. Role of legume cover crops in conservation tillage production systems. *ASAE Paper*. 84: 2038.
33. _____. 1986. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agronomy Journal*. 79: 281-286.
34. HESTERMAN, O.B.; GRIFFIN, T.S.; WILLIAMS, P.T.; HARRIS, G.H.; CHRISTENSON, D.R. 1992. Forage legume–small grain intercrops; nitrogen production and responses of subsequent corn. *Journal of Production Agriculture*. 5: 340–348.
35. _____.; TIFFIN, P.L. 1998. Response of corn grain yield to early and late killed red clover green manure and subirrigation. *Journal of Production Agriculture*. 11: 112–121.
36. HIVELEY, W.D.; COX, W.J. 2001. Interseeding cover crops into soybean and subsequent corn yields. *Agronomy Journal*. 93: 308-313.
37. HUNTINGTON, T.G.; GROVE, J.H.; FRYE, W.W. 1985. Release and recovery of nitrogen from winter annual cover crops in no-till corn production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 16: 193–211.
38. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (INIA)/INSTITUTO NACIONAL DE SEMILLAS (INASE). 2004. Evaluación de cultivares 1997-1998. (en línea). Montevideo. Consultado 18 ago. 2006. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/index_00.htm

39. JANSEN, H.H.; KUCEY, R.M.N. 1988. C,N, and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. *Plant and Soil*. 106: 35-41.
40. JOHNSON, T.J.; KASPAR, T.C.; KOHLER, K.A. ; CORAK, S.J.; LOGSDON, S.D. 1998. Oat and rye overseeded into soybean as fall cover crops in the upper Midwest. *Soil and Water Conservation Society*. 53: 276-279.
41. JONES, J.B.; ECK, H.V. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. In: Walsh, L.M.; Beaton, J.D. eds. *Soil testing and plant analysis*. Madison, WI, SSSA. pp. 349-364 (Book Series no. 3).
42. KASPAR, T.C.; LOGSDON, S. D.; MEEK, D.W.; PRUEGER, J.H. 2002. Nitrate leaching as influenced by cover crops in large soil monoliths. *Agronomy Journal*. 94: 807-814.
43. KUO, S.; SAINJU, U.M.; JELLUM, E.J. 1997. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Science Society of American Journal*. 61: 145-152.
44. _____, _____. 1998. Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. *Biology and Fertility of Soils*. 26: 345-353.
45. _____; JELLUM, E.J. 2002. Influence of winter cover crop and residue management on soil nitrogen availability and corn. *Agronomy Journal*. 94: 501-508.
46. LADD, J. N.; OADES, J.M.; AMATO, M. 1981. Microbial biomass formed from ¹⁴C, ¹⁵N-labelled plant material decomposing in soil in the field. *Soil Biology Biochemistry*. 13: 119-126.
47. MANSOER, Z.; REEVES, D.W.; WOOD, C.W. 1997. Suitability of sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. *Soil Science Society of American Journal*. 61: 246-253.
48. MEGIE, C.A.; PEARSON, R.W.; HILTBOLT, A.E. 1967. Toxicity of decomposing crop residues to cotton germination and seedling growth. *Agronomy Journal* 59: 197-199.

49. MITCHELL, W. H.; TELL, M.R. 1977. Winter- annual cover crops for no-tillage corn production. *Agronomy Journal*. 69:569-573.
50. MÜLLER, M.M.; SUNDMAN, V. 1988. The fate of nitrogen (15N) released from different plant materials during decomposition under field conditions. *Plant Soil*. 105: 133-139.
51. ODHIAMBO, J.O.; BOMKEB, A.A. 2001. Grass and legume cover crop effects on dry matter and nitrogen accumulation. *Agronomy Journal*. 93: 299-307.
52. RANELLS, N.N.; WAGGER, M.G. 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agronomy Journal*. 88: 777-782.
53. RAPER, R.L.; REEVES, D.W.; BURMESTER, C.H.; SCHWAB, E.B. 2000. Tillage depth, tillage timing, and cover crop effects on cotton yield, soil strength, and energy requirements. *Applied Engineering in Agriculture*. 16(4): 379-385.
54. REEVES, D.W.; TOUCHTON, J.T. 1991. Influence of fall tillage and cover crops on soil water and nitrogen use efficiency of corn grown on a Coastal Plain Soil. In: *International Conference on Cover Crops for Clean Water (1991, Jackson)*. Proceedings. Ankeny, IA, TN Soil and Water Conservation Society. pp. 76-77.
55. _____; WOOD, C.W.; TOUCHTON, J.T. 1993. Timing nitrogen applications for corn in a winter legume conservation tillage system. *Agronomy Journal*. 85: 30-85.
56. RUFFO, M.L.; BOLLERO, G.A. 2003. Modeling rye and hairy vetch residue decomposition as a function of degree-days and decomposition-days. *Agronomy Journal*. 95: 900-907.
57. _____; PARSONS, A.T. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Información Agronómica del Cono Sur*. 21:13-15.
58. SAINJU, U.M.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F. 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agronomy Journal*. 90: 511-518.

59. _____, _____. 2001. Tillage, cover crop, and kill-planting date effects on corn yield and soil nitrogen. *Agronomy Journal*. 93: 878-886.
60. _____; WHITEHEAD, W.F.; SINGH, B.P. 2005. Biculture legume-cereal cover crops for enhanced biomass yield and carbon and nitrogen. *Agronomy Journal*. 97: 1403-1412.
61. SEO, J.H.; MEISINGER, J. J.; LEE, H.J. 2006. Recovery of nitrogen-15-labeled hairy vetch and fertilizer applied to corn. *Agronomy Journal*. 98: 245-254.
62. SHRESTHA, A.; HESTERMAN, O.B.; SQUIRE, J.M.; FISK, J.W.; SHEAFFER, C.C. 1998. Annual medics and berseem clover as emergency forages. *Agronomy Journal*. 90: 197-201.
63. SINGER, JW; COX, W.J. 1998. Corn growth and yield under different crop rotation, tillage, and management systems. *Crop Science*. 38: 996-1003.
64. SMITH, M.S.; FRYE, W.W.; VARCO, J.J. 1987. Legume winter cover crops. *Advances in Soil Science*. 7: 95-139.
65. STOTT, D.E.; KASSIM, G.; JARRELL, W.M.; MARTÍN, J.P.; HAIDER, H. 1983. Stabilization and incorporation into biomass of specific plant carbons during biodegradation in soil. *Plant Soil*. 70: 15-26.
66. TA, T.C.; FARIS, M.S. 1987. Species variation in the fixation and transfer legumes to associated grasses. *Plant Soil*. 98: 265-274.
67. TEASDALE, J.R.; BESTE, C.E.; POTTS, W.E. 1991. Response of weeds to tillage and cover crop residue. *Weed Science*. 39: 195-199.
68. TORBERT, H.A.; REEVES, D.W. 1991. Benefits of winter legumes cover crop to corn; rotation versus fixed-nitrogen effects. *In: International Conference on Cover Crops for Clean Water (1991, Jackson). Proceedings*. Ankeny, IA, TN Soil and Water Conservation Society. pp. 99-100.
69. TORRES, D.; DEL PINO, A. 1995. Dynamics of soil nitrogen in agroecosystems with addition of fertilizer and incorporation of legumes. *In: SAREC, Conference Efficient Use of Biological Nitrogen Fixation; Accomplishments and Prospects (1995, Buenos*

Aires, Argentina). Proceedings. s.n.t. s.p.

70. TORSTENSSON, G.; ARONSSON, H.; BERGSTRÖM, L. 2006. Nutrient Use Efficiencies and Leaching of Organic and Conventional Cropping Systems in Sweden. *Agronomy Journal*. 98: 603-615.
71. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo. t. 3, 452 p.
72. VALLIS, I.; JONES, R.J. 1973. Net mineralization of nitrogen in leaves and leaf litter of *Desmodium intortum* and *Phaseolus atropurpureus* mixed with soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 5: 391-398.
73. VARCO, J.J.; FRYE, W.W.; SMITH, M.S.; MACKOWN, C.T. 1989. Tillage effects on nitrogen recovery by corn from a nitrogen-15 labeled legume cover crop. *Soil Science Society of America Journal*. 53: 822-827.
74. VAUGHAN, J.D.; EVANYLO, G.K. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management *Agronomy Journal*. 90: 536-544.
75. VYN, T.J.; JANOVICEK, K.J.; MILLER, M.H.; BEAUCHAMP, E.G. 1999. Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops. *Agronomy Journal*. 91: 17-24
76. _____; FABER, J.G.; JANOVICEK, K.J.; BEAUCHAMP, E.G. 2000. Cover crop effects on nitrogen availability to corn following wheat. *Agronomy Journal*. 92: 915-924.
77. WAGGER, M.G. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agronomy Journal*. 81: 236-241.
78. WEINERT, T.L.; PAN, W.L.; MONEYMAKERA, M.R.; SANTOB, G.S.; STEVENSB, R.G. 2002. Nitrogen recycling by non leguminous winter cover crops to reduce leaching in potato rotations. *Agronomy Journal*. 94: 365-372.

79. WESCOTT, M.P., WELTY, L.E. ; KNOX, M.L. ; PRESTBYE, L.S.
1995. Managing alfalfa and berseem clover for forage and
plowdown nitrogen in barley rotations. *Agronomy Journal*.
87: 1176-1181.
80. WORSHAM, A.D. 1986. No-tillage research update-North Carolina. In:
Southern Region No-Till Conference (1986). *Proceedings*.
Lexington, KY, University of Kentucky. s.p. (Southern Region
Series Bulletin no. 319).

9. ANEXOS

Tratamientos: BQ, TA y RG.

Nitrogeno: 0, 30, 60 y 90 kg N ha⁻¹.

PLANTAS POR HECTÁREA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloques	2	43138124.2	0.47	0.6357
Tratamiento	2	191469634.5	2.07	0.1574
Error "a"	4	192795530.1	2.08	0.1284
Nitrógeno	3	117526448.7	31.27	0.3170
Trat*N	6	132639069.0	1.43	0.2601
Error	18			
Total	35			
CV	10.13631	,	,	,

ESPIGAS POR HECTÁREA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloques	2	517593.3	0.01	0.9872
Tratamiento	2	49487853.6	1.23	0.3173
Error "a"	4	231278768.0	5.74	0.0041
Nitrógeno	3	48701161.5	1.21	0.3364
Trat*N	6	58155697.1	1.44	0.2555
Error	18			
Total	35			
CV	7.87	,	,	,

ESPIGAS POR PLANTA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloques	2	0.00162882	0.33	0.7217
Tratamiento	2	0.00951944	1.94	0.1738
Error "a"	4	0.00822762	1.68	0.2009
Nitrógeno	3	0.00626914	1.28	0.3132
Trat*N	6	0.00755247	1.54	0.2243
Error	18			
Total	35			
CV	8.20	,	,	,

RENDIMIENTO POR HECTÁREA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	6584565.43	6.89	0.0064
Tratamiento	2	4226236.13	4.42	0.0284
Error "a"	4	432043.85	0.45	0.7696
Nitrógeno	3	1197198.90	1.25	0.3220
Trat*N	6	2861587.56	2.99	0.0349
Error	18			
Total	35			
CV	16.67			

Considerando el error por Type III MS BL.*TRAT

F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	6584565.43	15.24	0.0135
Tratamiento	2	4226236.13	9.78	0.0288

PESO POR ESPIGA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloques	2	1027.938194	5.25	0.0167
Tratamiento	2	495.104861	2.53	0.1091
Error "a"	4	271.920139	1.39	0.2794
Nitrógeno	3	76.924162	0.39	0.7595
Trat*N	6	545.805363	2.79	0.0447
Error	18			
Total	35			
CV	19.07			

PESO DE 1000 GRANOS				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	766.304861	5.68	0.0129
Tratamiento	2	329.554861	2.44	0.1167
Error "a"	4	60.291351	0.45	0.7731
Nitrógeno	3	157.029982	1.16	0.3523
Trat*N	6	238.740548	1.77	0.1653
Error	18			
Total	35			
CV	4.61			

Considerando el error por Type III MS BI.*TRAT:

F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	766.304861	12.71	0.0185
Tratamiento	2	329.554861	5.47	0.0718

GRANOS POR ESPIGA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	9315.15694	2.83	0.0871
Tratamiento	2	4294.35694	1.30	0.2974
Error "a"	4	5079.27336	1.54	0.2350
Nitrógeno	3	2402.68320	0.73	0.5486
Trat*N	6	9230.07870	2.80	0.0441
Error	18			
Total	35			
CV	19.7	,	,	,

TEMPERATURA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	1.08463542	1.29	0.3012
Tratamiento	2	8.22588542	9.82	0.0017
Error "a"	4	5.32902083	6.36	0.0029
Nitrógeno	3	2.08234788	2.49	0.0979
Trat*N	6	1.28048032	1.53	0.2318
Error	18			
Total	35			
CV	3.35	,	,	,

DIAMETRO DEL TALLO				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	0.11377500	0.59	0.5658
Tratamiento	2	0.58293333	3.02	0.0769
Error "a"	4	0.34284333	1.78	0.1825
Nitrógeno	3	0.38381587	1.99	0.1560
Trat*N	6	0.13430000	0.70	0.6562

Error	18			
Total	35			
CV	7.27			

Considerando el error por Type III MS BL*TRAT:

F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	0.11377500	0.33	0.7356
Tratamiento	2	0.58293333	1.70	0.2921

ALTURA DE PLANTA A FLORACION				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	0.03725083	3.37	0.0602
Tratamiento	2	0.25635302	23.17	<.0001
Error "a"	4	0.04783282	4.32	0.0147
Nitrógeno	3	0.02017908	1.82	0.1834
Trat*N	6	0.01932430	1.75	0.1742
Error	18			
Total	35			
CV	8.08			

Considerando el error por Type III MS BL*TRAT

F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	0.03725083	0.78	0.5180
Tratamiento	2	0.25635302	5.36	0.0739

NUMERO DE HOJAS 58 DIAS POST SIEMBRA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2		0.12	0.8879
Tratamiento	2		5.05	0.0804
Error "a"	4			
Nitrógeno	3		0.25	0.6407
Trat*N	6		0.59	0.5874
Error	18			
Total	35			
CV				

NUMERO DE HOJAS A FLORACION				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	0.23021488	1.62	0.2313
Tratamiento	2	2.62870545	18.46	<.0001
Error "a"	4	0.17591514	1.24	0.3378
Nitrógeno	3	0.17987099	1.26	0.3226
Trat*N	6	0.54686979	3.84	0.0160
Error	18			
Total	35			
CV	2.80			

Considerando el error por Type III MS BL*TRAT:

F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	0.23021488	1.31	0.3654
Tratamiento	2	2.62870545	14.94	0.0139

Type 3 Tests of Fixed Effects

IAF A FLORACION			
F. de variación	GL	F	Pr>F
Tratamiento	2	0.09	0.9235
Nitrógeno	3	0.04	0.9889
Trat*N	6	0.28	0.9338

Type 3 Tests of Fixed Effects

DIFN			
F. de variación	GL	F	Pr>F
Tratamiento	2	0.08	0.9277
Nitrógeno	3	0.07	0.9726
Trat*N	6	0.25	0.9492

MS A V6				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	431.9286111	2.12	0.2355
Tratamiento	2	7.5677778	0.04	0.9638
CV	17.77			

Type 3 Tests of Fixed Effects

MS TALLO A FLORACIÓN			
F. de variación	GL	F	Pr>F
Tratamiento	2	2.05	0.2435
Nitrógeno	3	2.71	0.0823
Trat*N	6	1.39	0.2819

Type 3 Tests of Fixed Effects

MS HOJA A FLORACION			
F. de variación	GL	F	Pr>F
Tratamiento	2	3.76	0.1205
Nitrógeno	3	5.89	0.0073
Trat*N	6	2.01	0.1277

Type 3 Tests of Fixed Effects

MS TOTAL A FLORACION			
F. de variación	GL	F	Pr>F
Tratamiento	2	2.14	0.2328
Nitrógeno	3	3.71	0.0355
Trat*N	6	0.88	0.5316

NITROGENO ABSORBIDO A V6				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	43.00000000	0.69	0.5513
Tratamiento	2	21.00000000	0.34	0.7313
CV	24.86			

N ABSORBIDO EN GRANO				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	888.877778	4.63	0.0248
Tratamiento	2	227.552778	1.19	0.3295
Error "a"	4	427.161616	2.23	0.1093
Nitrógeno	3	404.465608	2.11	0.1370
Trat*N	6	570.159722	2.97	0.0359
Error	18			
Total	35			
CV	20.25			

N-NO3 A SIEMBRA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	19.8177778	1.04	0.4323
Tratamiento	2	195.4344444	10.27	0.0266
CV	44.86			

N-NO3 A V6				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	1.8977778	1.11	0.4138
Tratamiento	2	6.2544444	3.66	0.1251
CV	29.65			

N-NO3 A COSECHA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	28.4153146	3.08	0.0720
Tratamiento	2	101.4411890	11.01	0.0009
Error "a"	4	30.4716422	3.31	0.0354
Nitrógeno	3	116.3769189	12.63	0.0001
Trat*N	6	35.6588835	3.87	0.0128
Error	18			
Total	35			
CV	22.84			

Considerando el error por Type III MS BL.*TRAT:

F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	28.4153146	0.93	0.4651
Tratamiento	2	101.4411890	3.33	0.1409

N-NO3 1 MES DESPUES DE COSECHA				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	81.8199225	2.90	0.0827
Tratamiento	2	57.6326025	2.04	0.1606
Error "a"	4	18.2351943	0.65	0.6375
Nitrógeno	3	103.5211234	3.67	0.0334
Trat*N	6	83.4232842	2.95	0.0366
Error	18			
Total	35			
CV	63.93			

NITROGENO EN PLANTA A V6				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	0.17163333	0.85	0.4931
Tratamiento	2	0.00840000	0.04	0.9597
CV	17.9			

Type 3 Tests of Fixed Effects

N EN GRANO			
F. de variación	GL	F	Pr>F
Tratamiento	2	0.45	0.6688
Nitrógeno	3	2.09	0.1393
Trat*N	6	6.66	0.0009

% DE ESTERILIDAD DE ESPIGAS				
F. de variación	GL	CMT	F	Pr>F
Bloque	2	7.6195988	0.13	0.8823
Tratamiento	2	64.4483431	1.07	0.3921
Error "a"	4	42.7952441	0.71	0.6475
Nitrógeno	3	102.7006173	1.70	0.2157
Trat*N	6	86.9789562	1.44	0.2634
Error	18			
Total	35			
CV	52.89			

EFEECTO DE LA POBLACION SOBRE EL % DE ESTIRILIDAD

F. de variación	GL	Tipo I SS	CMT	F	Pr>F
Plantas	1	661.1053218	661.1053218	15.45	0.0004
F. de variación	GL	Tipo III SS	CMT	F	Pr>F
Plantas	1	661.1053218	661.1053218	15.45	0.0004
F. de variación	Estimador	Error Standar	t	Pr>F	
Intercepto	-24.49731858	10.03103190	-2.44	0.0201	
Plantas	0.00041252	0.00010496	3.93	0.0004	
CV	44.54				

EFEECTO DEL % DE ESTIRILIDAD SOBRE EL RENDIMIENTO

F. de variación	GL	Tipo I SS	CMT	F	Pr>F
Esterilidad	1	8539850.770	8539850.770	5.27	0.0282
F. de variación	GL	Tipo III SS	CMT	F	Pr>F
Esterilidad	1	8539850.770	8539850.770	5.27	0.0282
F. de variación	Estimador	Error Standar	t	Pr>F	
Intercepto	6805.147408	463.5326547	14.68	<.0001	
Esterilidad	-64.175407	27.9564280	-2.30	0.0282	
CV	21.71				

Pearson Correlation Coefficients, N = 35
 Prob > |r| under H0: Rho=0

	Pl x ha	Esp x ha	Rend x ha	Granos x espiga	Granos x m2	P1000 GR
Pl x ha	1.00000	0.61818 <.0001	-0.25626 0.1373	-0.46255 0.0051	-0.22513 0.1935	-0.16940 0.3306
Esp x ha	0.61818 <.0001	1.00000	0.07923 0.6510	-0.39136 0.0201	0.04772 0.7854	0.11887 0.4964
Rend x ha	-0.25626 0.1373	0.07923 0.6510	1.00000	0.84917 <.0001	0.96641 <.0001	0.36170 0.0328
Granos x espiga	-0.46255 0.0051	-0.39136 0.0201	0.84917 <.0001	1.00000	0.89609 <.0001	0.05057 0.7730
Granos x m2	-0.22513 0.1935	0.04772 0.7854	0.96641 <.0001	0.89609 <.0001	1.00000	0.11720 0.5025
P1000GR	-0.16940 0.3306	0.11887 0.4964	0.36170 0.0328	0.05057 0.7730	0.11720 0.5025	1.00000