

**EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO EN MAÍZ BAJO SIEMBRA  
DIRECTA EN FUNCIÓN DEL DISTANCIAMIENTO ENTRE HILERAS**

**PABLO A. BARBIERI**

**Trabajo de tesis para ser presentado como requisito parcial para optar al  
grado de DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR  
DEL PLATA  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA DE BALCARCE-INTA**

**Balcarce, Argentina**

**Julio de 2008**

**EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO EN MAÍZ BAJO SIEMBRA  
DIRECTA EN FUNCIÓN DEL DISTANCIAMIENTO ENTRE HILERAS**

**Pablo A. Barbieri**

**Tesis presentada como requisito para optar al agrado de  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**

**Aprobado por:**

---

**Ing. Agr. Hernán E. Echeverría, M. Sc.**

**Consejero principal**

---

**Ing. Agr. Fernando H. Andrade, M. Sc., PhD.**

**Comité de estudio**

---

**Ing. Agr. Hernán R. Saínz Rozas, M. Sc., Dr.**

**Comité de estudio**

**EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO EN MAÍZ BAJO SIEMBRA  
DIRECTA EN FUNCIÓN DEL DISTANCIAMIENTO ENTRE HILERAS**

**Pablo A. Barbieri**

**Tesis presentada como requisito para optar al agrado de  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**

**Aprobado por:**

---

**Ing. Agr. Raul Lavado M. Sc., Dr**

**Evaluador externo**

---

**Ing. Agr. Daniel Buschiazzo, M. Sc., PhD.**

**Evaluador externo**

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a:

Al Ing. Agr. Hernán Echeverría por el valioso tiempo dedicado a mi labor, su constante apoyo y orientación y, principalmente, por la confianza depositada en mí.

Al Ing. Agr. Fernando Andrade por su constante motivación, sus valiosas críticas, que ampliaron mi perspectiva, y por su permanente apoyo.

Al Ing. Agr. Hernán Sainz Rozas por sus valiosos comentarios y permanente apoyo, tanto en lo personal como en lo profesional y laboral.

A todo el personal del laboratorio de suelos de la EEA-INTA Balcarce: Tito García, Sergio Zarza, Ana María Suero, Dorita Bianculli, María del Carmen D'Elía y todas aquellas personas que de algún modo colaboraron directa o indirectamente en la realización de este trabajo.

Por último, y como lo más importante, quisiera destacar que, más allá de la relación profesional y laboral entablada con todas estas personas, me llevo con ellas una relación de amistad.

Quiero dedicar este trabajo de Tesis a mi familia.

## INDICE

	Página
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL-----</b>	<b>1</b>
➤ <b>CAPITULO I. EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO DEL CULTIVO DE MAÍZ IRRIGADO BAJO SIEMBRA DIRECTA</b>	
Introducción-----	14
Materiales y métodos-----	20
Resultados y discusión-----	28
➤ <b>CAPITULO II. INDICADORES DE LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN SUELO Y PLANTA</b>	
Introducción-----	65
Materiales y métodos-----	71
Resultados y discusión-----	74
➤ <b>CAPITULO III. EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO DEL CULTIVO DE MAÍZ BAJO SIEMBRA DIRECTA IRRIGADO Y EN SECANO</b>	
Introducción-----	94
Materiales y métodos-----	99
Resultados y discusión-----	102
<b>INTEGRACIÓN FINAL DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>136</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>140</b>

## RESUMEN

La fertilización con nitrógeno (N) es una práctica de manejo necesaria para obtener elevados rendimientos de maíz. Sin embargo, el uso de dosis que excedan los requerimientos del cultivo puede causar efectos negativos sobre el ambiente. En tal sentido, es necesario identificar prácticas de manejo tendientes a mejorar la eficiencia de utilización de N (EUN) para realizar una agricultura económica y ecológicamente sustentable. La EUN y sus componentes: la eficiencia fisiológica (EF) y la eficiencia de recuperación (ER), constituyen un aspecto clave a considerar en el manejo de este nutriente, debido a los elevados requerimientos de N por el cultivo de maíz, particularmente bajo siembra directa (SD). El objetivo del trabajo fue estudiar el efecto del distanciamiento entre hileras (70, 52 y 35 cm) sobre la EUN y sus componentes (EF y ER) y los métodos de diagnóstico de requerimiento de N en el cultivo de maíz bajo SD ante oferta variable de N (0, 90 140 y 180 kg de N ha<sup>-1</sup>) en condiciones bajo riego y seco. El trabajo de campo fue realizado en un monocultivo de maíz en 1996/97, 1999/00, 2000/01, 2001/02 y 2002/03. Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones con un arreglo de tratamientos en parcelas divididas.

En condiciones bajo riego, la fertilización con N produjo incrementos en la materia seca total acumulada (MS), el rendimiento y el N acumulado por el cultivo. La reducción de la distancia entre hileras produjo incrementos respecto del distanciamiento convencional (70 cm) en las variables mencionadas, siendo los mismos en promedio de 6, 10 y 8 % para la MS, el rendimiento y el N acumulado, respectivamente. La aplicación de N disminuyó la EUN, expresada en MS o grano, mientras que la reducción de la distancia entre hileras produjo incrementos significativos en esta variable (12 y 13%, cuando la EUN fue expresada como kg de

MS o grano por kg de N disponible, respectivamente). Los incrementos relativos en EUN en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras, respecto de 70 cm, fueron de mayor magnitud para los tratamientos sin N (22 y 21%, para la EUN expresada en MS y grano, respectivamente) respecto del promedio de los tratamientos con N (4 y 5% para la EUN expresada en MS y grano, respectivamente). La EF disminuyó con el aumento de la disponibilidad de N pero no fue afectada por el distanciamiento entre hileras, debido a incrementos proporcionales en la MS, el rendimiento y en el N absorbido en madurez fisiológica. El espaciamiento entre hileras no produjo cambios en la relación C/N de la planta. La fertilización con N redujo la ER y esta se incrementó al reducir la distancia entre hileras (11 y 16% expresada en MS y grano, respectivamente). Este efecto fue de mayor magnitud cuando menor fue la disponibilidad de N (24 y 22% para la ER expresada en MS y grano, respectivamente) que para el promedio de los tratamientos fertilizados (2 y 3% para la ER expresada en MS y grano, respectivamente).

Los incrementos en el N acumulado por el cultivo en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, fueron determinados desde estadíos tempranos del cultivo (V6), indicando un mejor estado de nutrición nitrogenado. Se determinó mayor ER en V6 en los tratamientos con hileras reducidas y este efecto fue de mayor magnitud cuando menor fue la disponibilidad de N para el cultivo. Este comportamiento, contribuiría a disminuir las pérdidas de N del sistema, las cuales son importantes al inicio de la estación de crecimiento

El rendimiento relativo estuvo correlacionado con la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  en los 30 cm superficiales del suelo al estadío de V6 ( $r^2=0,68$  a  $0,73$ ,  $p\leq 0,001$ , según los años). La concentración crítica (CC) de  $\text{N-NO}_3^-$  necesaria para alcanzar el 95%

del rendimiento máximo fue de 22,0 y 17,0 mg kg para los distanciamientos convencional y reducido, respectivamente. Las menores CC en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, fueron consecuencia de la mayor absorción de N (ER) durante estadíos iniciales de crecimiento (siembra-V6). Los menores umbrales de respuesta determinados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas implican una disminución en la dosis de N a aplicar de 40 kg ha<sup>-1</sup>, permitiendo reducir los costos de producción y el riesgo de impacto ambiental desfavorable.

Los tratamientos con distancia entre hileras reducidas presentaron mayores valores de índice de verdor (IV), principalmente durante el estadio de V6, indicando un mejor estado nutricional del cultivo, comportamiento que sería debido a la mayor ER. Cuando los valores de IV se relacionaron con el rendimiento relativo no se determinaron diferencias entre distanciamientos, debido a los incrementos en el rendimiento y en el IV en los tratamientos con distancia reducida, por lo tanto, los umbrales de respuesta a la fertilización determinados mediante el IV no fueron diferentes entre distanciamientos. La concentración de N en planta en función de la materia seca acumulada (curvas de dilución) fue similar entre distanciamientos cuando el cultivo fue fertilizado. No obstante, cuando no se fertilizó con N, los tratamientos con distanciamiento reducido mostraron un mejor estado nutricional respecto a aquellos con distanciamiento convencional (70 cm). Los valores críticos de N en grano a partir del cual se producirían disminuciones en rendimiento fueron similares entre distanciamientos, debido a que la reducción de la distancia entre hileras incremento el rendimiento en grano y el contenido de N en grano.

En condiciones de secano, la reducción de la distancia entre hileras incrementó la NUE, particularmente cuando la disponibilidad de N en el suelo fue baja. La reducción de la distancia entre hileras no afectó la EF pero incrementó la



ER, expresada en MS o grano. La mayor recuperación del N disponible para los tratamientos con distancias entre hileras reducidas indica que esta práctica permite reducir las pérdidas de N desde el sistema, aún en cultivos realizados en secano, contribuyendo de esa manera a reducir los riesgos de contaminación ambiental.

La información obtenida en esta experiencia aporta conocimientos originales, dado que no existen antecedentes de cambios en la EUN por efecto de la reducción de la distancia entre hileras de maíz en condiciones bajo riego y secano. Por lo tanto, esta práctica de manejo tendría ventajas en aquellos ambientes en donde las precipitaciones durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo superen la evapotranspiración y en sistemas de producción con escasos aportes de N. De esta manera, sería posible realizar un mejor uso del N, nutriente considerado clave en la mayoría de los sistemas de producción agrícolas.

**Palabras clave:** Maíz, Siembra directa, Nitrógeno, Distanciamiento entre hileras

## ABSTRACT

Nitrogen fertilization (N) is an essential management practice to achieve high maize yields. However, the application of N rates that exceed crop N requirements can produce negative effects on environmental. Therefore, is necessary to identify management practices to improve N use efficiency (NUE) in order to maintain an economic and ecologically sustainable agriculture. The NUE and their components: physiologic efficiency (PE) and recovery efficiency (RE) constitute a key aspect to consider in the N management, as consequence of high maize N requirements, particularly under no-tillage (NT). The objective of this work was study narrow row effects (70, 52 and 35 cm) on NUE and its components (PE and RE) and methods of diagnostic of requirement of N in maize under NT at different levels of N availability (0, 90 140 and 180 kg of N ha<sup>-1</sup>) under irrigated and rainfall conditions. The experiment was carried out in 1996/97, 1999/00, 2000/01, 2001/02 and 2002/03 growing seasons in continuous maize. The experimental design was a split-plot in randomized complete blocks.

Under irrigated conditions, N fertilization increases dry matter accumulation (DM), grain yield and N accumulated by the crop. Narrow rows (average of 35 and 52 cm) increased DM, grain yield and accumulated N (6, 10 and 8%, respectively). Nitrogen fertilization diminished NUE, expressed as DM or grain, while narrow rows produced significant increments in this variable (12 and 13%, for NUE was expressed as kg of DM or grain per kg of available N, respectively). Relative increase in NUE in response to narrow row was greater for the treatments without N (22 and 21% for NUE expressed as DM and grain, respectively) than average of treatments with N (4 and 5% for NUE expressed as DM and grain, respectively). The PE diminished by increasing N rates and was not affected by row spacing, because narrow rows increased DM, grain yield and N accumulation at physiologic maturity compared to

conventional row spacing, and therefore, narrow row did not produce changes in C/N ratio in plant. Recovery efficiency decreased with N rate and it was increased by narrow rows compared to conventional row spacing (11 and 16% expressed as DM and grain, respectively). Relative increase in RE in response to narrow row was greater for the treatments without N (24 and 22% for ER expressed as MS and grain, respectively) than average of treatments with N (2 and 3% for RE expressed as DM and grain, respectively). The increments in crop accumulated N in the treatments with narrow rows were determined early in the growing season (V6). Therefore, a greater RE was determined in the treatments with narrow rows at this stage, and this effect was greater for low soil available N. The greater N uptake for treatments with narrow rows would contribute to diminish N losses from soil plant system, which are important early in the growing season.

The relative yield was closely correlated with the  $\text{N-NO}_3^-$  concentration at V6 (0-30 cm) ( $r^2$  values ranged from 0.68 to 0.73,  $p \leq 0.001$ ). Soil  $\text{NO}_3^-$ -N critical concentration for maximum yield (95%) was 22 mg kg<sup>-1</sup> and 17 mg kg for conventional and narrow rows, respectively. The difference in soil  $\text{N-NO}_3^-$  CC between row spacing can be explained by a greater plant N accumulation during early stages (sowing-V6), and therefore, a greater RE for narrow rows treatments compared to conventional row spacing. The lower CC determined in narrow rows treatments could reduce the amount of N fertilizer in 40 kg ha<sup>-1</sup>, contributing to increase the profitability of maize production and diminish risk of environmental pollution.

Narrow rows treatments shown a higher values of green index (IV), mainly during early stages (V6), indicating a higher plant N status as consequence of higher RE. Green index thresholds were related with relative grain yield and differences was

not determined between rows spacing, due to narrow rows increases grain yield and IV. Therefore, maximum thresholds to achieve maximum yield (95%) were similar between row spacing treatments. Nitrogen concentration in plant as a function of DM (curve of dilution) for fertilization treatment was similar between row spacing. Nevertheless, for treatment without N fertilization narrow row treatments showed a higher plant N status compared to conventional row spacing (70 cm). Critical values of grain N content for maximum grain yield (95%) were similar between row spacing treatments, because narrow rows increased grain yield and grain N content.

Under rainfed conditions, narrow rows increased NUE expressed as DM or grain, and the greater increases in NUE was determined at low soil N availability. Narrow rows did not affect PE, while produced significantly increases RE, expressed as DM or grain. The higher RE of available N determined in narrow row treatment suggests that this practice would allow diminish soil N losses from soil plant system even in crops growing under rainfed conditions.

The information obtained in this experience contributes original knowledge, because no information is available about changes in NUE for maize crops growing with different row spacing under NT. Therefore, this management practice would have advantages in those environments where rainfall events overcome crop evapotranspiration during initial stages of maize grown and those systems production with low N input allowing a better use of this nutrient, considered key in the most of agricultural production systems.

**Key words:** Maize, No-tillage, Nitrogen, Narrow rows

## **EFICIENCIA DE UTILIZACION DEL NITRÓGENO EN MAÍZ BAJO SIEMBRA DIRECTA EN FUNCIÓN DEL DISTANCIAMIENTO ENTRE HILERAS**

### **INTRODUCCIÓN GENERAL**

En la Argentina la superficie dedicada a la producción de maíz para grano comenzó a aumentar a partir de la campaña 1988/89, llegando al máximo de los últimos 10 años en la campaña 1996/97, en que se implantaron 4,15 millones de hectáreas. En la campaña 1997/98 se produjo el récord de producción cercano a los 19 millones de toneladas (Bolsa de Cereales, 1999). Esto se debió principalmente, a que en los últimos años se han liberado una creciente cantidad de híbridos que se adaptan a las características ambientales particulares de cada región, como así también al mejoramiento de las prácticas culturales (fecha de siembra, densidad, control de malezas, etc) que han permitido incrementar el rendimiento. Sin embargo, la superficie destinada a la producción de maíz ha disminuido en los últimos 5 años y en la campaña 2004/05 la superficie destinada a este cultivo fue de solo 3,4 millones de hectareas (SAGPyA, 2006). Esto sería debido al incremento en el costo de producción y al menor ingreso bruto respecto al cultivo de soja (SAGPyA, 2006, Maíz, informe general.[www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar)).

El cultivo de soja tiene un papel estratégico en los sistemas de producción debido a su rentabilidad, y a que se ajusta muy bien a técnicas de manejo como la siembra directa (SD) de creciente adopción a nivel nacional. Además, con la aparición de los materiales transgénicos resistentes a glifosato, se ha abierto un camino alternativo para el control de malezas. Sin embargo, existen dudas respecto a si, dada la tendencia actual de incremento de la superficie sembrada con soja y a las características del cultivo, en este proceso de “sojización” se corran riesgos de

generar inconvenientes para el sistema suelo, sin desconocer los riesgos que puede traer aparejado el monocultivo (Studdert, 2003).

En el corto plazo la soja es un excelente antecesor para cultivos sensibles a la disponibilidad de nitrógeno (N), permitiendo la reducción en la cantidad de los fertilizantes nitrogenados. No obstante, la escasa reposición de C y las características bioquímicas de los residuos de soja pueden llevar a una pérdida acelerada de la MO del suelo y con ello de la fuente de N orgánico, generando de esta forma condiciones que puedan estar reñidas con el logro de la sustentabilidad. Asimismo, esas mismas características hacen que sus residuos no sean los más adecuados para ofrecer cobertura buena y perdurable para hacer frente a los procesos erosivos comunes en la zona dadas sus características de relieve y precipitaciones (Studdert, 2003). En tal sentido, la inclusión en la rotación del cultivo de maíz aporta sustanciales beneficios, debido principalmente a la gran cobertura y aporte de carbono al suelo que produce su rastrojo (Vanotti y Bundy, 1994).

La utilización de combustibles fósiles, principalmente el petróleo y sus derivados, fue el sustento energético del desarrollo industrial del siglo XX. El carácter no renovable de estos combustibles y las perspectivas de agotamiento de las reservas en un mediano plazo, generan una situación indudablemente problemática, y han impulsado, desde hace varias décadas, la investigación sobre fuentes de energía renovables. Esto nos ubica frente al gran desafío que implica ir en búsqueda de fuentes de energía alternativas que puedan garantizar la protección del medio ambiente, y al mismo tiempo generar el impulso necesario para hacer frente a la crisis mundial que la desaparición de combustibles tradicionales podría desatar (SAGPyA/IICA, 2005).

Desde el punto de vista del sector agropecuario, la producción de biocombustibles se presenta como una nueva fuente de demanda para algunos productos agrícolas, tales como las semillas oleaginosas y el maíz, que puede contribuir a mejorar los precios de los mismos. La ley sobre biocombustibles establece un corte obligatorio con etanol anhidro del 5% en toda la nafta consumida en el país, se estima que para hacer frente a esta demanda de biocombustible durante el primer año de implementación de la ley (2008) la cantidad de grano de maíz necesaria sería de aproximadamente 555 mil toneladas, pudiéndose las obtener de la reducción de las exportaciones o bien incrementando la superficie sembrada. (SAGPyA/IICA. 2005). Frente a este contexto, es altamente probable que la superficie destinada al cultivo de maíz comience a incrementarse, sin embargo, para que el proceso de producción de biocombustibles sea energéticamente positivo, se requiere de una alta eficiencia en el uso de los insumos aplicados al cultivo, particularmente en la utilización de fertilizantes (Pimentel y Patzek, 2005).

En los últimos años, en las explotaciones mixtas de la Región Pampeana se ha producido un aumento gradual en la superficie dedicada a la agricultura en desmedro de la dedicada a la ganadería (Rearte, 1996) debido a la mayor rentabilidad de la agricultura frente a la ganadería. Este cambio se ha asociado con un uso más intenso de los suelos y, con ello, indicios de degradación que se evidencian a través de una disminución del contenido de materia orgánica (MO) (Echeverría y Ferrari, 1993). La MO es un componente clave del sistema suelo dada su influencia sobre las propiedades físicas, biológicas y químicas que definen su productividad (Robinson *et al.*, 1994) y su calidad, conducentes al logro de la sostenibilidad (Doran y Parkin, 1994). A través de las rotaciones se puede manejar la dinámica del carbono del suelo, y con ella la de otros nutrientes asociados (NPS)

mediante la manipulación de los momentos y las cantidades de retorno de carbono al suelo, y la calidad y distribución de los restos aportados (Campbell, 1978)

Las alternativas para hacer un uso más intenso y racional del suelo y disminuir los riesgos de degradación, incluyen, entre otras, como fue mencionado, el manejo de la cantidad de residuos que retorna al suelo a través de la selección de los cultivos en la rotación, y la utilización de labranzas conservacionistas (Studdert y Echeverría, 2000). El uso de este tipo de prácticas de manejo y en especial la SD, incrementa la proporción de residuos en superficie, produciendo una disminución de la erosión de los suelos debido a la presencia de los mismos (Allmaras et al., 1985), dado que protegen el suelo del impacto de la gota de lluvia, disminuyendo el volumen y la velocidad del escurrimiento (Studdert, 1996). Por lo tanto, la inclusión de dicha práctica de manejo es beneficiosa con respecto a un sistema de manejo bajo labranza convencional (LC) en aquellas zonas, como el sudeste bonaerense, donde se presenten características de relieve predisponentes a la erosión hídrica, o lluvias de elevada erosividad durante los períodos en los cuales el suelo se encuentra con escasa cobertura vegetal.

La presencia de residuos en superficie en un suelo bajo SD y la falta de disturbios del mismo, producen una serie de cambios físicos, químicos y biológicos en el ambiente edáfico (Doran, 1980a). Respecto a estos últimos, quizás el más relevante sea la menor disponibilidad de nitrógeno (N) mineral en dicho sistema de labranza, respecto a LC (Lamb *et al.*, 1985). El rastrojo en superficie produce incrementos en el contenido de carbono y N orgánico en los primeros centímetros del suelo respecto a los sistemas de LC (Doran 1980a; Campbell et al., 1996; Crespo 1999), como consecuencia de esto han sido determinados incrementos en la actividad microbiana y enzimática del suelo (Doran, 1980a; Doran, 1980b; Crespo,



1999). El incremento de la disponibilidad de sustrato para los microorganismos (Staley et al., 1988; Dalal et al., 1991), disminuye la disponibilidad de N inorgánico para los cultivos por un incremento en la inmovilización microbiana (Lamb et al., 1985; Crespo 1999), principalmente en regiones templado húmedas (Fox y Bandel, 1986). Por lo tanto, la menor disponibilidad de N en cultivos implantados bajo SD podría ser atribuida, entonces, a la menor tasa de mineralización de N orgánico (Fox y Bandel, 1986), incrementos en la inmovilización microbiana (Doran, 1980a ; Mengel et al., 1982; Kitur et al., 1984), o también a la presencia de un ambiente menos oxidativo en suelos no labrados, que ocasiona una menor nitrificación y una mayor desnitrificación (Doran y Power, 1983; 1984; Picone et al., 1997); lavado (Thomas et al., 1973; Mc Mahon y Thomas, 1976) o una combinación de dichos procesos.

Una buena nutrición mineral es necesaria para que los cultivos alcancen un óptimo crecimiento y rendimiento (Andrade et al., 2000). Debido a que la SD genera una menor disponibilidad de N para el cultivo, y al efecto que dicho nutriente posee sobre el IAF (Novoa y Loomis, 1981; Cox et al., 1993 y Uhart y Andrade, 1995b), la cantidad de radiación interceptada por el cultivo es menor. Por lo tanto, y dado que la tasa de crecimiento de los cultivos está directa y estrechamente relacionada con la intercepción de la radiación por los mismos (Gardner et al., 1985), el rendimiento del cultivo se verá afectado si esta condición persiste durante el periodo crítico de determinación de rendimiento. La intensidad del estrés nitrogenado, se encontrará entonces directamente relacionada a las mermas en rendimiento, siendo necesaria la aplicación de fertilizantes para revertir dicha situación. Por lo tanto, la menor oferta de N en los sistemas bajo SD hace necesario el incremento de las dosis de N si se quieren obtener rendimientos similares a aquellos obtenidos bajo LC. En

consecuencia, para cultivos de maíz implantados bajo SD, se han reportado significativos incrementos en rendimiento en respuesta a aplicaciones de N (Saínez Rozas et al., 1999, Domínguez et al., 2001).

Para la obtención de rendimientos cercanos a los potenciales es necesario incrementar las dosis de N utilizadas, esto no solo aumenta los costos de producción sino que además se estaría incrementando la probabilidad de generar impacto ambiental desfavorable. Las pérdidas de N afectan la eficiencia con que dicho nutriente es utilizado por el cultivo. La eficiencia de uso de N (EUN) constituye un aspecto clave a considerar en el manejo de este nutriente, debido a que los requerimientos de N por el cultivo se incrementan en la medida que disminuye la EUN, y de esta manera se afecta el diagnóstico de requerimiento de N por fertilización. En tal sentido, prácticas de manejo de cultivo que permitan mejorar la EUN producirían un gran impacto en los sistemas productivos debido al elevado peso de este insumo en el costo de producción, dado los altos requerimientos de N del maíz bajo SD. Por otra parte, es válido mencionar que el precio del N es dependiente del valor de los combustibles fósiles, y que estos han aumentado su precio en los últimos años (SAGPyA/IICA, 2005). Por último, esto también tendría implicancias sobre la sostenibilidad y la calidad del recurso suelo, considerando las múltiples vías de escape de este nutriente al medio ambiente y las consecuencias que esto ocasiona.

En los últimos años, el proceso de pérdida de N por desnitrificación ha recibido considerable interés, debido a que disminuye la EUN por los cultivos y a que el  $N_2O$  juega un rol importante en la atmósfera, ya que es un gas que contribuye al denominado efecto invernadero (Parther et al., 1995) y disminuye la capa de ozono. Una molécula de  $N_2O$  es casi 150 veces más potente que una de  $CO_2$ , por lo que un

pequeño incremento del mismo contribuiría significativamente al calentamiento global. Además se estima que una duplicación de la concentración de  $N_2O$  reduciría en un 10% la capa de ozono (Crutzen y Ehhalt, 1997), la que es responsable de proteger a la biosfera de la radiación ultravioleta. Los daños provocados por este gas y su elevada duración en la atmósfera (entre 100 y 150 años) justifican la preocupación mundial ante su incremento (Echeverría y Sainz Rozas, 2005).

Por otra parte, el lavado de  $N-NO_3^-$  es a menudo el principal mecanismo de pérdida de N de los sistemas productivos agrícolas de regiones húmedas, subhúmedas o en sistemas bajo riego. Las pérdidas pueden variar desde 2 hasta 100 kg N  $ha^{-1}$   $año^{-1}$  (Haynes, 1986). Este proceso de pérdida debe ser adecuadamente controlado debido a que elevadas concentraciones de  $N-NO_3^-$  en el agua de percolación puede contaminar las fuentes de agua potable y producir crecimiento de algas y plantas no deseadas en lagos y otros reservorios de agua superficiales. En el sudeste bonaerense y para el cultivo de maíz bajo SD con aplicaciones de N a la siembra, se determinó que el lavado de  $N-NO_3^-$  es el principal mecanismo de pérdida de N del sistema (Sainz Rozas et al., 2004).

Desde los inicios del siglo 20 hasta aproximadamente 1940, la distancia entre hileras a la cual eran sembrados los cultivos de maíz era de 90 a 112 cm, debido principalmente a la falta de maquinarias para la siembra, cultivadores y cosechadoras que permitan lograr una menor distancia entre hileras (Stickler, 1964). Por lo tanto, la distancia entre hileras estaba determinada principalmente por el tamaño de los animales (comúnmente caballos), que eran utilizados por los agricultores para realizar las labores necesarias para la preparación de la tierra, implantación y cuidado del cultivo. Con la aparición del tractor y la cosechadora automotriz, los productores comienzan a mecanizarse y se reduce entonces la

distancia entre hileras a 76 cm. Mejoras en las prácticas de manejo del cultivo, debido principalmente a la aparición de herbicidas más efectivos, disminución en el precio de los fertilizantes y a la aparición de híbridos de maíz tolerantes a mayores densidades, produjo un incremento en los rendimientos potenciales. En este contexto, es que los agricultores e investigadores comienzan a interesarse en la posibilidad de realizar los cultivos a menores distancias entre hileras. Los investigadores hipotetizan que cultivos de maíz sembrados con distancias entre hileras más estrechas pueden producir más rendimiento que cuando eran cultivados en hileras más distanciadas (Olson y Sander, 1988). En tal sentido Pendelton (1965), utilizando diferentes distancias entre hileras en Illinois y estados adyacentes, reporta importantes incrementos en rendimiento (de hasta 25%) en respuesta a siembras con hileras más estrechas. Dicho autor sostiene que los incrementos por la menor distancia entre hileras fueron explicados por: a) una mejor distribución de las plantas y una menor competencia de las mismas por agua, nutrientes y radiación, b) la menor competencia permite que la densidad de plantas pueda ser mayor y c) la mayor cobertura de la superficie del suelo (consecuencia de la mejor distribución de las plantas y de la mayor densidad) permite una reducción en el crecimiento de las malezas y en la evaporación del agua desde el suelo.

Durante la década del 60 y 70, es cuando se llevan a cabo numerosas experiencias en el cultivo de maíz comparando diferentes distanciamientos entre hileras y su efecto sobre el rendimiento (Stivers y Laude, 1960; Pattersons *et al.*, 1963; Rossman y Cook, 1966; Stickler, 1964; Colville, 1966; Giesbrech, 1969; Lucas 1969; Nunez y Kamprath, 1969; Brown *et al.*, 1970; Hunter *et al.*, 1970; Lutz *et al.*, 1971; Rumawas, *et al.*, 1971; Stiver *et al.*, 1971 Scarsbrook y Doss 1973). Los resultados obtenidos en dichas experiencias muestran situaciones en donde la

reducción de la distancia entre hileras produce un gran efecto sobre el rendimiento y situaciones en las cuales los incrementos en rendimiento son pequeños o nulos.

En la actualidad la distancia entre hileras comúnmente utilizada es de 76 cm en EEUU y de 70 cm en nuestro país, aunque se han realizado algunos estudios para evaluar el comportamiento del cultivo de maíz con distancias entre hileras a 52 cm o 38 cm (Bullock *et al.*, 1988; Ottman y Welch 1989; Porter *et al.*, 1997; Westgate *et al.*, 1997). El incremento en el rendimiento en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras de cultivos de maíz bajo labranza convencional y sin limitaciones de nutrientes han sido bajos (inferiores al 10%) (Bullock *et al.*, 1988; Ottman y Welch 1989; Nafziger, 1997; Porter *et al.*, 1997; Westgate *et al.*, 1997) e inclusive inconsistentes (Nielsen, 1996). La mayor respuesta al acercamiento a la distancia entre hileras, han sido encontradas en el norte del Cinturón Maicero Americano (Nielsen, 1996).

Olson y Sander, (1988) concluyen que las amplias diferencias reportadas por varios investigadores para los resultados de experimentos realizados con diferente distancia entre hileras, son usualmente debidas a las diferentes condiciones de crecimiento, potencial de rendimiento, e interacciones con otros factores de manejo. Andrade *et al.* (2002) determinaron que el cultivo de maíz sin importantes limitaciones hídricas ni de N, en donde no alcanza a interceptar el 95% de la radiación incidente en floración, la reducción de la distancia entre hileras incrementa el rendimiento del cultivo debido al aumento en la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAint.) durante el período crítico de determinación del rendimiento (PC= 15 días antes a 15 días después de floración). Maddonni *et al.* (2006) trabajando con cultivos de maíz sin deficiencias de N, determinaron que no existirían ventajas en rendimiento por reducir la distancia entre hileras debido a una

disminución en la eficiencia de uso de la radiación, dado que la reducción de la distancia entre hileras afecta calidad de la luz a través de la relación rojo/rojo-lejano luego de la floración. No obstante, Barbieri *et al.*, 2000 informaron que una mejor distribución de las plantas sobre el terreno en situaciones de estrés nitrogenado, produce incrementos en la RFAint, contrarrestando el efecto negativo que produce la deficiencia de dicho nutriente sobre la intercepción de la radiación. La mayor RFAint fue debida por un incremento en el coeficiente de extinción coincidiendo por lo reportado por Flenet *et al.*, (1996), ya que el IAF no fue afectado por la disminución de la distancia entre hileras durante el PC. Por otra parte, Sharratt y Williams (2005) sugieren que las ventajas en rendimiento para el cultivo de maíz con distanciamiento reducido, serían debidas a la mejora en la distribución de las raíces que permitiría una mayor exploración del recurso suelo. En tal sentido, Ma *et al.* (2003) hipotetizaron que los mayores rendimientos con distancia entre hileras reducidas podría ser consecuencia de un cambio en la relación raíz parte aérea. Por lo tanto, sería factible suponer que cultivos de maíz creciendo con menor distancia entre hileras tendrían una mayor partición de materia seca hacia las raíces y podrían ser más eficientes en la absorción de nutrientes.

En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, se ha realizado la introducción de materiales de ciclo corto e intermedio, que se adaptan a la estación de crecimiento y al período libre de heladas de alrededor de 150 días (Andrade, 1995). A su vez, la utilización de labranzas conservacionistas, principalmente la siembra directa (SD), ha permitido estabilizar los rendimientos del cultivo de maíz, debido a la mejora en la oferta hídrica para el cultivo dado que la SD reduce la evaporación e incrementa la infiltración, produciendo en consecuencia, una mayor disponibilidad de agua en el suelo al momento de la floración (Rizzali, 1998). En dicha región, el

rendimiento promedio se ubica en los 7.000 kg ha<sup>-1</sup> los máximos rendimientos en campos de productores rondan los 9.000 kg ha<sup>-1</sup> mientras que los rendimientos potenciales determinados en ensayos experimentales los 15.000 kg ha<sup>-1</sup> (Andrade, 1995). Si bien son numerosos los factores responsables de esta brecha productiva, la inadecuada nutrición del cultivo y particularmente de N, es uno de los relevantes.

La fertilización nitrogenada, como así también la eficiencia de uso de este insumo, es una práctica de manejo necesaria para la realización de una agricultura sustentable, no obstante, en la actualidad las retenciones que sufren las exportaciones de cereales junto con el aumento en el precio del fertilizante nitrogenado ha provocado que la relación insumo/producto se incremente significativamente (SAGPyA, 2006, Maíz, informe general. [www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar)). Por lo tanto, existe la necesidad de evaluar el efecto de la reducción de la distancia entre hileras en el cultivo de maíz bajo SD, dado que dicha práctica de manejo permitiría incrementar la absorción de N por el cultivo, contribuyendo a la mejora en la EUN.

El correcto diagnóstico y monitoreo del estado nutricional permitirá realizar un uso eficiente del N, tanto el aplicado por fertilización como aquel proveniente de la mineralización desde la materia orgánica. Los métodos de diagnóstico de requerimiento de N, basados en el análisis de suelo y de planta, han sido desarrollados en cultivos sembrados con distancia entre hileras convencional (70 cm). Dado que la reducción de la distancia entre hileras incrementa el rendimiento del cultivo de maíz (Barbieri *et al.*, 2000; Andrade *et al.*, 2002) y además mejoraría la EUN, los umbrales de respuesta a la aplicación de N utilizados para cultivos con distancia entre hileras reducidas serían diferentes respecto de cultivos con distancia

entre hileras convencional. Por lo tanto, sería necesario confirmar o adecuar los umbrales de respuesta para cultivos sembrados con menor distancia entre hileras.

La posible mejora en la EUN del cultivo de maíz irrigado bajo SD por efecto de la reducción de la distancia entre hileras presentaría sustanciales ventajas en el manejo de dicho nutriente. Si bien los resultados obtenidos en condiciones de suministro hídrico no limitante, aportarían resultados originales, la transferencia de los mismos a los sistemas productivos es limitada, debido a que la aplicación de riego suplementario al cultivo de maíz no es una práctica de manejo ampliamente difundida para la zona (Suero et al., 2001). Por lo tanto, existe la necesidad de evaluar el impacto que la reducción de la distancia entre hileras produciría sobre la EUN en el cultivo de maíz bajo SD en condiciones de secano.

En resumen, la SD es una práctica de manejo del suelo en creciente expansión en el sudeste bonaerense, y por lo tanto, existe la necesidad de evaluar prácticas de manejo que permitan maximizar la EUN, minimizando de esta manera el riesgo ambiental. Considerado que el N es uno de los principales limitantes de la producción, la información obtenida aportará conocimientos originales, siendo la misma extrapolable a la mayoría de los sistemas productivos existentes en la región.

El objetivo general de esta tesis es evaluar si el cambio en la distribución de las plantas en la superficie produce mejoras en la EUN del cultivo de maíz bajo SD. Con el propósito de organizar los resultados obtenidos en este trabajo, la información será presentada en tres capítulos, además se finalizará con un resumen y consideraciones finales.

- En el Capítulo I será determinar la acumulación de materia seca, de N, el rendimiento del cultivo y la EUN para condiciones de disponibilidad hídrica no limitante.



- En el Capítulo II se evaluará la disponibilidad de N para el cultivo de maíz irrigado a través de la utilización de indicadores de suelo y de planta.
- En el Capítulo III se evaluará la acumulación de materia seca, de N, el rendimiento del cultivo, y la EUN para condiciones bajo riego y seco.

**CAPITULO I**

**EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO DEL CULTIVO DE MAÍZ IRRIGADO BAJO**

**SIEMBRA DIRECTA**

**INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial, la eficiencia de uso de N (EUN) para cereales es de alrededor de 33%, mientras que el restante 66% corresponde a la fracción N no recuperado (Raun y Johnson, 1999), por lo tanto, existe un importante margen para mejorar en la EUN. Es ampliamente documentado que la EUN decrece con el incremento de la disponibilidad de N, este comportamiento sería debido a que las plantas no pueden absorber o utilizar el N cuando su disponibilidad es elevada o a que las pérdidas de N exceden la tasa de absorción de dicho nutriente (Fageria y Baligar, 2005). En Argentina, el uso de fertilizantes nitrogenados se ha incrementado sustancialmente durante los últimos años, siendo la urea la principal fuente de N utilizada (SGPyA, 2007, Panorama y uso de fertilizantes [www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar)). Este incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados, también fue acompañado con un aumento en la utilización de sistemas de labranzas conservacionistas tales como la siembra directa (SD), que han reemplazado en gran proporción a los sistemas de labranzas de tipo convencional (AAPRESID, 2003).

La presencia de residuos sobre la superficie y la falta de disturbios en el suelo bajo SD producen una serie de cambios físicos, químicos y biológicos en el ambiente edáfico (Doran, 1980a) que ocasionan que la disponibilidad de N mineral sea menor (Lamb *et al.*, 1985). Por lo tanto, se deben utilizar mayores dosis de fertilizantes nitrogenados para obtener rendimientos similares a los observados en labranza de tipo convencional (Falótico, *et al.*, 1999; Domínguez *et al.*, 2001). En general, en los sistemas bajo SD, las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados son

frecuentemente realizadas en superficie. Como consecuencia de esto, el N aplicado es susceptible a perderse del sistema a través de diferentes mecanismos (Thomas *et al.*, 1973; Aulakh *et al.*, 1984 a ; Aulakh *et al.*, 1984 b; Kitur *et al.*, 1984; Linn y Doran, 1984; Keller y Mengel, 1986; Fox y Piekielek, 1993; Saínz Rozas *et al.*, 1999; Sainz Rozas *et al.*, 2001), afectando la recuperación de dicho nutriente por el cultivo y por ende la EUN. No obstante, se han desarrollado una serie de prácticas de manejo que permiten disminuir la intensidad de los procesos de pérdida de N desde el suelo, tales como la elección del sistema de irrigación, adecuación del momento de fertilización, el uso de inhibidores de la actividad ureásica y de la nitrificación, fuente de N, etc (Fox *et al.*, 1986; Wells *et al.*, 1992; Fox y Pikelek, 1993; Sainz Rozas *et al.*, 1999; Sainz Rozas *et al.*, 2001).

Debido a la importancia que posee el N en el cultivo de maíz bajo SD, la utilización de prácticas de manejo de cultivo que permitan mejorar la EUN, produciría un gran impacto en los sistemas productivos debido al elevado peso de este insumo en el costo de producción. Además, considerando las múltiples vías de escape de este nutriente al ambiente y las consecuencias que esto ocasiona, dichas prácticas tendrían implicancias sobre la sostenibilidad y la calidad del recurso suelo. Por lo tanto, el desarrollo de sistemas de labranzas más efectivos en el uso del N es de vital importancia a fin de reducir los costos en fertilizante y minimizar la contaminación ambiental (Huggins y Pann, 1993).

Olson y Sander (1988) han propuesto que la reducción de la distancia entre hileras podrían incrementar los rendimientos del cultivo de maíz como consecuencia del aumento en la cantidad de energía disponible para la fotosíntesis, dado que el crecimiento del cultivo de maíz depende de la radiación solar incidente y de la eficiencia con la que el cultivo intercepta y transforma dicha radiación en materia

seca (Andrade *et al.*, 1996). Sin embargo, solo se ha determinado respuesta en rendimiento por efecto de la reducción de la distancia entre hileras cuando el cultivo no alcanzó a interceptar el 95% de la radiación incidente en floración (Andrade *et al.*, 2002). Por lo tanto, en situaciones de estrés de N durante el crecimiento vegetativo del cultivo (frecuentes en SD), la reducción de la distancia entre hileras incrementa la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFA<sub>int</sub>) y en consecuencia el rendimiento del cultivo (Barbieri *et al.*, 2000). Similar comportamiento sería de esperar para siembras de ciclo corto o con hojas erectas en cultivos que han sufrido defoliaciones durante las etapas iniciales del ciclo.

Barber y Olson, (1968) (citados por Olson y Sander, 1988) hipotetizaron que los incrementos en rendimiento producidos por la reducción de la distancia entre hileras podrían incrementar los requerimientos de N del cultivo. Sin embargo, Rosolem *et. al* (1993) y Cox and Cherney (2001) reportaron que la reducción de la distancia entre hileras produjo incrementos en el N acumulado por el cultivo. La mayor acumulación de N produciría incrementos en el índice de área foliar y en consecuencia en la RFA<sub>int</sub> y el rendimiento en grano (Uhart y Andrade, 1995b). Para similar disponibilidad de N, la mayor acumulación de N por el cultivo de maíz con distanciamiento reducido, estaría indicando un incremento en la eficiencia de recuperación (ER) del N disponible.

La reducción de la distancia entre hileras en el cultivo de maíz produce incrementos en la materia seca acumulada durante los estadíos iniciales del ciclo del cultivo, esta ventaja es atribuida a la disminución de la competencia entre plantas (Bullock *et al.*, 1988). Por otra parte, Ma *et al.* (2003) proponen que plantas de maíz creciendo con distancia entre hileras reducidas podían asignar más asimilados hacia las raíces, de esta manera serían mas eficientes en la absorción de nutrientes.

Sharratt and McWilliams (2005) reportan que la densidad de raíces en el entresurco fue mayor para el cultivo de maíz con distancia entre hileras reducidas respecto de siembras a 70 cm. Cambios en la distribución de las raíces por efecto del distanciamiento entre hileras también han sido reportados para el cultivo de soja por Scheiner et al. (2000). Por lo tanto, estos factores podrían incrementar la absorción de N durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo (mayor ER), reducir las pérdidas de N, e incrementar en consecuencia la EUN, dado que existen evidencias en donde la absorción de agua y nutrientes por las plantas es influenciada en gran medida por el desarrollo y la morfología del sistema radicular (Eghball et al., 1993).

La reducción de la distancia entre hileras produce incrementos en la acumulación de MS debido al aumento en la cantidad de energía disponible para la fotosíntesis y, a su vez, permitiría una mayor absorción de N por el cultivo. En base a esto, no se esperarían cambios importantes en la producción de materia seca (MS) por unidad de N absorbido (eficiencia fisiológica = EF), dado que ambas variables serían incrementadas con hileras más estrechas. Por lo tanto, la reducción de la distancia entre hileras no provocaría cambios importantes en la relación C/N de la planta. En función de lo expresado, la ER sería el principal mecanismo que explicaría los incrementos en la EUN en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras. Debido a que la reducción de la distancia entre hileras en el cultivo de maíz bajo SD afectaría la EUN, a través del incremento en la ER, sería necesario evaluar el efecto de dicha práctica de manejo ante diferente disponibilidad de N.

En el sudeste bonaerense, la aplicación de N al cultivo de maíz bajo SD es una práctica de manejo que frecuentemente es realizada al momento de la siembra. Sin embargo, se ha determinado que la EUN para el cultivo de maíz irrigado bajo SD es afectada por el momento de aplicación del N (Sainz Rozas et al., 1999). La EUN

se reduce cuando el fertilizante nitrogenado se aplica a la siembra, dado que durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo de maíz (siembra-V6) la precipitación supera generalmente la demanda de agua por el cultivo (Della Magiora, 2000), esto genera condiciones predisponentes para que se produzcan pérdidas de N del sistema. Se ha reportado menor acumulación de N por el cultivo de maíz bajo SD respecto de aquellos bajo labranza convencional (Meisinger et al., 1985; Domínguez et al., 2001, Echeverría y Sainz Rozas, 2001), comportamiento que sería atribuido a una menor oferta de N y a la mayor intensidad de los mecanismos de pérdida de dicho nutriente para el cultivo (lavado, desnitrificación y/o inmovilización de N en formas orgánicas). En el sudeste bonaerense, las pérdidas de N por desnitrificación para el cultivo de maíz bajo SD con aplicaciones de N a la siembra varían entre 4 y 9 kg de N ha<sup>-1</sup> (Sainz Rozas et al., 2001), mientras que las pérdidas aparentes de N por lavado varían entre 55 y 86 kg de N ha<sup>-1</sup>. Ambos mecanismos de pérdida ocurrirían principalmente durante el período comprendido entre siembra y V6 (Sainz Rozas et al., 2004). Por lo tanto, es posible hipotetizar que la intensidad de dichos procesos de pérdidas podrían ser de menor magnitud para cultivos de maíz bajo SD con distancia entre hileras reducidas, debido a que el N estaría menos expuesto a los mecanismos de pérdida del sistema, como consecuencia de la mayor captación de dicho nutriente por el cultivo.

Dado que no existen antecedentes sobre la mejora en la EUN y sus componentes (EF y ER) para el cultivo de maíz irrigado bajo SD por efecto de la reducción de la distancia entre hileras, el estudio y la cuantificación de las variaciones en la EUN aportarían información original y relevante para el manejo racional de este nutriente.

En base a lo expuesto, se hipotetiza que:

- La reducción de la distancia entre hileras incrementa la EUN, respecto de cultivos sembrados con distancia entre hileras convencional.
- La EF no es afectada por el distanciamiento entre hileras.
- La mayor EUN es consecuencia de una mayor ER del N disponible
- Los incrementos en la ER del N disponible en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas son explicados por la mayor absorción de N durante estadíos iniciales del ciclo del cultivo.

El objetivo de este Capítulo fue determinar si la reducción de la distancia entre hileras del cultivo de maíz irrigado bajo SD produce cambios en la EUN ante diferente disponibilidad de dicho nutriente. Además, identificar y cuantificar cual es el principal componente de la EUN, es decir la EF o la ER, que es afectada por el cambio en la distribución de las plantas sobre el terreno.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Balcarce (37° 45' S; 58° 18' W, 130 m sobre el nivel del mar, 870 mm de precipitación media anual, y 13,7° C de temperatura media anual), durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01 sobre un monocultivo de maíz bajo SD desde el año 1994. El suelo del sitio experimental fue un complejo formado por un Argiudol Típico (serie Mar del Plata) y un Paleudol Petrocálcico (serie Balcarce), con predominio del primer suelo dentro del complejo (90%), cuyas características se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Algunas características del suelo a la siembra de los ensayos**

Estación de crecimiento	P§ (0-20 cm) ppm	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0-60 cm) kg ha <sup>-1</sup>	pH	CO† (0-20 cm) g kg <sup>-1</sup>
1996/97	21,4	32	5,8	32.0
1999/00	17,2	54	6,0	32.1
2000/01	36,9	31	6,4	32.1

† CO= carbono orgánico

§ P= Contenido de P Bray y Kurtz I

En todos los años, la cobertura del suelo por los residuos al momento de la siembra fue superior al 80%. Se utilizaron dos híbridos simples: Dekalb 639 en las dos primeras estaciones de crecimiento y Dekalb 615 en la última. El maíz fue sembrado el 20, 10 y 19 de octubre en las campañas 1996/97, 1999/00 y 2000/01, respectivamente. Las unidades experimentales fueron de siete surcos de ancho por 14 m de longitud. Las malezas e insectos fueron controlados adecuadamente mediante la utilización de dosis y productos recomendados habitualmente. A pesar del contenido de P relativamente alto de este suelo, en los tres años se aplicó superfosfato triple de calcio a razón de 22, 25 y 34 kg ha<sup>-1</sup> de P al momento de la siembra del cultivo, para que dicho nutriente no limitara el crecimiento.



En la estación de crecimiento 1996/97, el diseño experimental utilizado fue en parcelas divididas en bloques completos aleatorizados, dónde la parcela principal fue el arreglo espacial, (70 y 35 cm entre hileras) y la sub-parcela la dosis de fertilizante (0 y 140 kg N ha<sup>-1</sup>) en forma de urea aplicada a mano y en cobertura total al estadio vegetativo de seis hojas (V6) (Ritchie y Hanway, 1982). Para las estaciones de crecimiento 1999/00 y 2000/01, el diseño experimental utilizado fue parcelas divididas en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, siendo la parcela principal la dosis de fertilizante (0, 90 y 180 kg N ha<sup>-1</sup>) en forma de urea aplicado a mano y en cobertura total al momento de la siembra del cultivo y la sub-parcela el arreglo espacial (70, 52 y 35 cm entre hileras). La densidad de plantas logradas fue constante para todos los tratamientos (76.500 plantas ha<sup>-1</sup> en 1996/97; 75.470 plantas ha<sup>-1</sup> en 1999/00 y 79.352 plantas ha<sup>-1</sup> en 2000/01).

Se regó el cultivo a partir de 15 días antes de la floración, cuando el contenido de agua del suelo alcanzaba el 50% del agua disponible para el cultivo (Tabla 2), la cual resultó de la diferencia entre el porcentaje de humedad gravimétrica (% en peso) a capacidad de campo (32%) y el porcentaje de humedad en el punto de marchitez permanente (9%). Dicha diferencia fue tomada en lámina de agua (mm) empleando el valor de densidad aparente de cada horizonte. En ningún momento del ciclo ocurrieron déficit hídricos importantes, por lo que la disponibilidad hídrica no limitó el crecimiento del cultivo en ninguna de las campañas evaluadas (Figura 1). La variación interanual en la temperatura media del aire y en la radiación incidente entre los distintos meses no fue de gran magnitud (Tabla 2) y los valores registrados son similares al promedio histórico determinado para la zona.

**Tabla 2. Precipitaciones, riego, temperatura media del aire y radiación fotosintéticamente activa incidente mensual en las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01.**

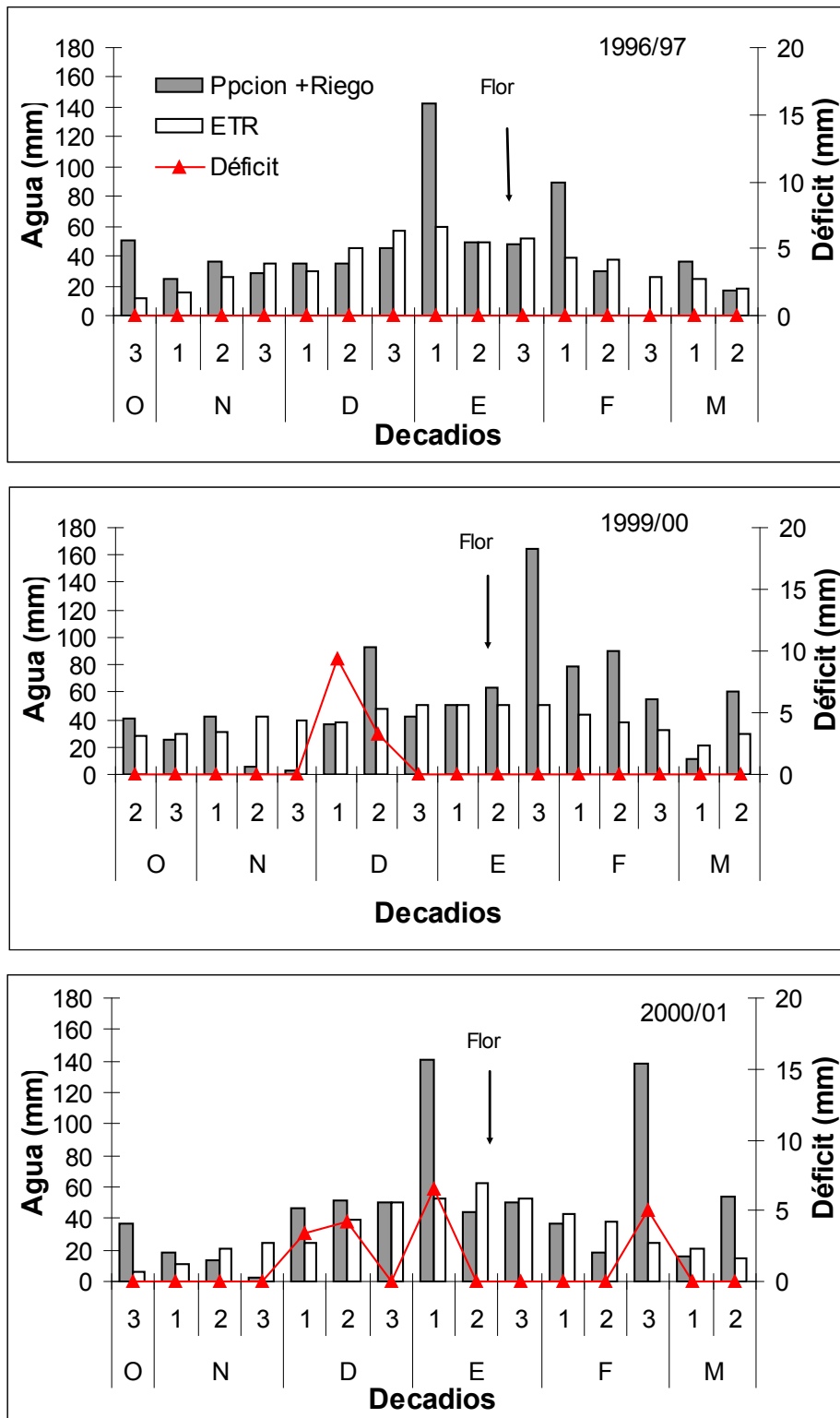
Mes	1996/97				1999/00				2000/01			
	P†	R‡	T§	RI¶	P†	R‡	T§	RI¶	P†	R‡	T§	RI¶
	-----mm-----		°C	MJ m <sup>-2</sup>	-----mm-----		°C	MJ m <sup>-2</sup>	-----mm-----		°C	MJ m <sup>-2</sup>
Octubre	176		14,2	10,4	66		13,8	7,2	97		12,5	8,3
Noviembre	89		17,0	10,6	50		16,6	10,6	35		15,0	10,4
Diciembre	116		19,0	11,0	66	106	20,1	11,2	83	66	18,6	13,0
Enero	100	139	22,3	11,7	122	156	22,7	11,8	119	116	21,9	11,3
Febrero	119		18,6	10,6	225		20,7	9,9	119	74	21,0	11,2
Marzo	153		18,0	7,9	164		17,5	8,2	106		18,7	7,0
Total	792			62,2	955			58,9	815			61,2

†P= Precipitaciones

‡R= Riego

§T= Temperatura media del aire

¶RI= Radiación fotosintéticamente activa Incidente



**Figura 1.** Balance de agua del cultivo de maíz bajo riego en SD para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01. La línea representa los momentos durante el ciclo del cultivo en donde se produjeron deficiencias hídricas. La flecha indica el momento de floración.

La disponibilidad de N mineral en el suelo se determinó al comienzo de cada estación de crecimiento para ello se tomaron ocho submuestras de los primeros 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm de cada unidad experimental. Las muestras con su contenido de humedad de campo fueron tamizadas por 4,8 mm y mantenidas a 4°C hasta su análisis. El contenido de humedad se determinó gravimétricamente, secando el suelo en estufa a 105°C hasta peso constante. Para la determinación de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, se realizó una extracción con K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M en una relación suelo:solución extractora 1:4. El contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> fue cuantificado mediante el método de microdestilación por arrastre de vapor y posterior titulación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 N (Bremner y Keeney, 1966).

La fracción de RFAint por el cultivo se determinó en el estadio V6, 15 días antes de la floración, en floración y 15 días después de la floración al mediodía en días sin nubosidad, siguiendo la técnica descrita por Gallo y Daughtry (1986). Este porcentaje fue calculado como  $[1-(I_t/I_0)] \times 100$ , donde  $I_t$  es la radiación incidente sobre la superficie del suelo (registrada por encima de la última hoja senescida) y  $I_0$  es la radiación incidente en la parte superior de la canopia del cultivo. Los valores de  $I_t$  y  $I_0$  fueron registrados con un radiómetro LI-COR 188 B conectado a un sensor cuántico LI-COR 191 B. La RFAint entre dos mediciones fue calculada por interpolación lineal. La radiación diaria total fotosintéticamente activa incidente fue multiplicada por la correspondiente fracción RFAint diaria y acumulada para obtener la radiación interceptada acumulada entre dos períodos (RFAac). Además se determinó el índice de área foliar (IAF) en prefloración, utilizándose para ello un medidor de área AAC 400 (Hayashi Denfoh Co Ltd, Japan).

La materia seca (MS) acumulada se determinó en los estadios fenológicos de V6, prefloración, posfloración y madurez fisiológica cortándose a nivel del suelo 10

plantas de los tres surcos centrales. Las muestras fueron secadas a 60 °C en una cámara de aire forzado hasta obtener un peso constante, pesadas y molidas hasta pasar por un tamiz de 1mm de malla.

El N orgánico reducido acumulado por el cultivo, se determinó siguiendo la metodología propuesta por Nelson y Sommer (1973) (sin ácido salicílico) sobre las muestras de plantas obtenidas desde distintos tratamientos y para los diferentes momentos en todas las estaciones de crecimiento. La acumulación de N en biomasa aérea fue calculada multiplicando la concentración de N por la MS acumulada en cada muestreo. Para la determinación del rendimiento se cosecharon tres surcos de 7,15 m de largo de cada unidad experimental, ajustándose el mismo al 14% de humedad.

La EUN expresada en MS o grano, ( $\text{kg de MS kg de N disponible}^{-1}$  o  $\text{kg de grano kg de N disponible}^{-1}$ ) se calculó como el producto de sus componentes: la EF ( $\text{kg MS kg de N absorbido}^{-1}$  o  $\text{kg grano kg de N absorbido}^{-1}$ ) y la ER ( $\text{kg de N absorbido kg N disponible}^{-1}$ ). El N disponible para el cultivo en cada estación de crecimiento fue el resultado de la suma del N mineral a la siembra, el aportado por mineralización y el agregado como fertilizante. En el estadio fenológico de seis hojas (V6) se calculó la ER ( $\text{kg de N absorbido kg N disponible}^{-1}$ ), el N disponible para el cultivo resultó de la suma del N mineral a la siembra, el aportado por mineralización hasta V6 y el agregado como fertilizante. Es poco probable que el cambio en la distribución de plantas en el terreno afecte la mineralización del N ya que las condiciones que afectan el proceso de mineralización (básicamente humedad y temperatura) serían similares para ambos tratamientos. Por lo tanto, suponiendo que la distancia entre hileras no afecta la mineralización de N desde la fracción orgánica del suelo, el N aportado por mineralización fue estimado mediante el

modelo propuesto por Echeverría et al. (1994). El modelo integra el N potencialmente mineralizable ( $N_0$ ), la constante de mineralización de N, las temperaturas del suelo durante el ciclo del cultivo y los contenidos de humedad del suelo en los primeros 20 cm de profundidad. El  $N_0$  es determinado por incubaciones anaeróbicas de muestras de suelo por 7 días (Echeverría et al., 2000). Las temperaturas del suelo a 5 cm de profundidad fueron estimadas a partir de las temperaturas del aire por medio de la siguiente ecuación:

$$Y = -1,13 + 1,23 X \text{ (Navarro Dumoivich, comunicación personal).}$$

En donde Y= temperatura del suelo estimada a 5 cm y X= temperatura media del aire.

En todos los años, el contenido de humedad del suelo se determinó en forma gravimétrica durante la estación de crecimiento del cultivo. Los valores de mineralización estimados por el modelo fueron 91, 100 y 96 kg de N ha<sup>-1</sup>, para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, respectivamente.

El N no recuperado por el cultivo (kg ha<sup>-1</sup>) fue determinado mediante la diferencia entre el N disponible para el cultivo (N mineral a la siembra, el aportado por mineralización y el agregado como fertilizante) y el N acumulado por el cultivo en madurez fisiológica (Meisinger, 1984). Dicho valor expresado en porcentaje se calculó como el cociente entre el N no recuperado y el N disponible en la estación de crecimiento multiplicado por 100.

Los efectos de los tratamientos fueron evaluados por análisis de la varianza mediante la utilización de Statistical Analysis System (SAS) (SAS Institute Inc., 1985.) El test de Tukey fue realizado cuando el análisis de la varianza de los efectos principales o de su interacción fue significativo. Cuando la interacción entre los

factores de tratamiento fue significativa se realizo la comparación entre medias de tratamiento de distanciamientos entre hileras dentro de cada dosis de N.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Acumulación de materia seca

La aplicación de N produjo significativos incrementos en la acumulación de MS respecto a los tratamientos sin N en la mayoría de los estadios fenológicos analizados (Tabla 3). La elevada respuesta al agregado de N, pone de manifiesto la escasa disponibilidad de dicho nutriente bajo SD (Domínguez et al., 2001; Echeverría y Sainz Rozas, 2001). La reducción de la distancia entre hileras produjo incrementos significativos en la MS acumulada solamente en los estadios fenológicos de prefloración en 1999/00 y 2000/01. En 1999/00, se detectó interacción entre dosis de N y distanciamiento entre hileras para el estadio fenológico de madurez fisiológica como consecuencia del mayor incremento en la MS acumulada en los tratamientos con menor distanciamiento entre hileras que no recibieron la aplicación de N (Tabla 3).

En promedio, los tratamientos con distancia entre hileras reducidas presentaron mayor MS acumulada en la mayoría de los estadios fenológicos (Tabla 3), y serían consecuencia de la mayor RFAint por el cultivo respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional (Fig. 2), estos resultados coinciden con los reportados por Bullock *et al.* (1988). Aunque la interacción entre dosis de N y distanciamiento entre hileras fue significativa solamente en la estación de crecimiento 1999/00, los incrementos relativos respecto de 70 cm en la MS acumulada hasta madurez fisiológica fueron mayores cuando menor fue la disponibilidad de N (Fig. 3). Estos resultados, indican que la reducción de la distancia entre hileras contrarresta parcialmente el efecto negativo de la deficiencia de N sobre la radiación interceptada por el cultivo (Barbieri et al., 2000). Incrementos en la MS acumulada en madurez fisiológica por efecto de la reducción de la

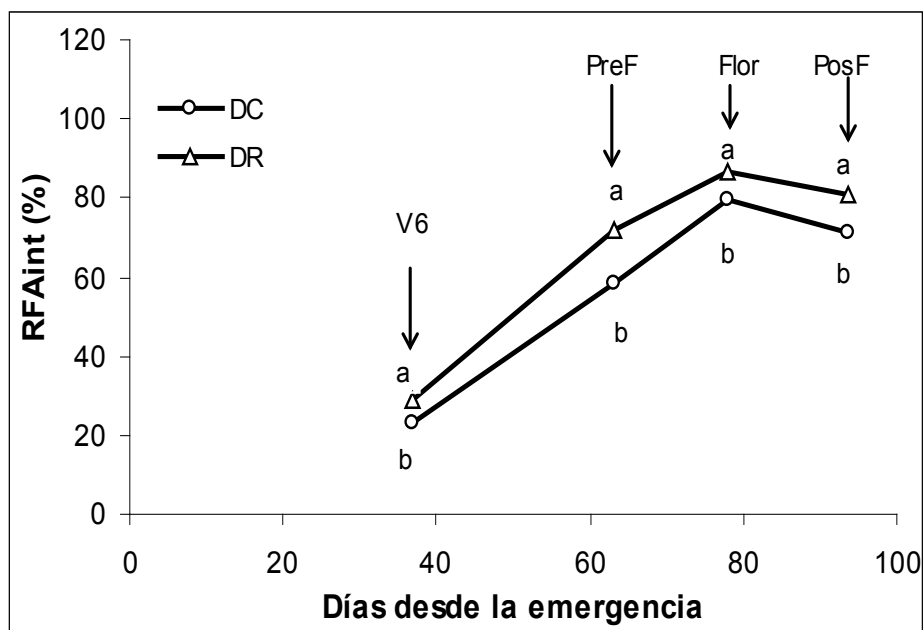


distancia entre hileras también fueron informados por Stivers et al. (1971), Scarbrook y Doss (1973), Bullock et al. (1988) y Cox et al. (1998).

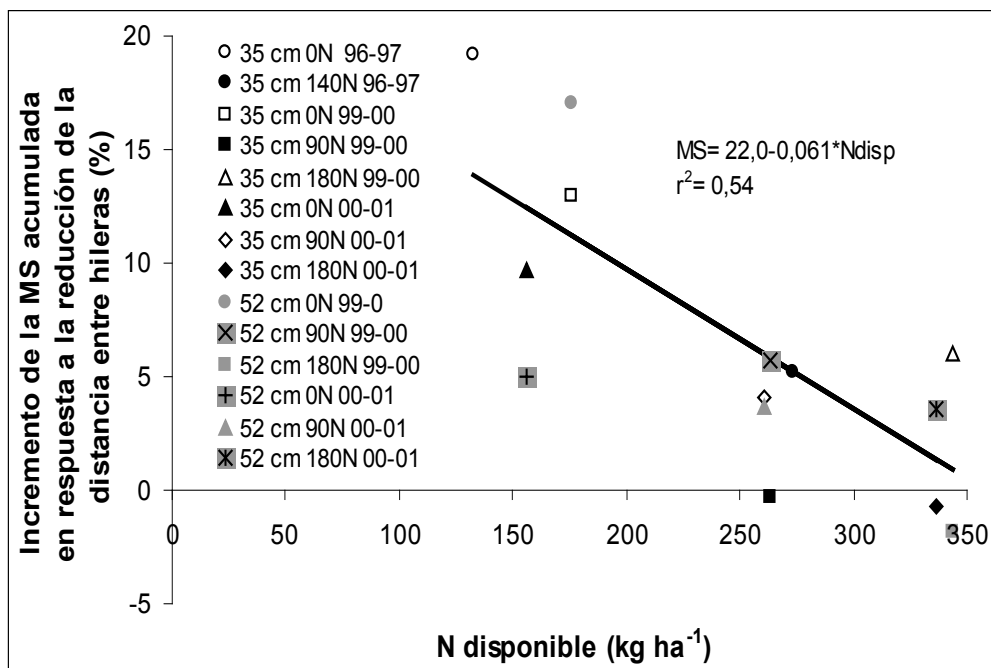
**Tabla 3. Materia seca acumulada por el cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N.**

		1996/97				1999/00				2000/01			
Tratamientos		Estadio fenológico											
		V6	Pref	Posf	MF	V6	Pref	Posf	MF	V6	Pref	Posf	MF
Dosis de N	Distancia	-----Kg ha <sup>-1</sup> -----											
180	70	-	-	-	-	775	5615	12513	19348 a	435	5173	12914	16646
	52	-	-	-	-	762	6156	12907	18861 a	459	5915	12671	17222
	35	-	-	-	-	737	5803	12834	19858 a	452	5372	13252	16475
140	70	-	4176	13773	20671	-	-	-	-	-	-	-	-
	35	-	4425	13866	22832	-	-	-	-	-	-	-	-
90	70	-	-	-	-	687	5277	12896	17152 a	408	5519	11373	15257
	52	-	-	-	-	681	5953	13005	17817 a	420	5773	12628	15827
	35	-	-	-	-	776	5813	12574	17305 a	403	5422	12384	15879
0	70	148	4025	12270	15593	483	3838	9020	12266 b	278	4471	10374	11058
	52	-	-	-	-	550	4927	10679	15478 a	385	4558	9607	11742
	35	319	3923	12085	17333	563	4200	9681	13761 a	391	4646	10878	12140
Prom. Dosis	180	-	-	-	-	752 a	5858 a	12751 a	19356	449 a	5487 a	12946 a	16780 a
	140	-	4300 a	13820a	21751 a	-	-	-	-	-	-	-	-
	90	-	-	-	-	715 a	5681 a	12825 a	17425	410 a	5571 a	12128 a	15654 b
	0	-	3974 a	12177 b	16637 b	532 b	4522 b	9683 b	13499	352 a	4558 b	10286 b	11647 c
Prom. Distancia	70	148 a	4100 a	13021 a	18640 a	648 a	4910 b	11476 a	16255	374 a	5054 b	11553 a	14321 a
	52	-	-	-	-	665 a	5678 a	12387 a	17493	421 a	5415 a	11635 a	14929 a
	35	319 a	4174 a	12975 a	20082 a	692 a	5272 ab	11696 a	16975	415 a	5147ab	12172 a	14832 a
Análisis de la Varianza													
N		-	ns	§	**	**	*	*	**	ns	*	**	**
D		ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns
N*D		-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)		35,4	10,7	8,6	1,4	10,3	9,2	5,6	4,1	11,9	5,3	5,6	5,3

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. V6, Pref, Posf y MF corresponden a los estadios fenológicos de seis hojas, prefloración (15 días antes), posfloración (15 días después) y madurez fisiológica, respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.



**Figura 2.** Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAint.) por el cultivo de maíz irrigado bajo SD (promedio de dosis de N para las 3 estaciones de crecimiento). V6= estadio vegetativo de seis hojas, PreF= 15 días antes de floración; Flor= floración, PosF 15 días después de floración. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo el test de Tukey ( $p < 0,05$ ). DC= distanciamiento convencional, DR= distanciamiento reducido.



**Figura 3. Incremento porcentual en la MS acumulada en madurez fisiológica por el maíz irrigado bajo SD, por distanciamientos entre hileras reducidas respecto de los tratamientos a 70 cm, ante disponibilidad de N variable (suelo+fertilizante+mineralizado).**

### Rendimiento del cultivo

La aplicación de N incrementó el rendimiento del cultivo y sus componentes (Tabla 4). La reducción de la distancia entre hileras incrementó significativamente el rendimiento en grano, dichos incrementos fueron principalmente consecuencia del aumento en el número de granos por metro cuadrado (Tabla 4). En 1999/00, se detectó interacción entre dosis de N y distancia entre hileras, dicho comportamiento fue debido al mayor incremento en rendimiento determinado en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sin la aplicación de N. Similar comportamiento fue observado para el número de granos. La reducción de la distancia entre hileras incrementó el peso de los granos solamente en la estación de crecimiento 1996/97 (Tabla 4).

Los incrementos relativos en rendimiento respecto de 70 cm debidos a la reducción de la distancia entre hileras fueron mayores cuando menor fue la disponibilidad de N para el cultivo (Fig. 4). Para los tratamientos fertilizados el

incremento en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras, promedio de las 3 estaciones de crecimiento fue de 2,3%, mientras que dicho valor para los tratamientos testigos fue de 17,7%. La respuesta en rendimiento determinada por efecto de la reducción de la distancia entre hileras sin la aplicación de N, son superiores a los informados por Stickler (1964), Hunter et al. (1970), Stivers et al. (1971), Scarsbrook y Doss (1973), Bullock et al. (1988), Nielsen (1988), Ottman y Welch (1989), Porter et al. (1997), Westgate et al. (1997), Cirilo (2000) y Widdicombe y Thelen (2002), Ma et al. (2003), quienes trabajaron con cultivos de maíz bajo labranza convencional y sin limitaciones de N.

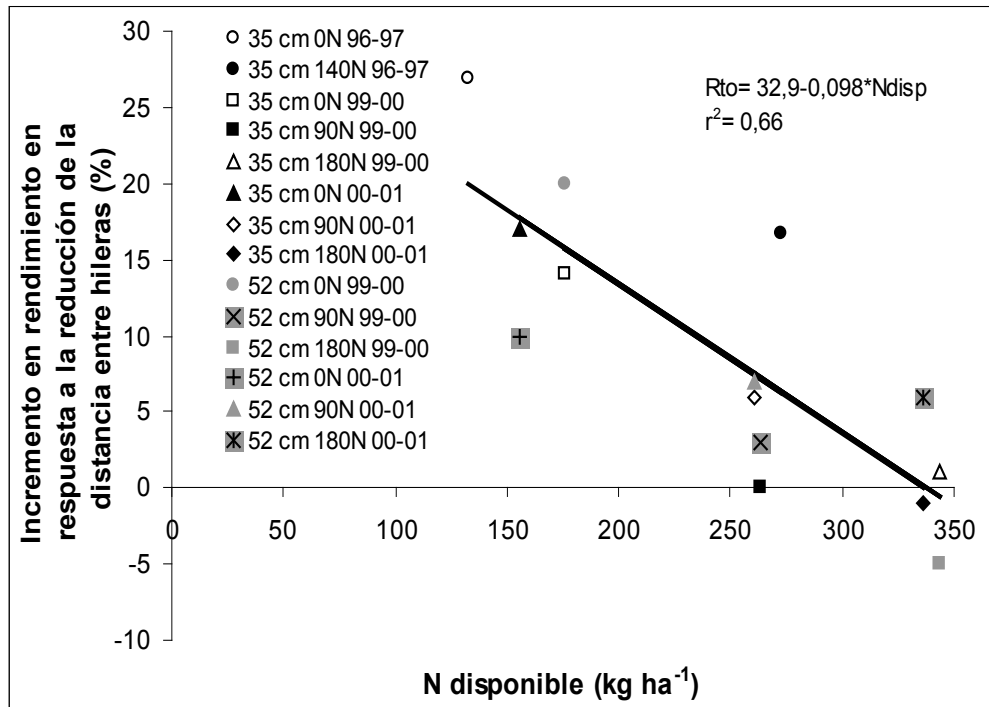


Figura 4. Incremento porcentual en el rendimiento del maíz irrigado bajo SD, por distanciamientos entre hileras reducidas respecto de los tratamientos a 70 cm, ante disponibilidad de N variable (suelo+fertilizante+mineralizado).

**Tabla 4. Rendimiento en grano y sus componentes del cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N.**

Tratamientos		1996/97			1999/00			2000/01		
		Rendimiento	Granos m <sup>-2</sup>	Peso de	Rendimiento	Granos m <sup>-2</sup>	Peso de	Rendimiento	Granos m <sup>-2</sup>	Peso de
		14 % H°		1000	14 % H°		1000	14 % H°		1000
Dosis de N	Distancia	Kg ha <sup>-1</sup>	n°	g	Kg ha <sup>-1</sup>	n°	G	Kg ha <sup>-1</sup>	n°	g
180	70	-	-	-	12086 a	3882 a	268	9608	4688	170
	52	-	-	-	11517 a	3791 a	261	10203	5344	165
	35	-	-	-	12211 a	3986 a	263	9535	4824	169
140	70	11130	3879	246	-	-	-	-	-	-
	35	12550	4115	262	-	-	-	-	-	-
90	70	-	-	-	10557 a	3629 ab	250	8412	4387	165
	52	-	-	-	10858 a	3864 a	242	9036	4887	160
	35	-	-	-	10519 a	3741 a	242	8897	4844	159
0	70	6980	2967	202	7241 b	2763 d	225	5883	3296	153
	52	-	-	-	8961 a	3209 bc	235	6481	3740	148
	35	8880	3476	220	8242 a	3249 c	218	6867	3697	159
Prom. Dosis	180	-	-	-	11938	3886	264 a	9782 a	4952 a	171 a
	140	11840 a	3997 a	254 a	-	-	-	-	-	-
	90	-	-	-	10645	3745	245 b	8782 b	4706 a	161 ab
	0	7930 b	3220 b	211 b	7971	3659	225 c	6410 c	3578 b	154 b
Prom. Distancia	70	9055 b	3423 b	224 b	9962	3425	248 a	7968 b	4124 b	165 a
	52	-	-	-	10556	3660	247 a	8573 a	4657 a	158 a
	35	10715 a	3795 a	241 a	10324	3659	241 a	8433 ab	4455 ab	163 a
Análisis de la Varianza										
N		**	**	**	**	**	*	**	**	§
D		§	*	§	ns	**	ns	§	§	ns
N*D		ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)		4,0	4,5	2,2	4,8	3,5	4,2	6.3	10,3	6,6

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.

### **Nitrógeno acumulado por el cultivo**

La aplicación de N incrementó la absorción de dicho nutriente por el cultivo (Tabla 5). En los estadíos fenológicos de prefloración en 1996/97 y V6 en 1999/00, se detectó interacción entre el agregado de N y el distanciamiento entre hileras, debido al mayor incremento determinado en el N absorbido por los tratamientos con distancia entre hileras reducida sin el agregado de N (Tabla 5). La reducción de la distancia entre hileras, produjo una mayor acumulación de N por el cultivo en la mayoría de los estadíos fenológicos (Tabla 5). Estos resultados estarían indicando una mayor capacidad de absorción y asimilación de N por el cultivo, dado que la disponibilidad de dicho nutriente fue la misma para todos los espaciamientos.

En el estadío fenológico de madurez fisiológica, y para todas las estaciones de crecimiento, el N acumulado por el cultivo fue superior en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, siendo dicha diferencia significativa en las estaciones de crecimiento 1996/97 y 2000/01 (Tabla 5). El incremento relativo en el N acumulado por el cultivo para los tratamientos con hileras reducidas, respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional, fueron mayores cuando menor fue la disponibilidad de N (Fig. 5). En promedio de las estaciones de crecimiento, los incrementos en el N acumulado fueron de 18% y 3% para los tratamientos testigos y fertilizados, respectivamente. La mayor acumulación de N en los tratamientos con hileras angostas, sería debido a una más rápida captura de N disponible para el cultivo, esto produciría un mayor crecimiento inicial del cultivo permitiendo que el N se encuentre menos expuesto a pérdidas. En tal sentido, existe una estrecha asociación entre la MS acumulada al estadío de V6 y el N acumulado por el cultivo (Fig. 6).



Rosolem *et al.* (1993) determinaron un significativo incremento en el N acumulado por el cultivo de sorgo sembrado con distancia entre hileras reducidas (52 vs 70 cm), similares resultados fueron informados por Cox *et al.*, (2001) quienes sugieren que el cultivo de maíz para silaje podría acumular más N a la cosecha, cuando el mismo se encuentra en hileras reducidas, respecto a la distancia convencional (38 vs 76 cm, respectivamente).

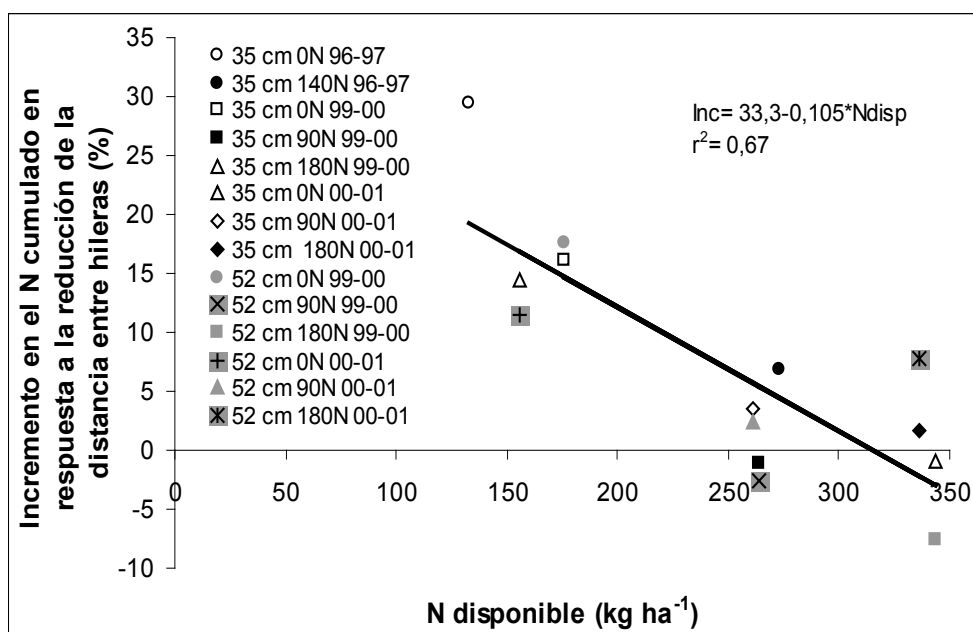


Figura 5. Incremento porcentual en el N acumulado por el maíz irrigado bajo SD, por distanciamientos entre hileras reducidas respecto de los tratamientos a 70 cm, ante disponibilidad de N variable (suelo+fertilizante+mineralizado).

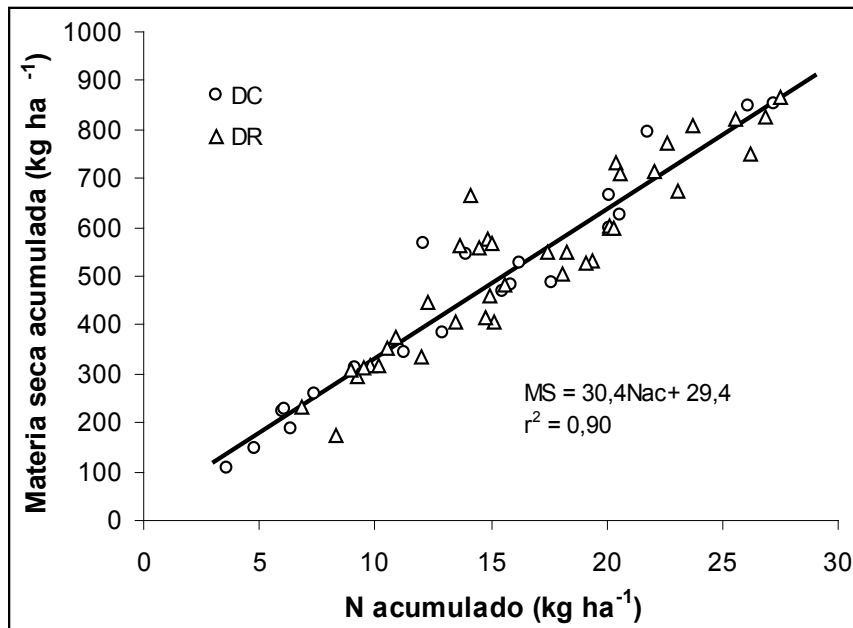


Figura 6. Materia seca acumulada en función del N absorbido al estadio vegetativo de seis hojas para los tratamientos con distanciamiento convencional (DC) y reducido (DR).

**Tabla 5. Nitrógeno reducido acumulado por el cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N.**

		1996/97				1999/00				2000/01			
Tratamientos		Estadio fenológico											
		V6	Pref	Posf	MF	V6	Pref	Posf	MF	V6	Pref	Posf	MF
Dosis de N	Distancia	-----kg ha <sup>-1</sup> -----											
180	70	-	-	-	-	25 a	91	139	174	14	81	117	122
	52	-	-	-	-	25 a	101	134	164	16	92	123	133
	35	-	-	-	-	24 a	99	145	172	15	86	116	124
140	70	-	92 a	199	170	-	-	-	-	-	-	-	-
	35	-	88 a	167	179	-	-	-	-	-	-	-	-
90	70	-	-	-	-	21 a	72	118	130	14	72	90	106
	52	-	-	-	-	20 a	71	106	129	14	89	93	109
	35	-	-	-	-	24 a	81	109	129	13	78	101	110
0	70	5	48 b	87	88	12 b	43	57	79	8	51	67	67
	52	-	-	-	-	14 a	55	63	99	12	62	73	76
	35	11	55 a	108	113	14 a	51	66	89	12	52	77	76
Prom. Dosis	180	-	-	-	-	24	97 a	140 a	170 a	15 a	86 a	118 a	126 a
	140	-	90	183 a	175 a	-	-	-	-	-	-	-	-
	90	-	-	-	-	22	74 b	111 b	129 b	14 a	79 b	95 b	108 b
	0	-	52	97 b	101 b	14	50 c	62 c	88 c	11 a	55 c	72 c	73 c
Prom. Distancia	70	5 b	70	143 a	129 b	19	69 b	105 a	128 a	12 b	68 b	91 a	98 b
	52	-	-	-	-	20	75 ab	106 a	134 a	14 a	81 a	95 a	106 a
	35	11 a	72	138 a	146 a	21	77 a	107 a	130 a	14 a	72 b	98 a	103 a
Análisis de la Varianza													
N		-	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**
D		*	ns	ns	§	ns	§	ns	ns	*	**	ns	§
N*D		-	§	ns	ns	§	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		12,7	5,5	20,4	5,1	7,6	9,8	10,5	9,0	11.1	7.3	10.9	6.5

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. V6, Pref, Posf y MF corresponden a los estadios fenológicos de seis hojas, prefloración (15 días antes), posfloración (15 días después) y madurez fisiológica, respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.

### **Eficiencia de uso de N en materia seca y grano**

La aplicación de N disminuyó la EUN expresada en MS o grano (Tilman *et al.*, 2002), mientras que la reducción de la distancia entre hileras produjo incrementos significativos en dicha variable (Tabla 6 y 7). La EUN expresada en MS o grano fue afectada significativamente por la interacción entre la distancia entre hileras y el agregado de N en las estaciones de crecimiento 1996/97 y 1999/01. Dicho comportamiento sería debido al mayor incremento determinado en la EUN para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sin la aplicación de N (Tabla 6 y 7). La mayor EUN, determinada en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas indica que para una misma disponibilidad de N, los tratamientos con distancia entre hileras reducidas produjeron más materia seca total o rendimiento, respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional. En promedio de las tres estaciones de crecimientos, los aumentos en la EUN por efecto de la reducción de la distancia entre hileras fueron de 12,3 y 12,7 cuando la misma fue expresada como kg de MS o grano por kg de N disponible, respectivamente. Los incrementos relativos en EUN en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras, respecto de 70 cm fueron de mayor magnitud cuando menor fue la disponibilidad de N para el cultivo (Fig. 7). Estos resultados indican que la reducción de la distancia entre hileras en el cultivo de maíz irrigado bajo SD permite un uso más eficiente del N, respecto a cultivos sembrados con distancia entre hileras convencional. Incrementos en la EUN fueron informados por Rosolem *et al.* (1993) para el cultivo de sorgo cuando fue sembrado con menor distancia entre hileras (50 vs 70 cm).

**Tabla 6. Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) en materia seca del cultivo de maíz irrigado bajo SD en madurez fisiológica durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N.**

Tratamientos		1996/97			1999/00			2000/01		
Dosis de N	Distancia	EF	ER	EUN	EF	ER	EUN	EF	ER	EUN
		$\frac{\text{kg MS}}{\text{kg N abs.}}$	$\frac{\text{N abs.}}{\text{N disp.}}$	$\frac{\text{kg MS}}{\text{kg N disp.}}$	$\frac{\text{kg MS}}{\text{kg N abs.}}$	$\frac{\text{N abs.}}{\text{N disp.}}$	$\frac{\text{kg MS}}{\text{kg N disp.}}$	$\frac{\text{kg MS}}{\text{kg N abs.}}$	$\frac{\text{kg N abs.}}{\text{kg N disp.}}$	$\frac{\text{kg MS}}{\text{kg N disp.}}$
180	70	-	-	-	109,6	0,50 a	55,6 a	136,7	0,36 a	49,6
	52	-	-	-	115,2	0,48 a	54,8 a	130,0	0,38 a	51,4
	35	-	-	-	118,1	0,50 a	58,9 a	133,5	0,37 a	49,1
140	70	123,5	0,61 a	75,6 a	-	-	-	-	-	-
	35	128,2	0,65 a	83,7 a	-	-	-	-	-	-
90	70	-	-	-	137,0	0,49 a	67,4 a	143,5	0,41 a	58,4
	52	-	-	-	149,2	0,48 a	71,5 a	146,0	0,42 a	60,7
	35	-	-	-	138,6	0,49 a	67,1 a	144,4	0,42 a	60,8
0	70	167,1	0,66 b	98,6 b	167,3	0,45 b	73,0 b	166,9	0,40 b	67,6
	52	-	-	-	159,0	0,58 a	90,8 a	154,0	0,50 a	76,6
	35	153,2	0,85 a	131,0 a	163,8	0,51 ab	82,5 a	160,4	0,49 a	78,0
Prom. Dosis	180	-	-	-	114,3 c	0,50	56,4	133,4 c	0,38	50,0 c
	140	125,8 b	0,63	79,6	-	-	-	-	-	-
	90	-	-	-	141,6 b	0,49	68,7	144,6 b	0,41	59,9 b
	0	160,2 a	0,75	114,8	163,9 a	0,50	80,8	160,4 a	0,46	74,1 a
Prom. Distancia	70	145,1 a	0,64	87,1	138,0 a	0,48	65,3	149,0 a	0,39	58,5 b
	52	-	-	-	138,9 a	0,50	69,9	143,3 a	0,44	62,9 a
	35	140,7 a	0,75	107,3	140,2 a	0,50	69,5	146,1 a	0,43	62,6 a
Análisis de la Varianza										
N		**	**	**	**	ns	**	**	ns	§
D		ns	*	§	ns	ns	**	ns	**	*
N*D		ns	*	*	ns	§	**	ns	§	ns
CV (%)		5,4	5,5	6,5	7,2	8,0	3,7	6,9	5,9	5,5

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. EA= eficiencia de uso de nitrógeno en materia seca; EF= eficiencia fisiológica en materia seca; ER= eficiencia de recuperación. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.

**Tabla 7. Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) en grano del cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N.**

Tratamientos		1996/97			1999/00			2000/01		
Dosis de N	Distancia	EF	ER	EUN	EF	ER	EUN	EF	ER	EUN
		<u>kg Gr.</u> kg N abs.	<u>kg N abs.</u> kg N disp.	<u>kg Gr.</u> kg N disp.	<u>k Gr.</u> kg N abs.	<u>kg N abs.</u> kg N disp.	<u>kg Gr.</u> kg N disp.	<u>kg Gr.</u> kg N abs.	<u>kg N abs.</u> kg N disp.	<u>kg Gr.</u> kg N disp.
180	70	-	-	-	77,1	0,39 a	30,3 a	95,4	0,26 b	24,6
	52	-	-	-	81,5	0,36 a	28,8 a	91,7	0,29 a	26,2
	35	-	-	-	80,5	0,38 a	30,6 a	92,8	0,26 a	24,4
140	70	86,3	0,39 a	32,2 a	-	-	-	-	-	-
	35	90,1	0,42 a	38,0 a	-	-	-	-	-	-
90	70	-	-	-	93,2	0,37 a	34,5 a	98,3	0,28 a	27,7
	52	-	-	-	101,1	0,35 a	35,5 a	97,9	0,30 a	29,8
	35	-	-	-	95,3	0,36 a	34,4 a	101,3	0,29 a	29,3
0	70	110,3	0,37 b	40,7 b	114,3	0,32 b	35,2 b	112,5	0,29 b	32,9
	52	-	-	-	105,4	0,42 a	43,8 a	104,5	0,35 a	36,5
	35	105,5	0,50 a	52,7 a	109,7	0,37 ab	40,1 a	110,0	0,35 a	38,5
Prom. Dosis	180	-	-	-	79,7 c	0,38	29,9	93,3 b	0,27	25,1 c
	140	88,2 b	0,40	35,1	-	-	-	-	-	-
	90	-	-	-	96,5 b	0,36	34,8	99,2 b	0,29	28,9 b
	0	107,9 a	0,44	46,7	109,8 a	0,35	39,1	109,1 a	0,33	35,9 a
Prom. Distancia	70	98,2 a	0,37	36,4	94,9 a	0,36	33,3	102,0 a	0,27	28,4 b
	52	-	-	-	96,0 a	0,37	35,0	98,1 a	0,31	30,8 a
	35	97,8 a	0,49	45,3	95,1 a	0,37	35,0	101,4 a	0,30	30,8 a
Análisis de la Varianza										
N		**	*	**	**	ns	*	**	ns	*
D		ns	*	*	ns	ns	**	ns	**	*
N*D		ns	*	*	ns	*	**	ns	§	ns
CV (%)		4,4	5,4	4,7	8,1	9,5	3,8	6,5	5,9	7,1

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. EA= eficiencia de uso de nitrógeno en grano; EF= eficiencia fisiológica en grano; ER= eficiencia de recuperación. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.

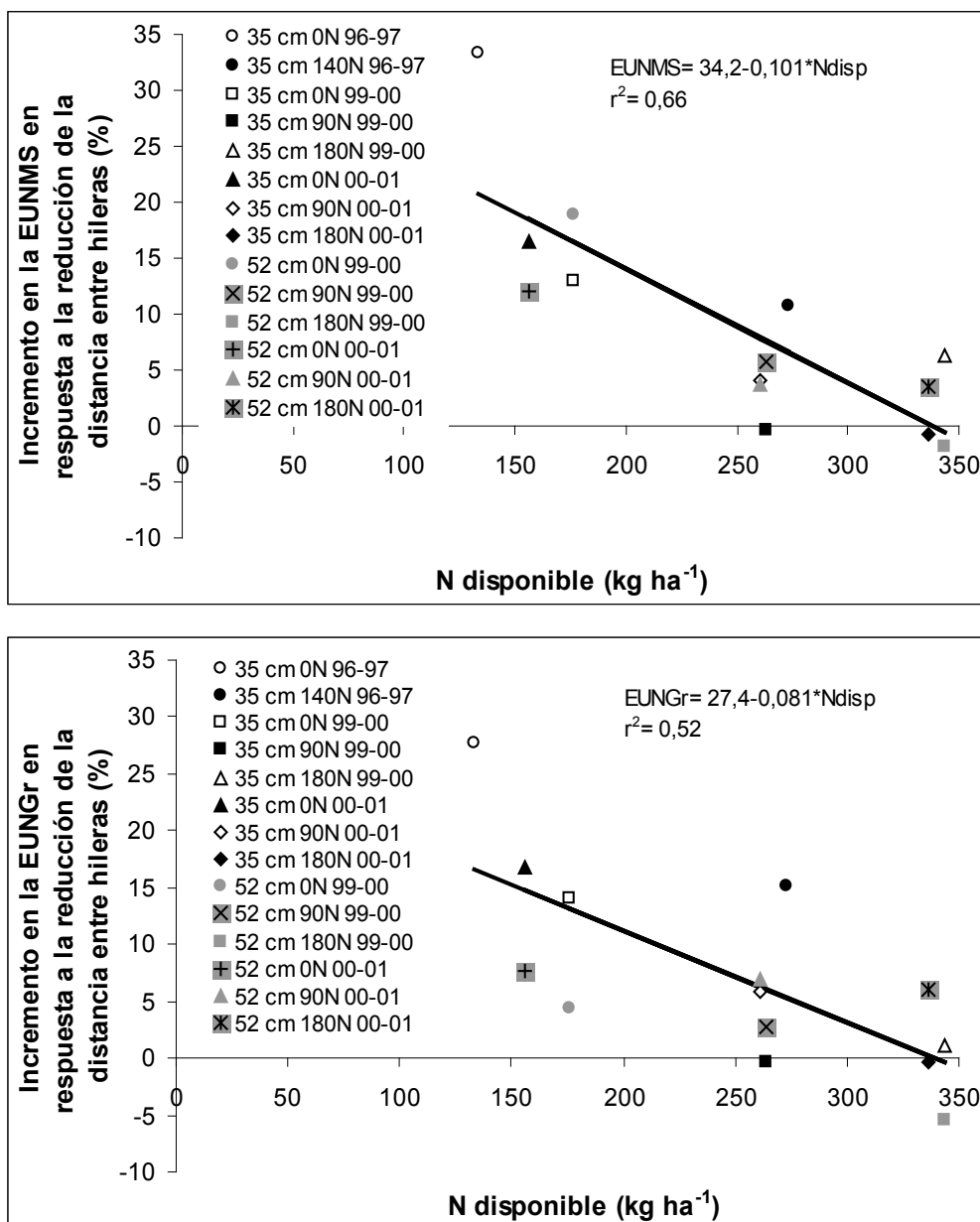


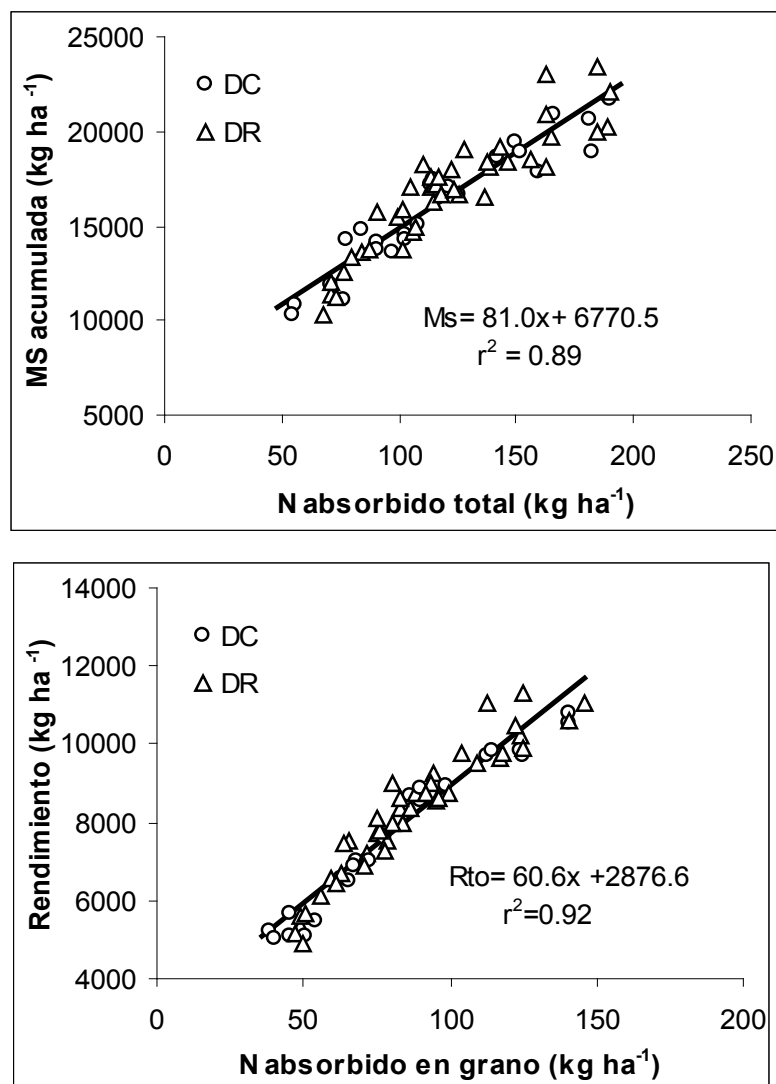
Figura 7. Incremento porcentual en la EUN expresada en materia seca (EUNMS) o grano (EUNGr) del maíz irrigado bajo SD, por distanciamientos entre hileras reducidas respecto de los tratamientos a 70 cm, ante disponibilidad de N variable (suelo+fertilizante+mineralizado).

### Eficiencia fisiológica

El incremento en la disponibilidad de N disminuyó significativamente la EF, mientras que la reducción de la distancia entre hileras no afectó dicha variable (Tabla 6 y 7, Fig. 8). Este comportamiento sería debido a que los tratamientos con hileras angostas incrementaron tanto la MS acumulada (Tabla 3) o el rendimiento en

grano (Tabla 4), como el N absorbido por el cultivo (Tabla 5). En promedio para las tres estaciones de crecimiento, los incrementos en la MS acumulada y en el N absorbido en madurez fisiológica en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, fueron de 5,9 y 7,6%, respectivamente; mientras que los incrementos en el rendimiento y en el N acumulado en grano fueron de 9,9 y 8,7%, respectivamente. Estos resultados, indican que la reducción de la distancia entre hileras no produjo cambios relevantes en la relación C/N de la planta. Los valores de producción de materia seca (81 kg) o rendimiento (61 kg) por unidad de N absorbido determinados en esta experiencia (Fig. 8), son similares a los reportados en la bibliografía (Novoa y Loomis, 1981).





**Figura 8. Materia seca total en función del N absorbido en madurez fisiológica y rendimiento en función del contenido de N en grano para los distanciamientos convencional (DC) y reducido (DR).**

### **Eficiencia de recuperación del N disponible**

En las tres estaciones de crecimiento se determinó interacción entre dosis de N y distanciamiento entre hileras (Tabla 6 y 7), como consecuencia de los mayores incrementos determinados en la ER para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sin el agregado de N. Estos tratamientos absorbieron una mayor proporción del N disponible respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional (Tabla 5).

Los tratamientos con hileras angostas mostraron una mayor recuperación del N disponible, respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional siendo dicho incremento en promedio para las estaciones de crecimiento de 11 y 16% para MS y grano, respectivamente. Este efecto fue de mayor magnitud cuando menor fue la disponibilidad de N para el cultivo, 24 y 2% para la ER expresada en MS y 22 y 3% para ER en grano para los tratamientos testigos y fertilizados, respectivamente (Fig. 9). Los mayores incrementos relativos determinados en la ER para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas que no recibieron la aplicación de N serían debidos a que en general, se observa baja disponibilidad de N que en suelos bajo SD al momento de la siembra (Sainz Rozas et al., 1999) (Tabla 1), por lo tanto, una mejora en la absorción del N por la planta, en una situación de elevado estrés, produce mayor impacto respecto de los tratamientos fertilizados que poseen un mejor condición nutricional. Este comportamiento permitiría explicar el mejor estado nutricional y en consecuencia los mayores incrementos relativos en MS acumulada, N acumulado y rendimiento en grano determinados en los tratamientos testigos con distanciamiento reducido, respecto a los tratamientos con distancia entre hileras convencional. La mayor recuperación del N disponible cuando el cultivo se encuentra creciendo en hileras angostas estaría sugiriendo que las pérdidas de N del sistema suelo-planta serían de menor magnitud, respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional.

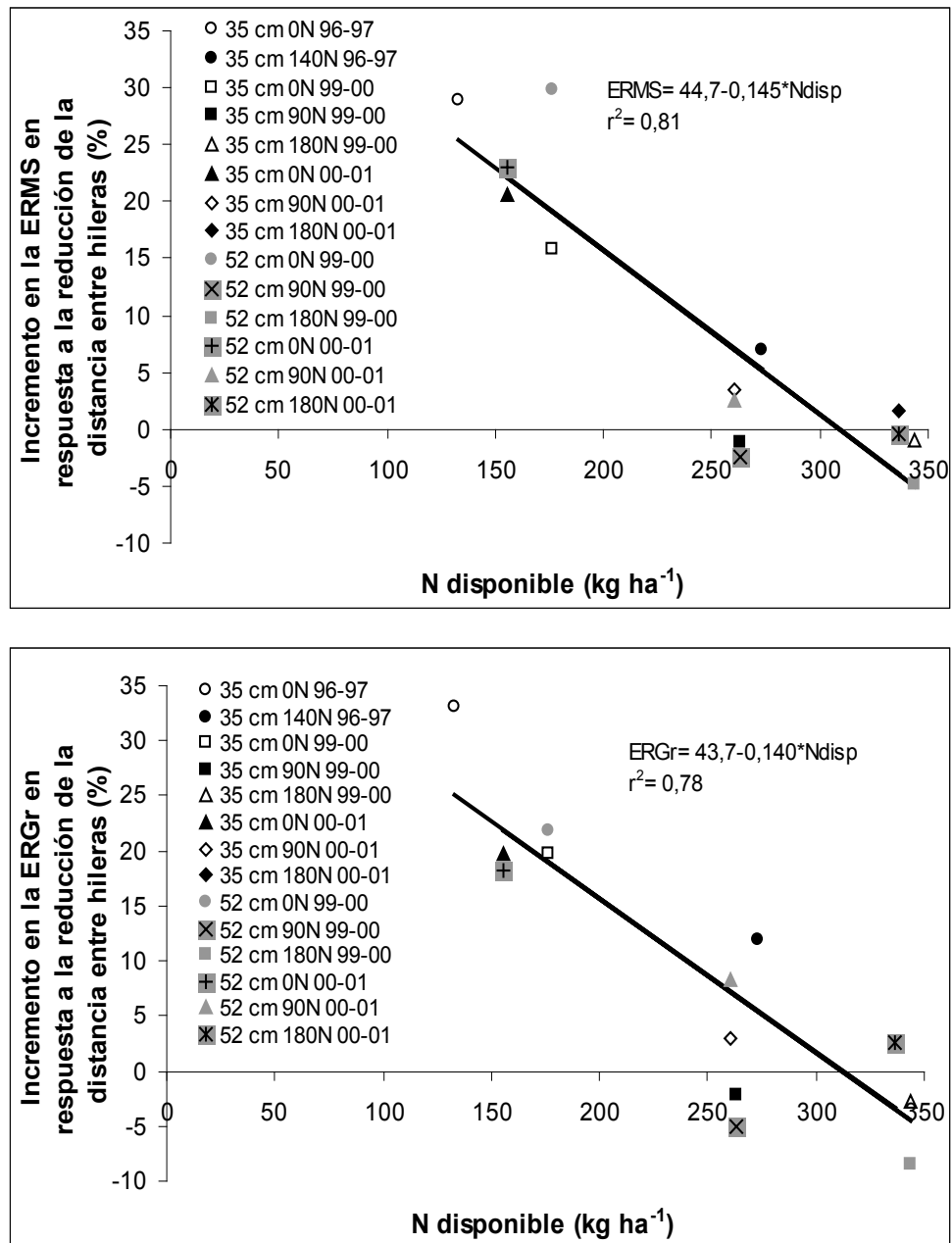


Figura 9. Incremento porcentual en la eficiencia de recuperación del N disponible expresada en materia seca (ERMS) o grano (ERGr) del maíz irrigado bajo SD, por distanciamientos entre hileras reducidas respecto de los tratamientos a 70 cm, ante disponibilidad de N variable (suelo+fertilizante+mineralizado)

En resumen, los resultados obtenidos permiten confirmar que la mayor EUN expresada como MS o grano (Tabla 6 y 7) determinada en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, sería consecuencia de la mayor ER del N disponible (Tabla 6 y 7), dado que la EF no fue afectada por el distanciamiento entre hileras (Tabla 6 y 7). El espaciamiento entre hileras no produjo cambios en la relación C/N de la planta. Los incrementos en la ER del N disponible determinado en madurez fisiológica del cultivo deberían reflejarse en el N no recuperado, el que es factible de ser estimado mediante el método del balance de N (Meisinger, 1984).

### **Nitrógeno no recuperado por el cultivo**

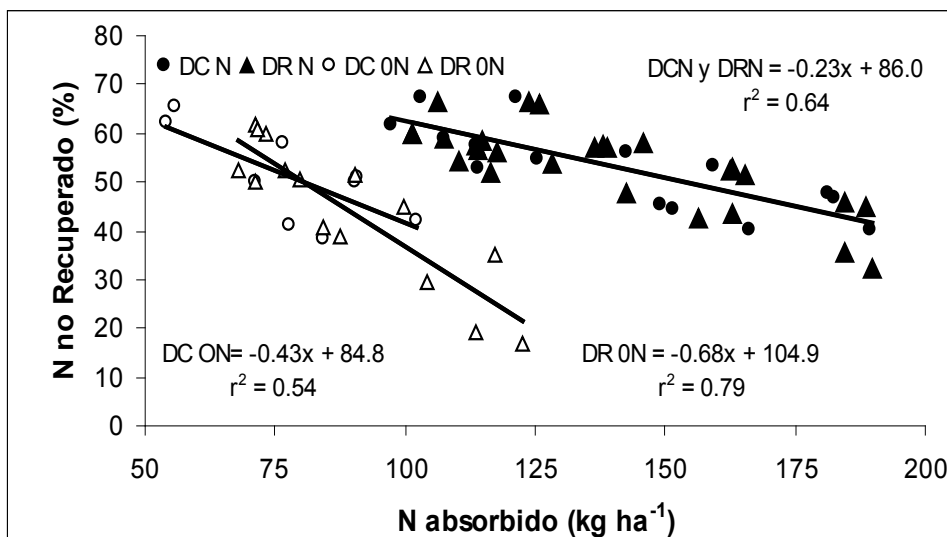
El N no recuperado por el cultivo de maíz en madurez fisiológica fue afectado por la disponibilidad de N y el distanciamiento entre hileras (Tabla 8). En la medida que se incrementó la disponibilidad de N para el cultivo, mayor fue la cantidad de N no recuperado (Tabla 8), comportamiento que sería debido al incremento de las pérdidas de N del sistema. Es válido mencionar que existieron excesos hídricos durante las estaciones de crecimiento, siendo los mismos de 214, 381 y 232 mm para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01. Los valores de N no recuperado para los tratamientos con distancia entre hileras convencional fueron siempre superiores (17% en promedio de las tres estaciones de crecimiento). Las mayores diferencias, fueron determinadas en los tratamientos testigos, que en promedio de las estaciones de crecimiento fue superior para los tratamientos con distancia entre hileras convencional en un 40% respecto de los tratamientos con espaciamiento reducido (Tabla 8). Los menores valores de N no recuperado determinados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sería debido a la mayor absorción de N por dichos tratamientos (Tabla 5). Por lo tanto, el N no

recuperado estuvo estrecha e inversamente asociado con el N absorbido por el cultivo (Fig. 10). La ecuación ajustada para los tratamientos fertilizados fue similar para ambos distanciamientos, mientras que los parámetros de las ecuaciones ajustadas para los tratamientos que no recibieron la aplicación de N difieren entre distanciamientos. Esta diferencia explicaría la mayor EUN determinada en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas y sería consecuencia de las menores pérdidas de N del sistema debido a la mayor ER, ya que la disponibilidad de dicho nutriente fue la misma para todos los tratamientos. Estos resultados se encuentran en línea con lo reportado por Raun y Johnson, (1999), quienes establecen que una manera de incrementar la EUN sería a través de la utilización de prácticas de manejo que reduzcan las pérdidas de N desde el sistema suelo-planta.

**Tabla 8. Nitrógeno no recuperado (expresado en porcentaje) en madurez fisiológica por el cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N**

Tratamientos		N no recuperado		
		1996/97	1999/00	2000/01
Dosis de N	Distancia	%		
180	70	-	48,2 a	63,6
	52	-	52,1 a	60,2
	35	-	49,8 a	63,1
140	70	41,8 a	-	-
	35	37,2 a	-	-
90	70	-	50,1 a	59,3
	52	-	51,8 a	58,3
	35	-	51,0 a	58,0
0	70	40,6 a	55,6 a	56,7
	52	-	42,3 b	50,4
	35	21,9 b	49,5 b	50,6
Prom. Dosis	180	-	50,4	62,3 a
	140	39,5	-	-
	90	-	51,1	58,5 b
	0	31,2	50,1	52,6 c
Prom. Distancia	70	41,2	51,8	59,9 a
	52	-	49,7	56,3 b
	35	29,5	50,1	57,2 b
Análisis de la Varianza				
N		**	ns	**
D		**	ns	*
N*D		*	§	ns
CV (%)		6,0	7,9	4,6

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente acuerdo el test de Tukey.



**Figura 10.** Nitrógeno no recuperado y N absorbido por el cultivo de maíz irrigado bajo SD, en función del distanciamiento entre hileras y el agregado de N para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01. DCN y DRN= distanciamiento convencional y reducido con nitrógeno, respectivamente, DC 0N y DR 0N= distanciamiento convencional y reducido sin N, respectivamente.

El principal destino del N absorbido por el cultivo fue la acumulación de dicho nutriente en grano. El contenido de N en grano fue afectado significativamente por el agregado de N y por el distanciamiento entre hileras (Tabla 9). En la estación de crecimiento 1999/00 solamente se determinaron incrementos significativos en el contenido de N en grano por efecto del distanciamiento entre hileras en los tratamientos que no recibieron el agregado de N (Tabla 9). Ma *et al.* (2003) informaron aumentos en el contenido de N en grano por efecto de la reducción de la distancia entre hileras, mientras que Ottman y Welch, (1989) no encontraron diferencias en el contenido de N en grano. El mayor contenido de N en grano para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sería consecuencia de la mayor absorción de N por el cultivo (Tabla 5), dado que la partición de N hacia estructuras reproductivas no fue afectada en forma significativa por la reducción de la distancia entre hileras (Tabla. 10). Estos resultados difieren de los informados por Rosolem *et al.* (1993), quienes

determinaron incrementos en la partición de N a grano para el cultivo de sorgo con distancia entre hileras reducidas.

**Tabla 9. Contenido de N en grano del cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N**

Tratamientos		Contenido de N en grano		
		1996/97	1999/00	2000/01
Dosis de N	Distancia	Kg ha <sup>-1</sup>		
180	70	-	135,0 a	87,5
	52	-	122,4 a	95,8
	35	-	131,0 a	88,4
140	70	109,0	-	-
	35	121,0	-	-
90	70	-	98,2 a	73,6
	52	-	93,0 a	79,4
	35	-	96,3 a	75,5
0	70	56,0	56,3 b	44,4
	52	-	73,2 a	53,8
	35	73,0	64,9 a	53,9
Prom. Dosis	180	-	129,5	90,6 a
	140	114,8 a	-	-
	90	-	95,9	76,2 b
	0	64,5 b	64,8	72,6 c
Prom. Distancia	70	82,3 b	96,5	68,8 b
	52	-	96,2	76,1 a
	35	97,0 a	97,4	72,6 ab
Análisis de la Varianza				
N		**	**	**
D		§	ns	**
N*D		ns	§	ns
CV (%)		5,1	7,5	4,1

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente acuerdo el test de Tukey



**Tabla 10. Índice de cosecha de N (ICN) del cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N**

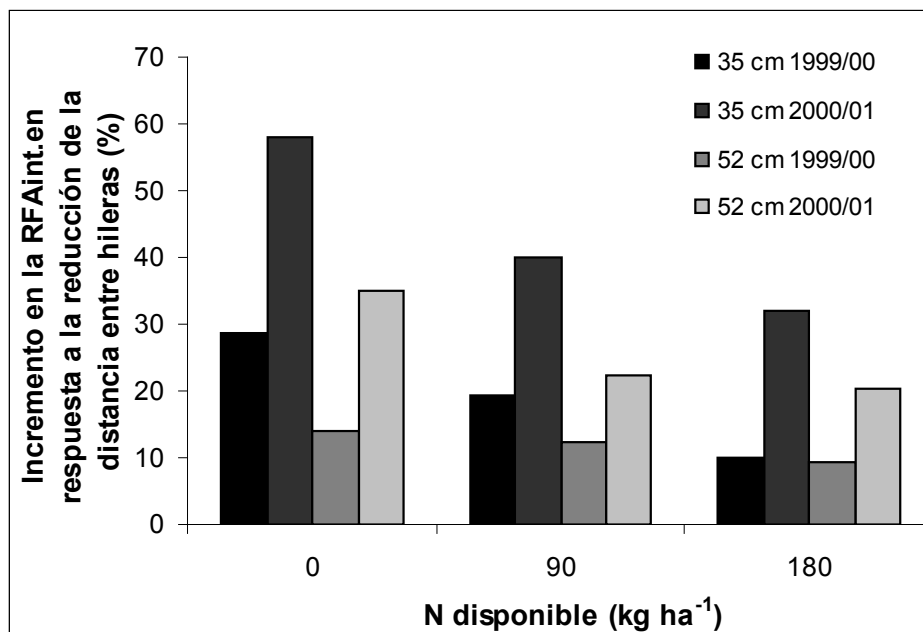
Tratamientos		ICN		
		1996/97	1999/00	2000/01
Dosis de N	Distancia	%		
180	70	-	0,77	0,71
	52	-	0,74	0,71
	35	-	0,76	0,72
140	70	0,65	-	-
	35	0,67	-	-
90	70	-	0,75	0,69
	52	-	0,73	0,73
	35	-	0,74	0,69
0	70	0,64	0,71	0,68
	52	-	0,74	0,70
	35	0,63	0,73	0,71
Prom. Dosis	180	-	0,76 a	0,72 a
	140	0,66 a	-	-
	90	-	0,74 ab	0,70 a
	0	0,64 b	0,72 b	0,70 a
Prom. Distancia	70	0,63 a	0,74 a	0,69 a
	52	-	0,73 a	0,72 a
	35	0,66 a	0,74 a	0,71 a
Análisis de la Varianza				
N		§	*	ns
D		ns	ns	ns
N*D		ns	ns	ns
CV (%)		3,0	2,8	3,8

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente acuerdo el test de Tukey.

En esta última sección se estimó que el N no recuperado por el cultivo fue mayor para los tratamientos con distancia entre hileras convencional, sin cambios en la partición de N a grano, estos resultados contribuyen a explicar la mayor ER del N disponible de los tratamientos con distancia entre hileras reducidas en madurez fisiológica. Surge como interrogante, desde que momento del ciclo del cultivo de maíz se logra la mayor ER del N disponible, dado que las pérdidas de N del sistema se producen principalmente durante los estadios iniciales de crecimiento del maíz (Sainz Rozas *et al.*, 2004 ; Zamora 2004).

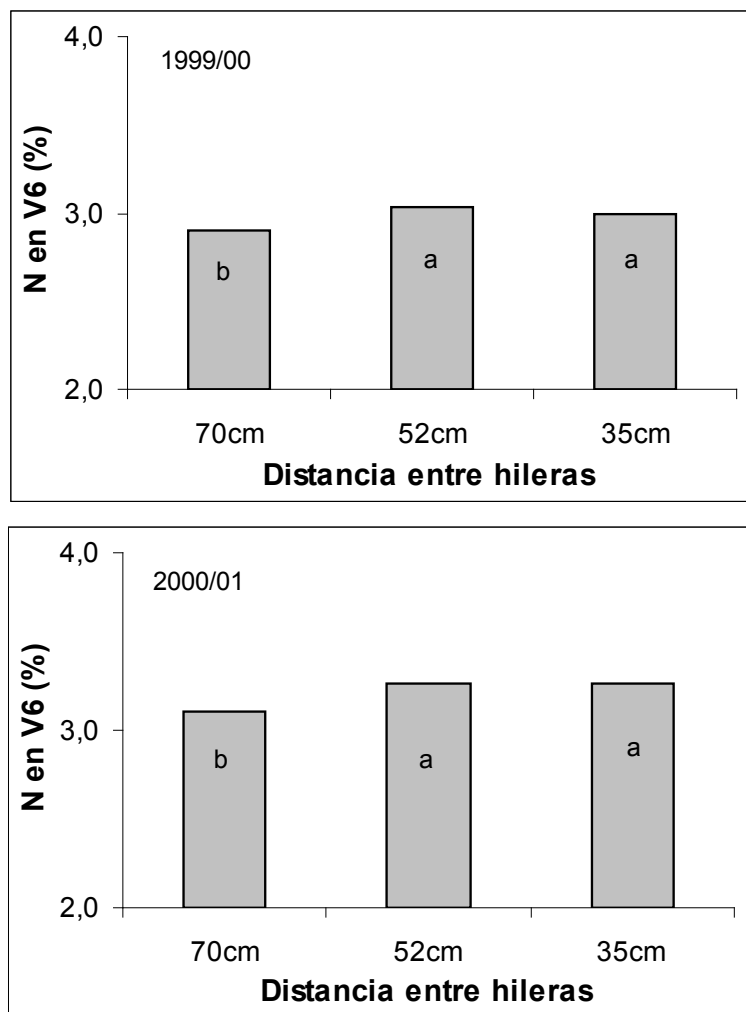
### **Eficiencia de recuperación del N disponible durante estadios iniciales del ciclo del cultivo**

La reducción de la distancia entre hileras produjo un mayor crecimiento del maíz (Tabla 3) debido a que cultivos con distancia entre hileras angostas interceptan una mayor proporción de la radiación fotosintéticamente activa, respecto de cultivos con distancia entre hileras convencional (Bullock *et al.*, 1989; Barbieri *et al.*, 2000). Los incrementos relativos en la RFA<sub>int.</sub> determinados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas fueron mayores cuando menor fue la disponibilidad de N, este efecto se observó desde estadios iniciales (Fig. 11) como así también durante gran parte del ciclo del cultivo (Fig. 2). Similar comportamiento fue determinado en la MS acumulada (Tabla 3) y sería consecuencia de la reducción de la competencia por luz, nutrientes y agua (Bullock *et al.*, 1988), debido a la mejora en la distribución de las plantas. Incrementos en la MS acumulada por efecto de la reducción de la distancia entre hileras han sido informados por Stivers *et al.* (1971), Scarbrook y Doss (1973), Bullock *et al.* (1988) y Cox *et al.* (1998).



**Figura 11.** Incremento porcentual determinado en la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAint.) en V6 por el maíz irrigado bajo SD, por distanciamientos entre hileras reducidas respecto de los tratamientos a 70 cm, ante disponibilidad de N variable (suelo+fertilizante).

Los incrementos determinados en el N acumulado por el cultivo en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, no serían consecuencia exclusivamente del producto de la mayor MS acumulada por la concentración de N (Tabla 3), ya que cuando dicho nutriente fue expresado como porcentaje se observó un aumento significativo en dicha variable (Fig. 12). La mayor acumulación de N en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, indica que dichos tratamientos presentaron un mejor estado de nutrición nitrogenado desde estadios tempranos del cultivo.



**Figura 12.** Concentración de N en la materia seca (%) al estadio fenológico de V6 para el cultivo de maíz irrigado bajo SD, en función de la distancia entre hileras para las estaciones de crecimiento 1999/00 y 2000/01. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo el test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Dado que la disponibilidad inicial de N para el cultivo fue similar entre distanciamientos y que la reducción de la distancia entre hileras incrementó el N acumulado por el cultivo, se determinó una mayor ER al estadio fenológico de V6, dicho efecto fue de mayor magnitud cuando menor fue la disponibilidad de N para el cultivo (Fig. 13). La mayor acumulación de N por el maíz en estadíos iniciales del ciclo del cultivo para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas contribuiría a disminuir las pérdidas de N del sistema, las cuales son importantes al inicio de la estación de crecimiento (Sainz Rozas et al., 2004). Como se mencionó, en esta experiencia se determinaron excesos hídricos en las tres campañas (promedio 276 mm), correspondiendo al período siembra-V6 el 36% (50, 24 y 34% para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, respectivamente). Estos resultados ponen de manifiesto la importancia que posee una rápida captación de N por el cultivo durante los estadíos iniciales del ciclo, en especial para ambientes como el sudeste bonaerense, en donde la demanda de agua por el cultivo es probable que sea superada por las precipitaciones como estrategia para incrementar la EUN. Worku et al. (2007), trabajando con maíces tropicales y distanciamiento convencional, reportaron que la mejora en la EUN para condiciones de baja disponibilidad de N fue consecuencia de la absorción de N luego de floración y a la capacidad de utilización del N acumulado en la planta (EF). Sin embargo, en esta experiencia la mayor EUN determinada en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, fue debida a los incrementos en la ER, efecto que fue observado desde estadíos iniciales del ciclo del cultivo. Similares resultados fueron informados por Kamprath et al. (1982) para cultivos con distancia entre hileras convencional en condiciones de baja y media disponibilidad, mientras que para condiciones de elevada disponibilidad de N la mayor EUN fue asociada con la mejora en la EF. No

obstante, Wiesler et al. (2001) reportan que mayores EUN se logran con incrementos tanto en la ER como así también en la EF para maíces templados.

En el estadio fenológico de prefloración el índice de área foliar (IAF) se relacionó con el N absorbido por el cultivo, correspondiendo mayores valores para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas (Fig. 14). A su vez, la RFAint en floración se relacionó con el IAF en prefloración, los incrementos en la RFAint durante la floración fueron en parte consecuencia del mayor IAF (Fig. 15). Para condiciones de baja disponibilidad de N, Barbieri et al, (2000) informaron que el principal efecto de la reducción de la distancia entre hileras sobre los incrementos en la RFAint en floración y en el número de granos fue debido al mayor coeficiente de extinción por unidad de área foliar. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta experiencia estarían indicando que la mayor acumulación de N y el IAF en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas contribuirían a incrementar la RFAint durante el período crítico de determinación del rendimiento, y por lo tanto el rendimiento. Estos resultados podrían explicar la causa de los mayores incrementos en rendimiento determinados cuando el N es limitante, comparados con los reportados por otros autores en situaciones de elevada disponibilidad de N (Bullock et al., 1988; Porter et al., 1997; Widdicombe and Thelen 2002; Shapiro and Wortmann, 2005; Maddoni et al, 2006).

En resumen, la mayor acumulación de N en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, producto del incremento en la ER, produjo un mejor estado nutricional del cultivo, esto ocasionó incrementos en la MS acumulada y rendimiento, como consecuencia de la mayor RFAint (Fig. 2). Los incrementos en la MS y rendimiento como así también en el N acumulado ocasionaron que no se produjeran cambios en la relación C/N de la planta. La mayor acumulación de N en grano, en

los tratamientos con distancia entre hileras reducidas fue debida a la mayor ER, dado que el ICN fue similar entre distanciamientos (Tabla10).

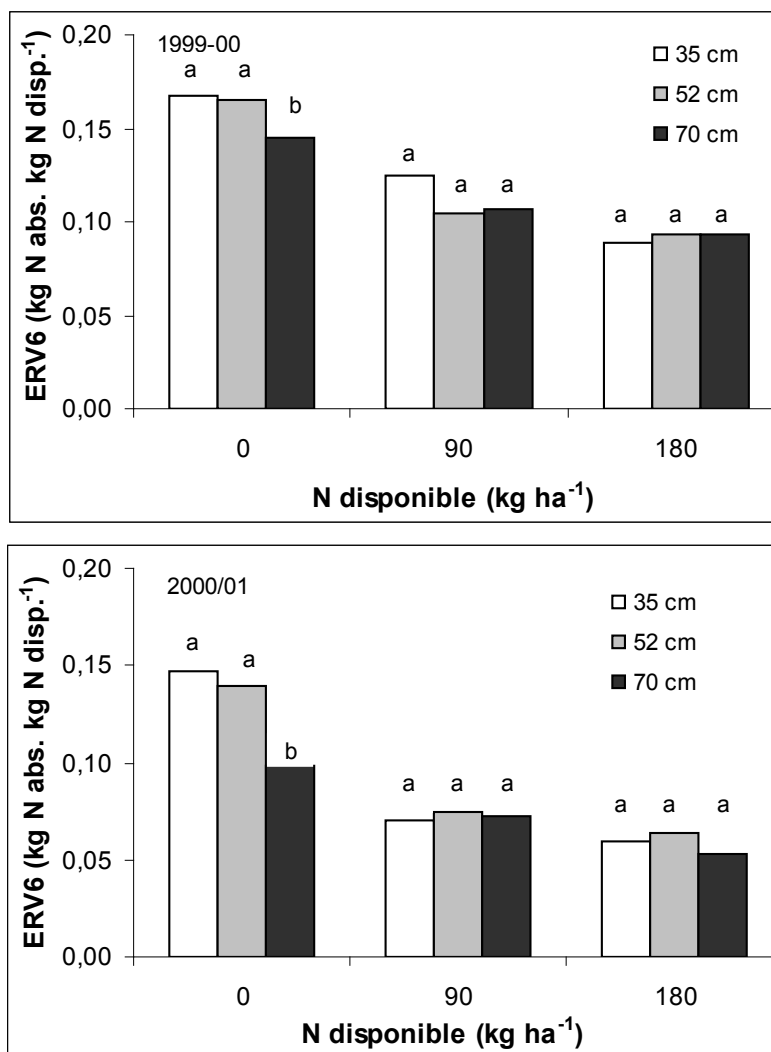


Figura 13. Eficiencia de recuperación (ER) del N disponible al estadio vegetativo de seis hojas (V6) en función de la distancia entre hileras y dosis de N (suelo+fertilizante) en las estaciones de crecimiento 1999/00 y 2000/01. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo el test de Tukey ( $p < 0,05$ ).



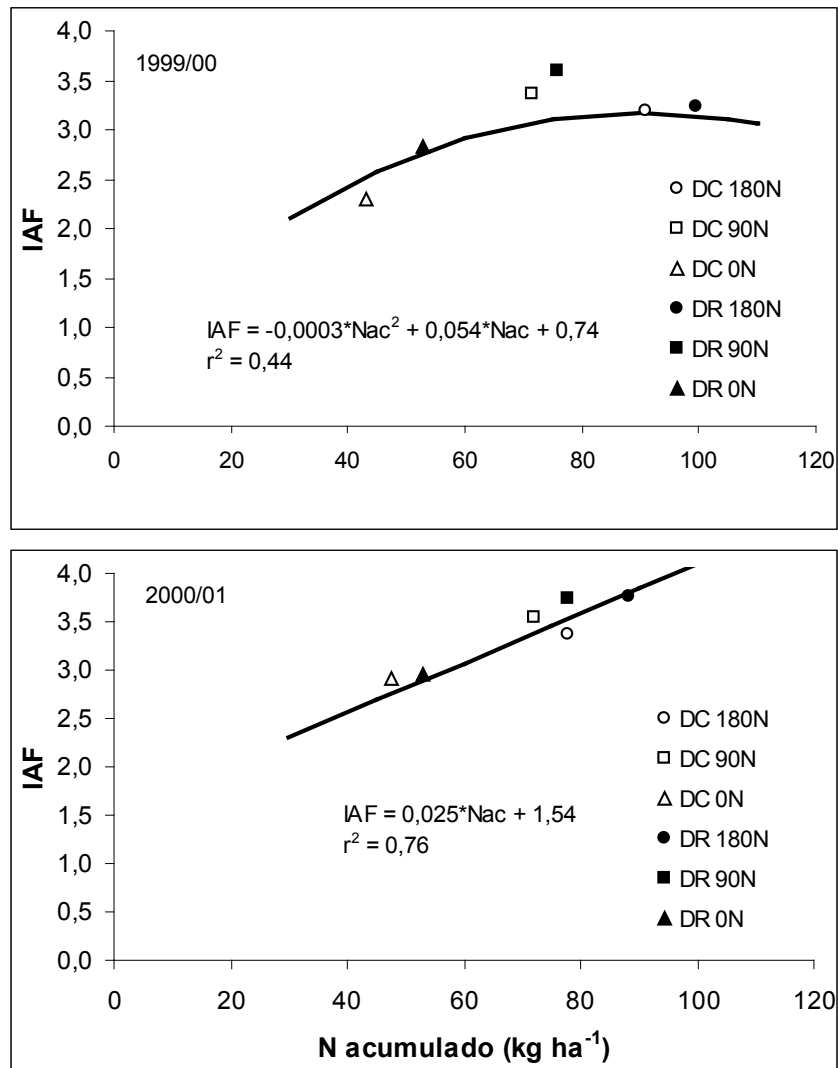
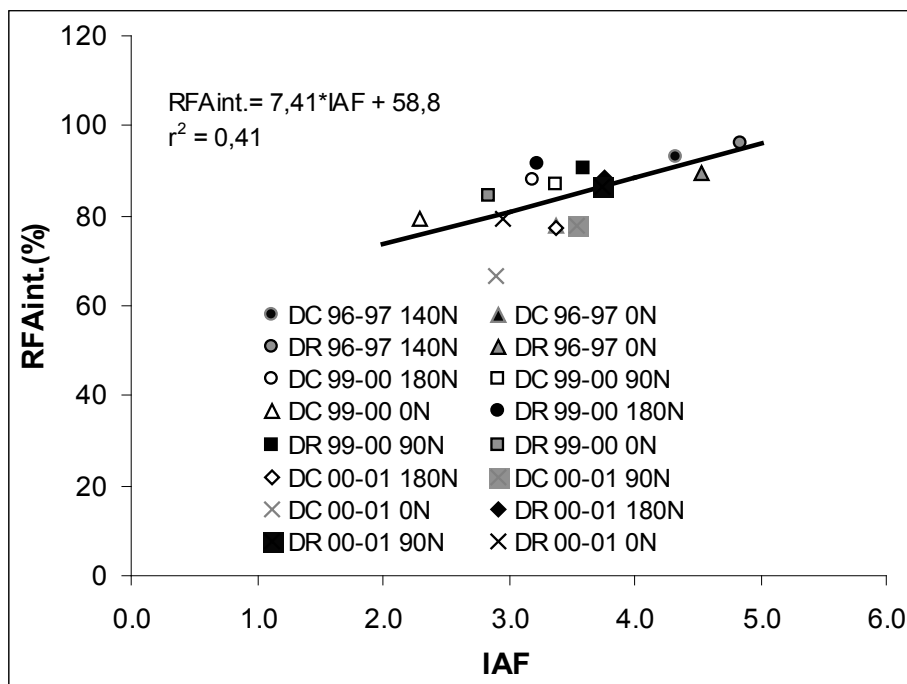


Figura 14. Relación entre el índice de área foliar (IAF) y el nitrógeno acumulado por el cultivo (Nac) en el estadio de prefloración (15 d antes de floración) en función de el distanciamiento entre hileras y la dosis de nitrógeno en las estaciones de crecimiento 1999-00 (a) y 2000-01 (b).



**Figura 15. Relación entre la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAint.) en floración y el índice de área foliar (IAF) en prefloración (15 d antes de floración) en función de el distanciamiento entre hileras y la dosis de nitrógeno en las estaciones de crecimiento 1996-97 1999-00 y 2000-01.**

Olson and Sander (1988) sugieren que la reducción de la distancia entre hileras podría tener un pequeño impacto sobre la absorción de nutrientes. Sin embargo, los resultados de este trabajo muestran evidencias que en condiciones de estrés de N, la reducción de la distancia entre hileras incrementa la acumulación de N por el cultivo. Los mecanismos que podrían explicar la mayor acumulación de N por el cultivo por efecto de la reducción de la distancia entre hileras podrían ser: i) la mejora en la distribución de las raíces por una mayor densidad de las mismas en el entresurco (Sharratt and McWilliams, 2005) ii) reducción de la competencia entre plantas durante estadíos vegetativos (Bullock et al., 1988) y iii) incremento en la translocación de asimilados hacia las raíces como consecuencia de cambios en la calidad de luz que es captada por el fitocromo (Kasperbauer and Karlem, 1994). Estos efectos podrían resultar en un aumento del volumen total de suelo explorado

por el sistema radical durante estadíos iniciales del ciclo del cultivo, que incrementarían la absorción de N desde el suelo y la acumulación de N por el cultivo.

Los resultados obtenidos en este experimento indican que:

- La reducción de la distancia entre hileras en el cultivo de maíz irrigado bajo SD, incrementa la EUN respecto de cultivos sembrados con distancia entre hileras convencional, por lo tanto, no se obtuvieron evidencias para rechazar la primer hipótesis.
- La EF no fue afectada por el distanciamiento entre hileras, en consecuencia no se recopilaron evidencias para rechazar segunda hipótesis.
- Los incrementos en la EUN determinados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas fueron consecuencia de la mayor ER del N disponible, por lo tanto, no se obtuvieron evidencias para rechazar la tercera hipótesis.
- Los incrementos en la ER del N disponible en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas fueron explicados por la mayor absorción del N durante los estadíos iniciales del ciclo del cultivo, en consecuencia, no se recopilaron evidencias para rechazar la cuarta hipótesis.

La información obtenida en esta experiencia aporta conocimientos originales sobre los cambios en la EUN por efecto de una práctica de manejo sencilla, como es la de reducir la distancia de siembra de los cultivos. Esto permitirá realizar un uso más eficiente de un nutriente clave como el N en los sistemas de producción. Considerando las múltiples vías de escape de este nutriente al ambiente, la incorporación de esta práctica de manejo tiene implicancias sobre la sostenibilidad y la calidad del recurso suelo. Estos resultados cobran importancia dado que se

estima para los próximos 50 años un incremento de 3 veces en el uso de fertilizantes nitrogenados, con el consecuente incremento de los costos de producción y de los riesgos de polución ambiental (Tilman *et al.*, 2002).

En el próximo Capítulo, se evaluará el estado nutricional del cultivo a través de la utilización de indicadores de disponibilidad de N en suelo y planta. Dado que la reducción de la distancia entre hileras incrementó la absorción de N por el cultivo, esto se debería ver reflejado en un mejor estado nutricional del cultivo, principalmente durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo, período en el cual se determinó una mayor ER.

## CAPÍTULO II

### ADECUACIÓN DE INDICADORES DE LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN MAÍZ EN FUNCIÓN DEL DISTANCIAMIENTO ENTRE HILERAS

#### INTRODUCCIÓN

En el Capítulo I se determinó que la reducción de la distancia entre hileras en el cultivo de maíz irrigado bajo SD incrementa la EUN, respecto de cultivos con distancia entre hileras convencional. La mayor EUN fue producto de la mayor ER del N disponible, principalmente durante los estadíos iniciales del ciclo del cultivo (siembra-V6), que es cuando existen condiciones predisponentes para que se produzcan pérdidas relevantes de N. En consecuencia, dado que la reducción de la distancia entre hileras incrementa la acumulación de N por el cultivo (Tabla 7, Capítulo I), esto debería reflejarse tanto en la disponibilidad de N en el suelo como así también en un mejor estado nutricional de la planta. En tal sentido, los métodos de diagnóstico de requerimiento de N han sido desarrollados para cultivos sembrados a 70 cm entre hileras, y por lo tanto, se desconoce si los umbrales determinados para tal condición pueden ser usados o deberían ser recalibrados para cultivos de maíz con distanciamiento reducido.

Existen diferentes métodos de diagnóstico de requerimiento de N para el cultivo de maíz que permiten determinar la disponibilidad de N en el suelo, como así también el estado nutricional del cultivo. En general, la utilización del balance de N (Meisinger et al., 1984) es una de las metodologías más aceptadas para determinar la necesidad de fertilización. No obstante, la concentración de  $N-NO_3^-$  en el suelo (0-30 cm) al estadio de V6 (NSV6) (Fox *et al.*, 1989, Meisinger, 1992; Sims *et al.*, 1995; Sainz Rozas *et al.*, 2000) refleja adecuadamente la disponibilidad de N para el cultivo de maíz bajo SD, cuando dicho nutriente es aplicado al momento de la

siembra, y por lo tanto, dicho test puede ser utilizado como un método complementario al balance de N (Sainz Rozas *et al.*, 2000). El contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  en este estadio representa el balance neto entre los procesos de producción (N mineral en el suelo a la siembra, mineralización de N desde la materia orgánica, abonos y/o fertilizantes) y los procesos de pérdidas (lavado, volatilización, desnitrificación, inmovilización) (Meinsinger *et al.*, 1992), debido a que poca absorción de N ocurre antes de V6 (Tabla 5, Capítulo I). Para el sudeste bonaerense, se determinó que para el estadio de V6 los umbrales de  $\text{N-NO}_3^-$  en suelo (0-30 cm) se incrementan en aproximadamente 2 ppm por tonelada de grano. A modo de ejemplo, para obtener el 95% del rendimiento máximo se han reportado concentraciones críticas de 21-27 ppm para condiciones bajo riego y de 15-20 ppm en seco, valores superiores a los mencionados no responderían a la aplicación de N (Sainz Rozas *et al.*, 2000). Por otro lado, con el objeto de mejorar la estimación del NSV6, se ha propuesto la inclusión de la determinación de  $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$  como así también incrementar la profundidad de muestreo hasta los 60 cm (Blakmer, *et al.*, 1989; Binford *et al.*, 1992; Meinsinger *et al.*, 1992b). Considerando que en espaciamientos reducidos la captación de N es mayor en los primeros estadios del cultivo, es factible suponer que los umbrales de respuesta al agregado de N sean menores a los determinados para espaciamientos a 70 cm.

El NSV6 presenta la ventaja de ser suficientemente preciso y relativamente rápido y barato (Peck y Soltanpour, 1986), sin embargo, no se está evaluando realmente el estado nitrogenado del cultivo, ya que no siempre una alta concentración de N en el suelo es indicio de un cultivo no limitado por N. En consecuencia, para determinar el estado nitrogenado de los cultivos, se han desarrollado métodos de diagnóstico complementarios basados en la evolución de

indicadores que se miden en la planta a lo largo del ciclo del cultivo. El análisis de tejido tiene la ventaja de requerir menos tiempo y esfuerzo para la obtención de la muestra y la planta puede ser un mejor integrador de los factores que determinan la disponibilidad de N en el suelo (Binford *et al.*, 1992; Echeverría *et al.*, 2000). Estos se basan en la determinación de la concentración del nutriente directamente sobre la planta o en alguno de sus órganos en momentos clave de desarrollo del cultivo.

A medida que un cultivo crece y acumula biomasa, se observan caídas en la concentración de N total, aún con disponibilidad de N no limitante (Greenwood *et al.*, 1990). La concentración de N que le permite alcanzar al cultivo la máxima tasa de crecimiento, se denomina concentración crítica. Esta concentración varía de acuerdo a la biomasa aérea acumulada, ya que a medida que esta aumenta, diluye el N en la planta. De allí que las curvas que relacionan la concentración crítica con la biomasa aérea se denominan curvas de dilución. Se puede definir un índice de estrés de N (IEN) como el cociente entre la concentración real determinada en un determinado momento y la crítica. Concentraciones menores a la crítica producen algún grado de estrés y por ende tasas de crecimiento del cultivo inferiores a las máximas. Por el contrario, valores por encima de la curva indican consumo de lujo. El problema con esta metodología es que no es un indicador lo suficientemente sensible para condiciones de disponibilidad intermedia del nutriente (Cerrato, 1989). La SD es una práctica de manejo que afecta la disponibilidad de N, sin embargo, los cambios producidos en la acumulación de N por efecto de la reducción de la distancia entre hileras no serían de gran magnitud y, por lo tanto, no se esperarían cambios en el IEN por efecto de la disminución de la distancia entre hileras.

Otro indicador de la nutrición nitrogenada en monocultivo de maíz que es utilizado como elemento de diagnóstico, es la concentración de N en grano en

madurez fisiológica. Dicha metodología permite determinar si existieron deficiencias o excesos de N (Pierre *et al.*, 1977a y b; Lubert y Juste 1985; Cerrato y Blackmer, 1990; Uhart y Andrade, 1995b), con el objetivo de replantear la fertilización para el próximo ciclo del cultivo (Andrade *et al.*, 1996). Los valores mencionados en la bibliografía establecen un umbral de alrededor de  $12,0 \text{ g kg}^{-1}$  (Cerrato y Blackmer, 1990; Uhart y Andrade, 1995b) por encima de dicho valor no cabría esperar cambios en el rendimiento relativo con el aumento en la provisión de N. La reducción de la distancia entre hileras produce incrementos en el rendimiento en grano (Tabla 4, Capítulo I), como así también en el N acumulado por el cultivo (Tabla 5, Capítulo I). Como consecuencia de este comportamiento no se determinaron cambios en la EF por efecto del distanciamiento entre hileras (Tabla 6 y 7, Capítulo I). Por lo tanto, no sería factible que se produjeran cambios en la concentración de N en grano entre distanciamientos entre hileras

La determinación del NSV6 y la concentración de N en planta o grano, han demostrado ser métodos apropiados para determinar la disponibilidad de N para el cultivo (Fox *et al.*, 1989; Mesinger *et al.*, 1992; Sims *et al.*, 1995). No obstante, una desventaja común a estos métodos es el esfuerzo requerido para la obtención de la muestra, procesamiento de la misma y el tiempo demandado para el análisis (Sainz Rozas y Echeverría, 1998). En tal sentido, se ha desarrollado un instrumento, que permite cuantificar la intensidad del color verde de las hojas, el medidor portátil Minolta SPAD-502. El contenido de clorofila en hoja de la planta de maíz, se encuentra estrecha y positivamente relacionado a la concentración de N en la hoja (Wolfe *et al.*, 1988). Por lo tanto, el medidor SPAD-502 permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva, el contenido de clorofila en hoja y por ende, el estado nutricional del cultivo a través de una simple lectura. Se ha



propuesto la utilización de un índice de suficiencia de N (ISN) para eliminar las diferencias en el valor de lectura que pueden surgir del uso de diferentes híbridos, ambientes y otros factores que condicionan el contenido de clorofila y de esta manera poder comparar diferentes condiciones (Sainz Rozas y Echeverría, 1998).

Las lecturas del clorofilómetro al estadio de V6 se encuentran relacionados con el estado nitrogenado de las plantas (Piekielek y Fox, 1992; Jeminson y Lytle, 1996). Sin embargo, Blackmer y Schepers (1995) y Sainz Rozas y Echeverría (1998) han determinado bajas correlaciones entre los valores del SPAD al estadio de V6 y el rendimiento en grano del cultivo de maíz, destacando que su uso como herramienta de diagnóstico en este estadio tiene un limitado potencial. Por el contrario, luego de este estadio el SPAD-502 detecta con gran precisión situaciones de deficiencia de N (Sainz Rozas y Echeverría, 1998). Altas correlaciones entre los valores de lectura del SPAD 15 días antes al estadio de R1, en R1, en R3 y el rendimiento del cultivo de maíz han sido informadas por Piekielek *et al*, (1995) y Sainz Rozas y Echeverría (1998). Según estos autores, el valor de ISN necesario para obtener el 95% del rendimiento máximo se encuentra dentro del rango de 0,92 a 0,98. Al igual que para la concentración de N en planta durante el ciclo del cultivo, no se esperarían cambios en el valor umbral de ISN por efecto de reducir la distancia entre hileras, debido a que los cambios en la acumulación de N por la planta no serían de gran magnitud y por lo tanto, los valores de ISN se encontrarían dentro del rango propuesto para lograr el 95% del rendimiento máximo.

En síntesis, los métodos de diagnóstico desarrollados para el cultivo de maíz tales como el NSV6, contenido de N en planta (IEN) o grano y contenido de clorofila (ISN), fueron determinados para distanciamientos a 70 cm, por lo tanto, sería necesario determinar si la reducción de la distancia entre hileras produce cambios

en los umbrales de respuesta a la aplicación de N. Se hipotetiza que para el cultivo de maíz irrigado bajo SD:

- Los umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada, determinados en el suelo mediante NSV6 son menores para cultivos realizados con distancia entre hileras reducidas, respecto a cultivos con espaciamiento convencional.
- Los umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada, determinado mediante la metodología del ISN, utilizando el medidor de clorofila, son similares entre distanciamientos convencional y reducido.
- La reducción de la distancia entre hileras no produce cambios en los umbrales de respuesta determinados por medio del análisis de tejido, a través de la metodología del ISN.
- La concentración de N en grano no sería diferente entre distanciamientos, a pesar de los mayores rendimientos determinados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas.

El objetivo de este Capítulo fue determinar el efecto de la reducción de la distancia entre hileras del cultivo de maíz irrigado bajo SD sobre indicadores de la disponibilidad de nitrógeno en suelo y planta

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las características del sitio experimental, climáticas y manejo del cultivo fueron detalladas en Materiales y Métodos del Capítulo I. A modo de síntesis en todos los años el diseño experimental utilizado fue parcelas divididas en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. En la estación de crecimiento 1996/97 los tratamientos evaluados en la parcela principal fueron dos distanciamientos entre hileras (70 y 35 cm) y dos dosis de N en la sub-parcela (0 y 140 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas a mano y en cobertura total al estadio vegetativo de seis hojas (V6) (Ritchie y Hanway, 1982). En las estaciones de crecimiento 1999/00 y 2000/01, los tratamientos fueron en la parcela principal tres dosis de N (0, 90 y 180 kg ha<sup>-1</sup>) aplicadas a mano y en cobertura total al momento de la siembra del cultivo y sub-parcela el arreglo espacial (70, 52 y 35 cm). La densidad de plantas logradas fue constante para todos los tratamientos (76.500 plantas ha<sup>-1</sup> en 1996/97; 75.470 plantas ha<sup>-1</sup> en 1999/00 y 79.352 plantas ha<sup>-1</sup> en 2000/01).

En 1996/97, 1999/00 y 2000/01 se realizó el muestreo de suelo cuando las plantas de maíz alcanzaron el estadio de V5-V6 tomándose aleatoriamente del entre surco ocho submuestras de los primeros 0-30 y 30-60 cm de cada unidad experimental. Sobre estas muestras se determinó el contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, los detalles acerca de la determinación de N mineral, rendimiento del cultivo y acumulación de N en biomasa aérea fueron presentados en el Capítulo I.

Se calculó el rendimiento relativo (RR) mediante el cociente entre el rendimiento observado en cada unidad experimental y el rendimiento promedio de los tratamientos que recibieron la dosis más alta de N (140 kg N ha<sup>-1</sup> en 1996/97 y 180 kg N ha<sup>-1</sup> en 1999/00 y 2000/01). Para describir la relación entre el RR y la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> o N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el estadio fenológico de V6 fue

utilizado un modelo de respuesta lineal-meseta, el cual fue ajustado usando el procedimiento NLIN del programa Statistical Analysis System (SAS, 1985). La concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  o de  $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$  en la intersección de las dos rectas del modelo lineal-meseta fue denominada concentración crítica (CC).

El contenido de clorofila, fue evaluado mediante la utilización del Minolta SPAD 502. Las lecturas fueron tomadas de una hoja por planta en 30 plantas por parcela, aproximadamente a la mitad de la distancia entre el tallo y el ápice de la hoja y a la mitad de la distancia entre el borde de la hoja y la nervadura central. Las lecturas fueron tomadas en la quinta hoja al estadio de V6, en la última hoja expandida en prefloración (15 días antes de floración) y en la hoja de la espiga en posfloración (15 días después de floración), metodología similar a la utilizada por Blackmer y Schepers (1995). Se calculó el índice de suficiencia de N (ISN) como la relación entre la lectura de clorofila de cada unidad experimental y el valor promedio de lectura del tratamiento con mayor aporte de N ( $140 \text{ kg ha}^{-1}$  en 1996/97 y  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  en 1999/00 y 2000/01). Los valores de RR fueron correlacionados con el contenido de clorofila y el ISN.

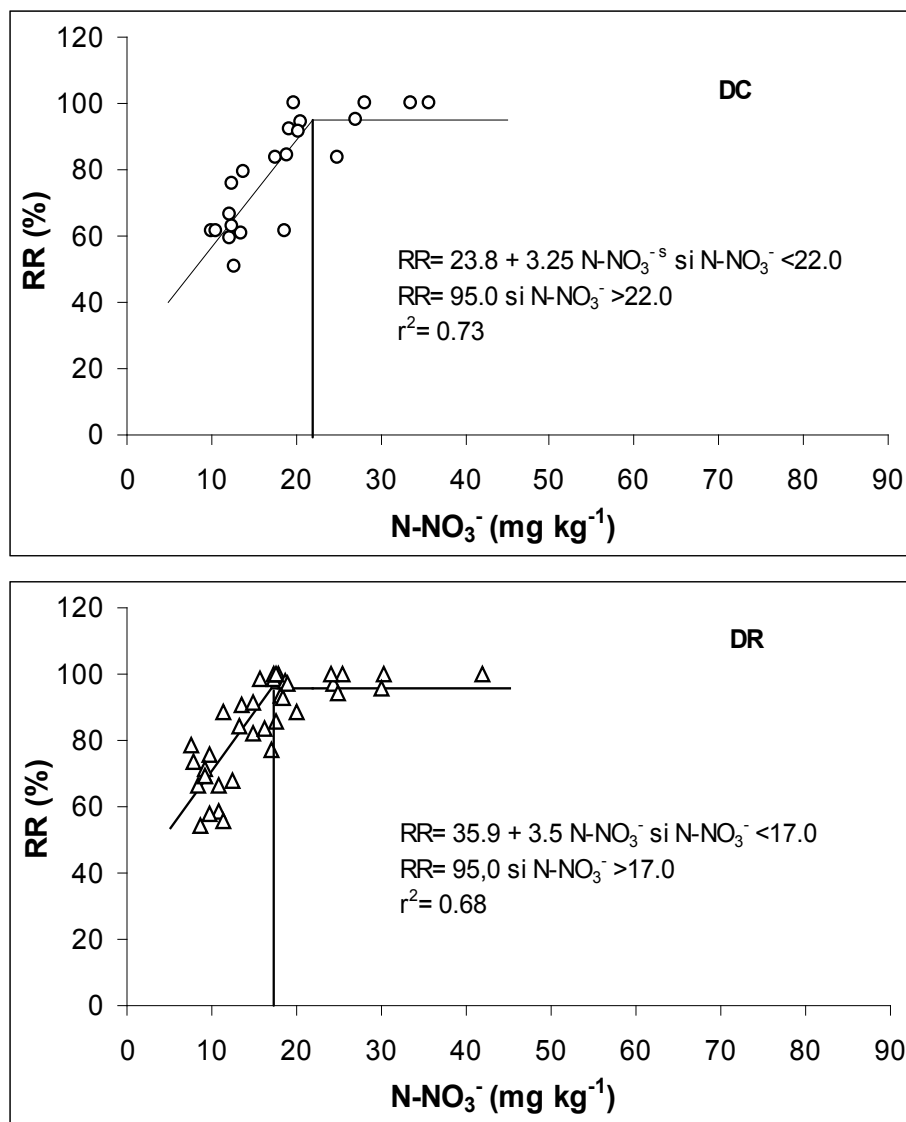
El estado nutricional del cultivo, se determinó a través de la curva de dilución propuesta por Lemaire y Gastal (1997) en donde la concentración de N en la materia seca necesaria para alcanzar la máxima tasa de crecimiento del cultivo es descrita por la ecuación  $\text{N} = \text{MS}^{0,41} \times 4,1$ . El índice de estrés de N (IEN), fue calculado como el cociente entre la concentración de N real del cultivo para cada tratamiento y la concentración de N crítica determinada a través de la curva de dilución. Por otro lado, el RR se relacionó con la concentración de N en grano determinada mediante la metodología propuesta por Nelson y Sommer (1973) (sin ácido salicílico), en las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01

Los efectos de los tratamientos fueron evaluados por análisis de la varianza mediante la utilización de Statistical Analysis System (SAS) (SAS Institute Inc., 1985.) El test de Tukey fue realizado cuando el análisis de la varianza de los efectos principales o de su interacción fue significativo. El test de paralelismo y coincidencia fue realizado para determinar diferencias en la pendiente y ordenada al origen de las regresiones lineales. Cuando la interacción entre los factores de tratamiento fue significativa se realizó la comparación entre medias de tratamiento de distanciamientos entre hileras dentro de cada dosis de N.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Disponibilidad de nitrógeno en el suelo

La fertilización con N y la reducción de la distancia entre hileras incrementaron significativamente el rendimiento del cultivo en todos los años. En 1999/00 se determinó un incremento mayor en rendimiento para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sin la aplicación de N (Tabla 4, Capítulo I). Se determinó una estrecha asociación entre el rendimiento relativo (RR) y la concentración de NSV6 para los tratamientos con distancia entre hileras convencional (DC= 70 cm  $r^2=0,73$ ,  $p\leq 0,001$ ) (Fig. 1), similares resultados han sido reportados por Magdoff *et al.*(1984), Fox *et al.* (1989), Sims *et al.* (1995), Sainz Rozas *et al.* (2000). La concentración crítica (CC) de  $\text{N-NO}_3^-$  necesaria para alcanzar el 95% del rendimiento máximo fue de  $22,0 \text{ mg kg}^{-1}$ . El rendimiento máximo promedio para las tres estaciones de crecimiento fue de  $10950 \text{ kg ha}^{-1}$ , estos resultados coinciden con lo determinado por Sainz Rozas *et al.* (2000) que los requerimientos del cultivo se incrementan aproximadamente en 2 ppm por tonelada de grano. Al igual que para distanciamiento convencional se determinó una estrecha asociación entre el RR y la concentración de NSV6 para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas (DR= 35 y 52 cm,  $r^2=0,68$ ,  $p\leq 0,001$ ) (Fig. 1), sin embargo, la CC determinada fue de  $17 \text{ mg kg}^{-1}$  para un rendimiento promedio para las tres estaciones de crecimiento de  $11500 \text{ kg ha}^{-1}$  (Fig. 1). Por lo tanto, el umbral determinado para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas es inferior a los reportados comúnmente en la bibliografía para distanciamiento convencional, para rendimientos ligeramente superiores (Fox *et al.*, 1989; Meinsinger *et al.*, 1992b; Binford *et al.*, 1992; Bundy y Andraski, 1995; Jeminson y Lytle, 1996; Sims, 1995; Sainz Rozas *et al.*, 2000).



**Figura 1. Relación entre el rendimiento relativo (RR) y la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en los 30 cm superficiales del suelo al estadio de V6 en el cultivo de maíz irrigado bajo SD, en función del distanciamiento entre hileras para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01. DC= Distanciamiento convencional 70 cm; DR= Distanciamiento reducido 35 y 52 cm.**

En la Tabla 1, se muestra que la relación entre el RR (95%) y la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> realizando el muestreo hasta los 60 cm de profundidad en lugar de hasta los 30 cm ( $p \leq 0,001$ ), no mejoró el ajuste de la prueba de NSV6, para los diferentes distanciamientos entre hileras. Similares resultados fueron informados por Binford *et al*, (1992) y Sainz Rozas *et al*, (2000). Dicho comportamiento, podría ser debido

principalmente a que las pérdidas por lavado de  $\text{N-NO}_3^-$  entre siembra y V6 desplazaron dicho nutriente a una profundidad mayor a 60 cm, fuera de la zona de influencia del sistema radical y por lo tanto no contribuyen sustancialmente a la nutrición del cultivo. Otra explicación podía ser que el aporte por mineralización del N orgánico desde las capas subsuperficiales del suelo no sería relevante.

Por otro lado, la relación entre el RR y la concentración de  $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$  hasta los 30 cm de profundidad ( $p \leq 0,001$ ) presentó similar o superior  $r^2$  (0,73-0,82 vs 0,67-0,68 para distanciamientos convencional y reducido, respectivamente) respecto de concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  solamente. Sin embargo, el mayor costo y tiempo de análisis no justificaría la determinación de la concentración de  $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ , dado que la relación entre RR y la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  (0-30 cm) fue altamente significativa ( $p \leq 0,001$ ). No se esperarían sustanciales mejoras en la capacidad de predicción del NSV6 cuando se incluye el  $\text{N-NH}_4^+$ , por la baja concentración en suelos bajo SD al estadio de V6. Este comportamiento es consecuencia de la rápida tasa de nitrificación, dada la elevada población de microorganismos nitrificadores de los suelos del área (Navarro et al., 1980). Estos resultados coinciden con los informados por Blackmer et al. (1989), Binfortd et al. (1992) y Sainz Rozas et al. (2000), quienes reportaron que el  $r^2$  no mejoró cuando  $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$  fueron determinados respecto de  $\text{N-NO}_3^-$  solamente.

A los fines de este trabajo, es de destacar que las CC (umbrales de respuesta) para el NSV6 para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas cuando fue tomado en cuenta el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  hasta la profundidad de 60 cm, como así también la determinación del contenido  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  a 0-30 cm de profundidad, fueron menores respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional (Tabla 1).



**Tabla 1. Parámetros del modelo lineal-meseta para obtener el 95% del rendimiento relativo (RR) y la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> hasta los 30 y 60 cm de profundidad y de la concentración de N mineral (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) hasta los 30 cm de profundidad para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01. DC= Distanciamiento convencional 70 cm; DR= Distanciamiento reducido 35 y 52 cm**

	Intercepto			Pendiente			CC <sup>†</sup>			r <sup>2</sup>		
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Nmin <sup>‡</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Nmin	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Nmin	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Nmin
	0-30 cm	0-60 cm	0-30 cm	0-30 cm	0-60 cm	0-30 cm	0-30 cm	0-60 cm	0-30 cm	0-30 cm	0-60 cm	0-30 cm
Distancia	-----%-----						-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
DC	23,8	24,1	20,6	3,25	4,88	4,14	22,0	14,5	18,0	0,73	0,71	0,82
DR	35,9	36,5	39,8	3,50	4,92	3,68	17,0	11,8	15,0	0,68	0,60	0,67

† CC= Concentración crítica de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

‡ Nmin= N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Cuando se relacionó el rendimiento máximo del cultivo de maíz obtenido en las estaciones de crecimiento 1999/00 y 2000/01 con su correspondiente CC de  $\text{N-NO}_3^-$  determinada de 0-30 cm de profundidad (Fig. 2), se puede observar que para una determinada CC de  $\text{N-NO}_3^-$ , los tratamientos con distancia entre hileras reducidas mostraron un rendimiento superior respecto de los tratamientos con distanciamiento convencional. Este comportamiento se observó principalmente cuando la disponibilidad de N en el suelo fue menor. Estos resultados, confirman la hipótesis de que los umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada, determinados en el suelo mediante NSV6, serían menores en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas como consecuencia de una mayor ER del N disponible durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo (Capítulo I). En consecuencia, para un mismo nivel de rendimiento la CC necesaria para lograr el 95% del rendimiento máximo, sería menor para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas. Esto permitiría reducir la dosis de fertilizante a aplicar disminuyendo los costos de producción como así también el riesgo de impacto ambiental desfavorable.

Teniendo en cuenta que la dosis de N a aplicar por fertilización (NF) depende del valor del umbral (U), determinado en función del rendimiento esperado, el contenido de NSV6 y de un factor de corrección (F), que varía de 8 a 10  $\text{kg N ha}^{-1}$  por  $\text{mg kg}^{-1}$ :  $\text{NF}=(\text{U}-\text{NSV6}) \times \text{F}$  (Echeverría y Sainz Rozas, 2005), la diferencia de 5 unidades en los valores del U entre el espaciamiento convencional y reducido (Fig. 1), implicaría una disminución en la dosis de N a aplicar de 40  $\text{kg ha}^{-1}$  aproximadamente.

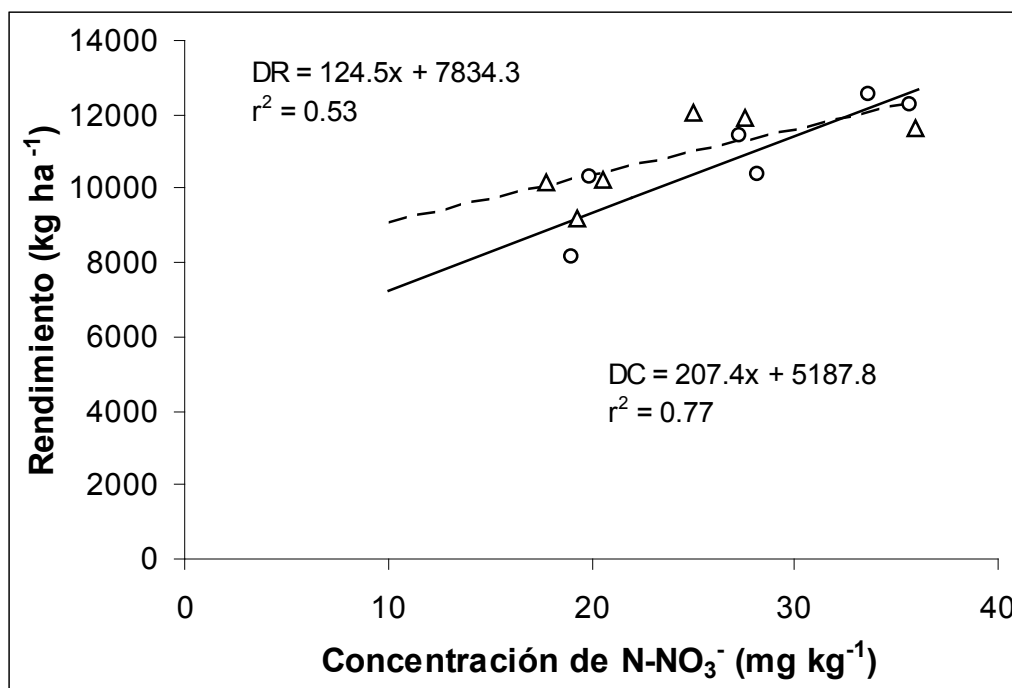


Figura 2. Rendimiento máximo del cultivo de maíz irrigado bajo SD y concentración crítica de  $\text{N-NO}_3^-$  en los 30 cm superficiales al estadio de V6, en función del distanciamiento entre hileras para las estaciones de crecimiento 1999/00 y 2000/01. DC= distanciamiento convencional (O); DR= distanciamiento reducido ( $\Delta$ )

## Indicadores de la nutrición nitrogenada en planta

### Contenido de clorofila

El contenido de clorofila en hoja de maíz se encuentra estrecha y positivamente relacionado con la concentración de N en hoja, reflejando en consecuencia la condición nitrogenada del cultivo (Wolfe *et al.*, 1988). En la Fig. 3, se puede observar como la pendiente de la relación entre el contenido de N y el índice de verdor (IV), disminuyen a medida que avanza la estación de crecimiento. Este comportamiento es debido a que cuando el cultivo crece y acumula biomasa, se observan caídas en la concentración de N total, aún con disponibilidad de N no limitante (Greenwood *et al.*, 1990). El distanciamiento entre hileras no afectó la

relación entre el contenido de N y el IV en ninguno de los momentos evaluados (Fig. 3).

En las tres estaciones de crecimiento, la aplicación de N incrementó significativamente el IV en todos los estadios fenológicos (Tabla 2). La reducción de la distancia entre hileras incrementó significativamente el IV en algunos estadios, siendo este incremento mayor en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sin el agregado de N (Tabla 2). Los aumentos promedio de IV determinados en los tratamientos con menor distancia entre hileras fueron 4,4; 2,3 y 3,3% respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional para los estadios de V6, prefloración y posfloración, respectivamente. Estos resultados permiten afirmar que con menor distancia entre hileras se logra un mejor estado de nutrición nitrogenada del maíz bajo SD (Tabla 2), como consecuencia de la mayor absorción de N por el cultivo (Tabla 5, Capítulo I).

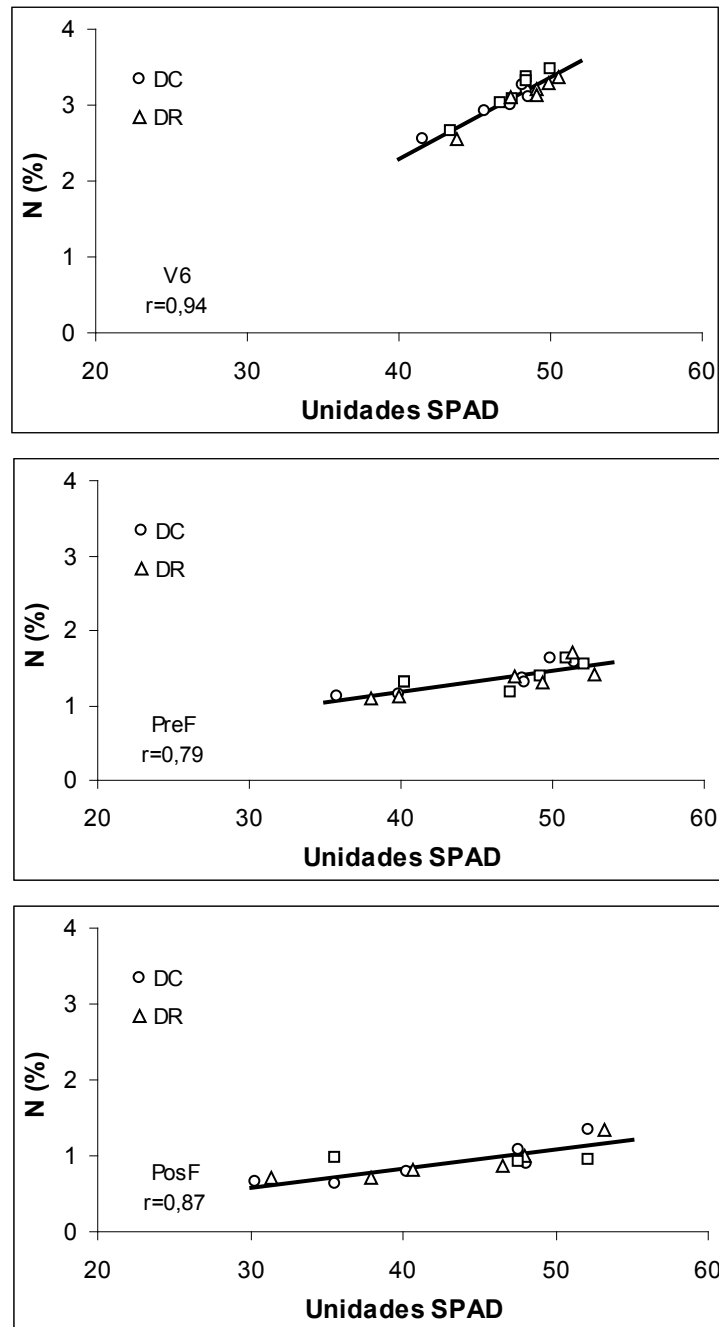


Figura 3. Relación entre el porcentaje de N y el índice de verdor en hoja en función de la distancia entre hileras. V6= estadio fenológico de seis hojas, Pref.= estadio fenológico de prefloración, PosF.= estadio fenológico de posfloración. DC= distanciamiento convencional; DR= distanciamiento reducido.

**Tabla 2. Índice de verdor en hoja del cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N.**

		1996/97			1999/00			2000/01		
Tratamientos		Estadio fenológico								
		V6	Pref	Posf	V6	Pref	Posf	V6	Pref	Posf
Dosis de N	Distanci	-----Unidades SPAD-----								
180	70	-	-	-	48,5	49,9 a	52,1 a	48,6	51,5	48,1
	52	-	-	-	48,5	50,9 a	54,3 a	50,0	52,1	49,2
	35	-	-	-	49,1	51,3 a	53,2 a	50,5	52,8	46,6
140	70	-	52,7	54,4	-	-	-	-	-	-
	35	-	52,2	55,6	-	-	-	-	-	-
90	70	-	-	-	47,4	48,0 a	47,6 a	48,1	48,1	40,2
	52	-	-	-	47,5	47,3 a	48,3 a	48,5	49,2	41,9
	35	-	-	-	49,0	47,5 a	47,8 a	49,9	49,3	40,7
0	70	43,7	38,3	37,9	41,6	35,8 b	35,5 b	45,6	39,8	30,3
	52	-	-	-	43,4	40,7 a	40,4 a	46,7	40,2	32,5
	35	47,1	41,2	39,3	43,8	38,0 ab	37,9 ab	47,3	39,9	31,4
Prom. Dosis	180	-	-	-	48,6 a	50,8	53,2	49,7 a	52,1 a	48,0 a
	140	-	52,5 a	55,0 a	-	-	-	-	-	-
	90	-	-	-	48,0 a	45,6	47,9	48,8 a	48,9 b	40,9 b
	0	-	39,7 b	38,6 b	42,9 b	37,5	36,8	46,6 b	40,0 c	31,4 c
Prom.	70	43,7 b	45,5 a	46,2 a	45,8 b	44,5	45,1	47,4 b	46,5 a	39,5 b
	52	-	-	-	46,4 b	46,7	48,4	48,4 ab	47,2 a	41,2 a
	35	47,1 a	46,7 a	47,5 a	47,3 a	45,6	46,3	49,2 a	47,3 a	39,5 b
Análisis de la Varianza										
N		-	**	**	**	**	**	§	**	**
D		*	ns	ns	**	*	**	*	ns	§
N*D		-	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns
CV (%)		1,4	1,5	2,8	1,7	2,5	1,8	2,7	2,3	4,0

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. V6, Pref. y Posf. corresponden a los estadios fenológicos de seis hojas, prefloración (15 días antes) y posfloración (15 días después), respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.

Los valores de IV se relacionaron con el RR del cultivo, las unidades SPAD determinadas para alcanzar el 95% del rendimiento máximo no fueron diferentes entre distanciamientos (Tabla 3), siendo los ajustes bajos en V6 y más elevados en pre y posfloración, resultados que coinciden con lo reportado en otras experiencias (Sainz Rozas y Echeverría, 1998). Similar comportamiento se observó para la

relación RR y el ISN (Fig. 4). Estas relaciones no fueron afectadas por el distanciamiento entre hileras a pesar de los mayores valores de clorofila determinados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas. Este comportamiento sería debido a que en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas no se produjeron cambios en la relación MS/N de la planta como consecuencia de los incrementos proporcionales determinados tanto en el N acumulado como en el rendimiento en grano (Capítulo I).

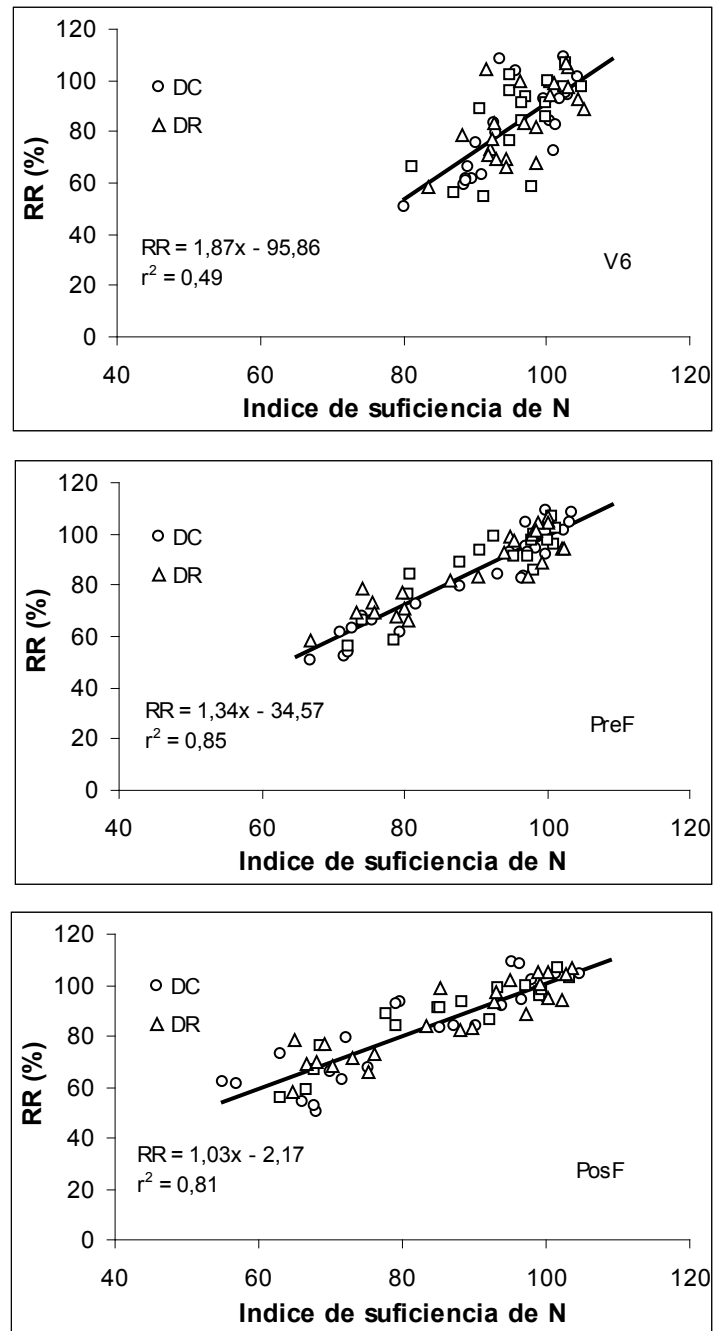
La determinación del IV mediante el uso del Minolta SPAD 502, permitió determinar el estado de nutrición nitrogenada del cultivo. Los tratamientos con distancia entre hileras reducidas presentaron mayores valores IV, principalmente durante el estadio de V6 (Tabla 2), indicando un mejor estado nutricional del cultivo, comportamiento que sería debido a la mayor absorción de N (Tabla 5, Capítulo I). No obstante en V6 este método de diagnóstico es relativamente poco sensible. De todos modos, cuando los umbrales de clorofila se relacionaron con el RR no se determinaron diferencias entre distanciamientos, por lo tanto, esto estaría indicando que los umbrales de respuesta a la fertilización determinados mediante el ISN, utilizando el medidor de clorofila Minolta SPAD 502, no serían diferentes entre distanciamientos.

**Tabla 3. Relación entre los valores de índice de verdor en distintos estadios fenológicos y el rendimiento relativo (RR) del cultivo de maíz irrigado bajo SD, en función del distanciamiento entre hileras y el agregado de N para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01.**

Distanciamiento convencional			
Estadio fenológico	Ecuación de regresión	$r^2$	Índice de verdor para alcanzar el 95% del Rmax
V6	RR= 4,1x-108,3	0,57	49,5
Prefloración	RR= 2,8x-44,4	0,90	49,7
Posfloración	RR= 2,0x-2,7	0,76	48,8
Distanciamiento reducido			
Estadio fenológico	Ecuación de regresión	$r^2$	Unidades SPAD para alcanzar el 95% del Rmax
V6	RR= 3,1x-61,0	0,35	50,3
Prefloración	RR= 2,4x-23,7	0,80	49,5
Posfloración	RR= 1,6x+18,1	0,68	48,1

**x= lectura del SPAD. Rmax= rendimiento máximo.**





**Figura 4.** Relación entre el rendimiento relativo (RR) y el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) en el cultivo de maíz irrigado bajo SD, en función del distanciamiento entre hileras y el agregado de N para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01. PreF: estadio fenológico de prefloración, PosF: estadio fenológico de posfloración. DC= distanciamiento convencional; DR= distanciamiento reducido.

### **Curva de dilución de N**

La concentración de N en planta en función de la materia seca acumulada se presenta en la Fig. 5. Cuando el cultivo fue fertilizado las curvas ajustadas entre distanciamientos fueron similares. No obstante, las diferencias entre las curvas son mayores cuando el cultivo no recibió el agregado de N, los tratamientos con distancia entre hileras convencional se encuentran por debajo de la línea ajustada para los tratamientos con distanciamiento reducido, lo cual estaría sugiriendo que en dichos tratamientos el grado de estrés de N sería mayor (Fig. 5). El mejor estado nutricional del cultivo determinado en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sería consecuencia de la mayor absorción de N (Tabla 5, Capítulo I) principalmente durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo. Resultados que fueron corroborados a través de la menor concentración de NSV6 (Fig. 1) como así también mediante el contenido de IV (Tabla 2)

El IEN determinado para los tratamientos que recibieron fertilización con N mostraron valores más altos (a mayor valor del índice indica un mejor estado nutricional del cultivo), mientras que los tratamientos que no recibieron el agregado de N presentaron bajos valores y en consecuencia mayor estrés de N (Tabla 4). Sin embargo, las mayores diferencias en el IEN entre distanciamientos se observan para los tratamientos que no recibieron la aplicación de N (Tabla 4). Los tratamientos con distancia entre hileras reducidas presentaron valores superiores de IEN respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional, principalmente durante los estadios iniciales del cultivo, este comportamiento sería consecuencia del incremento en la ER del N disponible (Fig. 14, Capítulo I), dado que cuando el cultivo de maíz es sembrado con una menor distancia entre hileras presenta un mayor crecimiento inicial (Bullock et al., 1988).

Uhart (1995) y Uhart y Andrade (1996), reportaron que disminuciones en las tasas de crecimiento no siempre se traducen en mermas en el rendimiento. Los efectos del estrés de N no solo están relacionados con su intensidad sino también con el momento de ocurrencia, ya que si el cultivo tiene oportunidad de recuperarse antes de floración el rendimiento puede no reducirse. Los mayores rendimientos observados por los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sin el agregado de N (Tabla 4, Capítulo I), serían consecuencia de una mejor condición nitrogenada respecto de los tratamientos con distancia entre hileras a 70 cm durante el PC. Esta mejor condición, produciría una menor reducción de la TCC, y por ende en el rendimiento, como consecuencia de una mayor RFAint. acumulada durante el PC por los tratamientos con distancia entre hileras reducidas (Tabla 5, Capítulo I). Por lo tanto, la reducción de la distancia entre hileras permitiría contrarrestar parcialmente los efectos negativos de la deficiencia de N sobre el rendimiento del cultivo, resultados que coinciden con lo informado por Barbieri *et al.* (2000).

En función de los resultados, la metodología de análisis de tejido a través de la curva de dilución, mostró ser un método de diagnóstico poco sensible dado que a pesar de la mayor acumulación de N por los tratamientos con distanciamiento reducidos las curvas ajustadas fueron similares entre distanciamientos, y por lo tanto, los IEN mostraron similar comportamiento.

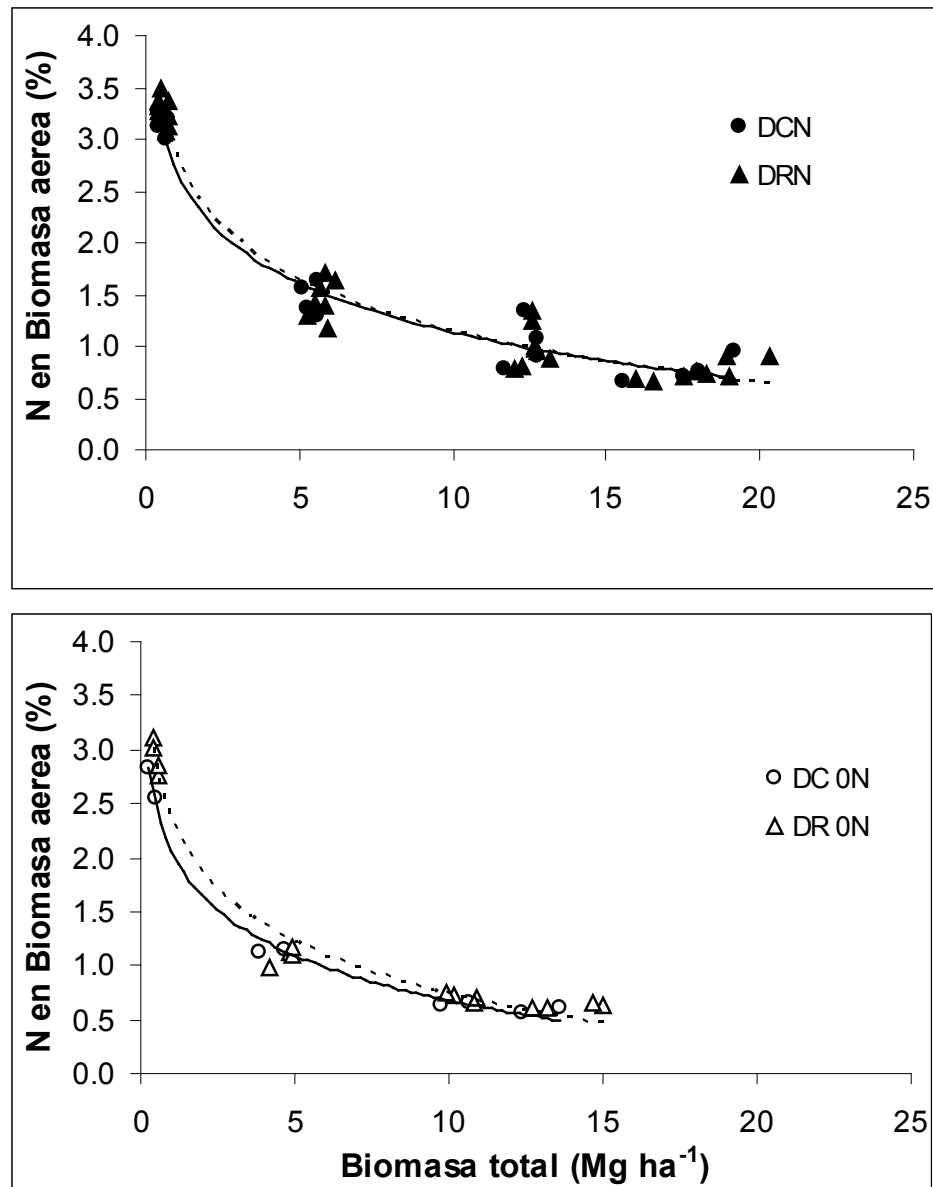


Figura 5. Concentración de N en biomasa aérea y la biomasa aérea total del cultivo de maíz irrigado bajo SD, en función del distanciamiento entre hileras y el agregado de N para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01. DC 0N y DCN= distanciamiento convencional sin y con N, respectivamente. DR 0N y DRN= distanciamiento reducido sin y con N, respectivamente. Línea negra continua y discontinua representa el ajuste para los tratamientos con distancia entre hileras convencional y reducida, respectivamente.

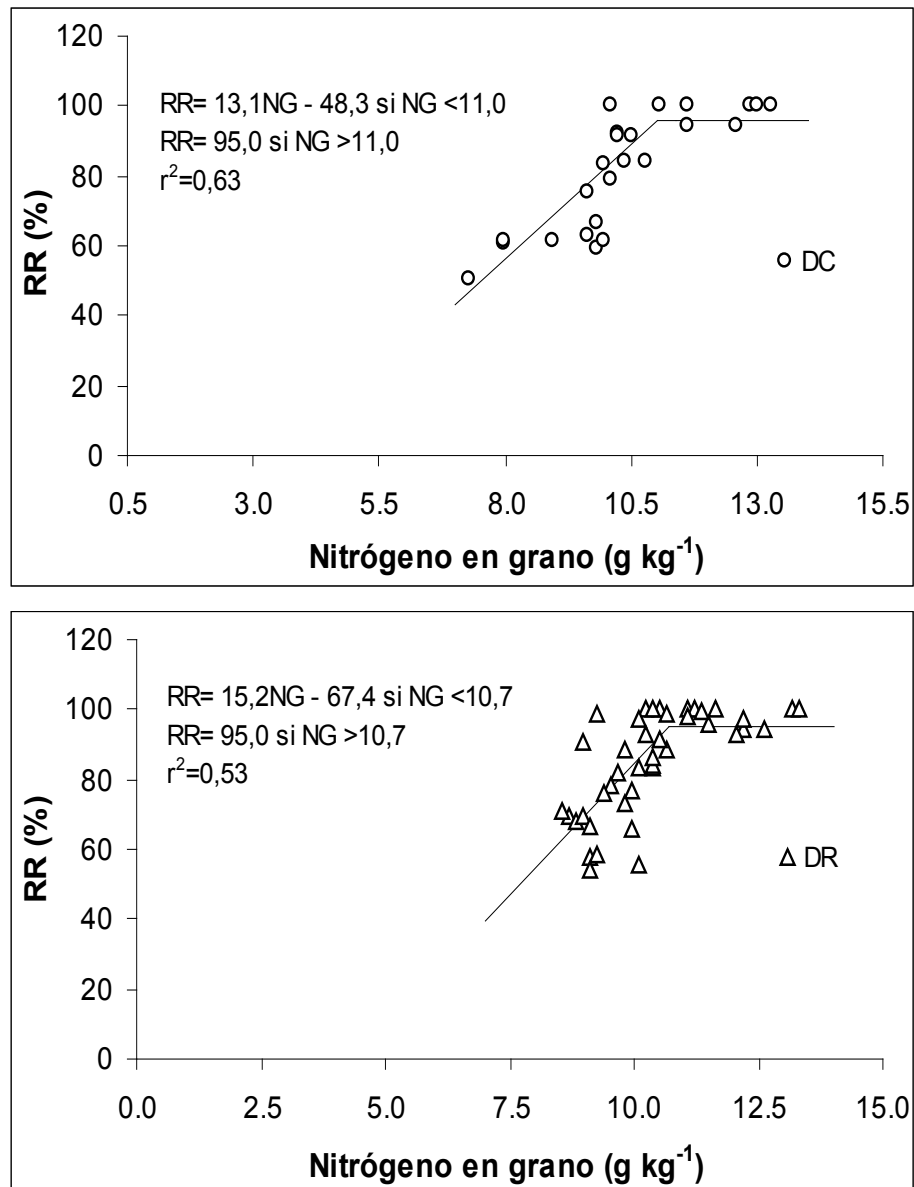
**Tabla 4. Índice de estrés de N para el cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N.**

		1996/97				1999/00				200/01			
Tratamientos		Estadío fenológico											
		V6	Pref	Posf	MF	V6	Pref	Posf	MF	V6	Pref	Posf	MF
Dosis de N	Distancia	-----Kg ha <sup>-1</sup> -----											
180	70	-	-	-	-	0,61	0,58	0,62	0,50	0,49 a	0,54	0,42	0,36
	52	-	-	-	-	0,63	0,60	0,58	0,48	0,56 a	0,56	0,46	0,39
	35	-	-	-	-	0,60	0,62	0,63	0,49	0,54 a	0,51	0,42	0,37
140	70	-	0,49 a	0,67 a	0,44 a	-	-	-	-	-	-	-	-
	35	-	0,46 a	0,65 a	0,44 a	-	-	-	-	-	-	-	-
90	70	-	-	-	-	0,53	0,48	0,51	0,39	0,51 a	0,47	0,36	0,33
	52	-	-	-	-	0,56	0,46	0,45	0,40	0,52 a	0,49	0,36	0,35
	35	-	-	-	-	0,59	0,51	0,47	0,39	0,51 a	0,51	0,38	0,34
0	70	0,37	0,29 b	0,35 b	0,28 b	0,42	0,36	0,27	0,29	0,40 b	0,39	0,29	0,26
	52	-	-	-	-	0,45	0,38	0,29	0,31	0,46 a	0,41	0,33	0,29
	35	0,48	0,33 a	0,42 a	0,34 a	0,44	0,37	0,32	0,31	0,48 a	0,40	0,31	0,28
Prom. Dosis	180	-	-	-	-	0,61 a	0,60 a	0,61 a	0,49 a	0,53	0,54 a	0,43 a	0,38 a
	140	-	0,43	0,61	0,44	-	-	-	-	-	-	-	-
	90	-	-	-	-	0,57 b	0,48 b	0,47 b	0,39 b	0,51	0,49 a	0,37b	0,35 b
	0	-	0,31	0,39	0,31	0,43 c	0,37 c	0,29 c	0,30 c	0,45	0,40 b	0,31 c	0,28 c
Prom. Distancia	70	0,37	0,39	0,51	0,36	0,52 b	0,47 a	0,46 a	0,39 a	0,47	0,47 a	0,35 a	0,32 a
	52	-	-	-	-	0,55 a	0,48 a	0,44 a	0,40 a	0,52	0,49 a	0,38 a	0,34 a
	35	0,48	0,40	0,48	0,31	0,55 a	0,50 a	0,47 a	0,40 a	0,51	0,48 a	0,37 a	0,33 a
<b>Análisis de la Varianza</b>													
N		-	**	**	**	**	**	**	**	ns	*	*	**
D		*	ns	ns	ns	§	ns	ns	ns	**	ns	ns	*
N*D		-	§	§	§	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
CV (%)		4,7	6,3	14,7	5,0	3,5	7,0	8,8	7,3	4,1	10,2	8,2	5,2

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. V6, Pref, Posf y MF corresponden a los estadios fenológicos de seis hojas, prefloración (15 días antes), posfloración (15 días después) y madurez fisiológica, respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.

### **Concentración de N en grano**

La concentración de N en grano se relacionó con el RR (Fig. 6). Los umbrales determinados en esta experiencia son ligeramente inferiores al establecido para Balcarce de alrededor de  $12 \text{ g kg}^{-1}$  por Uhart y Andrade (1995b). A pesar de los mayores rendimientos observados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas (Tabla 4, Capítulo I), los valores críticos determinados a partir del cual se producirían disminuciones en rendimiento fueron similares entre distanciamientos. Este comportamiento sería consecuencia de que la distancia entre hileras no afectó la EF de utilización del N (Tabla 7, Capítulo I) debido a que los incrementos fueron proporcionales en el N acumulado por el cultivo (Tabla 5, Capítulo I) y en el rendimiento (Tabla 4, Capítulo I). Por lo tanto, estos resultados sugieren que no es necesario cambiar el umbral de respuesta a la fertilización nitrogenada determinado a través del contenido de N en grano en función del distanciamiento entre hileras.



**Figura 6. Relación entre el rendimiento relativo (RR) y la concentración de nitrógeno en grano en el cultivo de maíz irrigado bajo SD, en función del distanciamiento entre hileras y el agregado de N para las estaciones de crecimiento 1996/97, 1999/00 y 2000/01. DC= Distanciamiento convencional 70 cm; DR= Distanciamiento reducido 35 y 52 cm**

En este capítulo se analizaron indicadores de la disponibilidad de N en el suelo y en planta para diferentes distanciamientos entre hileras. Los resultados expuestos permiten arribar a las siguientes conclusiones:

- Los umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada, determinados en el suelo mediante NSV6 fueron menores para cultivos realizados con distancia entre hileras reducidas, respecto a cultivos con espaciamiento convencional por lo tanto, no se recopilaron evidencias para rechazar la primer hipótesis.
- Los umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada determinado mediante el ISN, utilizando el clorofilómetro Minolta SPAD 502, fueron similares entre distanciamientos en consecuencia no se recopilaron evidencias para rechazar la segunda hipótesis.
- Las concentraciones de N determinadas por medio del análisis de tejido, a través de la metodología de IEN, fueron similares entre distanciamientos, por lo tanto no se recopilaron evidencias para rechazar la tercera hipótesis.
- La concentración de N determinada en grano no fue diferente entre distanciamientos, a pesar de los mayores rendimientos determinados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, por lo tanto, no se recopilaron evidencias para rechazar la cuarta hipótesis.

La reducción de la distancia entre hileras permite reducir las dosis de N para el cultivo de maíz, los resultados de este estudio podrán ser transferidos a los productores con el objeto de incrementar la eficiencia del uso de los recursos y por consiguiente la sustentabilidad de los sistemas de producción. Las CC determinadas a través del NSV6 fueron diferentes entre distanciamientos, por lo tanto, esta práctica de manejo permite efectuar un ahorro de N del orden de 40 kg de N ha<sup>-1</sup>



cuando dicho nutriente se aplica al momento de la siembra. Por otra parte, los umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada determinados los tratamientos con distanciamiento reducido sobre tejido vegetal fueron similares entre distanciamientos, y en consecuencia, no existe la necesidad de adecuar los umbrales de respuesta a la aplicación de N en función del distanciamiento entre hileras. Los resultados obtenidos indican que la reducción de la distancia entre hileras afecta en gran medida la recuperación del N disponible para el cultivo, comportamiento que fue observado mediante el PSNT. Sin embargo, cuando intervienen procesos fisiológicos, como lo es el contenido de clorofila y la concentración de N en grano los cambios producidos por el distanciamiento entre hileras son de menor magnitud.

Hasta el momento en los Capítulos analizados se determinó que la reducción de la distancia entre hileras en el cultivo de maíz irrigado bajo SD incrementa la EUN. Sin embargo, debido a que la aplicación de riego suplementario no es una práctica de manejo muy adoptada en la región pampeana, existe la necesidad de estudiar el impacto de la reducción de la distancia entre hileras cuando el cultivo se realiza en condiciones de secano. Considerado que el N es uno de los principales limitantes de la producción, la información obtenida aportará conocimientos originales que contribuirán a la mejora de la EUN, siendo la misma extrapolable a la mayoría de los sistemas productivos existentes en la región.

**CAPÍTULO III**  
**EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO DEL CULTIVO DE MAÍZ IRRIGADO Y EN**  
**SECANO**  
**INTRODUCCIÓN**

En el Capítulo I se determinó que la reducción de la distancia entre hileras del cultivo de maíz irrigado bajo SD, incrementa la EUN como consecuencia de la mayor ER del N disponible. Los incrementos en la ER determinados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, fueron explicados por la mayor absorción de N por el cultivo durante los estadios iniciales del ciclo. Paralelamente, la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  en el suelo fue menor (Capítulo II). Esto produjo contenidos de clorofila superiores para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, como así también mayores valores de IEN, determinados mediante la curva de dilución de N. Las diferencias determinadas mediante los métodos de diagnóstico en planta para los tratamientos con menor distancia entre hileras, fueron mayores durante los estadios iniciales para luego disminuir como consecuencia del incremento en la MS acumulada (Capítulo II). Si bien la reducción de la distancia entre hileras incrementó la EUN del cultivo de maíz irrigado bajo SD, en la actualidad la aplicación de riego suplementario en la etapa crítica de determinación de rendimiento no es una práctica ampliamente difundida en los sistemas de producción, por lo tanto, existe la necesidad de determinar si la reducción de la distancia entre hileras produce mejoras en la EUN del cultivo de maíz bajo SD en condiciones de secano.

El agua es el principal factor que limita el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en condiciones extensivas de la Región Pampeana Argentina. El grado de sensibilidad al estrés hídrico en este cultivo, depende del momento en que ocurra (Andrade et al., 1996). Se ha demostrado que la sensibilidad del maíz a los déficit

hídricos declina en el siguiente orden: floración > llenado de granos > estado vegetativo (Musick y Duisek, 1980, citados por Rhoads y Bennet, 1990). Para la localidad de Balcarce, utilizando una serie de 20 años se determinó con una probabilidad de 0,5 de que ocurran déficit hídricos de 100 mm o menores durante el ciclo del cultivo (Aguilera, Barbieri y Echarte, 1996). Della Maggiora et al (1998) determinaron que el cultivo de maíz presenta el mayor requerimiento de agua en coincidencia con el período del año de mayor demanda atmosférica, por lo tanto, existe elevada probabilidad de deficiencias hídricas durante el período crítico (PC) de determinación del rendimiento del maíz (15 días antes a 15 días después de floración).

Denmead et al (1962) citado por Olson y Sander, (1988) calcularon que reduciendo la distancia entre hileras de 100 cm a 60 cm se incrementaría la cantidad de energía disponible para la fotosíntesis en un 15 a 20%, esto teóricamente permitiría incrementar el potencial de rendimiento para espaciamientos más equidistantes. El principal efecto del distanciamiento sobre el rendimiento se cree que es debido al cambio producido en la distribución de la energía radiante (Yao y Shaw, 1964b). Cultivos de maíz sembrados con distancia entre hileras reducida interceptan una mayor proporción de la radiación incidente (Aubertin y Peters, 1961; Bullock et al., 1988; Teasdale, 1995) debido a que los mismos alcanzan antes el IAF crítico, consecuencia de un mayor crecimiento inicial y de una mejor disposición de las hojas en el terreno (Hunter et al., 1970; Bullock et al., 1988). Tanner y Lemon (1962) citados por Yao y Shaw, (1964a) informaron que cuando la humedad del suelo no es limitante y la superficie del suelo es cubierta por la canopia del cultivo, gran parte de la radiación incidente es utilizada en los procesos de evapotranspiración. Esto indicaría que las diferencias en radiación interceptada para

diferentes espaciamientos entre hileras, podrían también resultar en diferencias en eficiencia del uso del agua.

La reducción de la distancia entre hileras reduce la energía que llega a la superficie del suelo, debido a un incremento en la radiación interceptada por el cultivo, y por lo tanto, se reduce la cantidad de agua que es evaporada desde el suelo. Esto produciría un incremento en la energía disponible en la canopia del cultivo, aumentando la transpiración, y en consecuencia, la eficiencia del uso del agua. Sin embargo, espaciamientos más equidistantes pueden causar reducciones de rendimiento en años con estrés hídrico, debido a que gran parte del agua sería consumida por el cultivo durante los estadios iniciales, como consecuencia de una mayor transpiración, quedando el suelo con menor disponibilidad hídrica durante el PC. En aquellas situaciones donde no llueve durante el ciclo del cultivo y este depende del agua en el perfil al momento de la siembra, incrementar la distancia entre hileras permite conservar agua para las etapas reproductivas más críticas (Robinson, 1978). El espaciamiento entre hileras afecta el momento en que se utiliza la humedad del suelo acumulada entre hileras. Con hileras angostas, es más factible que se agote esta humedad antes de floración debido a la más temprana penetración de las raíces en el volumen de suelo entre hileras (Andrade et al., 2000). Sin embargo, en aquellos ambientes en donde el cultivo se desarrolla en situaciones de deficiencia de agua temprana (inicio del ciclo), se puede presentar una baja cobertura de follaje durante el PC. En estas situaciones, se esperan respuestas positivas a la reducción de la distancia entre hileras (Andrade et al., 2000).

La reducción de la distancia entre hileras produce un mayor crecimiento de las plantas durante los primeros estadios (Bullock et al., 1988), como consecuencia de la mayor RFAint (Bullock et al., 1988; Teasdale, 1995), afectando la dinámica del

proceso de evaporación desde el suelo que afectaría la eficiencia del uso del agua (EUA), la evapotranspiración y en consecuencia el rendimiento, sobre todo en los sistemas productivos de secano en donde el balance de agua es determinante del rendimiento del cultivo. Por lo tanto, se esperaría encontrar diferencias en rendimiento entre los tratamientos bajo riego y secano. Sin embargo, ante deficiencias hídricas moderadas, los rendimientos de los tratamientos con distancia entre hileras reducidas serían mayores como consecuencia de la mayor RFAint durante el PC, respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional (Andrade et al., 2002). Sharratt y McWilliams (2005) sugieren que las ventajas de rendimiento en cultivos de maíz con distancia entre hileras reducidas, serían debidas a la mejor distribución de las raíces y hojas que permitirían un mayor aprovechamiento del agua del suelo y de la luz, reduciendo la temperatura y evaporación del suelo comparado con cultivos con distanciamiento convencional. En tal sentido, en secano y durante los estadíos iniciales del ciclo del cultivo, sería factible suponer igual comportamiento que el descrito para condiciones sin limitaciones hídricas, debido a que las precipitaciones superan la demanda hídrica del cultivo. Esto sería, la reducción de la distancia entre hileras produciría mayor crecimiento inicial y captación de N (Capítulo I), mejor estado nutricional del cultivo, el cual se expresaría en los rendimientos y EUN si las condiciones de estrés hídrico no fueran muy limitantes durante el PC.

Dado que no existen antecedentes acerca del efecto de la reducción de la distancia entre hileras ante oferta variable de N sobre la EUN y sus componentes (EF y ER) para el maíz bajo SD en condiciones de secano, el estudio y la cuantificación de las variaciones en la EUN aportarían información original y relevante para el manejo racional de este nutriente.

En base a lo expuesto, se hipotetiza que la respuesta del cultivo de maíz bajo SD a la reducción de la distancia entre hileras en condiciones de secano es similar a la determinada para condiciones bajo riego, por lo tanto:

- La reducción de la distancia entre hileras incrementa la EUN, respecto de cultivos sembrados con distancia entre hileras convencional.
- La EF no es afectada por el distanciamiento entre hileras.
- La mayor EUN es consecuencia de una mayor ER del N disponible
- Los incrementos en la ER del N disponible en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas son explicados por la mayor absorción de N durante los estadíos iniciales del ciclo del cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Balcarce, durante las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03 sobre un monocultivo de maíz bajo SD desde el año 1994. El suelo del sitio experimental fue un complejo formado por un Arguudol Típico (serie Mar del Plata) y un Paleudol Petrocálcico (serie Balcarce), con predominio del primer suelo dentro del complejo (90%). Al momento de la siembra, la cobertura del suelo por los residuos fue superior al 80%, en la Tabla I se presenta algunas características del suelo:

**Tabla 1. Características del suelo a la siembra de los ensayos**

Estación de crecimiento	P§ (0-20 cm)	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0-60 cm)	pH	CO† (0-20 cm)
	ppm	Kg ha <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>
2001/02	16,9	22,1	6,4	31,3
2002/03	18,9	13,0	6,4	31,3

† CO= carbono orgánico

§ P= Contenido de P Bray y Kurtz I

El híbrido de maíz utilizado fue Dekalb 615 sembrado el 2 y 25 de octubre en las campañas 2001/02 y 2020/03, respectivamente. Las unidades experimentales fueron de siete surcos de ancho por 14 m de longitud. Las malezas e insectos fueron controlados adecuadamente mediante la utilización de dosis y productos recomendados habitualmente. A pesar del contenido de P adecuado de este suelo, en ambos años se aplicó superfosfato triple de calcio a razón de 34 kg ha<sup>-1</sup> y 25 kg ha<sup>-1</sup> de P al momento de la siembra del cultivo en 2001/02 y 2002/03, para que dicho nutriente no limitara el crecimiento.

En ambos años, el diseño experimental utilizado fue en parcelas sub-dividas en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, siendo la parcela principal riego o seco, la sub-parcela la dosis de fertilizante en forma de urea aplicado a mano y en cobertura total al momento de la siembra del cultivo (0 y 180 kg de N ha<sup>-1</sup>) y la sub-sub-parcela fue el arreglo espacial (70 y 35 cm entre hileras). La densidad de plantas logradas en cada estación de crecimiento para los diferentes tratamientos fue la siguiente:

2001/02		
Distancia entre hileras	Riego	Secano
0,70 m	74.695 plantas ha <sup>-1</sup>	63.710 plantas ha <sup>-1</sup>
0,35 m	74.721 plantas ha <sup>-1</sup>	63.733 plantas ha <sup>-1</sup>
2002/03		
Distancia entre hileras	Riego	Secano
0,70 m	77.520 plantas ha <sup>-1</sup>	67.320 plantas ha <sup>-1</sup>
0,35 m	77.547 plantas ha <sup>-1</sup>	67.344 plantas ha <sup>-1</sup>

Las precipitaciones ocurridas, los riegos por aspersión realizados, la temperatura media y la radiación fotosintéticamente activa incidente, se presentan en la Tabla 2. La aplicación de riegos suplementarios se realizó a partir de 15 días antes de la floración, cuando el contenido de agua del suelo fue inferior al 50% del agua disponible para el cultivo, la cual resultó de la diferencia entre el porcentaje de humedad gravimétrica (% en peso) a capacidad de campo (32%) y el porcentaje de humedad en el punto de marchitez permanente (9%). Dicha diferencia fue tomada en lámina de agua (mm) empleando el valor de densidad aparente de cada horizonte.

La disponibilidad de N mineral en el suelo se determinó al comienzo de cada estación de crecimiento y al estadio vegetativo de seis hojas, los detalles acerca de la determinación de N mineral, materia seca acumulada, rendimiento del cultivo y



acumulación de N en biomasa aérea fueron presentados en el Capítulo I. En ambas estaciones de crecimiento durante el PC de determinación del rendimiento (15 días antes y 15 días después de floración) se determinó el contenido de agua en el suelo en las capas de 0-20 cm, por el método gravimétrico, y en las capas 20-40 y 40-60 cm por el método de atenuación de neutrones, utilizando una sonda Troxler 4302 (Troxler Electronics Laboratorios, Inc, EEUU)

El cálculo de la EUN expresada en MS o grano y sus componentes: EF y ER, como así también el N disponible para el cultivo en cada estación de crecimiento se realizó según lo descrito en el Capítulo I. Los valores de mineralización estimados por el modelo propuesto por Echeverría et al. (1994) fueron en 2001/02 de 50 y 78 kg de N ha<sup>-1</sup>, para las condiciones de secano y riego, respectivamente, mientras que en 2002/03, la mineralización fue 46 y 76 kg de N ha<sup>-1</sup>, para las condiciones de secano y riego, respectivamente. En ambas estaciones de crecimiento, se realizó el cálculo de la eficiencia de uso de agua como el cociente entre la materia seca o el rendimiento en grano y la evapotranspiración real del cultivo.

Los efectos de los tratamientos fueron evaluados por análisis de la varianza mediante la utilización de Statistical Analysis System (SAS) (SAS Institute Inc., 1985.) El test de Tukey fue realizado cuando el análisis de la varianza de los efectos principales o de su interacción fue significativo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación interanual en la temperatura media del aire y en la radiación de la campaña 2001/02 y 2002/03 no fue de gran magnitud (Tabla 2) y los valores registrados son similares al promedio determinado para la zona. En ambas estaciones de crecimiento, las precipitaciones fueron similares o superiores (690 y 590 mm en 2001/02 y 2002/03, respectivamente) a la evapotranspiración del cultivo determinada para la zona (530 mm) por Andrade y Gardiol (1995). No obstante, la distribución de las precipitaciones provocaron que en algunos momentos del ciclo del cultivo se determinaran deficiencias hídricas, principalmente en los tratamientos bajo condiciones de secano, siendo las mismas de 54 y 158 mm para las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03, respectivamente. En los tratamientos que recibieron la aplicación de riego suplementario, no se registraron deficiencias hídricas importantes durante el ciclo del cultivo (Fig. 1). Por el contrario, en ambas estaciones de crecimiento se determinaron excesos hídricos, los que fueron de mayor magnitud en los tratamientos que recibieron riego suplementario (358 y 293 mm en 2001/02 y 2002/03, respectivamente), respecto de secano (293 y 258 mm en 2001/02 y 2002/03, respectivamente). Estos excesos, ocurrieron principalmente durante las etapas iniciales del ciclo del cultivo, dado los escasos requerimientos hídricos.

**Tabla 2. Precipitaciones y riegos mensuales, temperatura media mensual del aire y radiación fotosintéticamente activa incidente en las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03.**

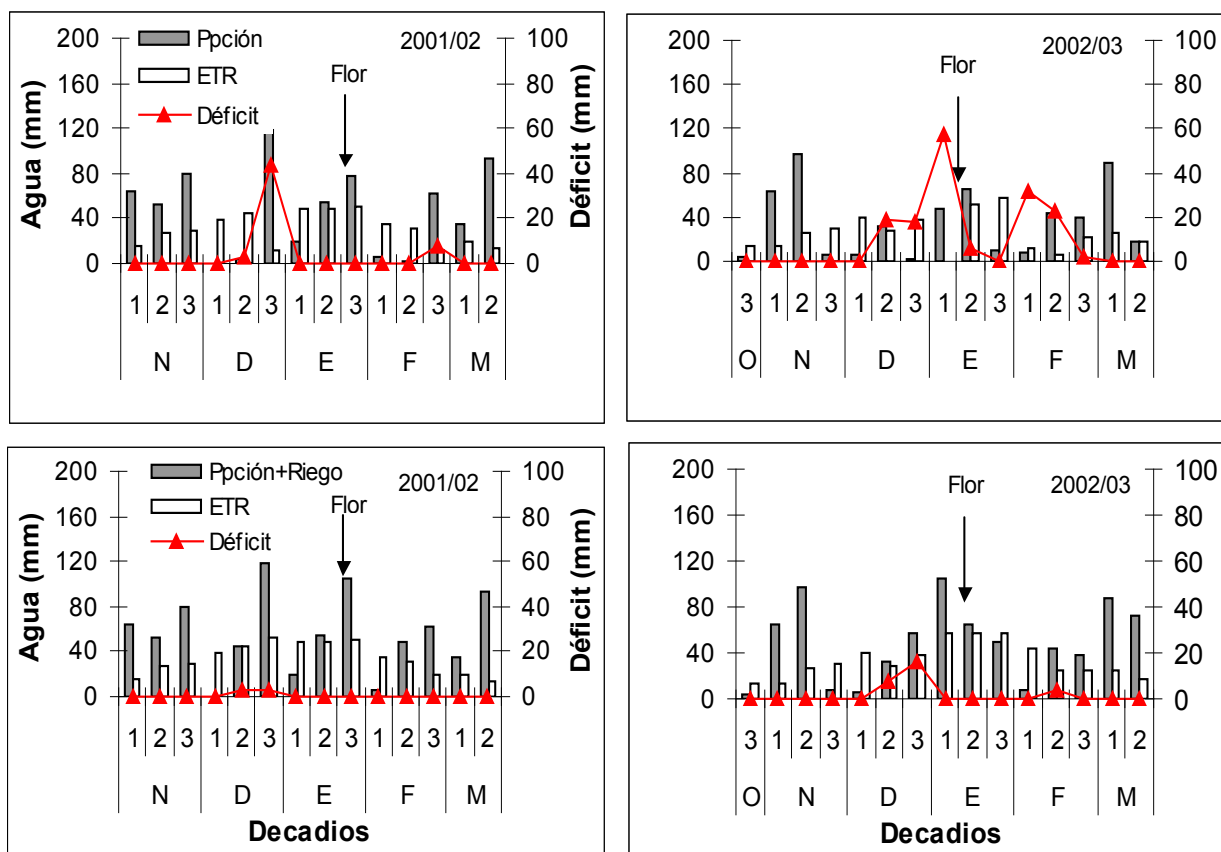
Mes	2001/02				2002/03			
	P†	R‡	T§	RI¶	P†	R‡	T§	RI¶
	-----mm-----		°C	MJ m <sup>-2</sup>	-----mm-----		°C	MJ m <sup>-2</sup>
Octubre	156,4		14,6	11,1	275,8		14,8	16,9
Noviembre	197,7		15,4	21,3	168,7		16,8	19,2
Diciembre	122,5	40,0	18,7	23,2	38,5		19,4	23,3
Enero	151,7	40,0	20,8	21,8	123,7	100	21,5	23,0
Febrero	70,6		19,2	19,2	90,8		20,5	19,1
Marzo	147,4		17,6	13,4	167,3		19,2	15,1
Total	926,3				964,8			

†P= Precipitaciones

‡R= Riego

§T= Temperatura media mensual del aire

¶RI= Radiación fotosintéticamente activa Incidente



**Figura 1. Balance de agua del cultivo de maíz bajo SD en función de la disponibilidad hídrica para las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03. La línea roja representa los momentos durante el ciclo del cultivo en donde se produjeron deficiencias hídricas. Ppción= Secano, Ppción+Riego=Riego. La flecha indica la floración del cultivo.**

### **Acumulación de materia seca**

En ambas estaciones de crecimiento y en condiciones de secano, la reducción de la distancia entre hileras produjo mayor MS acumulada respecto de los tratamientos con distanciamiento convencional, similar comportamiento fue determinado cuando el cultivo recibió la aplicación de riego suplementario (Tabla 3). Los incrementos determinados en la MS acumulada por el cultivo en ambas estaciones de crecimiento, serían debido a la mayor RFA<sub>int</sub> durante el ciclo del cultivo (Fig. 2). Dichos incrementos fueron proporcionalmente mayores durante los estadíos iniciales del ciclo del cultivo y serían debidos a que cultivos sembrados con menor distancia entre hileras interceptan una mayor proporción de la radiación incidente, como consecuencia de la menor competencia entre plantas (Bullock et al., 1988). Incrementos en la MS acumulada por efecto de la reducción de la distancia entre hileras han sido informados por otros autores (Stivers et al., 1971, Scarbrook y Doss, 1973, Bullock et al., 1988 y Cox et al., 1998) para maíz bajo labranza convencional. Los resultados obtenidos para condiciones de secano coinciden con los presentados en el Capítulo I, para cultivos irrigados bajo SD.

En ambas estaciones de crecimiento, la aplicación de riego suplementario incrementó la MS acumulada por el cultivo luego del estadio fenológico de V6 (Tabla 3). Este comportamiento sería debido a que la demanda del cultivo de maíz durante los estadíos iniciales del ciclo (siembra-V6) oscila entre 70 y 90 mm (Della Maggiora et al., 2000) y es inferior a las precipitaciones ocurridas durante dicho período en el partido de Balcarce (154 mm, media 1990-2004). Luego de V6 los requerimientos hídricos se incrementan sustancialmente debido a los cambios que se producen en los principales factores que gobiernan las pérdidas de agua como la radiación solar, temperatura, humedad del aire y velocidad del viento que afectan la

evapotranspiración del cultivo. En Balcarce, la evapotranspiración es máxima en los meses de diciembre y enero, con variaciones entre años asociadas con las variables mencionadas (Della Magiora et al., 2000).

Se determinaron incrementos en la MS acumulada por efecto de la aplicación de N. La muy baja disponibilidad de N a la siembra (Tabla 1) y al escaso N mineralizado desde la MO explicarían estos resultados que coinciden con los determinados por otros investigadores (Domínguez et al., 2001, Echeverría y Sainz Rozas, 2001). Si bien no se observó interacción entre dosis de N y distanciamiento entre hileras, los incrementos relativos respecto de 70 cm determinados en la MS acumulada en madurez fisiológica fueron mayores cuando menor fue la disponibilidad de N (Fig. 3). En resumen, los resultados obtenidos bajo riego confirman los determinados en el Capítulo I, en condiciones de secano los incrementos en la MS acumulada por disminuir la distancia entre hileras de maíz mostraron similar comportamiento.

**Tabla 3. Materia seca acumulada por el cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03, en función de la disponibilidad hídrica, distancia entre hileras y agregado de N.**

		2001/02				2002/03				
Tratamientos		Estadio fenológico								
		V6	Pref	Posf	MF	V6	Pref	Posf	MF	
		-----Kg ha <sup>-1</sup> -----								
Riego	70	180	417	7293	12103	20119	1024	5771	14628	17301
		0	410	4483	6596	11645	738	4859	7603	9898
	35	180	489	7081	14106	19079	1106	5533	15107	17539
		0	532	4651	6564	12438	643	4269	7014	10471
Secano	70	180	515	5798	10551	17611	937	4481	13068	15331
		0	424	3947	6103	8671	560	3268	6024	8029
	35	180	605	6491	12623	18625	1179	5710	13882	16911
		0	539	3675	6273	9582	741	3750	6717	8208
Prom. Riego	Con		521	5877	9842	15825	878	5108	11088	13802
	Sin		462	4978	8887	13622	854	4302	9923	12120
Prom. Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )	180		506	6666	12346	18858	1062	5374	14171	16770
	0		476	4198	6384	10584	670	4037	6839	9151
Prom. Distancia (cm)	70		441	5380	8838	14512	815	4595	10331	12630
	35		541	5475	9891	14931	917	4816	10680	13282
Análisis de la Varianza										
R			ns	§	*	§	ns	§	*	*
N			ns	**	**	**	**	**	**	**
D			*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
R*N			ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
R*D			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N*D			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
D*N*R			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)			14,4	10,1	10,0	4,8	14,9	9,8	7,4	7,6

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. V6, Pref, Posf y MF corresponden a los estadios fenológicos de seis hojas, prefloración (15 días antes), posfloración (15 días después) y madurez fisiológica, respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.

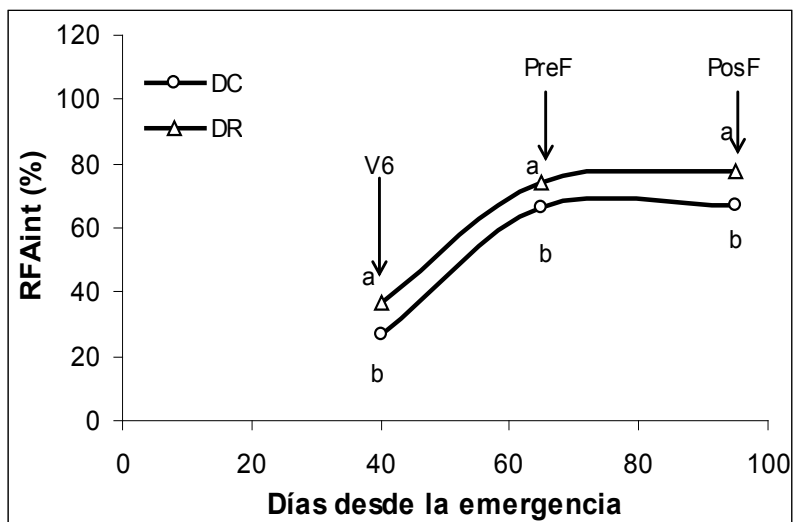


Figura 2. Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAint.) por el cultivo de maíz bajo SD (promedio de dosis de N y condición hídrica para ambas estaciones de crecimiento). V6= estadio vegetativo de seis hojas, PreF= 15 días antes de floración; PosF 15 días después de floración. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo el test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

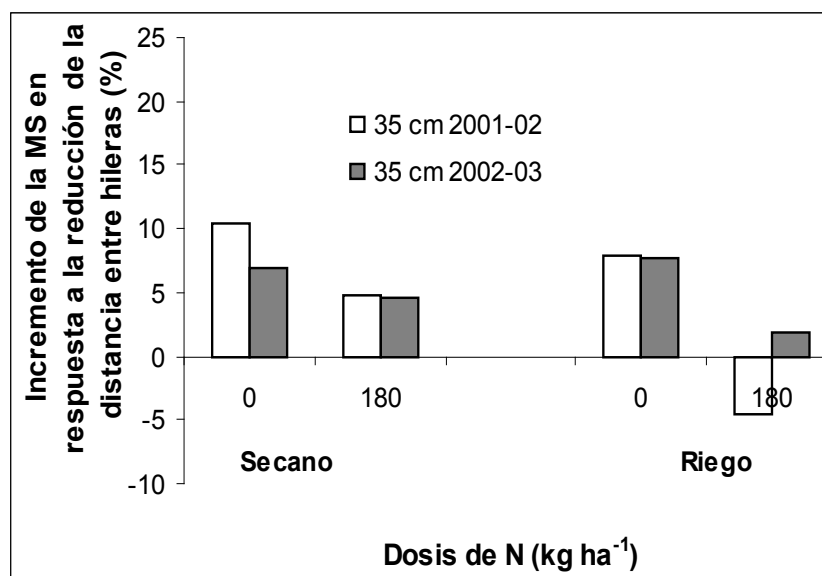


Figura 3. Incremento porcentual en la MS acumulada en madurez fisiológica, en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras por el cultivo de maíz irrigado y en seco para 0 y 180 kg de N ha<sup>-1</sup>. En cada estación de crecimiento los valores de los errores estándar fueron agrupados para comparar distanciamientos entre hileras dentro de cada dosis de N (3,3 y 8,0 % en 2001-02, para seco y riego, respectivamente; 2,8 y 7,1 % en 2002-03 para seco y riego, respectivamente).



### **Rendimiento del cultivo**

En condiciones de secano y para ambas estaciones de crecimiento, la reducción de la distancia entre hileras incrementó el rendimiento del cultivo (Tabla 4), los aumentos relativos en rendimiento en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras fueron mayores cuando menor fue la disponibilidad de N (Tabla 4). Los resultados obtenidos en esta experiencia permiten afirmar que la reducción de la distancia entre hileras y el agregado de N incrementaron el rendimiento del cultivo de maíz bajo SD, en condiciones de moderado estrés hídrico (déficit menor a 80 mm durante el PC). Similar comportamiento fue observado para los tratamientos con distancia entre hileras en condiciones bajo riego (Tabla 4) confirmando los resultados obtenidos en el Capítulo I. Los incrementos en rendimiento fueron en promedio de ambas estaciones de crecimiento de 31 y 16% para los tratamientos testigos y fertilizados, respectivamente. Los mayores rendimientos determinados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas se explicarían por la mejor distribución de las raíces y hojas que permitirían un mayor aprovechamiento del agua del suelo y de la luz, reduciendo la temperatura y evaporación desde el suelo, comparado con cultivos con distanciamiento convencional (Sharratt y McWilliams, 2005).

En 2002/03 el rendimiento del cultivo y el número de granos fue afectado por la interacción entre las variables distanciamiento, riego y N, los incrementos en el rendimiento y número de granos fueron mayores para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas que recibieron la aplicación de riego suplementario y no fueron fertilizados, respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional (Tabla 4, Fig. 3 y 4). El peso de los granos fue afectado por la interacción riego y N, debido al mayor aumento determinado en el peso de los granos en los tratamientos bajo riego sin la aplicación de N (Tabla 4). Los mayores

rendimientos para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas coinciden con lo informado por Barbieri et al. (2000) para cultivos de maíz irrigados bajo SD, y serían consecuencia de la mayor RFAint durante el PC (Fig. 2) (Andrade et al., 2002).

Los incrementos en rendimiento determinados por efecto de la reducción de la distancia entre hileras sin la aplicación de N, son superiores a los informados por otros autores para cultivos de maíz bajo labranza convencional y sin limitaciones de N (Scarsbrook y Doss, 1973; Bullock et al. 1988; Ottman y Welch 1989; Porter et al. (1997); Westgate et al., 1997 y Widdicombe y Telen, 2002; Ma et al., 2003). Dichos incrementos serían debidos al mayor coeficiente de extinción por unidad de área foliar (Barbieri et al., 2000), como así también al mayor IAF en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas que contribuirían a incrementar la RFAint durante el PC (Fig. 2), y por lo tanto el rendimiento (Capítulo I).

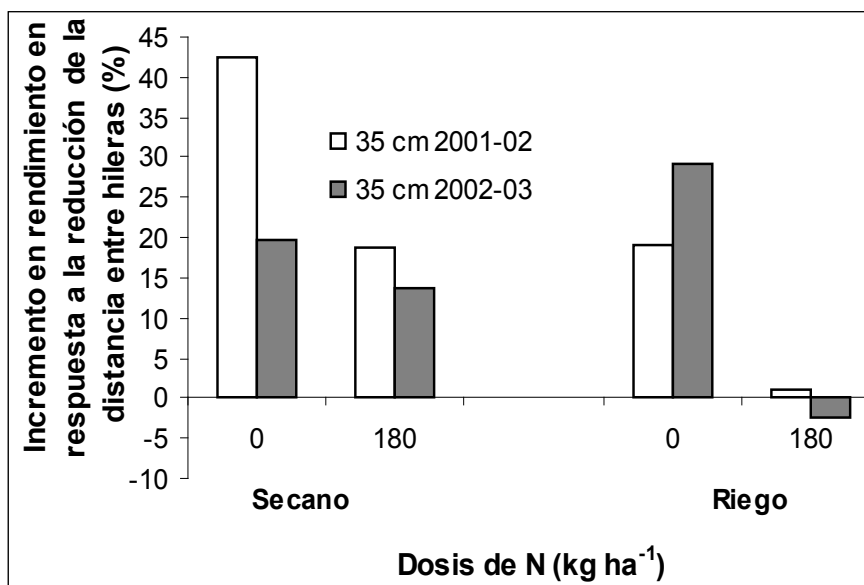
Cirilo (2004), trabajando en Pergamino con híbridos de ciclo largo y bajo condiciones potenciales establece que en secano el acortamiento de la distancia entre hileras puede incrementar el consumo de agua por el cultivo, dado que la proporción de agua transpirada por el follaje aumenta debido al mayor y más temprano sombreado del entresurco, debido a que el follaje ofrece menos resistencia a la pérdida de agua. Este fenómeno puede intensificar los efectos negativos de la instalación de una sequía progresiva sobre la floración, dado que el cultivo consume más agua del suelo en etapas tempranas y así limita la reserva hídrica. Por lo tanto, los surcos angostos pueden resultar no recomendables cuando existen riesgos de deficiencias hídricas en floración. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta experiencia, en un ambiente en donde la estación de crecimiento presenta un período libre de heladas de 150 días (Andrade y Gardol, 1995) y

utilizando maíces de ciclo intermedio a corto, muestran que aún con déficit de alrededor de 80 mm durante el PC en la estación de crecimiento 2002/03, se determinaron incrementos en rendimiento por efecto del distanciamiento del 17%. Similares resultados fueron informados por Bullock et al. (1988) quienes determinaron incrementos en rendimiento en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras, siendo los mismos mayores cuando menor fue la oferta hídrica para el cultivo durante la floración. En línea con lo mencionado, Yao y Shaw, (1964) como así también, Sharrat y McWilliams, (2005) sugieren que el maíz utiliza el agua más eficientemente cuando el cultivo se encuentra crecido en surcos más estrechos.

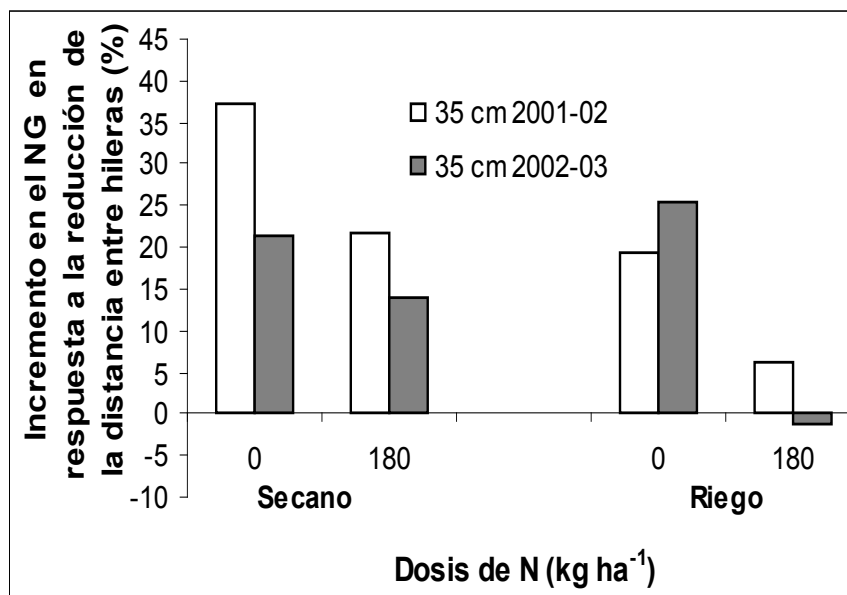
**Tabla 4. Rendimiento en grano y sus componentes del cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03, en función de la disponibilidad hídrica, distancia entre hileras y agregado de N.**

Tratamientos			2001/02			2002/03		
			Rendimiento 14%H°	Granos m <sup>-2</sup>	Peso de 1000	Rendimiento 14%H°	Granos m <sup>-2</sup>	Peso de 1000
			kg ha <sup>-1</sup>	n°	g	kg ha <sup>-1</sup>	n°	g
Riego	70	180	9739	3550	236	10553	3849	236
		0	5426	2314	202	5017	2170	199
	35	180	9848	3767	226	10300	3802	233
		0	6450	2758	201	6370	2687	204
Secano	70	180	9254	3073	260	8738	2958	254
		0	4126	1838	193	3972	1803	189
	35	180	11018	3875	244	10035	3504	246
		0	5797	2509	200	4762	2190	187
Prom. Riego	Con		7866	3097	216	8060	3127	218
	Sin		7549	2824	224	6877	2614	219
Prom. Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )	180		9965	3566	242	9906	3528	242
	0		5450	2355	199	5030	2213	195
Prom. Distancia (cm)	70		7136	2694	226	7070	2695	220
	35		8278	3227	218	7867	3026	218
Análisis de la Varianza								
R			ns	ns	ns	*	§	**
N			**	**	**	**	**	**
D			**	*	ns	*	*	ns
R*N			*	*	**	ns	ns	*
R*D			ns	ns	ns	ns	ns	ns
N*D			ns	ns	*	ns	ns	ns
D*N*R			ns	ns	ns	§	§	ns
CV (%)			9,3	8,7	3,1	8,6	6,7	6,6

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.



**Figura 3.** Incremento porcentual en el rendimiento en las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03 en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras por el cultivo de maíz irrigado y en seco para 0 y 180 kg de N ha<sup>-1</sup>. En cada estación de crecimiento los valores de los errores estándar fueron agrupados para comparar distanciamientos entre hileras dentro de cada dosis de N (13,4 y 2,2 % en 2001-02 para seco y riego, respectivamente; 5,8 y 9,7 % en 2002-03 para seco y riego, respectivamente).



**Figura 4.** Incremento porcentual en el número de granos en las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03 en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras por el cultivo de maíz irrigado y en seco para 0 y 180 kg de N ha<sup>-1</sup>. En cada estación de crecimiento los valores de los errores estándar fueron agrupados para comparar distanciamientos entre hileras dentro de cada dosis de N (13,1 y 8,2 % en 2001-02 para seco y riego, respectivamente; 5,9 y 7,7 % en 2002-03 para seco y riego, respectivamente).

### Nitrógeno acumulado por el cultivo

En condiciones de seco y para ambas estaciones de crecimiento, la reducción de la distancia entre hileras produjo incrementos en el N absorbido por el cultivo. Estos resultados estarían indicando una mayor capacidad de absorción de N por el maíz, dado que la disponibilidad de dicho nutriente fue la misma para todos los espaciamientos. Los incrementos porcentuales determinados en el N acumulado por el cultivo en madurez fisiológica en los tratamientos con hileras reducidas, respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional, fueron mayores cuando menor fue la disponibilidad de N independientemente de la condición hídrica (Fig. 5). La mayor acumulación de N en los tratamientos con hileras angostas, podría ser debido al mayor crecimiento inicial (Tabla 3) que

permitiría una más rápida captura de N por el cultivo, estando dicho nutriente menos expuesto a los mecanismos de pérdida (Capítulo I). En tal sentido, se puede observar que en ambas estaciones de crecimiento y para el estadio de V6, los tratamientos con distancia entre hileras reducidas presentaron una mayor acumulación de N (Tabla 5). En promedio de las estaciones de crecimiento, los incrementos en el N acumulado en los tratamientos en seco fueron de 10% y 1% para los tratamientos testigos y fertilizados, respectivamente.

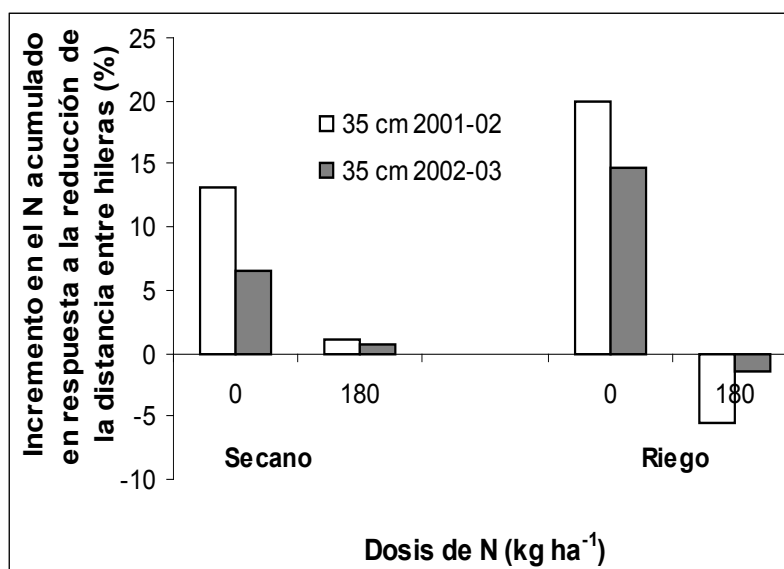
En ambas estaciones de crecimiento, la aplicación de riego suplementario no afectó el N acumulado, mientras que la aplicación de N incrementó la acumulación de dicho nutriente por el cultivo (Tabla 5). En la estación de crecimiento 2001/02 en todos los estadios, se determinó interacción entre N y distanciamiento entre hileras debido a los mayores incrementos determinados en el N acumulado por los tratamientos con distancia entre hileras reducidas que no recibieron la aplicación de N (Tabla 5). En 2002/03 la reducción de la distancia entre hileras incrementó el N acumulado en todos los estadios fenológicos, esta diferencia fue significativa solamente para el estadio de V6 (Tabla 5). En madurez fisiológica, se determinó un mayor incremento porcentual en el N acumulado por el cultivo en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas que no fueron fertilizados y recibieron la aplicación de riego suplementario (Fig. 5). Mayor acumulación de N por el cultivo por efecto de la reducción de la distancia entre hileras también han sido informados por Rosolem *et al.* (1993) y Cox *et al.* (2001).

**Tabla 5. Nitrógeno reducido acumulado por el cultivo de maíz irrigado bajo SD durante las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03, en función de la disponibilidad hídrica, distancia entre hileras y agregado de N.**

		2001/02				2002/03				
Tratamientos		Estadio fenológico								
		V6	Pref	Posf	MF	V6	Pref	Posf	MF	
		-----Kg ha <sup>-1</sup> -----								
Riego	70	180	18	nd	99	141	32	88	143	136
		0	11	nd	52	80	14	40	55	56
	35	180	19	nd	123	131	40	106	151	133
		0	14	nd	54	96	20	41	53	64
Secano	70	180	14	nd	109	137	34	97	173	141
		0	10	nd	46	68	16	49	52	51
	35	180	15	nd	122	138	40	91	176	157
		0	12	nd	49	69	17	49	51	53
Prom. Riego	Con		16	nd	82	112	27	71	113	100
	Sin		13	nd	81	103	26	68	100	97
Prom. Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )	180		16	nd	113	137	37	95	161	142
	0		12	nd	50	78	17	45	53	56
Prom. Distancia (cm)	70		13	nd	76	106	24	68	105	96
	35		15	nd	87	109	29	72	108	102
Análisis de la Varianza										
R			ns	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N			**	-	**	**	**	**	**	**
D			**	-	§	ns	**	ns	ns	ns
R*N			ns	-	ns	*	ns	ns	*	**
R*D			ns	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N*D			*	-	§	§	ns	ns	ns	ns
D*N*R			ns	-	ns	ns	ns	ns	ns	§
CV (%)			7,6	-	11,2	8,1	7,5	16,3	11,5	6,9

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. V6, Pref, Posf y MF corresponden a los estadios fenológicos de seis hojas, prefloración (15 días antes), posfloración (15 días después) y madurez fisiológica, respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.





**Figura 5.** Incremento porcentual determinado en el N acumulado en madurez fisiológica para las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03 en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras por el cultivo de maíz irrigado y en seco para 0 y 180 kg de N ha<sup>-1</sup>. En cada estación de crecimiento los valores de los errores estándar fueron agrupados para comparar distanciamientos entre hileras dentro de cada dosis de N (3,5 y 8,8 % en 2001-02 para seco y riego, respectivamente; 2,3 y 4,2 % en 2002-03 para seco y riego, respectivamente).

### **Eficiencia de uso de N en materia seca y grano**

En ambas estaciones de crecimiento, la reducción de la distancia entre hileras incrementó la EUN expresada en MS o grano (Tabla 7 y 8). La mayor EUN determinada bajo condiciones de seco en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, indica que para una misma disponibilidad de N, dichos tratamientos produjeron más MS total o rendimiento, respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional. En consecuencia, los resultados indican que la reducción de la distancia entre hileras en el cultivo de maíz bajo SD permite un uso más eficiente del N, respecto a cultivos sembrados con distancia entre hileras convencional, aun en condiciones de moderadas deficiencias hídricas durante el PC (< de 80 mm).

En la estación de crecimiento 2001/02 la EUN expresada en MS fue afectada por la interacción entre las variables N y distanciamiento, los incrementos en la EUN fueron mayores en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas que no recibieron la aplicación de N (Tabla 7). En la estación de crecimiento 2002/03, se determinaron incrementos significativos en la EUN en MS por efecto de la reducción de la distancia entre hileras (Tablas 7). A pesar que la interacción N y distanciamiento entre hileras fue significativa solamente en la estación de crecimiento 2001-02, los incrementos porcentuales determinados en la EUN en MS en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, respecto de los tratamientos con distanciamiento convencional, fueron mayores cuando menor fue la disponibilidad de N para el cultivo (Fig. 8).

En ambas estaciones de crecimiento, la EUN en grano fue afectada por la interacción dosis de N y distanciamiento entre hileras, debido a los mayores incrementos determinados en dicha variable para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sin la aplicación de N (Tabla 8, Fig. 8). En seco, los mayores incrementos en la EUN fueron determinados cuando menor fue la disponibilidad de N (Fig. 8), en promedio de ambas estaciones de crecimiento los incrementos en la EUN fueron de 19 y 9% para los tratamientos testigos y fertilizados. Los mayores incrementos en la EUN para condiciones bajo riego como en seco, cuando la disponibilidad de N fue baja, estarían indicando que existe mayor probabilidad de producir mejoras en la EUN respecto de ambientes con elevada disponibilidad de N. En tal sentido, el mejoramiento genético por EUN, parece ser promisorio en ambientes marginales de regiones tropicales y subtropicales, así como para países en donde la aplicación de N se encuentra limitada por los altos precios del fertilizante (Presterl et al., 2003). El proceso de selección genética se conduce, a

menudo, con elevada disponibilidad de N, esto es para eliminar dicho factor como variable. Sin embargo, esto puede enmascarar diferencias en la EUN entre genotipos para acumular y utilizar N para producir grano (Kamprath et al., 1982). Esto es consistente por lo determinado por Earl y Ausubel (1983), quienes establecen que las variedades de alto rendimiento de maíz, trigo, y arroz durante la revolución verde fueron seleccionadas para responder a situaciones de buena disponibilidad de N. Por lo tanto, es necesario incluir en el proceso de selección de materiales genéticos situaciones de baja disponibilidad de N, lo que en general no es considerado una prioridad por los mejoradores. No obstante, todavía existe suficiente variabilidad en la EUN en los materiales que han sido desarrollados en ambientes con adecuada disponibilidad de N (Presterl et al., 2003)

**Tabla 7. Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) en materia seca del cultivo de maíz bajo SD en madurez fisiológica durante las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03, en función de la disponibilidad hídrica, distancia entre hileras y agregado de N.**

Tratamientos		2001/02			2002/03			
		EF	ER	EUN	EF	ER	EUN	
		$\frac{\text{kg MS}}{\text{kg N abs.}}$	$\frac{\text{kg N abs.}}{\text{kg N disp.}}$	$\frac{\text{Kg MS}}{\text{Kg N disp.}}$	$\frac{\text{kg MS}}{\text{kg N abs.}}$	$\frac{\text{kg N abs.}}{\text{kg N disp.}}$	$\frac{\text{Kg MS}}{\text{Kg N disp.}}$	
Riego	70	180	142,8	0,48	68,2	127,1	0,50	63,3
		0	146,3	0,68	100,2	177,3	0,60	106,2
	35	180	145,1	0,48	69,3	131,2	0,49	68,2
		0	131,6	0,87	114,1	164,7	0,68	112,2
Secano	70	180	129,1	0,52	67,4	109,1	0,58	63,6
		0	138,6	0,71	98,1	151,0	0,83	124,5
	35	180	134,2	0,53	71,3	108,0	0,65	70,2
		0	140,8	0,75	105,9	150,4	0,87	130,7
Prom. Riego		Con	141,6	0,63	87,9	150,2	0,57	86,4
		Sin	134,7	0,63	85,6	132,3	0,73	97,3
Prom. Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )		180	137,0	0,50	69,0	119,1	0,55	65,0
		0	138,7	0,75	104,5	163,5	0,75	118,4
Prom. Distancia (cm)		70	139,0	0,59	83,4	143,0	0,63	89,5
		35	137,0	0,66	90,1	139,6	0,67	94,3
Análisis de la Varianza								
R			ns	ns	ns	§	*	§
N			ns	**	**	**	**	**
D			ns	§	*	ns	§	§
R*N			ns	§	ns	ns	*	**
R*D			ns	ns	ns	ns	ns	ns
N*D			ns	*	§	ns	ns	ns
D*N*R			ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)			9,2	8,6	6,3	7,9	6,6	4,2

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. EA= eficiencia de uso de nitrógeno en materia seca; EF= eficiencia fisiológica en materia seca; ER= eficiencia de recuperación. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.

**Tabla 8. Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) en grano del cultivo de maíz bajo SD en madurez fisiológica durante las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03, en función de la disponibilidad hídrica, distancia entre hileras y agregado de N.**

Tratamientos		2001/02			2002/03			
		EF	ER	EUN	EF	ER	EUN	
		$\frac{\text{kg Gr}}{\text{kg N abs.}}$	$\frac{\text{kg N abs.}}{\text{kg N disp.}}$	$\frac{\text{kg Gr}}{\text{kg N disp.}}$	$\frac{\text{kg Gr}}{\text{kg N abs.}}$	$\frac{\text{kg N abs.}}{\text{kg N disp.}}$	$\frac{\text{kg Gr}}{\text{kg N disp.}}$	
Riego	70	180	95,5	0,30	28,9	97,4	0,34	33,2
		0	101,7	0,42	42,7	116,1	0,40	46,3
	35	180	97,8	0,29	29,3	92,0	0,35	32,4
		0	89,5	0,59	50,9	124,7	0,47	58,7
Secano	70	180	91,1	0,34	30,4	77,8	0,43	31,8
		0	87,3	0,51	43,7	117,1	0,48	55,7
	35	180	109,3	0,34	36,2	77,9	0,45	35,8
		0	104,3	0,61	62,4	126,1	0,53	66,7
Prom. Riego		Con	96,3	0,40	37,9	107,1	0,39	42,6
		Sin	98,0	0,45	43,2	100,9	0,46	47,3
Prom. Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )		180	95,1	0,32	31,1	86,3	0,39	33,1
		0	99,2	0,53	49,9	121,7	0,47	56,8
Prom. Distancia (cm)		70	93,9	0,40	36,4	101,6	0,40	41,5
		35	100,4	0,46	44,7	106,4	0,45	48,4
Análisis de la Varianza								
R			ns	ns	ns	ns	*	ns
N			ns	**	**	**	**	**
D			ns	§	**	ns	*	*
R*N			ns	ns	ns	ns	ns	*
R*D			ns	ns	*	ns	ns	ns
N*D			ns	*	*	ns	ns	**
D*N*R			ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)			12,0	13,8	12,4	12,7	7,2	7,6

§; \*, \*\*. Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente. EA= eficiencia de uso de nitrógeno en grano; EF= eficiencia fisiológica en grano; ER= eficiencia de recuperación. Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey.

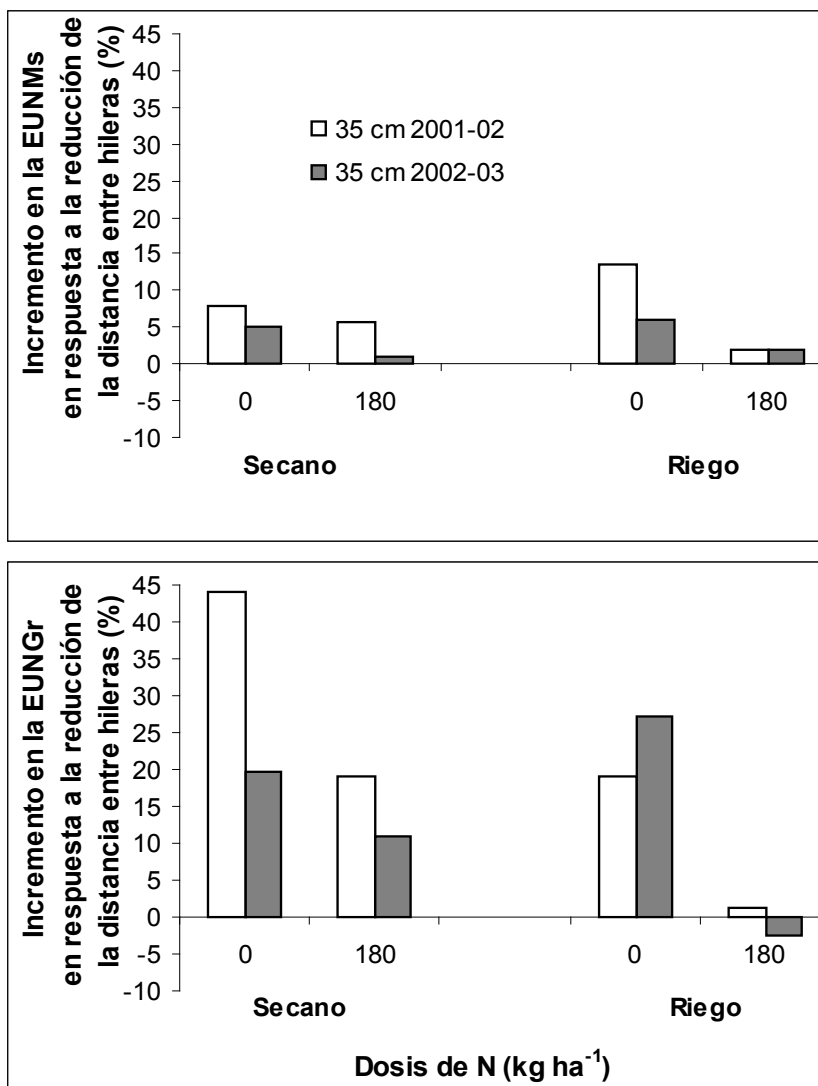
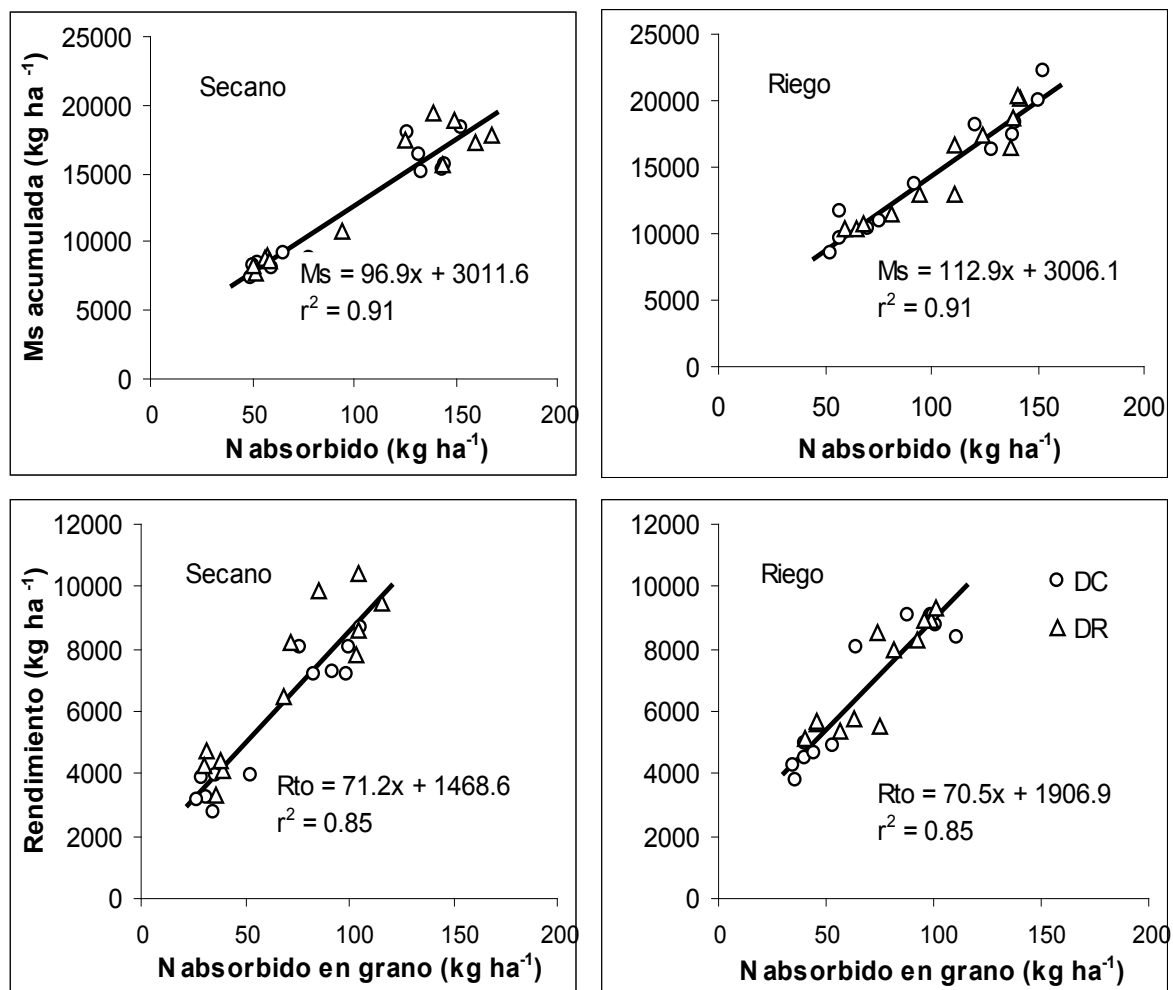


Figura 8. Incremento porcentual determinado en la EUN expresada en MS (materia seca) o Gr (grano) en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras por el cultivo de maíz irrigado y en seco para 0 y 180 kg de N ha<sup>-1</sup>. En cada estación de crecimiento los valores de los errores estándar fueron agrupados para comparar distanciamientos entre hileras dentro de cada dosis de N (EUNMs 2,7 y 4,0 para seco y riego, respectivamente en 2001-02; 1,5 y 3,7 para seco y riego, respectivamente en 2002-03. EUNGr 6,9 y 2,1 en 2001-02 para seco y riego, respectivamente; 5,8 y 5,6 en 2002-03 para seco y riego, respectivamente).

### **Eficiencia fisiológica**

En condiciones de secano y para ambas estaciones de crecimiento, la reducción de la distancia entre hileras no afectó la EF expresada en MS o grano (Tabla 7 y 8, Fig. 9), esto sería debido a que dicho tratamiento produjo incrementos proporcionales en la MS acumulada (Tabla 3) o el rendimiento en grano (Tabla 4), y en el N absorbido por el cultivo (Tabla 5). Similar comportamiento fue observado en la EF en MS o grano cuando el cultivo recibió la aplicación de riego suplementario, resultados que coinciden con los determinados en el Capítulo I (Tabla 7 y 8, Fig. 9). En general, la EF se incrementó por efecto de la aplicación de riego suplementario (Tabla 7 y 8), mientras que el aumento en la disponibilidad de N produjo disminuciones en dicha variable, comportamiento que coincide con lo determinado en el Capítulo I. Estos resultados, indican que la reducción de la distancia entre hileras no produjo cambios relevantes en la relación C/N de la planta. Los valores de producción de materia seca o rendimiento por unidad de N absorbido determinados en esta experiencia (Fig. 9), son similares a los reportados en la bibliografía (Novoa y Loomis, 1981)



**Figura 9. Materia seca total en función del N absorbido por el cultivo y rendimiento en función del contenido de N en grano en función de la disponibilidad hídrica para distanciamientos convencional (DC) y reducido (DR).**

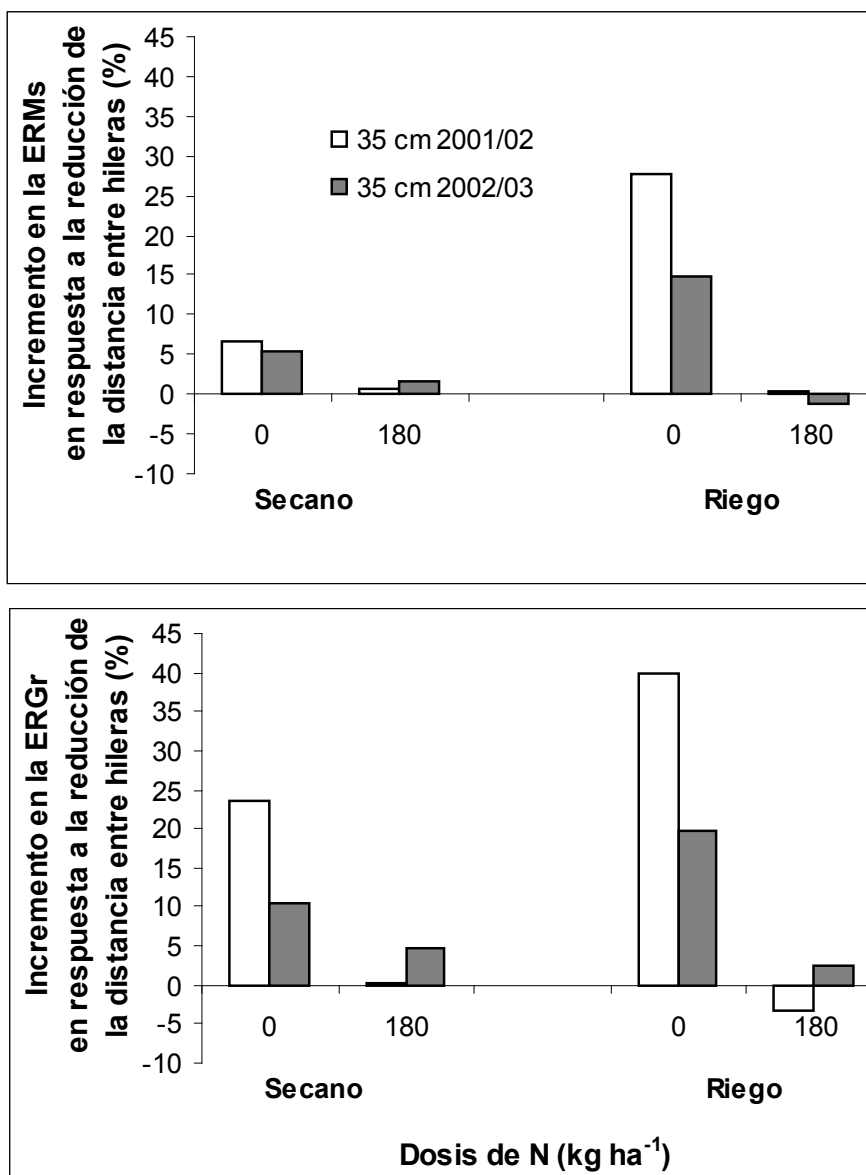
#### **Eficiencia de recuperación del N disponible**

En secano y para ambas estaciones de crecimiento, la ER expresada en MS o grano se incrementó por efecto de la reducción de la distancia entre hileras (Tabla 7 y 8), por lo tanto, los tratamientos con distancia entre hileras reducidas absorbieron una mayor proporción del N disponible respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional. Similar comportamiento se observó cuando el cultivo recibió la aplicación de riego suplementario, coincidiendo con lo determinado en el Capítulo I. En la estación de crecimiento 2001/02 se determinó interacción entre N y distanciamiento, como consecuencia de los mayores incrementos en la ER



expresada en MS y grano en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sin el agregado de N (Tabla 7 y 8). Mientras que 2002-03 la reducción de la distancia entre hileras incrementó significativamente la ER expresada en MS y grano (Tabla 7 y 8). A pesar que la interacción N y distanciamiento entre hileras fue significativa solamente en la estación de crecimiento 2001-02, los incrementos porcentuales determinados en la ER en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, respecto de los tratamientos con distanciamiento convencional, fueron mayores cuando menor fue la disponibilidad de N para el cultivo (Fig. 10). En promedio de ambas estaciones de crecimiento y disponibilidad hídrica los mismos fueron del 14 y 2% para los tratamientos testigos y fertilizados. La mayor recuperación del N disponible cuando el cultivo se encuentra creciendo en hileras angostas estaría sugiriendo que las pérdidas de N del sistema suelo-planta serían de menor magnitud, respecto de los tratamientos con distancia entre hileras convencional. Los mayores incrementos relativos en MS acumulada, N acumulado y rendimiento en grano determinados en los tratamientos testigos con distanciamiento reducido, respecto a los tratamientos con distancia entre hileras convencional, serían debido a que una mejora en la absorción del N por la planta, en una situación de elevado estrés, produce mayor impacto respecto de los tratamientos fertilizados que poseen un mejor condición nutricional.

Por otra parte, la disponibilidad hídrica afectó la ER en grano en la estación de crecimiento 2002-03 debido a la disminución en la cantidad de N recuperado cuando el cultivo recibió la aplicación de riego suplementario (Tabla 8). Mientras que la aplicación de N disminuyó la ER, expresada en MS o grano en ambas estaciones de crecimiento (Tablas 7 y 8).



**Figura 10.** Incremento en la eficiencia de recuperación del N disponible (expresada en materia seca (ERMs) o grano (Gr)) en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras por el cultivo de maíz irrigado y en seco para 0 y 180 kg de N ha<sup>-1</sup>. En cada estación de crecimiento los valores de los errores estándar fueron agrupados para comparar distanciamientos entre hileras dentro de cada dosis de N (ERMs 6,0 y 7,9 para seco y riego, respectivamente en 2001-02; 1,4 y 3,7 para seco y riego, respectivamente en 2002-03. ERGr 12,2 y 6,0 en 2001-02 para seco y riego, respectivamente; 7,2 y 1,4 en 2002-03 para seco y riego, respectivamente).

Los incrementos en la EUN (MS o grano) determinados en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, para condiciones bajo riego y seco, serían consecuencia de la mayor ER del N disponible, dado que la EF no fue afectada por el distanciamiento entre hileras. La mayor recuperación del N disponible cuando el cultivo se encuentra creciendo con hileras angostas estaría sugiriendo que las pérdidas de N del sistema suelo-planta serían de menor magnitud. En el Capítulo I, se determinó que los incrementos en la ER del N disponible en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas fueron explicados por la mayor absorción del N durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo. En tal sentido y con el objeto de corroborar estos resultados, se realizó al estadio de V6 la determinación del contenido de N mineral en el suelo. Se observó que los tratamientos con distancia entre hileras reducidas presentaron menor contenido de N en el suelo, respecto de los tratamientos con distanciamiento convencional, comportamiento que sería debido a la mayor absorción de dicho nutriente por el cultivo (Tabla 9). Por lo tanto, dado que la disponibilidad de N fue similar entre distanciamientos, la mayor acumulación de N por el cultivo produjo incrementos significativos en la ER del N disponible (Tabla 8). Los incrementos en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras expresados en porcentaje fueron mayores cuando menor fue la disponibilidad de N para el cultivo (Tabla 9 y Fig. 11).

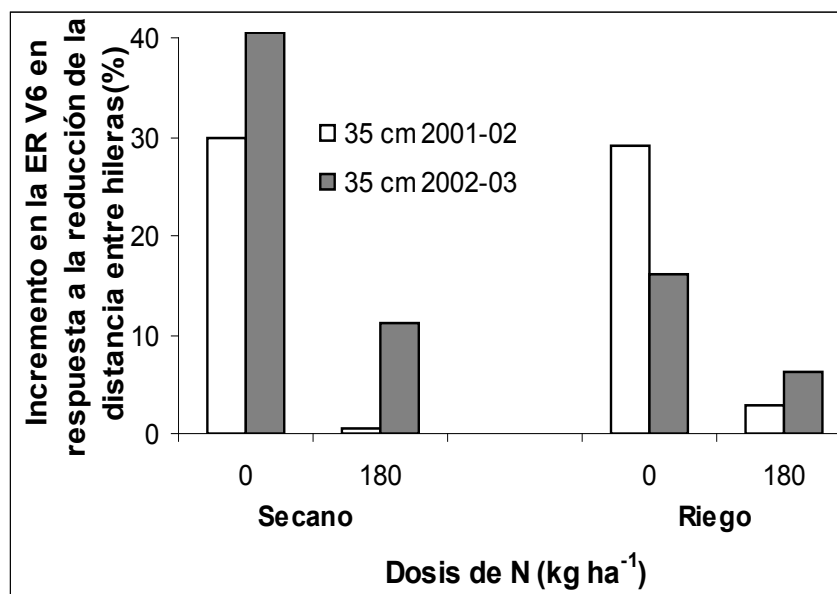
El exceso hídrico promedio de ambas estaciones de crecimiento fue de 300 mm. Más de la mitad de los excesos hídricos (57%) ocurrieron entre siembra y V6. Por lo tanto, es falible esperar que exista una alta frecuencia de excesos hídricos durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo, período que coincide con la recarga del perfil del suelo (Zamora, 2004). En tal sentido, se han determinado que las pérdidas de N a través de lavado y desnitrificación son mayores para cultivos de

maíz fertilizados a la siembra, respecto de V6 (Sainz Rozas et al., 2004). Los resultados obtenidos, ponen de manifiesto la importancia que posee una rápida captura de N por el cultivo durante los estadíos iniciales del ciclo, como estrategia para incrementar la EUN. La importancia del flujo preferencial de agua y N en estos suelos explicarían en gran parte estos resultados (Montoya et al., 2006; Costa et al., 2007).

**Tabla 9. Eficiencia de recuperación (ER) y contenido de nitrógeno (N) mineral en el suelo (0-60 cm) al estadio V6 del cultivo de maíz bajo SD durante las estaciones de crecimiento 2001/02 y 2002/03, en función de la distancia entre hileras y el agregado de N.**

Tratamientos		2001/02		2002/03		
		N disp.	ER	N disp.	EF	
		kg ha <sup>-1</sup> .	kg N abs.	kg ha <sup>-1</sup>	kg N abs.	
			kg N disp.		kg N disp.	
Riego	70	180	115,2	0,08	198,5	0,16
		0	91,0	0,21	76,5	0,26
	35	180	39,8	0,08	180,9	0,17
		0	27,8	0,27	71,4	0,30
Secano	70	180	135,3	0,06	223,8	0,15
		0	36,1	0,18	100,5	0,25
	35	180	92,8	0,06	140,2	0,17
		0	33,1	0,23	66,6	0,35
Prom, Riego		Con	68,4	0,16	132,7	0,22
		Sin	74,3	0,13	131,8	0,23
Prom, Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )		180	108,6	0,07	185,8	0,15
		0	34,2	0,22	78,7	0,30
Prom, Distancia (cm)		70	81,6	0,13	149,8	0,20
		35	61,2	0,16	114,7	0,25
<b>Análisis de la Varianza</b>						
R			ns	ns	ns	ns
N			**	**	**	**
D			*	**	**	**
R*N			ns	ns	ns	ns
R*D			ns	ns	ns	ns
N*D			*	§	**	§
D*N*R			ns	ns	ns	ns
CV (%)			17,6	14,3	11,4	10,9

§; \*, \*\*, Significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente, Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey,



**Figura 11.** Incremento en la eficiencia de recuperación (ER) del N disponible al estadio vegetativo de seis hojas (V6 en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras por el cultivo de maíz irrigado y en seco para 0 y 180 kg de N ha<sup>-1</sup>. En cada estación de crecimiento los valores de los errores estándar fueron agrupados para comparar distanciamientos entre hileras dentro de cada dosis de N (11,5 y 10,8 para seco y riego, respectivamente en 2001-02; 1,4 y 1,4 para seco y riego, respectivamente en 2002-03).

La reducción de la distancia entre hileras es una práctica de manejo que puede resultar beneficiosa cuando el cultivo sembrado a la distancia convencional no puede alcanzar la cobertura total del suelo en floración (Andrade et al., 2002). Sin embargo, ante el riesgo de deficiencias de agua en seco, reducir la distancia entre hileras puede resultar una práctica de manejo no recomendable (Cirilo, 2004). En ambas estaciones de crecimiento, la disponibilidad de agua en el suelo fue cuantificada mediante zonda de neutrones durante el PC (Fig. 12). En ninguna de las estaciones de crecimiento la reducción de la distancia entre hileras afectó en forma significativa el contenido de agua en el suelo, no obstante, los tratamientos con distanciamiento reducido mostraron una leve disminución en la disponibilidad de agua en el suelo (Fig. 12). En la estación de crecimiento 2001/02 y para el estadio

de prefloración la disponibilidad hídrica disminuyó por efecto de la fertilización con N, mientras que en posfloración la aplicación de riego incrementó la disponibilidad hídrica y la aplicación de N disminuyó el contenido de agua en el suelo (Fig. 12). En la estación de crecimiento 2002/03, la disponibilidad de agua en el suelo para los estadios fenológicos de prefloración y posfloración fue afectada por la aplicación de riego suplementario y la fertilización con N (Fig. 12). Para las condiciones de secano, la falta de efecto del distanciamiento entre hileras sobre la disponibilidad de agua en el suelo durante el PC, sería debido a que la disponibilidad de N fue el principal factor que limitó la respuesta del cultivo. En tal sentido, debido a que la reducción de la distancia entre hileras incrementa la EUN, principalmente cuando menor es la disponibilidad de N, se determinaron incrementos en rendimiento en respuesta a la reducción de la distancia entre hileras aún con 80 mm de déficit hídrico durante el PC. No obstante, en situaciones en donde la disponibilidad de N no es limitante Sharratt y McWilliams (2005) sugieren que las ventajas de rendimiento en cultivos de maíz con distancia entre hileras reducidas, serían debidas a la mejor distribución de las raíces y hojas que permitirían un mayor aprovechamiento del agua del suelo y de la luz, reduciendo la temperatura y evaporación del suelo comparado con cultivos con distanciamiento convencional.

La mayor acumulación de materia seca o rendimiento en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, estaría sugiriendo una mayor eficiencia de uso de agua (EUA) dado que las precipitaciones y los riegos fueron iguales para ambos distanciamientos (Tabla 11). Los valores determinados en esta experiencia para la EUA en grano, se encuentran dentro del amplio rango citado en la bibliografía 12 a 24 kg mm<sup>-1</sup> (Eck, 1986; Steele et al., 1994), esta variación es debida a la dependencia de la EUA a la condición climática y de manejo del cultivo (Della

Magiora et al., 2000). Estos resultados coinciden con lo informado por Yao y Shaw, (1964a) quienes establecen que las diferencias en radiación interceptada para diferentes espaciamientos entre hileras, podrían también resultar en diferencias en EUA. Estos autores sugieren que cultivos de maíz sembrados con menor distancia entre hileras realizarían un uso más eficiente del agua, debido a la reducción en la evaporación causado por el mayor sombreado de la superficie del suelo, como así también la reducción de la convección entre las hileras del cultivo.

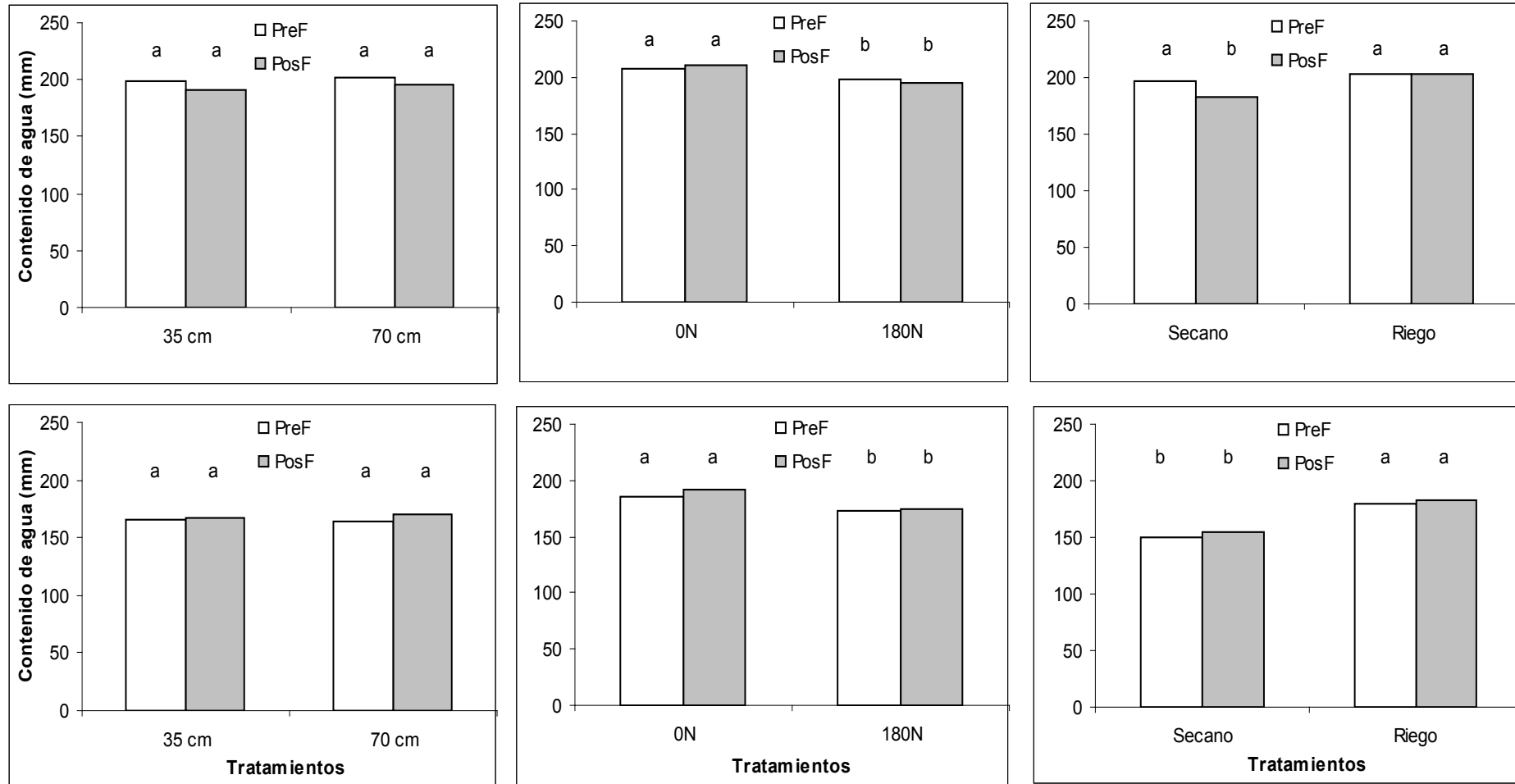
**Tabla 11. Eficiencia de uso de agua (promedio de ambas estaciones de crecimiento) en función de de la distancia entre hileras y condición hídrica.**

EUA en Materia seca (Kg MS mm <sup>-1</sup> )		
Tratamientos	Riego	Secano
DC	30	31
DR	30	33

EUA en grano (kg grano mm <sup>-1</sup> )		
	Riego	Secano
DC	13	14
DR	14	17





**Figura 12. Contenido de agua en el suelo (0-60 cm) durante el período crítico (15 días antes y 15 días después de floración) en las estaciones decrecimiento 2001-02 (superior) y 2002-03 (inferior).**

En resumen, la mayor EUN (MS o grano) determinada en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas tanto en condiciones bajo riego como secano, sería consecuencia de la mayor ER del N disponible (Tablas 6 y 7), dado que la EF no fue afectada por el distanciamiento entre hileras (Tabla 6 y 7; Fig. 9). La mayor ER determinada en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas (Tabla 8), sería debido al incremento en la absorción del N disponible por el cultivo (Tabla 5), efecto que comenzaría desde etapas tempranas de desarrollo del cultivo (Tabla 8). Los mecanismos que podrían explicar este comportamiento serían los mismos que fueron mencionados en el Capítulo I.

Los resultados obtenidos en este experimento indican que para el cultivo de maíz bajo SD en condiciones de secano:

- La reducción de la distancia entre hileras incrementó la EUN, respecto de cultivos sembrados con distancia entre hileras convencional, por lo tanto, no existen evidencias suficientes para rechazar la primer hipótesis.
- La EF no es afectada por el distanciamiento entre hileras, en consecuencia no se recopilaron evidencias para rechazar segunda hipótesis.
- La mayor EUN es consecuencia de una mayor ER del N disponible, por lo tanto, no se obtuvieron evidencias para rechazar la tercera hipótesis.
- Los incrementos en la ER del N disponible en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas son explicados por la mayor absorción del N durante los estadíos iniciales del ciclo del cultivo, en consecuencia, no se recopilaron evidencias para rechazar la cuarta hipótesis.

La información obtenida en esta experiencia aporta conocimientos originales, dado que no existen antecedentes en la bibliografía acerca de cambios en la EUN por efecto de la reducción de la distancia de siembra de maíz en condiciones de

secano. Los resultados obtenidos en condiciones bajo riego, fueron consistentes con los obtenidos en el Capítulo I. Para condiciones de secano y en donde el estrés hídrico fue moderado durante el PC ( $\leq 80$  mm de déficit), también es posible afirmar que la reducción de la distancia entre hileras incrementa la EUN. En tal sentido, esta práctica de manejo podría ser adoptada en gran medida por los sistemas productivos, principalmente en aquellos ambientes en donde las precipitaciones durante los estadíos iniciales del ciclo del cultivo superen la evapotranspiración. De esta manera, sería posible realizar un uso más eficiente de un nutriente clave como el N en los sistemas de producción.

## INTEGRACIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En el sudeste bonaerense, existe información que indica que cuando se realizan aplicaciones de N al momento de la siembra del maíz bajo SD se producen pérdidas significativas de N desde el sistema suelo-planta que afectan la EUN. En tal sentido, aplicaciones de N en estadíos más avanzados (V6) permiten reducir las pérdidas de N desde el sistema, incrementando en consecuencia la EUN. No obstante, en la práctica los productores prefieren aplicar el N al momento de la siembra por mayor disponibilidad de tiempo y cuestiones operativas.

En este trabajo se determinó que cambios en el espaciamiento entre hileras afectan la EUN en el cultivo de maíz bajo SD y se identificó el mecanismo responsable de tal comportamiento. Se estudiaron los efectos de la reducción de la distancia entre hileras sobre la EUN en condiciones bajo riego y seco, con el objeto de poder extrapolar la información obtenida a la mayoría de los sistemas productivos de dicha región. Además, se evaluaron métodos de diagnóstico de suelo y planta con el objeto de caracterizar el estado nitrogenado del cultivo en función del distanciamiento entre hileras. La concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  en el suelo al estadio de V6 fue evaluada como indicador de la disponibilidad de N para el cultivo de maíz y en planta se evaluaron el ISN (concentración de clorofila en hoja), la curva de dilución de N, el IEN (índice de estrés de N) y la concentración de N en grano.

Los resultados de esta experiencia indican que la EUN, expresada en MS o grano, se incrementó por efecto de reducir la distancia entre hileras, dicho efecto fue de mayor magnitud relativa cuando menor fue la disponibilidad de N para el cultivo. La mayor EUN determinada en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas fue consecuencia del incremento en la ER del N disponible, debido a que la EF no fue afectada por el distanciamiento entre hileras. La mayor ER del N disponible para

el cultivo, estaría indicando que las pérdidas de N desde el sistema suelo-planta son menores para los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, respecto de siembras convencionales, dado que la disponibilidad de N fue similar para ambos distanciamientos. Los mayores incrementos en la ER en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas, respecto de los distanciamientos con convencional, fueron observados cuando el cultivo no recibió la aplicación de N. Este comportamiento, serían debido a que la mejora en la absorción del N por la planta, en una situación de elevado estrés (común en suelos bajo SD al momento de la siembra), produce mayor impacto respecto de los tratamientos fertilizados que poseen un mejor condición nutricional. Esto permitiría explicar el mejor estado nutricional y en consecuencia los mayores incrementos relativos en MS acumulada, N acumulado y rendimiento en grano determinados en los tratamientos con distanciamiento reducido.

La mayor ER del N disponible determinada en siembras estrechas, podría ser debido a que cultivos con siembras más equidistantes presentan mejor distribución de las plantas sobre el terreno. Esto produce que el cultivo presente un mayor crecimiento inicial, como consecuencia del incremento en la RFAint. y reducción de la competencia por agua y nutrientes, respecto de siembras convencionales. Por lo tanto, el mayor crecimiento inicial permitiría explorar un mayor volumen de suelo produciendo que el N se encuentre menos expuesto a los mecanismos de pérdida, principalmente lavado de  $\text{N-NO}_3^-$  y desnitrificación, que actúan en forma activa durante el período siembra-V6 debido a que las precipitaciones superan la demanda del cultivo.

Los incrementos en la ER al estadio de V6 en los tratamientos con hileras angostas, se correspondieron con menores concentraciones de  $\text{N-NO}_3^-$  en el suelo

hasta los 30 cm de profundidad. Dicha concentración de  $\text{N-NO}_3^-$ , se relacionó con el rendimiento del cultivo ( $r^2= 0,68$  a  $0,73$ ). La CC necesaria para obtener el 95% del rendimiento máximo fue diferente en función del distanciamiento entre hileras (22 y  $17 \text{ mg kg}^{-1}$  para distanciamiento convencional y reducido, respectivamente. El menor umbral determinado para los distanciamientos reducidos ocasionaría que la dosis de N a aplicar para obtener el 95% del máximo rendimiento se reduzca en aproximadamente  $40 \text{ kg ha}^{-1}$ . Estos resultados indican que cuando se implemente la reducción de la distancia entre hileras en maíz, es factible esperar una disminución significativa en los costos de producción, lo que redundaría en mejora no solo económica de la práctica, sino también en la sustentabilidad del sistema.

En condiciones de secano, y en donde el estrés hídrico fue moderado durante el PC, la reducción de la distancia entre hileras incrementó la EUN. La mayor EUN fue consecuencia de los incrementos en la ER, comportamiento similar al observado para condiciones bajo riego. La mayor ER del N disponible determinada en siembras más equidistantes, podrían ser atribuida principalmente a la reducción de las pérdidas por lavado de  $\text{N-NO}_3^-$ , debido a que durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo la evapotranspiración del cultivo es superada en gran medida por las precipitaciones. Como consecuencia de esto, el N no recuperado por el cultivo (mediante el método de balance) fue de mayor magnitud en los tratamientos con distancia entre hileras convencional.

Los resultados obtenidos en esta experiencia indican que en ambientes en donde las precipitaciones registradas durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo superen la evapotranspiración, como es el caso del sudeste bonaerense, la siembra en hileras angostas del maíz bajo SD, permitiría incrementar la EUN respecto de distanciamientos convencionales. Es de destacar, la originalidad de esta

investigación, dado que no existen antecedentes en la bibliografía que aborden dicha temática a través de una práctica de manejo sencilla como lo es el cambio en la distribución de plantas sobre la superficie del terreno.

Por otra parte, la reducción de la distancia entre hileras, permite incrementar los rendimientos del cultivo de maíz en aquellas situaciones en donde durante el período crítico de determinación del rendimiento, el cultivo no logra interceptar el 95% de la radiación incidente, como consecuencia de una deficiente nutrición nitrogenada. Finalmente, los resultados de este trabajo cobran importancia dado que en la actualidad, se estima que para los próximos 50 años un incremento de 3 veces en el uso de fertilizantes nitrogenados, con el consecuente incremento de los costos de producción y de los riesgos de polución ambiental (Tilman *et al.*, 2002). Por lo tanto, las nuevas tecnologías deberán necesariamente considerar la sustentabilidad de los sistemas de producción (Solbrig, 1997). En general a nivel mundial la EUN para la producción de cereales es de aproximadamente un 33%, por lo que el 67 % del N restante no es recuperado por los cultivos (Raun y Johnson 1999). Por lo tanto, la EUN podría ser incrementada a través de la utilización de prácticas productivas que permitan reducir los diferentes mecanismos de pérdidas de N desde el sistema suelo-planta. En tal sentido, la reducción de la distancia entre hileras en el cultivo de maíz bajo SD mostró ser una práctica de manejo promisoría para incrementar la EUN.

## BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- AAPRESID. 2003. Sigue creciendo nuestra marca país: La SIEMBRA DIRECTA. Rev. Asoci. Arg. Produ. Siembra Directa n°. 66: 34.
- AGUILERA, E. A., BARBIERI, P. A., ECHARTE, L. 1996. Disminuciones del rendimiento en el cultivo de maíz, según déficit hídricos ocurridos en la localidad de Balcarce. Taller Integrador II. Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. 5 p.
- ALLMARAS, R. R., UNGER, P. W., y WILKINS, D. W. 1995 conservation tillage system and soil productivity. *In*: R. F. Follet and B. A. Stewart eds. Soil erosion and crop productivity. ASA, Inc., CSSA, Inc., SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA. pp. 357-412.
- ANDRADE, F. H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crop Res.* 41:1-12.
- ANDRADE, F. H. Y GARDIOL, J. 1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. INTA Est. Ex. Agr. Boletín Técnico 132. 23 p.
- ANDRADE, F. H., CIRILO, A., UHART, S. y OTEGUI, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. UIB-Dekalb Press. La Barrosa, 292 p.
- ANDRADE, F. H., y SADRAS, V. O. 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. EN Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. UIB. Capítulo 4. 97-133 pp.
- ANDRADE F. H., CALVIÑO P. A., CIRILO A. y BARBIERI P. A. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agron. J.* 94: 975-980.
- AUBERTIN, J. M. y PETERS, D. B. 1961. Net radiation determinations in a corn field. *Agron. J.* 53: 269-272.
- AULAKH, M. S., RENNIE. D. A. y PAUL, E. A. 1984a. The influence of plant residues on denitrification rates in conventional and zero tilled soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48 : 790-794.
- AULAKH, M. S., RENNIE. D. A. y PAUL, E. A. 1984b. Gaseous nitrogen losses from soils under zero-till as compared with conventional-till management system. *J Environ. Qual.* 13 : 130-136.
- BARBIERI, P. A., SAINZ ROZAS, H. R., ANDRADE, F. H. y ECHEVERRIA, H. E. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agon. J.*92:283-288.
- BENTON JONES, J. 1998. Plant nutrition manual. CRC Press. Washington. 149 p.



- BINFORD, G. D., BLACKMER, A. M. y CERRATO, M. E. 1992. Nitrogen concentration of young plant as an indicator of nitrogen availability. *Agron. J.* 84: 219-223.
- BLACKMER, A. M., POTTKER, D., CERRATO M. E. y WEBB, J. 1989. Correlations between soil nitrate concentrations in late spring and maize yields in Iowa. *J. Prod. Agric.* 2: 103-109.
- BLACKMER, T. M. y SCHEPERS, J. S. 1995. Use a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *L. Prod. Agric.* 8: 56-60.
- BLACKMER, T. M., SCHEPERS, J. S., VARVEL, G. E., WALTER-SHEA, E. A. 1996. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. *Agron. J.* 88:1-5.
- BOLSA DE CEREALES. 1999. Maíz. Bolsa de cereales. Bs. As., Argentina. Número Estadístico 1996/97-1997/98. 54-58 p.
- BRANDT, S. A. 1992. Zero vs conventional tillage and their effects on crop yield and soil moisture. *Can. J. Plant. Sci.* 71: 679-688.
- BREMNER, J., Y KEENEY, D. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3 exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:577-582.
- BROWN, R. H., BEATY E. R., ETHEREDGE W, J., y HAYES D. D. 1970. Influence of row width and plant population on yield of two varieties of corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.* 62: 767-770.
- BULLOCK, D. G., NIELSEN, R. L. y NYQUIST, W. E. 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Science.* 28: 254-258.
- BUNDY, L. G. y ANDRASKI, T. W. 1995. Soil yield potential effects on performance of soil nitrate tests. *J. Prod. Agric.* 8: 561-568.
- CAMPBELL, C. A. 1978. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. *In*: M. Schnitzer and S. U. Khan eds. Soil organic matter. Developments in Soil Science 8. Elsevier, Amsterdam, Holanda. pp 173-271.
- CAMPBELL, C. A. McCONKEY, B. G., ZENTNER, R. P., SELLES, F., y CURTIN, D. 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 76: 395-401.
- CERRATO, M. E. 1989. Sensitivity of various methods used to assess the nitrogen status of corn. Ph.D. Thesis. Iowa State University, Ames, Iowa. 115 p.
- CERRATO, M. y BLACKMER A. 1990. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agron. J.* 82: 138-143.

- CIRILO, A. G. 2000. Distancia entre surcos en maíz. INTA Pergamino. Revista de Tecnología Agropecuaria. 5 (14): 19-23.
- CIRILO, A. G. 2004. Manejo de la densidad y distancia entre surcos en maíz. IDIA XXI. n° 6: 128-133.
- COLVILLE, W. L. 1966. Plant population and row spacing. *In*: Rep. 21 Hibrids Corn Ind. Res. Conf., Chicago, IL. 14-15 December. ASTA, Washinton, DC. pp. 55-62.
- COX, W. J. and D. J. R. CHERNEY. 2001. Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. *Agron. J.* 93:597-602.
- COX, W. J., CHERNEY, D. J. R. y. HANCHAR, J. J. 1998. Row spacing, hybrid and plant density effects on corn silage yield and quality. *J. Prod. Agric.* 11:128-134.
- COSTA, J. L., ZAMORA, M. y APARICIO; V. 2006. Pérdidas de nitratos por lixiviación en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. XII Congreso de Aapresid. El futuro y los cambios de paradigmas. p. 131-138.
- CRESCO, L. G. 1999. Aspectos microbiológicos del suelo en relación con la disponibilidad de nitrógeno, bajo siembra directa y labranza convencional. Trabajo de graduación. Universidad Nacional de Mar del Plata Unidad Int. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, Argentina, 60p.
- CRUTZEN, P. J. y EHHALT, D. H. 1997. Effects of nitrogen fertilizer and combustion on the stratospheric ozone layer. *Ambio.* 6: 112-117.
- DALAL, R. C., HENDERSON, P. A., y GLASBY, M. 1991. Organic matter and microbial biomass in a Vertisol after 20 yr of zero-tillage. *Soil Biol. Biochem.* 23: 435-441.
- DELLA MAGGIORA, A. I. GARDIOL J. M. y. IRIGOYEN, A. I. 2000. Requerimientos hídricos.. En : Fernando H. Andrade, Víctor O. Sadras eds. EEA INTA Balcarce-Fac. Ciencias Agrarias UNMP Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. pp.155-173
- DELLA MAGGIORA, A. I., ECHARTE, L., SUERO, E. E., IRIGOYEN A. I., GARDIOL, J. M. 1988. Deficiencia de agua en los cultivos de maíz, girasol, soja y trigo en la localidad de Balcarce. Actas 10° Congreso Brasileiro de Meteorología y 8° Congreso de la Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología. Editadas en CD: 5 pp. Brasilia, 26 a 30 de octubre de 1998. 5p.
- DOMINGUEZ G. F., STUDDERT G. A., ECHEVERRIA H. E. y ANDRADE F. H. 2001. Sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo* 19:47-56.
- DORAN, J. W. 1980a. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 765-771.

- DORAN, J. W. 1980b. Microbial changes associated with residue management with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 459-474.
- DORAN, J. W. y PARKIN T. B. 1994. Defining and assesing soil quality. *In: J. w. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek and B. A. Stiwart eds. Defining soil quelity for sustainable enviroment. SSSA. Soil Science Society of America, Inc. ; American Society of Agronomy, Inc.; Madiso, Wiisconsin, E.E.U.U. Special Publication N 35. pp. 3-21.*
- DORAN, J. W. y POWER, J. F. 1983. The effects of tillage on the nitrogen cicle in corn and wheat ptduction. *In: Lowranse R W etal., (Es) nutrient cicle in agricultura ecosystems. University of Ga. Exp. Sta. Spec. Pub.23: 441-455.*
- Earl, C.D., and F.M. Ausubel. 1983. The genetic engineering of nitrogen fixation. *Nutrition Reviews* 41:1-6.
- ECHEVERRIA, H. E. y FERRARI, J. L. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos arícolas del sudeste bonaerense. INTA EEA Balcarce, Buenos Aires Argentina. *Boletín Técnico* 112. 16 p.
- ECHEVERRIA, H. E. y BERGONZI, R. 1995. Estimación de la mineralizaciónde nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. INTA EEA Balcarce, Buenos Aires Argentina. *Boletín Técnico* 135. 20 p.
- ECHEVERRIA, H. E. y SAINZ ROZAS, H. R. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 19: 57-66.
- ECHEVERRIA, H. E., STARDA, R. A. y STUDDERT, G. A. 2000. Métodos rápidos de análisis de plantas para evaluar la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo* 18: 105-114.
- ECHEVERRIA, H. E. y SAINZ ROZAS, H. R. 2005. Nitrógeno. *En: Hernán H. Echeverría y Fernando O. García eds. Fertilidad de suelos y fertilizaciòn de cultivos. INTA INPOFOS. pp. 69-97.*
- ECK, H. V.1986. Effects of water deficit on yield, yield componene, and water use efficiency of irrigated corn. *Agron. J.* 78: 1035-1040.
- EGHBALL, B., SETTIMI, J. R. MARANVILLE, J. W., Y PARKURSR, A. M. 1993. Fractal analysis for morphological description on corn roots under nitrogen stress. *Agron. J.* 85: 287-289.
- FALOTICO J. L.; STUDDERT G. A.; ECHEVERRÍA H. E. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional en condiciones de agricultura continua. *Ciencia del Suelo*17: 15-27.
- FOX, R. H. y PIEKIELEK, W. P. 1993. Management and urease inhibitor effect on nitrogen use efficiency in no-till corn. *J. Prod. Agr.* 6:195-200.

- FOX, R. H., KERN, J. M. Y PIEKIELEK, W. P. 1986. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effects on no-till maize yields and nitrogen uptakes. *Agron. J.* 78:741-746.
- FOX, R. H., ROTH, G. W, IVERSEN, K. V., y PIEKIELEK, W. P. 1989. Soil and tissue nitrate tests compared for predicting soil nitrogen availability to corn. *Agron. J.* 81: 971-974.
- FOX, R. H., y BANDEL, V. A. 1986. Nitrogen utilization with no-tillage. *In*: M A Sprage and G B Triplett, ed. No-Tillage and Surface-Tillage Agriculture. The Tillage Revolution, John Wiley and Sons. USA. pp. 117-255.
- FLENET, F., KINIRY, J. R., BOARD, J. E. , WESTGATE, M. D. y REICOSKY, D. C. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean and sunflower. *Agron. J.* 88:185-190
- FAGERIA, N. K., y BALIGAR, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. in Agron.* 88: 97-185.
- GALLO, W.P. y DAUGHTRY, C.S.T. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in crop canopies. *Agron. J.* 78:752-756.
- GARDNER, B. R., PEARCE, R. B., and MITCHEL, R, L. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. USA. 327p.
- GIESBRECHT, J. 1969. Effect of population and row spacing on the performance of four corn (*Zea maiz L.*) hybrids. *Agron. J.*61:439-441.
- GIFFORD, R. M., TORNE, J. H., HITZ, W. D., y GIAQUINTA, R. T. 1984. Crop productivity and photoasimilate partitioning. *Science*, 225: 801-808.
- GREENWOOD, D. J., LEMAIRE, G., GOSSE, G., CRUZ P., DRAYCOTT A. Y LANGDALE, J. J. 1990. Decline in porcentaje N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.* 66:425-436.
- HAYNES, T. J. 1986. Origin, distribution and cycling of nirogen in terrestrial agroecosystem.. *In* : Haynes R. J. ed Mineral nitrogen in the plant-soil system. Physiological ecology Academic press, Orlando. p. 151
- HUGGINS, D. R., y W.L.y PAN. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: An evaluation of cropping system differences in productivity. *Agron. J.* 85:898–905.
- HUNTER, R. B., KANNENBERG, L. W., y GAMBLE, E. 1970. Performance of five maize hybrids in varying plant populations and row widths. *Agron. J.* 62: 255-256.
- JEMINSON, J. M. y LYTTLE, D. E. 1996. Field evaluation of two nitrogen testing methods in Maine. *J. Prod. Agric:* 9: 108-113

- KAMPRATH, E.J., MOLL R.H. y RODRIQUEZ N. 1982. Effects of N fertilization and recurrent selection on performance of hybrid populations of corn. *Agron. J.* 74:955-958.
- KASPERBAUER, M. J. y KARLEM, D. L. 1994. Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome-regulated photosynthate allocation in corn seedlings. *Crop Sci* 34:1564-1569.
- KEENEY, D. R., y D. W. NELSON. 1982. Nitrogen-Inorganic forms. *In: A L Page et al. ed. Methods of Soil Analysis. Part. 2. 2nd ed. Agronomy* 9: 643-693.
- KELLER, G. D. y MENGEL, D B. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Am. J.* 50:1060-1063.
- KITUR, B. K., SMITH M. S., BLEVINS, R. I. y FRYE, W. W. 1984. Fate of <sup>15</sup>N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. *Agron. J.* 76: 240-242.
- LAMB, J. A., PETERSON, G. A., y FENSTER, C. R. 1985. Fallow nitrate accumulation in a wheat-fallow rotations as affected by tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1260-1272.
- LEMAIRE, G. y GASTAL, F. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. *In: Lemaire G. ed. Diagnosis of the nitrogen status in crops. Springer-Verlag, Berlín.* pp. 3-43.
- LINN, D. M., y DORAN, J. W. 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1267-1272.
- LUBET, E y JUSTE, C. 1985. Cinétique de la production de matière sèche et de prelevement d'éléments nutritifs par une culture irriguée de maïs a haute potentialité de rendement. *Agronomie* 5: 239-250.
- LUCAS, R. E. 1969. Cultural trials on irrigated corn. *Michigan State Univ. Res. Rep.* 84. 120 p
- LUTZ, J. L., CAMPER, H. M., y JONES, J. D. 1971. Row spacing and population effects on corn yield. *Agron. J.* 63: 12-14.
- MA, B. L., DWYER, L. M. y COSTA, C. 2003. Row spacing and fertilizer nitrogen effects on plant growth and grain yield of maize. *Can. J. Plant Sci.* 83: 241-247.
- McMAHON, M. A., and THOMAS, G. W. 1976. Anion leaching in two Kentucky soils under conventional and killed sod mulch. *Agron. J.* 68: 437-442.
- MADDONI, G. A., CIRILO, A. G. y OTEGUI, M. E. 2006. Row width and maize grain yield. *Agron. J.* 98: 1532-1543.

- MAGDOFF, F. R., ROSS, D., y AMADON, J. 1984. A soil test for nitrogen availability to maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1301-1304.
- MEINSINGER, J. J., BANDEL V. A, ANGLE, J. S, O'KEEFE, B. E. y REYNOLDS, C.M. 1992b. Presidedress soil nitrate test evaluation in Maryland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1527-1532.
- MEISINGER, J. J., BANDEL, V. A., STANFORD, G. y LEGG, J.O. 1985. Nitrogen utilization of maize under minimal tillage and moldboard plow tillage: I. Four-year results using labeled N fertilizer on an Atlantic coastal plain soil. *Agron. J.* 77: 602-611.
- MEISINGER, J. J., MAGDOFF, F.R. y SCHEPERS, J. S. 1992a. Predicting N fertilizer needs for maize in humid regions: underlying principles. *In*: B.R. Bock and K.R. Kelley eds. *Predicting N fertilizer needs for maize in humid regions.* Bull. Y-226. Tennessee Valley Authority National Fertilizer and Environmental Research Center Publ., Muscle Shoals, Alabama. pp. 7-27.
- MEISINGER, J.J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. *In*: R. D. Hauck et al. eds. *Nitrogen in crop production.* Am. Soc. Agron., Madison, WI. pp. 391-416.
- MENGEL, D. B., NELSON, d. W. and HUBER, D. M. 1982. Placement of nitrogen fertilizers for no-till and conventional till corn. *Agron. J.* 74: 515-517.
- MONTOYA, J C., COSTA, J. L., LIEDL, R., BEDMAR, F. y DANIEL, P. 2006. Effects of soil type and tillage practice on atrazine transport through intact soil cores. *Geoderma*, 137: 161-173
- MUCHOW, R. C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. Leaf growth and leaf nitrogen. *Field Crops Research.* 18:1-16.
- MUCHOW, R. C. 1998. Nitrogen utilization efficiency in maize and grain sorghum. *Field Crops Research.* 56:209-216.
- NAFZIGER, E. D. 1997. *Illinois Agronomy Handbook Chapter 2.* p 16-26.
- NELSON, D.W. y SOMMERS, L.E. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. *Agron. J.* 65:109-112.
- NIELSEN, R. L. 1996. Perspectives on narrow row spacings for corn. Department of Agronomy Purdue University W. Lafayette. 10 p.
- NOVOA, R., y LOOMIS, R.L.1981. Nitrogen and plant production. *Plant Soil* 58: 177-204.
- NUNEZ, R., y KAMPRATH, E.1969. Relationships between N response, plant population, and row width on growth and yield of corn. *Agron. J.* 61:279-282.

- OLSON, R. A., y SANDERS, D. H. 1988. Corn production. *In*: G. F. Sprague and J. W. Dudley ed. Corn and corn improvement. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wi. pp. 639-686.
- OTTOMAN, M.J. y L.F. WELCH. 1989. Planting pattern and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. *Agron. J.* 81:167-174.
- PARTHER, M., DERWENT, R., ENHALT, D., FRASER, P., SANHUEZA, y ZHOU, X. 1995. Other trace of gases and atmospheric chemistry. *In*: Houghton, J. T. et al. eds. Climate Change 1994. IPCC-Cambridge U. Press, Cambridge, U. K. pp. 77-126.
- PATTERSONS, R. M., HOVELAND,, C. S., ANDREWS, O. N., y WEBSTER, H. L. 1963. Thick silage spacig-good practic or higly ovrrated?. *Highlights Agric. Res.* 10(1):9.
- PECK, T. R. y SOLTANPOUR, P. N. 1986. The principles of soil testing. *In*: Westerman R. L. ed. Soil testing and plant analysis. 775 p. 1-9 pp
- PICONE, L. I., VIDELA, C. C., y GARCIA, F. O. 1997. Desnitrificación durante el cultivo de trigo en un Argiudol típico bajo siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo.* 15: 53-58.
- PIEKIELEK, W. P. y FOX, R. H. 1992. Use of a chlorophyll metter to predict sidedress nitrogen requeriments for maize. *Agron. J.* 84: 59-65.
- PIEKIELEK, W. P., FOX, R. H, Toth, J. D. y Kirsten, E. M. 1995. Use of a chlorophyll metter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen suficiency. *Agron. J.* 87: 403-408.
- PIERRE, W. H. L., DUMENIL, JOLLEY, V. D., WEBB, J. R., y SHARADER, W. D. 1977b. Relathionship between corn yield, expressed as percentage of maximum, and the N percentage in the grain. I. Various N-rate experiment. *Agron. J.* 69: 215-220.
- PIERRE, W. H. L., DUMENIL, y HENAO, J. 1977a. Relathionship between corn yield, expressed as percentage of maximum, and the N percentage in the grain. II. Diagnostic use. *Agron. J.* 69: 221-226.
- PIMENTEL, D. Y PATZEK, T. W. 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. *Natural Resources Research*, 14: 65-76.
- PORTER, P. M., HICKS, D. R., LUESCHEN, W. E., FORD, J. H., WARNES, D. D., y HOVERSTAD, T. R. 1997. Corn response to row width and plant populations in the northern corn belt. *J. Prod. Agric.* 10: 293-300.
- PRESTERL, T., SEITZ, G., LANDBECK, M., THIEMT, E. M, SCHMIDt, W. y GEIGER, H.H. 2003. Improving nitrogen use efficiency in European maize: Estimation of quantitative genetic parameters. *Crop Sci.* 43:1259–1265.

- RAUN, W. R. Y JOHNSON, G. W. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal crop. *Agron. J.* 91:357-363
- REARTE, DH. 1996. La integración de la ganadería argentina. SAPyA, INTA. Buenos Aires, Argentina. 48 p.
- RHOADS, F. M., BENNET, J. M. 1990. Corn. *In: Stewart, B. A. and D. R. Nielsen eds. Agronomy N° 30. Madison USA. pp 569-590.*
- RITCHIE, S. W. y HANWAY, J. J. 1982. How a maize plant develops. Iowa State Univ. of Science and Technology. Ames, IA. Coop. Ex. Service Spec. Rep. 48
- RIZZALLI, RH. 1998. Siembra directa y convencional de maíz ante distintas ofertas de N. Tesis de Magíster Scientiae. UNMP FCA UIB Balcarce, Argentina. 60 pp.
- ROBINSON, R. G. 1978. Production and culture. *In: Carter J. F. ed. Sunflower Science and Technology. ASA, CSSA, SSSA, Inc., Publishers, Madison, USA. pp. 89-143.*
- ROBINSON, C. A., CRUSE, R. M y KHOLER, K. A. 1994. Soil management. *In: Hatfield J. L. and D. L. Karlen eds. Sustainable agriculture system. Lewis Publihers, Boca Ratón, Florida, .E.U.U.U. pp. 109-134.*
- ROSOLEM, C. A., KATO S. M., MACHADO J. R. y BICUDO S: J. 1993. Nitrogen redistribution to sorghum grains as affected by plant competition. *In. N. J. Barrow ed. Plant nutrition-from genetic engineering to field practice. Kluwer Academic Publishers. pp. 219-222.*
- ROSSMAN, E. C., y COOK, R. L. 1966. Soil preparation and rate, date, and pattern on planting. *In W. T. Pierre et al. ed. Advances in corn production: Principies and practices. Iowa State Univ. Press, Ames. pp. 53-101.*
- RUMAWAS, F., BLAIR, F. O., y BULA, R. J. 1971. Microenviroment and plant characteristics of corn (*Zea Maiz, L*) planted at two row spacings. *Crop Sci.* 11:320-333.
- SAGPyA/IICA. 2005. Perspectivas de los combustibles en Argentina y en Brasil. Buenos Aires, octubre de 2005. 139 p
- SAGPyA. 2006. Maíz, informe general. <[www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar)> [consulta:]
- SAINZ ROZAS, H. R. y ECHEVERRÍA, H. E. 1998. Uso del medidor de clorofila para el monitoreo de la nutrición nitrogenada del cultivo de maíz. *Rev. Fac. Agron. La Plata* 103: 27-36.
- SAINZ ROZAS, H. R., ECHEVERRÍA, H. E., STDDERT, G. A, y ANDRADE, F. H. 1999. No-tillage maize nitrogen uptaake and yield: Effeect of urease inhibitor and applicatoion time. *Agron. J.* 91: 950-955.



- SAINZ ROZAS, H. R. ECHEVERRÍA, H. E., STUDDERT, G. A. y DOMÍNGUEZ, G. 2000. Evaluation of pre-sidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. *Agron. J.* 92:1173-1183.
- SAINZ ROZAS, H. R. ECHEVERRÍA, H. E. y PICCONE, L. I. 2001. Denitrification in maize under no-tillage: Effect of nitrogen rate and application time. *Soil Sci. Soc. Am J.* 65: 1314-13232.
- SAINZ ROZAS, H. R., ECHEVERRÍA H. E. y BARBIERI, P. A.. 2004. Nitrogen Balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. *Agron. J.* 96: 1622-1631.
- SAS. Institute Inc. 1985. User's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA. 356 p.
- SCARSBROOK, C. E y DOSS, B. D. 1973. Leaf area index and radiation as related to corn yield. *Agron. J.* 65: 459-461.
- SCHEPERS, J. S., BLACKMER, T. M., WILHELM, W., RESENDE, M. 1996. Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. *J. Plant Physiol.* 148: 523-529.
- SHAPIRO, C. A. y WORTMANN, C .S. 2005. Corn response to nitrogen rate, row spacing, and plant density in eastern Nebraska. *Agron. J.* 98:529-535.
- SHARRATT, B. S. y D. S. McWILLIAMS. 2005. Microclimatic and rooting characteristics of narrow row versus conventional row corn, *Agron. J.* 97: 1129-1135.
- SHNEIDER, J. D., GUTIERREZ BOE, F. H. y LAVADO, R. S. 2005 Root growth and phosphorous uptake in wide and narrow row soybean. *J. Plant Nutr.* 23:1241-1249.
- SIMS, J. T., VASILAS, B .L., GARTLEY, K. L., MILLIKEN, B. y GREEN, V. 1995. Evaluation of soil and plant nitrogen tests for maize on manured soils of Atlantic Coastal Plain. *Agron. J.* 87: 213-222.
- SOLBRIG, O. 1997. Sembrado del futuro Como desarrollar una agricultura para conservar la tierra y la comunidad. 5to Congreso Nacional de APRESID. Mar del Plata. pp. 235-248.
- STALEY, T. E., EDWARDS, W. M., SCOTT, C. L., y OWENS, L.. B. 1988. Soil microbial biomass and organic component alteration in a non-tillage chronosequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 998-1005.
- STEEL, D. C., STEGMAN E. C., y GREGOR, B. L: 1994. Field comparison of irrigation scheduling method for corn. *Transaction of the ASAE* 37: 1197-1203.
- STICKLER, F. C. 1964. Row width and plant population studies with corn. *Agron. J.* 56: 438-441.

- STIVERS, R. K. y LAUDE, H. H. 1960. Effect of row spacing and plant population on performarve of corn, grain sorghum, and forage sorghum. Agron. J. 52:275-277.
- STIVERS, R. K., GRIFFITH, D. R., y CHRISTMAS, E. P. 1971. Corn performance in relation to row spacings, populations and hybrids on five soils in Indiana. Agron. J. 63: 580-582.
- STUDDERT, G. A. 1996. Manejo de rastrojo en superficie. En Actas 14° Jornada de actualización profesional de cosecha gruesa. A. E. Otamendi, EEA Balcarce, FCA y CIAM. Mar del Plata, Buenos Aires. 20 de septiembre de 1996. pp. 1-11.
- STUDDERT, G. A. y ECHEVERRÍA, H. E. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci Soc. Am. J. 64: 1496-1503
- STUDDERT, G. A. 2003. Sojización, ¿un riesgo para los suelos del SE bonaerense? <<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/oleag/soja/studd/figura1.htm>> [consulta:]
- SUERO, E. E., SANTA CRUZ, J. N., SILVA BUSO, A., DELLA MAGGIORA, A. I., IRIGOYEN, A. I., COSTA J. L. y GARDIOL J.M. 2001. Caracterización de los recursos naturales en sistemas bajo riego del Sudeste Bonaerense. Bases para propuestas de aplicación sustentable del riego. RIA 30: 71-90.
- TEASDALE, J. R. 1995. Influence of narrow row/hig population corn (Zea mays) on weed control and light tansmittance. Weed Technol. 9: 113-118.
- THOMAS, G. W., BLEVINS, R. L., PHILPS, R. E, y McMAHON, M. A. 1973. Effect of killed sod mulch on nitrate movement and corn yield. Agron. J. 65: 736-739.
- TILMAN, D., GASSMAN, K. G., MATSON, P.A., NAYLOR, R. Y POLASKY, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418: 671-677.
- UHART, S. A. 1995. Deficiencias de nitrógeno en maíz. Efectos sobre el crecimiento, desarrollo y determinación del rendimiento. Tesis Dr. Universidad Nacional de Mar del Plata. UIB Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 110 p.
- UHART, S. A. y ANDRADE, F. H.1995a. Nitrogen and Carbon acumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. Crop Sience,35: 183-190.
- UHART, S. A. y F. H. ANDRADE.1995. Nitrogen deficiency in maize (zea Mayz L.). II Carbon–nitrogen interaction on kernel number and grain yield. Crop. Sci. 35:1384-1389.

- UHART, S. A., y ANDRADE, F. H. 1995b. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Science*. 35: 1376-1383.
- VANOTTI, M., B., y BUNDY L. G. 1994. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendation. *J. Prod. Agric.* 7:243-249.
- WELLS, K. L. TOM, W. O. y RICE H. B. 1992. Response of no-till corn to nitrogen source, rate, and time of application. *J. Prod. Agric.* 5: 607-610.
- WESGATE, M. E. y BOYER, J. S. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potential in maize. *Crop Sci.* 26: 951-956.
- WESTGATE, M. E., F. FORCELLA, D. C. REICOSKY, y J. SOMSEN. 1997. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield. *Field Crops Res.* 49:249-258.
- WIDDICOMBE, W. D. y TELEN, K. D. 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern corn belt. *Agron. J.* 94: 1020-1023.
- WIESLER, F., BEHRENS, T. y HORST, W. J. 2001. The role of N-efficient cultivars in sustainable agriculture. *The Scientific World*, Institute of Plant Nutrition, Hannover University, Germany. 9 p.
- WOLFE, D. W., HENDERSON, D. W., HSIAO, T. C. y ALVINO, A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescences of corn. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agron. J.* 80: 865-870.
- WORKU, M., BÄNZIGER, M., SCHULTE AUFM ERLEY G., FRIESEN, D., DIALLO, A. O. and HORST W. J. 2007. Nitrogen Uptake and Utilization in Contrasting Nitrogen Efficient Tropical Maize Hybrids. *Crop Sci.* 2007 47: 519-528.
- YAO, A. Y. M., y SHAW, R. H. 1964a. Effect of plant population and planting pattern of corn on water use and yield. *Agron. J.* 56: 147-152.
- YAO, A. Y. M., y SHAW, R. H. 1964b. Effect of plant population and planting pattern of corn on the distribution of net radiation. *Agron. J.* 56: 165-169.
- ZAMORA, M. S. 2004. Evaluación del transporte de nitratos en la zona no saturada de un suelo de Tres Arroyos en un cultivo de maíz fertilizado. Tesis M. Sc. Universidad Nacional de Mar del Plata UIB. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 64 p.