



T. 2668

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

EVALUACION DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE DISTINTOS
INDICADORES DE SUELO Y PLANTA PARA EL AJUSTE DE LA
REFERTILIZACION NITROGENADA EN EL CULTIVO DE MAIZ

por

FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

Edwin BORGHI RAMEAU

Carlos Gabriel WORNICOV STOCKY

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.
(Orientación Agrícola-
Ganadera).

MONTEVIDEO
URUGUAY
1998

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. M.Sc. Ph.D. Carlos Perdomo

Ing. Agr. Omar Casanova

Ing. Agr. Guillermo Cardellino

Fecha:

Autores:

Edwin Borghi Rameau

Carlos Gabriel Wornicov Stocky

AGRADECIMIENTOS

Al Director de la presente Tesis, Ing. Agr. M.Sc. Ph.D. Carlos Perdomo por su dedicación y apoyo en todas las etapas de ésta.

A los Ing. Agr. Omar Casanova y Verónica Ciganda por su invaluable ayuda.

Al Ing. Agr. Guillermo Cardellino como integrante de la mesa de aprobación y como representante de la empresa REYLAN quien apoyó esta investigación.

A los funcionarios de la Cátedra de Fertilidad de Suelos de la Facultad de Agronomía, a los productores que cedieron sus cultivos para instalar los ensayos, y a todos los que de una u otra manera hicieron posible la realización de esta tesis.

A nuestros padres por el apoyo y comprensión que nos brindaron en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
II. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	2
A. <u>INTRODUCCION</u>	2
B. <u>SISTEMAS TRADICIONALES DE RECOMENDACION DE FERTILIZACION</u>	2
C. <u>NUEVOS INDICADORES DEL STATUS NITROGENADO</u>	4
1. <u>Indicadores del status nitrogenado a la siembra</u>	4
a. Nitrato en suelo.....	4
b. Amonio en suelo.....	4
c. Medidas de absorbancia y reflectancia en el espectro no visible.....	5
2. <u>Indicadores del status nitrogenado a V6</u>	5
a. Nitrato en suelo.....	5
b. Nitrogeno en planta.....	7
c. Nitrato en planta.....	8
d. Indice de clorofila.....	9
3. <u>Indicadores del status nitrogenado a la cosecha</u>	10
a. Nitrogeno en grano.....	10
b. Nitrogeno en hoja.....	11
c. Clorofila en hoja.....	12
4. <u>Indicadores de suficiencia y exceso de nitrogeno</u>	13
a. Nitrato en tallo.....	13
b. Nitrato residual en el suelo al momento de la cosecha.....	14
D. <u>MOMENTO DE APLICACION DEL FERTILIZANTE NITROGENADO</u>	15
E. <u>FUENTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS</u>	16
III. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	19
A. <u>DISEÑO EXPERIMENTAL</u>	19
B. <u>MUESTREO Y DETERMINACIONES</u>	19
1. <u>Al estado de seis hojas (V6)</u>	19
a. Nitrato en suelo.....	19
b. Nitrato en planta.....	20
c. Nitrogeno en planta.....	20

	Página
d. Clorofila en hoja.....	20
2. A la cosecha.....	21
a. Rendimiento en grano.....	21
b. Rendimiento de materia seca total.....	21
c. Nitrato en suelo.....	21
d. Nitrato en tallo.....	21
e. Contenido de nitrógeno en grano, marlo y planta.....	21
C. ANALISIS ESTADISTICO.....	22
IV. RESULTADOS.....	23
A. RENDIMIENTO EN GRANO.....	23
B. INDICADORES A V6.....	28
1. Nitrato en suelo.....	28
2. Otros indicadores.....	30
3. Relaciones entre los indicadores.....	31
C. INDICADORES DE SUFICIENCIA Y EXCESO.....	34
1. Nitrato en la base del tallo.....	34
2. Nitrato residual en el suelo.....	36
D. NITROGENO ABSORBIDO POR EL CULTIVO.....	39
1. Cantidad de nitrógeno absorbido según rendimiento.....	39
2. Contenido de nitrógeno.....	40
3. Cantidad de nitrógeno absorbido.....	43
a. Cantidad de nitrógeno total.....	43
b. Cantidad de nitrógeno absorbido en diferentes partes de la planta.....	43
4. Eficiencia de utilización del nitrógeno aplicado.....	46
V. CONCLUSIONES.....	47
VI. RESUMEN.....	48
VII. SUMMARY.....	49
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	50

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°		Página
1	Información de cada sitio en que se realizaron ensayos.....	19
2	Resultados del análisis estadístico para rendimiento en grano de maíz según dosis y fuente de nitrógeno aplicada.....	24
3	Resultados del análisis estadístico para concentración de nitrato en tallos de maíz según dosis y fuente de nitrógeno aplicada.....	37
Figura N°		Página
1	Rendimiento en grano de maíz según dosis y fuente de nitrógeno aplicada.....	23
2	Promedio de precipitaciones para la serie de años 1959-1996 y el periodo 1996-1997 para cada sitio.....	26
3	Relación entre rendimiento relativo y contenido de nitrato en suelo (0-20 cm) en V6.....	28
4	Relación entre rendimiento relativo y contenido de nitrato en suelo (20-40 cm) a V6.....	29
5	Relación entre la concentración de nitrato en los primeros 20 cm y la concentración de nitrato en el perfil de 0-40 cm.....	29
6	Relación entre rendimiento relativo y concentración de nitrato en planta a V6.....	30
7	Relación entre rendimiento relativo e índice de clorofila en planta a V6.....	30
8	Relación entre rendimiento relativo y contenido de nitrógeno en planta a V6.....	31

Figura N°		Página
9	Relación entre la concentración de nitrato en la planta y en suelo a V6.....	32
10	Relación entre contenido nitrógeno en planta y nitrato en suelo a V6.....	32
11	Relación entre nitrato en planta y contenido de nitrógeno en planta a V6.....	33
12	Relación entre el índice de clorofila y nitrato en suelo a V6.....	33
13	Nitrato residual en la base del tallo al momento de la cosecha según fuente y dosis de nitrógeno.....	35
14	Nitrato residual en el suelo al momento de la cosecha según fuente y dosis de nitrógeno.....	38
15	Relación entre rendimiento en grano y nitrógeno total absorbido.....	39
16	Porcentaje de nitrógeno en grano a cosecha según dosis y fuente de nitrógeno aplicado.....	41
17	Porcentaje de nitrógeno en planta a cosecha según dosis y fuente de nitrógeno aplicado.....	42
18	Nitrógeno total (kg/ha) absorbido por el cultivo según dosis y fuente de nitrógeno aplicada.....	44
19	Nitrógeno total (kg/ha) absorbido en grano y planta+marlo según dosis y fuente de nitrógeno aplicada.....	45
20	Eficiencia de utilización del nitrógeno para cada tratamiento.....	46

I. INTRODUCCION

En Uruguay, las decisiones de fertilización nitrogenada en maíz (*Zea mays L.*) se realiza muchas veces en base a criterios subjetivos, no corrigiéndose siempre la dosis de nitrógeno a aplicar por la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo. Cuando se realiza estimaciones de la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo, estas generalmente se basan en consideraciones mas o menos subjetivas del efecto del tipo de suelo, historia de chacra y clima, llegándose frecuentemente a estimaciones erróneas.

Información de otros países muestra que el ajuste de dosis de fertilización de nitrógeno en base a criterios objetivos, basados en indicadores de suelo o planta, es más exacto.

Un mejor ajuste de nitrógeno resulta en beneficios para el productor pues hace mas rentable el cultivo, y para la sociedad en su conjunto, pues evita las aplicaciones de nitrógeno cuando estas no son necesarias. Es sabido que las aplicaciones de nitrógeno en condiciones de suministro adecuado de este nutriente por el suelo incrementa el riesgo de contaminación de agua por nitrato.

El incremento de rendimiento (respuesta) de maíz al agregado de nitrógeno se relaciona con la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo, la cual puede a su vez ser evaluada a través de indicadores de suelo y/o planta (nitrógeno total en planta, nitrato en tallo y planta, clorofila en hoja, etc.). La dosis de fertilizante nitrogenado a aplicar se relaciona también con estos indicadores.

Situaciones de uso excesivo de nitrógeno pueden ser detectadas con indicadores de suelo y planta tomados en el momento de cosecha del cultivo. Estos indicadores pueden ser útiles para identificar las situaciones de producción que pueden llevar a situaciones riesgosas para el medio ambiente.

El objetivo de este trabajo es evaluar para condiciones de producción de maíz de Uruguay, indicadores de suelo y planta usados en otros países para la toma de decisiones de fertilización con nitrógeno.

En situaciones de riesgo de pérdidas de nitrógeno (volatilización) pueden existir fuentes alternativas con mayor eficiencia de uso. Por tal motivo, otro objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes fuentes de nitrógeno.

Además, se pretendió evaluar para nuestras condiciones indicadores de suelo y planta de uso excesivo de fertilizante nitrogenado, y relacionar ambos indicadores con la eficiencia de uso de nitrógeno por las plantas.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

A. INTRODUCCION

La disponibilidad de nitrógeno para un cultivo en un momento dado es el resultado de la interacción de muchos factores. Los más importantes son generalmente factores de suelo (tipo de suelo, manejo anterior, sistema de rotaciones y laboreos, etc.), factores climáticos (especialmente lluvia y temperatura), y factores de fertilización (dosis y época de aplicación) (Morón y Baethgen, 1996).

Estudios realizados en EE.UU., sugieren que es común el agregado de dosis excesivas de nitrógeno (El-Hout y Blackmer, 1990). Estas excesivas fertilizaciones pueden, además de causar pérdidas económicas a los agricultores, contaminar el agua del suelo con nitrato (Magdoff, 1991). Reducir esos excesos, entonces, podría resultar no solo en incrementos en la rentabilidad de la producción de maíz, sino también en una disminución de los problemas ambientales asociados con la producción.

Existen diferentes herramientas que, utilizadas en su conjunto, pueden llevar a un uso más eficiente del fertilizante agregado aumentando la rentabilidad del cultivo y contribuyendo a disminuir las pérdidas de nitrato por lixiviación y denitrificación (Magdoff, 1991).

La base principal de estas herramientas es evaluar en diferentes momentos del cultivo, mediante diferentes tests, el status nitrogenado del cultivo y así determinar la necesidad de aplicar o no fertilizantes nitrogenados. Este tipo de análisis es útil para decidir las necesidades de fertilización durante la estación de crecimiento, o bien para evaluar, en la cosecha, si hubo deficiencias o excesos de nitrógeno, con el objetivo de replantear la fertilización para el próximo ciclo del cultivo (Andrade et al., 1996).

El aumento de la eficiencia de uso también puede lograrse, aparte del uso de los tests, con el uso de otras fuentes de fertilizantes nitrogenados. Una fuente de fertilizante nitrogenado diferente a la urea, como lo es el nitrato de amonio, puede ser utilizado en aplicaciones en cobertura debido a su menor potencial de pérdida por volatilización.

B. SISTEMAS TRADICIONALES DE RECOMENDACION DE FERTILIZACION

Frecuentemente la cantidad de fertilizante nitrogenado a aplicar es estimada según cuatro criterios principales:

- a) Requerimientos internos del cultivo. Según un estudio realizado por Stanford, (1966), citado por Stanford, (1973), los máximos rendimientos obtenidos se asociaron con aproximadamente 1.2 % de nitrógeno en el total de la materia seca. Por ejemplo, si se estima que un cultivo rendirá 10 toneladas de materia seca/ha, entonces, requerirá absorber 120 kg/ha de nitrógeno.
- b) Cantidad de nitrógeno mineralizado en la estación de crecimiento. Generalmente este análisis es realizado mediante incubaciones en laboratorio.
- c) Cantidad de nitrógeno residual presente en la zona radicular, temprano de la estación de crecimiento. En cultivos como cebada, por ejemplo, se realizan mediciones de nitrato a la siembra.
- d) Eficiencia de recuperación del nitrógeno disponible por las plantas. Esto varía con la cantidad de nitrógeno aplicado y el momento de aplicación, pero los valores más comúnmente utilizados oscilan entre 50-70 % (Stanford *et al.*, 1973).

En un relevamiento realizado en Uruguay en los años 1993-94 y 1994-95 por Morón y Baethgen, citado por Baethgen, (1996); que estudiaron la producción de maíz para silo y su relación con la disponibilidad de nutrientes, los resultados indicaron que la mayoría de los cultivos de maíz presentaban contenido de nitrógeno que indicaban deficiencias de este nutriente. En este trabajo los autores concluyen que para lograr establecer recomendaciones de fertilizaciones nitrogenadas adecuadas, es necesario poder estimar: a) el rendimiento a obtener, y b) la capacidad de suministro de nitrógeno del suelo.

La capacidad de suministro de nitrógeno del suelo es estimada mediante mineralización en laboratorio, donde las condiciones de humedad y temperatura son óptimas. Debido a que en situaciones reales a campo, las condiciones de mineralización son muy variables e impredecibles, es muy difícil poder estimar con buen grado de precisión cuanto realmente es capaz de suministrar el suelo.

En nuestro país Oudri *et al.*, (1976), en la "Guía de Fertilización de Cultivos", sugiere que la recomendación de fertilización con nitrógeno depende básicamente del tipo y manejo anterior del suelo, siendo estos criterios simplemente cualitativos. Este autor, afirma además que si bien la historia de la chacra es la principal determinante de la recomendación de fertilización, en muchos casos resulta útil contar con datos de materia orgánica y/o nitrógeno en suelo. Además, el autor asevera también que la fertilización con nitrógeno deja de ser una práctica segura para aumentar los rendimientos y mejorar la eficiencia de la producción cuando determinados factores de manejo de los cultivos no son bien controlados, como ser uso de variedades recomendadas, siembras en época adecuada, buena preparación de tierras, buen control de malezas y plagas.

Más recientemente, también existen ideas de la importancia de la historia anterior de la chacra. Al respecto Torres (1996), sugiere que el tipo de chacra calificada en función de los años de agricultura que lleva, parece ser el mejor indicador de la fertilidad y por lo tanto de la respuesta esperada al nitrógeno.

Un factor muy importante que afecta la respuesta al nitrógeno es la disponibilidad de agua que tenga el cultivo de maíz. En este sentido, Oudri *et al.*, (1976), aclara que a pesar de las recomendaciones que se realizan para este nutriente, no se debe esperar respuesta en años secos. Por otra parte, la experiencia nacional muestra que el efecto año hidrico incide más en la respuesta a la fertilización nitrogenada (Torres, 1996). Por lo tanto, la elección del tipo de suelo adecuado, a través de su capacidad de almacenaje de agua o su posición topográfica hacen más segura la fertilización nitrogenada (Oudri *et al.*, 1976; Perez, 1969, citado por Torres, 1996).

Existen además de los criterios discutidos anteriormente, otros parámetros a considerar en el ajuste de la dosis de fertilizante nitrogenado a aplicar, pero no dejan de ser cualitativos. Según Bandel y Fox (1984), la dosis a aplicar está asociada con la expectativa de producción, el tipo de suelo implicado, y prácticas de manejo, por ejemplo: fraccionamiento de la fertilización nitrogenada, momento y forma de aplicación, laboreo convencional o reducido, y rotaciones.

C. NUEVOS INDICADORES DEL STATUS NITROGENADO

1. Indicadores del status nitrogenado a la siembra

La tendencia actual de la investigación se ha centrado en el desarrollo de tres indicadores para evaluar el status de nitrógeno a la siembra en la producción de maíz.

a. Nitrato en suelo

A través de muchos trabajos realizados por Hong *et al.*, (1990), determinaron que la concentración de nitrato (0-20 cm de profundidad) fue donde mejor se correlacionó con la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo. La capacidad de aporte de nitrógeno del suelo es estimada según Fox y Piekielek, (1978a), citado por Hong *et al.*, (1990); como el nitrógeno absorbido por el maíz en las parcelas testigo menos el 75% del fertilizante nitrogenado agregado como starter.

b. Amonio en suelo

En el mismo trabajo realizado por Hong *et al.*, (1990), se evaluó como otro indicador la concentración de amonio en el suelo (0-20 cm de profundidad). Si bien este índice se correlacionó bien con los demás índices evaluados en el trabajo (nitrato

en suelo y diferentes mediciones con espectrofotómetro UV), manifestó una pobre correlación con la capacidad de aporte del suelo.

c. Medidas de absorbancia y reflectancia en el espectro no visible

La absorbancia de ondas ultravioletas (UV) de extracto de suelo tomados a una profundidad de 0-20 cm ha sido evaluada para ser utilizada como un indicador del status de nitrógeno disponible para el cultivo.

De muchos indicadores evaluados por Hong *et al.* (1990), el que presentó una mejor correlación con la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo fue el test de absorbancia de longitud de onda de 200 nm, el cual está en función del contenido de nitrato y materia orgánica en solución.

Existe además otro índice similar que utiliza longitudes de ondas cercanas al infrarrojo que fue analizado en el trabajo de Fox *et al.* (1993). En este trabajo este índice se correlacionó significativamente con la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo. Los autores contrastaron este índice con rendimiento relativo de grano de maíz y utilizando la metodología de Cate y Nelson determinaron un valor crítico de 140 kg N ha^{-1} .

Este test no requiere ningún tratamiento de la muestra por lo que son sencillos, rápidos y económico de realizar, y se presentan como una herramienta alternativa y útil en relación al test de nitrato en suelo. La única desventaja de estos métodos es que se requiere de espectrofotómetro con capacidad ultravioleta e infrarrojo cercano que no está disponible en muchos laboratorios de rutina (Fox *et al.*, 1993).

2. Indicadores del status nitrogenado a V6

a. Nitrato en suelo

Magdoff *et al.* (1984), citados por Blackmer *et al.* (1989) y por Klausner *et al.* (1993), propusieron un test de suelo para disponibilidad de nitrógeno basado en la concentración de nitrato existente en la primer capa superficial del suelo (0-30 cm) cuando las plantas de maíz tienen 15-30 cm de altura. Este test difiere de otros previos tests de mineralización de nitrógeno debido a que se basa en un monitoreo de los procesos de mineralización-inmovilización *in situ*, donde los procesos no son controlados como ocurre en la extracción en laboratorio del pool de nitrógeno orgánico activo (Magdoff, 1991; citado por Meisinger *et al.*, 1992).

Blackmer *et al.* (1989), en un estudio sobre las correlaciones entre concentración de nitrato en suelo en primavera tardía y rendimiento de maíz en Iowa, determinaron que 21 ppm de N-NO_3^- en suelo son suficiente para obtener los máximos rendimientos. Sin embargo, los autores prefieren hablar mas que de un valor

crítico, de que un rango de 20-25 ppm de $N-NO_3^-$ puede ser considerado como óptimo. Otros autores han encontrado resultados similares. Fox *et al.*, (1989), determinaron un rango crítico de 21-25 ppm de $N-NO_3^-$ en el suelo que separa los sitios que manifestaron alguna respuesta al agregado de fertilizante de los que no manifestaron respuesta. En New York, Klausner *et al.*, (1993), determinaron un nivel crítico de 21 ppm de $N-NO_3^-$ para lograr un rendimiento relativo del 92%, utilizando el método gráfico de Cate y Nelson (1965). Binford *et al.*, (1992), por su parte, determinó un rango crítico de $N-NO_3^-$ en suelo de 23-26 ppm. Sin embargo, el valor crítico obtenido por Sims *et al.*, (1995), fue levemente menor, siendo este de 17 ppm de $N-NO_3^-$ en suelo.

En el sudeste de Buenos Aires el umbral crítico establecido varía entre 15-18 ppm $N-NO_3^-$, siendo el límite inferior para cultivo en secano y el superior para cultivo bajo riego. En condiciones de secano estos límites parecen ser también adecuados bajo siembra directa (García, 1997).

Otros trabajos como el de Meisinger *et al.*, (1992); estudiaron además de la concentración de nitrato del suelo, la concentración de $(NO_3^- + NH_4^+)-N$ en suelo. Determinaron un valor crítico de 22 ppm y de 27 ppm de $N-NO_3^-$ y $(NO_3^- + NH_4^+)-N$ respectivamente, que estuvieron asociados con rendimiento relativo del 95% o superiores. En este trabajo la relación entre rendimiento relativo y $(NO_3^- + NH_4^+)-N$ en suelo fue mejor que con nitrato solo, aparentemente debido a que el total de nitrógeno mineral disponible para el cultivo incluye ambas fuentes.

Por otra parte, Binford *et al.*, (1992); no obtuvo los mismos resultados que Meisinger *et al.*, (1992) debido a las diferentes condiciones en que se realizó su trabajo y sugiere que no existen razones para recomendar la inclusión de amonio intercambiable en el test de suelo. Sin embargo, el autor aclara que puede ser importante la inclusión de amonio intercambiable en condiciones donde el suelo fue tratado con amonio anhidro, condiciones de inhibición de la nitrificación o ambas. Esto está de acuerdo con lo reportado por Blackmer *et al.*, (1989).

Diversos autores concluyen que el test de nitrato en suelo previo a la refertilización de maíz al estado de seis hojas (V6), ofrece una excelente guía para el manejo del nitrógeno. La mayor ventaja que los autores destacan de este test es que puede ser usado con relativamente alto grado de confianza para identificar sitios con y sin respuesta al agregado de nitrógeno. Por lo tanto este test es una excelente guía para determinar la necesidad de refertilizar con nitrógeno, reflejando una medida relativa del potencial de mineralización del pool de nitrógeno orgánico del suelo. Este test debería reducir aquellas aplicaciones de fertilizantes que se realizan en forma segura y que a veces resultan en exceso, y por lo tanto, contribuir a disminuir la contaminación del agua del suelo con nitrato.

De todas maneras, no aparece ninguna metodología clara para definir la dosis de fertilizante nitrogenado a agregar, ya que este test solo es capaz de detectar la necesidad (no la cantidad) de refertilizar con nitrógeno.

b. Nitrógeno en planta

Un método alternativo para ser usado como indicador del status nitrogenado de las plantas es el análisis de la concentración (en porcentaje) de nitrógeno en plantas jóvenes, cuando estas tienen mas o menos 15 a 30 cm de altura en el estado de V6.

La ventaja de usar este indicador es que se requiere poco esfuerzo para tomar las muestras de plantas, además las plantas pueden ser mejor integradoras de otros factores que determinen disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

Según Prével *et al.* (1987); citado por Goñi, (1996), el análisis de suelo indica la disponibilidad de nutrientes que las raíces pueden llegar a tener en condiciones favorables para su crecimiento y actividad. El análisis de planta refleja el estado nutricional actual de la planta. Sin embargo, aunque la composición química de las plantas puede identificar problemas de absorción de nutrientes o desordenes nutricionales, no puede identificar la causa de estos problemas.

Por lo tanto, en principio, la combinación de ambas metodologías dan una base para realizar recomendaciones. La importancia de una u otra va a depender de la especie vegetal, de las propiedades del suelo, y del nutriente en si (Marschener, 1990; citado por Goñi, 1996).

La composición mineral de las plantas es influenciada básicamente por una serie de factores:

- a) factores propios de la especie o cultivar, incluyendo estado de desarrollo, edad, rendimiento, etc.
- b) factores ambientales o de manejo
- c) interacciones entre nutrientes (Bates, 1971; citado por Goñi, 1996).

Descontando el suministro de nutrientes, el factor quizás de mayor importancia en el análisis de tejidos es la edad de la planta o del tejido muestreado. Las variaciones de nutrientes debido a la edad de la planta pueden ser evitados muestreando a una predeterminada edad fisiológica (Goñi, 1996).

En un trabajo realizado por Binford *et al.* (1992), reportan que la concentración de nitrógeno en las plantas jóvenes tiende a aumentar con mayores dosis de fertilizante aplicado. Sin embargo, la relación entre esta y los rendimientos absolutos y relativos es muy pobre. Los autores concluyen que la concentración de nitrógeno en plantas jóvenes está influenciado por otros factores, teniendo relativamente poco efecto en el rendimiento final.

En el mismo estudio se obtuvo una correlación pobre entre la concentración de nitrógeno en plantas jóvenes y la concentración de nitrato en el suelo, sugiriendo esto que la concentración de nitrógeno en plantas jóvenes está influenciada por otros factores más que por la concentración de nitrato en el suelo.

Por otra parte, se encontraron relativamente buenas relaciones entre concentración de nitrato en el suelo y concentración relativa de nitrógeno en plantas. Esto sugiere que las concentraciones máximas de nitrógeno en planta dependen de cada suelo y condiciones ambientales (Binford *et al.*, 1992).

El nivel crítico encontrado fue de 20 ppm de $N-NO_3^-$ en el suelo, por encima del cual el porcentaje de nitrógeno en plantas no incrementaba más. Esto es prácticamente idéntico a la concentración crítica de nitrato en suelo (relacionada con rendimiento relativo) reportado por Blackmer *et al.* (1989).

Esto implica que este test no puede identificar situaciones de exceso de nitrógeno, ya que las plantas jóvenes casi siempre tienen niveles altos de nitrógeno. Además, esto no provee mejoras para ser utilizado como test alternativo al test de nitrato en suelo.

De todas maneras, a partir de información obtenida en Balcarce (Uhart y Andrade, 1995b; citado por Andrade *et al.*, 1996) se halló asociación entre el rendimiento relativo y la concentración de nitrógeno en hoja, con un valor crítico de 28 g kg^{-1} por debajo del cual el rendimiento cae.

c. Nitrato en planta

Otro test utilizado, capaz de describir el status nitrogenado del maíz es la concentración de nitrato en los tallos cuando las plantas tienen aproximadamente 15-30 cm de altura. Fox *et al.* (1989); en un estudio que compara test de nitrato en suelo y en tallos de plantas jóvenes como predictores de disponibilidad de nitrógeno en el suelo para maíz, reportan que luego de una concentración crítica de $14.5 \text{ g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ en tallos deja de haber respuesta en rendimiento. Este valor es similar a los reportados por otros autores, $11-16 \text{ g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ y $9-17.8 \text{ g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ según Iversen *et al.* (1985a) y McClenahan y Killorn (1988) respectivamente citados por Fox *et al.* (1989). Sin embargo, la correlación entre la concentración de nitrato en tallos y la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo fue muy baja. Esta pobre correlación se debe según diferentes autores a que esta concentración varía con la radiación solar y con las condiciones de humedad del suelo en los momentos antes del muestreo (Iversen *et al.*, 1985b; Durst, 1985; Bamka, 1988; citados por Fox *et al.*, 1989).

Debido a esto, los autores concluyen que la concentración de nitrato en tallos de plantas jóvenes no parece ser un indicador preciso para predecir la disponibilidad de nitrógeno que tiene el cultivo. Sin embargo, la concentración de nitrato en el suelo

(0-30 cm) si parece tener buena predicción, citando en este trabajo que por encima de 25 ppm de $N-NO_3^-$ en suelo no existe mas respuesta al agregado de fertilizante nitrogenado (Fox et al., 1989).

d. Índice de clorofila

Recientes investigaciones indican conexión estrecha entre el contenido de clorofila y el contenido de nitrógeno de la hoja, lo cual tiene sentido porque la mayoría del nitrógeno de la hoja está contenido en las moléculas de clorofila (Peterson et al., 1993).

La aparición en el mercado de aparatos que miden clorofila en hoja ha despertado el interés de muchos investigadores para ser usado como indicador del status nitrogenado del cultivo. El medidor de clorofila en hoja es pequeño, manejable manualmente y mide diferentes grados de verdes en las hojas. La mayor ventaja de este instrumento es que las lecturas pueden ser hechas a campo y en materia de minutos, y los resultados pueden llegar al agricultor inmediatamente. De esta manera se evita un mayor consumo de tiempo muestreando suelos y analizando en laboratorios (Sims et al., 1992). Este parámetro se correlaciona bien con el contenido de nitrógeno en la planta (Schepers et al., 1992; citado por Sims et al., 1995).

La deficiencia de nitrógeno en maíz puede resultar en síntomas que son prontamente identificables visualmente. La planta de maíz bajo stress de nitrógeno, transloca nitrógeno desde las hojas más viejas a las más jóvenes resultando en clorosis de las primeras. Este amarillamiento es usualmente seguido por senescencia prematura de las hojas, y en el estado de madurez estos síntomas pueden ser completamente pronunciados. En contraste, plantas que reciben exceso de nitrógeno casi siempre tienen un verde muy oscuro en sus hojas y generalmente la senescencia de sus hojas se demora. Con extrema deficiencia de nitrógeno, las plantas de maíz pueden mostrar síntomas de stress visual temprano en el estado de seis hojas, lo cual es cerca del tiempo en que son recomendadas las aplicaciones de refertilización con nitrógeno (Piekielek y Fox, 1992).

Piekielek y Fox, (1992); originalmente tuvieron la hipótesis de que el nivel de clorofila en las hojas más viejas como en la tercer hoja puede ser un mejor indicador de stress de nitrógeno en la planta debido a que la clorosis causada por la translocación de nitrógeno debería ser más pronunciada en hojas viejas que en jóvenes. Sin embargo, la lectura medida en la tercer hoja no fue mejor predictora con rendimiento relativo o capacidad de aporte de nitrógeno del suelo en relación a la lectura realizada en la cuarta y quinta hoja. La clorofila en la tercer hoja es más dependiente de otros factores que de la disponibilidad de nitrógeno del suelo. Estos factores pueden ser dosis de fertilización starter, stress por frio en etapas tempranas de crecimiento y variaciones en senescencia de los híbridos. La condición física de la tercer hoja al estado de V6 de las plantas fue algunas veces pobre, debido a diversas

situaciones que redujeron el área foliar disponible para obtener una medición representativa (Piekielek y Fox, 1992).

El primer año de trabajo de Sims *et al.*, (1995), confirma que el factor de lectura de clorofila se correlacionó bien con el nitrógeno en planta, particularmente en la hoja de la espiga de maíz. También se ha estudiado la relación con rendimiento relativo y se obtuvo un valor crítico de lectura de 48, similar al valor de 43.4 reportado por Piekielek y Fox, (1992) para obtener un rendimiento relativo de 92% utilizando el método gráfico de Cate y Nelson, (1965).

Existe un número de posibles razones de por qué el test de medir clorofila al estado de V6 no siempre es un buen indicador del rendimiento relativo de grano o de la capacidad de aporte de nitrógeno de un sitio en particular. Los niveles de clorofila en hoja podrían suponer una variación de acuerdo al híbrido sin considerar el status de nutrición de nitrógeno de las plantas.

Otros factores además de la disponibilidad de nitrógeno en el sitio podrían afectar la exactitud del uso de este test. El stress de la planta por deficiencia de otros nutrientes, enfermedades, daños por insectos o temperaturas bajas pueden reducir los niveles de clorofila en hoja (Piekielek y Fox, 1992). La lectura también puede cambiar en las diferentes horas del día o luego de una lluvia o riego por aspersión (Peterson *et al.*, 1993). A pesar de los resultados alentadores que Piekielek y Fox, (1992) obtuvieron, se necesita una base de datos mucho más grande para determinar los factores de suelo, planta y ambiente que afectan la predicción y exactitud de los valores de lectura del medidor de clorofila.

Existen otros autores que se inclinan por la idea de que este test debería ser calibrado para situaciones más particulares. Tal es el caso de Peterson *et al.*, (1993), que indica que este test debería ser calibrado para cada cultivo, suelo, híbrido y condiciones ambientales en orden para poder hacer uso de las lecturas.

3. Indicadores del status nitrogenado a la cosecha

a. Nitrógeno en grano

Macy, en (1936), citado por Cerrato y Blackmer (1990), postuló que la concentración de un nutriente en el tejido de la planta está en función de la suficiencia de ese nutriente. El autor relacionó la concentración de nutrientes en los tejidos de la planta y el decrecimiento desde el máximo rendimiento identificando tres zonas:

a) Consumo de lujo: ocurre cuando al adicionar un nutriente, resulta en un incremento en la concentración de ese nutriente en la planta sin incremento en rendimiento.

b) Zona de ajuste: ocurre cuando al adicionar un nutriente, resulta en un incremento tanto del nutriente en el tejido como del rendimiento.

c) Porcentaje mínimo: es cuando incrementa el rendimiento sin incremento en la concentración del nutriente en la planta.

El punto de concentración crítica se encuentra cuando a mayores agregados de un nutriente deja de existir incrementos en rendimiento.

La concentración de nitrógeno en grano tiende a aumentar con los incrementos en dosis de fertilización nitrogenada. Existe una tendencia a que la concentración de nitrógeno en grano alcanza un "plateau" a altas dosis de fertilizante nitrogenado agregado. Los factores que pueden afectar a que no se llegue al "plateau" son excesivas lluvias, mayores pérdidas de fertilizantes nitrogenados, extrema deficiencia de nitrógeno o mala selección del tejido para el análisis (Cerrato y Blackmer, 1990). Todos estos factores llevan a que el método tenga baja predicción. En este trabajo, solamente el 44% de la variación de rendimiento relativo fue explicada por este indicador. Además, el método pierde sensibilidad cerca del punto crítico de concentración de nitrógeno, por lo tanto no es un buen indicador del status de nitrógeno.

En Balcarce (Uhart y Andrade, 1995b; citado por Andrade *et al.*, 1996), estudiando la asociación entre el rendimiento relativo y la concentración de nitrógeno en grano establecieron un umbral de alrededor de 12 g kg^{-1} en cosecha. Este valor hallado es cercano al citado por Cerrato y Blackmer, (1990) que reportan un valor crítico de $13\text{-}14 \text{ g kg}^{-1}$, e inferior al obtenido por Hanway, (1962) y Pierre *et al.*, (1977); citados por Andrade *et al.*, (1996), los cuales fueron $14\text{-}15 \text{ g kg}^{-1}$ y 15 g kg^{-1} respectivamente.

b. Nitrógeno en hoja

Otro método de evaluar el status de nitrógeno del maíz consiste en medir la concentración de nitrógeno en la hoja opuesta y por debajo de la espiga primaria en el momento en que son visibles los estigmas.

Las causas de la elección de esa hoja como predictor del status de nitrógeno son:

- a) la posición de la hoja y el estado fisiológico es fácil de reconocer
- b) las hojas son sitios de activa síntesis
- c) el estado de madurez es un periodo en que la demanda de nutrientes es alta
- d) la dilución de este nutriente es mínima en este estado porque el peso de las partes vegetativas de la planta está cerca del máximo (Tyner, 1946 y Tyner Webb, 1946; citados por Cerrato y Blackmer, 1991)

Cerrato y Blackmer, (1991) determinaron que la concentración de nitrógeno en la hoja tendió a incrementarse linealmente con incrementos en rendimiento de grano. Los autores minuciosamente evaluaron en su trabajo el modelo a emplear siendo "lineal+plateau" el que mejor se ajustó, determinando una concentración crítica de 2.1%. Otros autores reportan valores de 2.8%, 3.2%, 2.9% y 3.0% (Bennett

et al., 1953; Hanson et al., 1987; Tyner, 1946 y Gallo et al., 1968, Melsted et al., 1969, citados por Cerrato y Blackmer, 1991, respectivamente). Estas diferencias pueden ser debidos a que utilizaron el modelo "cuadrático", teniendo este modelo la tendencia de sobrestimar la concentración crítica. En el trabajo realizado por Cerrato y Blackmer, (1991), determinaron un valor crítico de 2.7% utilizando el modelo cuadrático.

Aplicaciones de nitrógeno en el óptimo o por encima del óptimo de rendimiento resulta en similar concentración de nitrógeno en hoja. Cerrato y Blackmer, (1991) concluyen que este test es posible de ser utilizado para detectar deficiencias de nitrógeno en el cultivo. Sin embargo, es de pobre predicción para determinar status de nitrógeno en aquellas situaciones en donde la fertilización halla sido óptima o por encima de la óptima.

c. Clorofila en hoja

Un primer aporte que puede realizar este test es separar los sitios con suficiencia de los de deficiencia de nitrógeno (Piekielek et al., 1995)

Debido a lo cambiante de los niveles de clorofila en el estado de maduración del maíz, el test debe ser hecho en un estado específico de maduración (estado $\frac{1}{4}$ lechoso). Existen además, factores específicos de cada sitio que frecuentemente pueden afectar los niveles de clorofila en maíz (Fox et al., 1992; Piekielek y Fox, 1992; Schepers et al., 1992, citados por Piekielek et al., 1995). En crecimiento avanzado del cultivo, sequías o severas manchas foliares en un sitio pueden causar decrecimiento en las lecturas. En estos casos normalizando las lecturas puede ayudar a remover errores. Por lo tanto los autores calcularon una lectura normalizada para cada tratamiento en cada sitio llamada clorofila relativa. Esta se define como el promedio de la lectura de clorofila de cada repetición de un tratamiento en cuestión, dividido el promedio de las lecturas de clorofila de las repeticiones del tratamiento con más alto nitrógeno para ese experimento (Piekielek et al., 1995).

Analizando por el método gráfico de Cate y Nelson, las lecturas del medidor de clorofila relativas tomadas de la hoja de la espiga en estado $\frac{1}{4}$ lechoso fue un indicador preciso para separar deficiencias de suficiencias de nitrógeno (Piekielek et al., 1995). En este trabajo empleando un nivel crítico de clorofila relativa de 0.93, el nivel crítico de lectura obtenido fue de 52 unidades. Si la lectura de clorofila fue menor a 52 el productor es capaz de estimar las pérdidas de rendimiento en grano debido a la falta de nitrógeno. Mediante un ajuste de regresión lineal se mostró alta correlación ($r^2=0.84$) entre la lectura relativa de clorofila y rendimiento relativo de grano (RR).

La ecuación es la siguiente

$$RR = 1,17 * (\text{lectura relativa de clorófila}) - 0.123$$

4. Indicadores de suficiencia y exceso de nitrógeno

a. Nitrato en tallo

El conflicto entre la necesidad de uso de fertilizante nitrogenado y la necesidad de proteger la calidad de agua del suelo requiere mejores herramientas para distinguir entre aplicaciones de fertilizante cuando estas son necesarias y cuando estas son excesivas (Binford *et al.*, 1990).

Los tests de tejidos han sido ampliamente usados como herramientas de diagnóstico para evaluar el status de nitrógeno en maíz. La premisa básica del test de tejido, ya discutida en la ecuación ajustada por Macy (1936), está en las relaciones existentes entre las concentraciones de nutrientes en los tejidos de las plantas y la suficiencia de ese nutriente para el crecimiento de la planta (Uhich, 1952; citados por Binford *et al.*, 1990).

Esta bien establecido que el nitrato tiende a acumularse en la porción inferior de los tallos de maíz a madurez, cuando cantidades abundantes de nitrógeno son disponible en el suelo (Hoffer, 1926; Hanway y Englehorn, 1958; citados por Binford *et al.*, 1990). Estas relaciones son consistentes con la idea de que las plantas de maíz con deficiencias de nitrógeno redujeron la concentración de nitrato de la parte inferior de los tallos durante el llenado del grano y las plantas de maíz que tuvieron exceso no redujeron la concentración de nitrato en la porción inferior de los tallos en la estación tardía (Friedrich *et al.*, 1979; citado por Binford 1990). Este autor desarrolló un test que consiste en analizar la concentración de nitrato de la porción inferior de los tallos del maíz (de 15 a 35 cm de altura) al estado de madurez fisiológica.

Binford *et al.* (1990), sugiere que el momento de muestreo no es importante, especialmente si las muestras son colectadas durante un periodo de una a tres semanas después de que la capa negra (madurez fisiológica) se encuentra presente en la mayoría de los granos de las espigas. Además concluyen que el estado de muestreo es fácilmente identificable y extendido por un razonable periodo. El proceso de muestreo es simple y puede ser fácilmente realizado por los agricultores. Finalmente, el análisis es relativamente simple y económico.

Blackmer *et al.* (1992), citados por Sims *et al.* (1995) en investigaciones recientes de este test propone un rango óptimo de 0.7 a 2.0 g N-NO₃⁻ kg⁻¹. Agrega además que valores de nitrato en tallo por debajo de 0.7 g N-NO₃⁻ kg⁻¹ podrían tener probablemente respuesta económica a la refertilización con nitrógeno. Valores de nitrato en tallo por encima de 2.0 g N-NO₃⁻ kg⁻¹ están asociados con sitios sin respuesta, y de esta manera, a excesivas fertilizaciones nitrogenadas. Valores intermedio de nitrato en tallo fueron considerados probablemente de encontrarse cerca de la dosis óptima económica.

Cabe destacar que Binford *et al.*, (1992) y Sims *et al.*, (1995), trabajando con este mismo test y relacionándolo con rendimiento relativo de maíz determinaron un rango óptimo esencialmente igual al reportado por Blackmer *et al.*, (1992). Sin embargo agregan además, que los cambios en las relaciones de precios entre fertilizantes y grano pueden cambiar el rango crítico de concentración de nitrato en tallos que se considera óptimo. De esta manera, el límite inferior del rango puede ser más apropiado cuando la relación precio del fertilizante sobre precio del grano es alta, y el límite superior sería más apropiado cuando la relación de precio es relativamente mas baja.

b. Nitrato residual en el suelo al momento de la cosecha

En general, cuando se agregan dosis excesivas de fertilizantes nitrogenados, estos no son totalmente absorbidos por el cultivo, quedando como remanente en el suelo al momento de la cosecha. Este remanente puede ser medido mediante la determinación de la concentración de nitrato en suelo.

Fertilizaciones nitrogenadas continuas resultan en la acumulación en el suelo de nitrógeno orgánico e inorgánico por un tiempo prolongado dependiendo de rangos de fertilizaciones, manejo de laboreo y de los residuos, rotación de cultivo, tipo de suelo y condiciones climáticas. Además, las aplicaciones continuas de fertilizantes pueden provocar a largo plazo alteraciones en la respuesta a la fertilización más reciente (King, 1990; Olsen *et al.*, 1976; Bundy y Malone 1988; citados por Motavalli *et al.*, 1992).

La contribución relativa del nitrógeno tanto orgánico como inorgánico es complicada de determinar por la dinámica natural de los procesos microbianos que afectan el nitrógeno orgánico e inorgánico del suelo y la falta de un test de disponibilidad de nitrógeno con una predicción acertada de utilización de nitrógeno por el cultivo (Fox y Piekielek, 1984, Meisinger, 1984, citados por Motavalli *et al.*, 1992)

En un estudio realizado por Motavalli *et al.*, (1992), el test de nitrato a la cosecha mostró incrementos de nitrógeno inorgánico debido a la mineralización de nitrógeno, pero no se correlacionó consistentemente con rendimiento en grano o la toma de nitrógeno. Esto sugiere que este test de disponibilidad de nitrógeno quizás es de confianza solo cuando cantidades significativas de nitrógeno remanente de años previos ocurre, y no en situaciones en que la respuesta al nitrógeno se deba solamente a la mineralización de nitrógeno. En estos casos la influencia de historia de cultivos y prácticas previas de manejo debería considerarse en el desarrollo anual de recomendación de fertilización nitrogenada.

D. MOMENTO DE APLICACION DEL FERTILIZANTE NITROGENADO

Las demandas de nitrógeno siguen estrechamente la producción de materia seca en las plantas. Para un manejo apropiado de las aplicaciones de nitrógeno, es necesario conocer los patrones de utilización del nitrógeno en las diferentes etapas morfológicas del crecimiento de la planta. Si se conocen estos patrones, el productor puede determinar mejor el momento apropiado para la aplicación del nitrógeno suplementario necesario para satisfacer totalmente los requerimientos (Bennett y Tucker, 1986).

Por otra parte, el momento de aplicación está ligado directamente con la etapa del ciclo del cultivo en que mayor es la tasa de absorción de los nutrientes que se adicionan por vía del fertilizante. A su vez, la movilidad en el perfil del suelo de los nutrientes agregados, y la tasa de liberación a la solución del suelo de los mismos en relación a la fuente utilizada, son elementos que se deben evaluar para determinar con qué anticipación hay que fertilizar, para que en el momento de máxima demanda del cultivo los nutrientes estén disponibles (Miguens *et al.*, 1989).

Cuando las plantas de maíz tienen tres hojas totalmente desarrolladas (V3), todas las hojas y las yemas de espigas que la planta eventualmente producirá se están formando en este momento. Aproximadamente en V5, la formación de las yemas de hojas y espigas se completa y una microscópica panícula se forma en el ápice del tallo. El inicio de la formación de la panícula se produce en la superficie o un poco por debajo del suelo, aunque la altura de la planta sea de aproximadamente de 20 cm. En V6, el punto de crecimiento y la panícula están arriba de la superficie del suelo y el tallo está empezando un periodo de grande alargamiento. Debajo del suelo, el sistema radicular nodal está ahora en máxima funcionalidad. En V10, la planta de maíz empieza rápida y consistentemente a aumentar la acumulación de nutrientes y materia seca que continuará hasta las etapas finales de la reproducción. Los suministros de agua y nutrientes del suelo son en este momento de gran demanda para atender las necesidades de esta alta velocidad de crecimiento (Iowa State University, 1993).

Jones y Houston (1914) y Sayre (1948), citados por Berger (1962), definen claramente que la mayoría de los nutrientes tienen el momento de mayor absorción 10 días antes de la aparición de la panoja masculina hasta cerca de 25 a 30 días luego de este estado.

Según Berger (1962); el nitrógeno absorbido durante el primer mes es relativamente bajo, pero durante el próximo mes la tasa de absorción de este nutriente se torna muy alta. Sayre (1955), citado por Berger (1962), determinó que las máximas tasas de absorción de nitrógeno ($4.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) se dan durante el periodo comprendido entre la aparición de la panoja masculina y la aparición de los estigmas de la inflorescencia femenina. Entonces, aparentemente la clave de la fertilización de maíz para aportar suficientes cantidades de nutrientes, particularmente nitrógeno, es de proveer el nutriente especialmente durante este periodo crítico de cinco semanas.

La mejora en la eficiencia con la demora de la aplicación de nitrógeno es consistente con el concepto de que el máximo de nitrógeno sea absorbido a tiempo, esto ocurre 2 a 3 semanas antes de la aparición de los estigmas (Jordan *et al.*, 1950; Ruselle *et al.*, 1983; citados por Jokela y Randall, 1989) o incluso un poco más temprano (Hanway, 1962, citado por Jokela y Randall, 1989). Aplicaciones más tardías limitan las potenciales pérdidas de nitrógeno por lixiviación o denitrificación debido a que el fertilizante nitrogenado se encuentra en el suelo por un periodo corto de tiempo y debido también al activo crecimiento del sistema radicular ya existente para tomar el nitrógeno aplicado (Olso y Kurtz, 1982; citado por Jokela y Randall, 1989). Los autores en un estudio sobre momento y dosis de aplicación desde la plantación hasta el estado de 8 hojas reportan que no incrementó los rendimientos en grano ni en materia seca total, ni tampoco mejoró la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado. Además, encontraron altos niveles de nitrato residual al final de la estación de crecimiento en aquellas parcelas que fueron tratadas con fertilizante nitrogenado al estado de 8 hojas, sugiriendo que este era un remanente potencial para el próximo año de producción. Sin embargo, en la siguiente primavera las cantidades de nitrato eran menores y no se observaron ventajas en rendimiento en las producciones siguientes. Los autores sugieren que demorar un poco la aplicación (hasta V8) se considera como una mejor práctica de manejo (en relación a aplicar todo a la siembra), pero puede incrementar las pérdidas por lixiviación de nitrato incluso por debajo de la zona de exploración radicular y eventualmente contaminar las aguas subterráneas (Jokela y Randall, 1989).

Sin embargo, Miguens *et al.*, (1989), recomienda la refertilización nitrogenada cuando el maíz tiene entre 30-50 cm de altura, es decir de 5 a 8 hojas.

E. FUENTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS

En nuestro país, el constante incremento de los rendimientos medios de los cultivos de verano ha determinado un aumento en la demanda de nitrógeno. Este incremento en la demanda del nutriente no ha significado sin embargo el uso de nuevas fuentes de nitrógeno. La urea sigue siendo la única fuente utilizada para corregir aquellas situaciones en que se detecta la deficiencia (Hoffman *et al.*, 1996). Esto ha sucedido a pesar de que muchas veces la refertilización nitrogenada del maíz se hace en superficie sin incorporar, lo cual puede resultar en pérdidas significativas de nitrógeno a través de volatilización de amonio (Touchton y Hargrove, 1982).

La magnitud de la pérdida de amonio está en función de la capacidad buffer del suelo, pH, CIC, textura, humedad, temperatura, velocidad del viento, actividad de la ureasa, tipo de fertilizante nitrogenado, método de aplicación y cantidad aplicada (Fenn y Hossner, 1985; Ferguson y Kissel, 1986, citados por Al-Kanani *et al.*, 1991; Freney *et al.*, 1983; citado por McInnes *et al.*, 1986). Las mayores pérdidas de amonio ocurren cuando se emplea altas dosis de urea, principalmente cuando esta es

aplicada en superficie en suelo desnudo mientras este se está secando en un tiempo corto luego de la aplicación (Kresge y Satchell, 1959).

Los resultados del trabajo de Priebe y Blackmer, (1989); sobre el contenido de humedad en el suelo al momento de aplicación de fertilizante nitrogenado como un factor que afecta las pérdidas de nitrógeno, indican que la recuperación de nitrógeno derivada de la urea en parcelas que se aplicaron con superficies secas fue mayor que en aquellas que se aplicaron con superficies húmedas. Esto es explicado por que cuando se aplica urea en superficies relativamente secas, esta poca humedad es insuficiente para disolver e hidrolizar la urea. Por lo tanto, la hidrólisis es demorada hasta que llueve y entonces la urea es incorporada al perfil del suelo, donde la volatilización de amonio no es un problema. En las parcelas con superficies húmedas, la urea se disuelve e hidroliza rápidamente. Esto resulta en amonio presente en la superficie del suelo, donde la volatilización del mismo puede ocurrir. En tales casos demorar la aplicación de urea por un corto tiempo puede ser una práctica económica tendiente a reducir las pérdidas por volatilización de amonio (Priebe y Blackmer, 1989).

La variable que más impacto tiene en determinar el porcentaje de pérdidas del nitrógeno agregado como urea, es la incorporación o no del fertilizante al suelo. La otra variable que determina diferencias en cuanto a eficiencias de uso del nitrógeno es la fuente a utilizar. La utilización de otra fuente del nitrógeno es una alternativa interesante a evaluar en cultivos de verano como forma de dar seguridad a la fertilización nitrogenada diferida. El problema radica en la relación de precios entre fuentes por unidad de nitrógeno (Hoffman *et al.*, 1996).

Ha sido reportado de ser la urea menos eficiente que otras fuentes de nitrógeno cuando no es incorporada (Grasser, 1964; Volk, 1966; Wells *et al.*, 1978; citados por (Touchton y Hargrove, 1982).

Bandel *et al.* (1980), citado por Touchton y Hargrove, (1982) obtuvo mayor rendimiento en grano en siembra directa de maíz con aplicación en superficie de nitrato de amonio que con urea, excepto en años y localidades donde los rendimientos fueron excepcionalmente bajos o cuando el maíz no respondió al nitrógeno.

Las condiciones que favorecen la rápida hidrólisis y el mejor uso del nitrógeno por parte del cultivo, (humedad y temperatura), también son las que maximizan el potencial de pérdidas. Bajo determinadas condiciones se pueden esperar hasta un 70% de pérdidas del nitrógeno agregado en superficie (Hoffman *et al.*, 1996).

En un trabajo realizado por Keller y Mengel, (1986), determinaron que el porcentaje de pérdida de $N-NH_3$ alcanzó el 50% para urea, en tanto que para nitrato de amonio las pérdidas fueron muy escasas (6%).

En Argentina, García, (1997), realizando evaluaciones de fuentes nitrogenadas para maíz indican que bajo siembra directa, aplicaciones superficiales de urea resultan en eficiencias de uso del nitrógeno significativamente menores que Urea+nBTPT (inhibidor de la ureasa), nitrato de amonio o UAN. Sin embargo, cuando los fertilizantes nitrogenados fueron incorporados debajo de la capa de residuos, la eficiencia de uso por unidad de nitrógeno aplicada es similar para todas las fuentes.

En el caso de nitrato de amonio, las pérdidas son muy bajas dado que se agrega al suelo una fuente que contiene parte del nitrógeno directamente como nitrato y el resto como amonio. Para el caso de la urea el proceso de formación del amonio a nivel del suelo, hace aumentar el pH provocando pérdidas por volatilización, cosa que no se produce para los fertilizantes que ya tienen amonio en su mezcla (Hoffman et al., 1996).

III. MATERIALES Y METODOS

Los ensayos fueron realizados en el año 1996, en 14 sitios pertenecientes a chacras de productores comerciales. Se reportan 10 sitios debido a que los restantes 4 sitios fueron descartados por ser refertilizados por el productor. La información detallada sobre cada sitio se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1: Información de cada sitio en que se realizaron ensayos

Sitio	Localidad	Productor	Híbrido	Cultivo anterior	Fecha de siembra	Días a V6	Tipo de suelo	Asociación
I	Young	C. Womacov	DK669	Maíz	8-Oct	39	Brunisol céntrico	Young
II	C. Delta	G. Wiebe	DK752	Avena	15-Nov	27	Brunisol subcéntrico	Kivu
III	C. Valdarse	C. Chambou	DK664	Pr. Vieja	19-Oct	41	Urnosol subcéntrico	F, P-L, B
IV	Viboras	A. Solsona	DK664	Maíz	10-Oct	52	Brunisol subcéntrico	C. Nicto
V	Young	J.M. Nin	DK751	Pr. Vieja	20-Oct	27	Brunisol céntrico	Young
VI	Canelo	E. Arapuro	DK664	Pr. Vieja	1-Nov	29	Brunisol subcéntrico	C. Nicto
VII	R. del Puro	R. Buratti	DK4F37	Maíz	15-Sep	38	Planosol céntrico	Kivu
N	Young	O. Minetto	DK752	Pr. Tr. Rojo	17-Nov	27	Brunisol céntrico	Young
XI	C. Valdarse	S. Roland	DK4F37	Sorgo Forr.	12-Nov	10	Planosol céntrico	Kivu
XII	C. Valdarse	F. Land S.A.	DK664	Papa	15-Nov	27	Argisol subcéntrico	Kivu

En todos los sitios se realizó laboreo convencional y el manejo recibido fue el aplicado por el productor a toda la chacra, excepto la refertilización nitrogenada al estado de seis hojas (V6). En los sitios donde los productores no fertilizaron con P, este fue corregido a la siembra.

A. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño utilizado fue en bloques completamente aleatorizado (DBCA), con 3 repeticiones. El tamaño de cada parcela fue de 4,2 m x 12 m.

En V6 se aplicaron los tratamientos que consistieron en 4 dosis de Urea (50, 100, 150 y 200 kg/ha) y 2 dosis de Nitrato de Amonio (50 y 100 kg/ha) dejando parcelas testigo sin refertilizar. La aplicación de los tratamientos se realizó manualmente, al voleo y sin incorporar.

B. MUESTREO Y DETERMINACIONES

1. Al estado de seis hojas (V6)

a. Nitrato en suelo

Se tomaron muestras de cada bloque a dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm). Cada muestra estaba compuesta por 16 tomas, de las cuales 4 correspondían a la fila de maíz, 4 al medio de la entrefila y las 8 restantes entre ellas. Esto se realizó debido a que en situaciones de fertilizaciones iniciales en banda existiría mayor concentración de nitrógeno en la fila de maíz. Sin embargo, si la fertilización inicial

fue al voleo, en esta zona existirá la mínima concentración por la extracción que realizan las plantas.

La muestra fue secada en estufa a 60 °C, luego fue molida y tamizada. Las determinaciones de nitrato se realizaron con la técnica del electrodo. Para extraer la solución del suelo se utilizaron 20 g de suelo y 50 ml de agua deionizada más CaSO_4 . Luego de filtrada la solución se le agregó 10 ml de una solución buffer para evitar interferencias de otros iones. El equipo utilizado fue Orion Research model 701A/digital Ionalyzer.

b. Nitrato en planta

Las mismas muestras de plantas que se obtuvieron para determinar nitrógeno total, fueron utilizadas para determinar nitrato por el método del electrodo. El equipo utilizado fue Orion Research model 701A/digital Ionalyzer. La técnica empleada consistió en extraer la concentración de nitrato de una muestra de 1 g de peso seco de plantas con 50 ml de una solución de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 0.025M, agitando durante 30 minutos. Luego de filtrada la solución se le agregó 1 ml de una solución de NH_4SO_4 2M.

c. Nitrógeno en planta

Se tomaron 28 muestras de plantas por bloque y se utilizó su valor promedio. Las plantas fueron cortadas en la base del tallo, luego se secaron en estufa a 60 °C y fueron molidas. Se determinó el contenido de nitrógeno total en porcentaje mediante el método de Kjeldahl.

Para el proceso de digestión se colocó en los tubos de digestión 0.5 g de la muestra y se le agregó una pastilla de Special Keltabs C 3.5 que contiene 3.5 g de K_2SO_4 y 0.4 g de CuSO_4 , luego se adicionó 10 ml de H_2SO_4 puro. La digestión se realizó a 350 °C durante una hora utilizando un equipo Tecator Digestion System 20 1005 Heating Unit.

La destilación se realizó agregándole 250 ml de agua deionizada y 50 ml de soda. Se recogió la destilación en un matrás aforado al cual se le agregó 25 ml de ácido bórico. Luego se media el gasto de HCl 0.1 N necesario para el viraje de color.

d. Clorofila en hoja

En cada bloque se realizaron 28 mediciones utilizando su valor promedio. Para ello se utilizó un medidor manual Minolta (model SPAD 502). La medición se realizó en el tercio superior de la última hoja totalmente desarrollada (5ª o 6ª hoja), entre la nervadura central y el borde de la lámina.

2. A la cosecha

a. Rendimiento en grano

Se cosecharon manualmente en cada parcela las espigas de 8 m de las 2 filas centrales que totalizaba un área de 11.2 m². El rendimiento fue corregido a 15.5 % de humedad y convertido a kg/ha.

b. Rendimiento de materia seca total

En 7 sitios (I, II, IV, V, VI, VII y XII) se contaron las plantas existentes en los 8 m de las 2 filas centrales de cada parcela y se calculó la población en plantas/ha. Posteriormente se cortaron 10 plantas enteras en cada parcela. Las plantas fueron picadas y secadas en estufa a 60 °C y junto con el peso seco de marlo y grano se determinó la cantidad de materia seca total en kg/ha corregida por la población existente.

c. Nitrato en suelo

En cada sitio se realizó una muestra compuesta para cada tratamiento a una profundidad de 0-20 cm, realizando 4 tomas por parcela. Luego de obtenida la muestra, el procedimiento seguido fue el mismo que el realizado con las muestras de siembra (item B.1.a.)

d. Nitrato en tallo

En cada parcela se cortó la porción inferior (entre 15 a 35 cm desde la superficie del suelo) del tallo de 10 plantas. Estos fueron secados en estufa a 60 °C y luego molidos. Se determinó la concentración de nitrato siguiendo el mismo procedimiento detallado para la determinación de nitrato en plantas (item B.1.b.)

e. Contenido de nitrógeno en grano, marlo y planta

Este análisis fue realizado solamente en 7 sitios (I, II, IV, V, VI, VII y XII). En cada caso se realizó una muestra compuesta por tratamiento y se determinó el % de nitrógeno utilizando el mismo método descrito en el item B.1.c.

C. ANALISIS ESTADISTICO

Para las variables rendimiento en grano y concentración de nitrato en tallos a cosecha, se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij}$$

donde: μ : media general

β_i : efecto bloque (n: 0...i)

α_j : efecto tratamiento (n: 0...j)

ε_{ij} : error experimental

También se realizaron dos contrastes:

Contraste 1 (C1): Fertilizar vs. No fertilizar

Se contrastaron el promedio de las parcelas fertilizadas (50, 100, 150, 200 kg/ha de nitrógeno en forma de urea, 50, 100 kg/ha de nitrógeno en forma de nitrato de amonio) contra el promedio de las parcelas testigo sin fertilizar.

Contraste 2 (C2): Urea vs. Nitrato de amonio

Se contrastaron el promedio de las parcelas que recibieron los tratamientos de 50 y 100 kg/ha de nitrógeno en forma de urea contra el promedio de las parcelas que recibieron los tratamiento de 50 y 100 kg/ha de nitrógeno en forma de nitrato de amonio.

El paquete estadístico utilizado fue S.A.S. 6.02 (1992).

El rendimiento relativo se estimó en cada bloque, como el cociente entre la parcela testigo y el máximo rendimiento. Cuando se observaba respuesta al agregado de nitrógeno el máximo rendimiento se estimó a partir de la regresión cuadrática entre rendimiento y dosis de nitrógeno aplicado. Primero se calculó a partir de la derivada primera la dosis asociada con el máximo rendimiento y luego se obtuvo el rendimiento asociado con esta dosis. En aquellos casos que no existió respuesta se asumió un rendimiento relativo de 100%.

Se trabajó con rendimiento relativo debido a que provee un índice común de suficiencia de nitrógeno que el rendimiento absoluto no lo hace. Esta transformación remueve mucha de la variabilidad debido a otros factores sin ser el status de nitrógeno. Esta metodología permite utilizar datos de diferentes sitios y años para poder ser integrados en posteriores análisis.

La eficiencia de utilización del nitrógeno aplicado fue determinada de la siguiente manera:

1º) se calculó la diferencia entre los kg de nitrógeno totales absorbidos por las parcelas de cada tratamiento con nitrógeno agregado y las parcelas testigo.

2º) esta diferencia se dividió luego entre los kg de nitrógeno aplicados en cada tratamiento.

IV. RESULTADOS

A. RENDIMIENTO EN GRANO

En la mayoría de los sitios, no existió una tendencia significativa de aumento de rendimiento en grano con la dosis de nitrógeno (Fig. 1 y Cuadro 2).

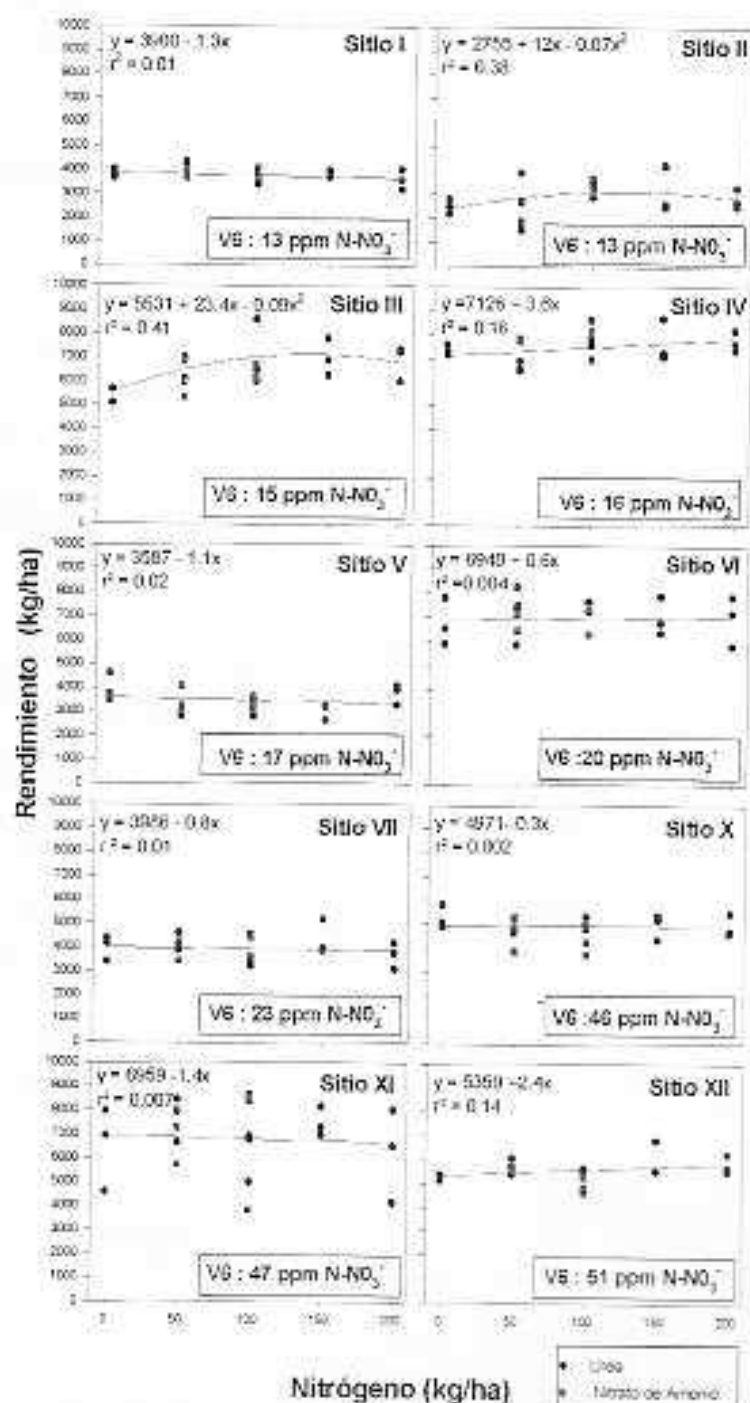


Figura 1. Rendimiento en grano de maíz según dosis y fuente de nitrógeno aplicada.

Cuadro 2: Resultados del análisis estadístico para rendimiento en grano de maíz según dosis y fuente de nitrógeno aplicada.

Sitio	Fuente de variación	gl	CM	P>F	Diferencia entre medias de contrastes (kg)
I	Bloque	2	43209	0.54	
	Tratamiento	6	98520	0.27	
	C1(Fert vs. Nofert)	1	877	0.91	-19
	C2(Urea vs. NA)	1	8556	0.73	-54
	Error	12	87023		
II	Bloque	2	507124	0.38	
	Tratamiento	6	488009	0.47	
	C1(Fert vs. Nofert)	1	149	0.89	8
	C2(Urea vs. NA)	1	813006	0.22	521
	Error	12	482654		
III	Bloque	2	277123	0.65	
	Tratamiento	6	980956	0.24	
	C1(Fert vs. Nofert)	1	3583589	0.03	1177
	C2(Urea vs. NA)	1	1321882	0.17	564
	Error	12	626882		
IV	Bloque	2	117247	0.68	
	Tratamiento	6	615194	0.13	
	C1(Fert vs. Nofert)	1	97263	0.58	195
	C2(Urea vs. NA)	1	169523	0.46	-238
	Error	12	294679		
V	Bloque	2	903526	0.01	
	Tratamiento	6	285846	0.09	
	C1(Fert vs. Nofert)	1	819037	0.02	-584
	C2(Urea vs. NA)	1	8718	0.79	-54
	Error	12	115882		
VI	Bloque	2	620412	0.47	
	Tratamiento	6	59132	0.99	
	C1(Fert vs. Nofert)	1	256570	0.57	318
	C2(Urea vs. NA)	1	33275	0.84	105
	Error	12	767218		
VII	Bloque	2	130339	0.63	
	Tratamiento	6	305688	0.40	
	C1(Fert vs. Nofert)	1	113	0.98	7
	C2(Urea vs. NA)	1	245789	0.38	-286
	Error	12	272301		
X	Bloque	2	771683	0.07	
	Tratamiento	6	310206	0.31	
	C1(Fert vs. Nofert)	1	631083	0.12	-494
	C2(Urea vs. NA)	1	92899	0.64	176
	Error	12	231880		
XI	Bloque	2	11102847	0.00	
	Tratamiento	6	1021627	0.92	
	C1(Fert vs. Nofert)	1	540310	0.50	458
	C2(Urea vs. NA)	1	3679	0.96	-35
	Error	12	1116209		
XII	Bloque	2	85876	0.79	
	Tratamiento	6	143683	0.87	
	C1(Fert vs. Nofert)	1	82903	0.64	180
	C2(Urea vs. NA)	1	4447	0.91	36
	Error	12	364886		

Esta falta de respuesta observada puede relacionarse en parte a los valores de nitrato presentes en el suelo a V6. En 5 de los 10 sitios, los valores promedios estuvieron por encima del rango crítico (20-25 ppm) citado en la bibliografía, por lo que no sería dable esperar respuesta.

En tres de los sitios restantes (sitios III, IV y V), los valores fueron cercanos a 17 ppm, lo cual también se ha encontrado como crítico. En uno de estos sitios incluso (sitio V), la respuesta observada fue negativa. En los sitios de bajos niveles de nitrato (sitios I y II) también el nivel de rendimiento fue bajo, por lo que probablemente otro factor afectó la respuesta.

Solamente en uno de los ensayos (sitio III), existió cierta respuesta al agregado de N. Esta respuesta se observa en el contraste 1 (Cuadro 2), donde la diferencia positiva entre el rendimiento promedio en grano de las parcelas refertilizadas contra las parcelas testigo fue significativa ($P < 0.05$). En el sitio V, existió también diferencias significativas para el contraste 1, sin embargo en este caso existió una caída de rendimiento con el agregado de N. De todas maneras, en ambos sitios, el efecto de los tratamientos tomados en forma conjunta nunca fue significativo ($P < 0.05$).

No existieron tampoco diferencias significativas entre fuentes (contraste 2, cuadro 2). Esto indicaría que la falta de respuesta en rendimiento a la aplicación de N a V6 no se relacionó con pérdidas importantes de urea por volatilización.

Los niveles de rendimientos alcanzados en los distintos sitios fueron sin duda afectados por muchos factores. De todas maneras, en condiciones de maíz de secano el régimen hídrico es uno de los factores que normalmente determinan más el nivel de rendimiento alcanzado. Por lo tanto, para una correcta interpretación de estos resultados es necesario considerar en que medida existió déficit hídrico en estos ensayos.

De acuerdo con esto, los resultados de rendimiento de cada sitio se compararon con los datos de precipitaciones del periodo de crecimiento del cultivo y la serie histórica correspondiente a los años 1959-1996. Para cada sitio se utilizó el pluviómetro de la zona más cercana. Los datos de precipitaciones se muestran en la figura 2. En la misma se indica el momento de siembra y floración del cultivo para cada sitio.

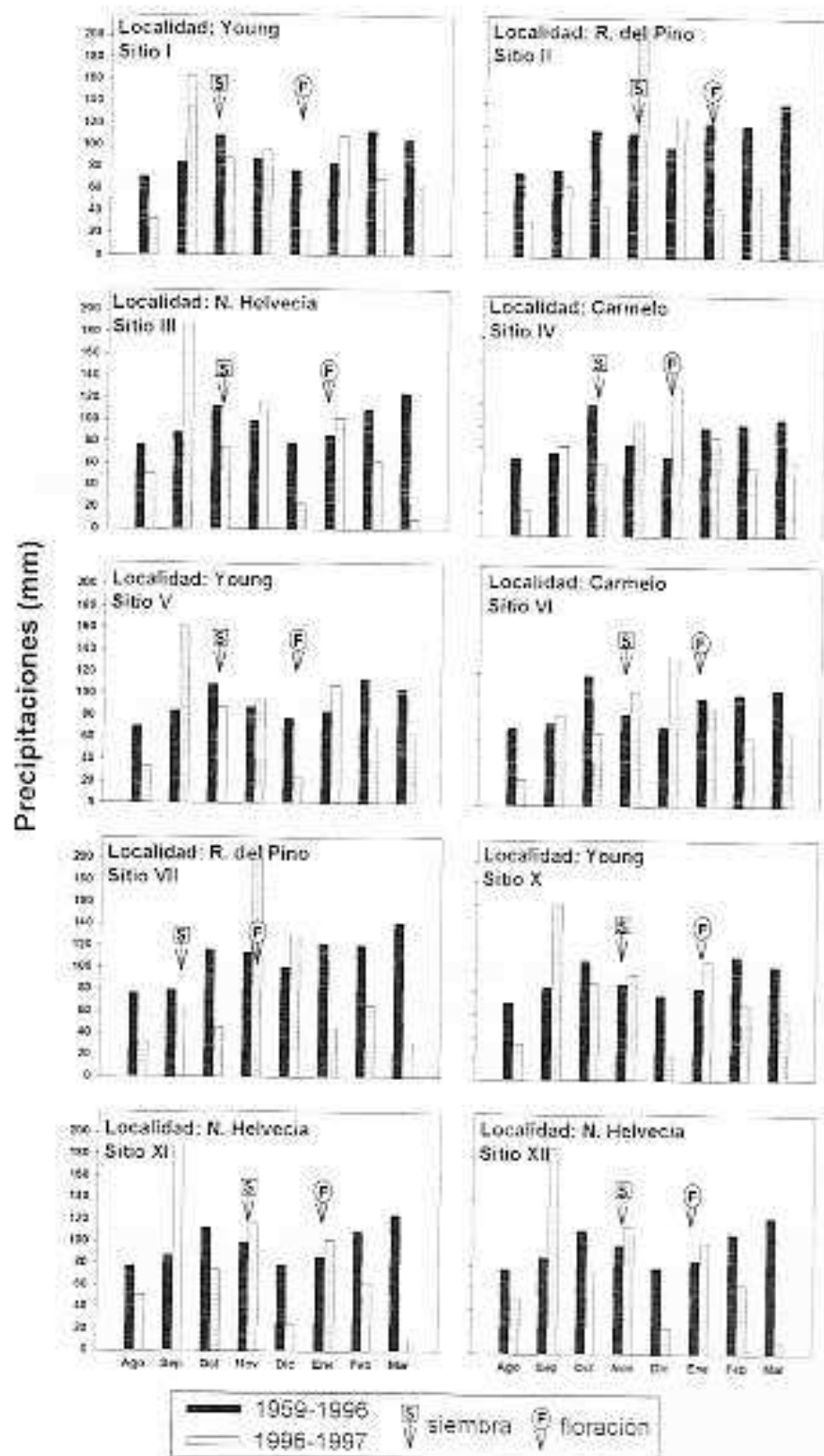


Figura 2. Promedio de precipitaciones para la serie de años 1959-1996 y el periodo 1996-1997 para cada sitio.

En los sitios I y V, ubicados en la localidad de Young, las condiciones hídricas en las etapas tempranas de crecimiento permitieron un gran desarrollo vegetativo. Sin embargo, en estos sitios el momento de floración coincidió con un importante déficit hídrico, lo cual habría sido limitante en la determinación del rendimiento. Estas variaciones en el régimen pluviométrico podrían haber influenciado la disminución significativa del rendimiento con la refertilización nitrogenada observada en el sitio V.

En el sitio X, ubicado en la misma localidad, la floración ocurrió más tarde. Esto coincidió también con mejores condiciones hídricas, lo cual posiblemente influyó en los mayores rendimientos obtenidos en este sitio con relación a los dos sitios anteriores.

En el sitio VII, ubicado en Rincón del Pino, existió déficit hídrico solo durante la etapa vegetativa. En la floración, en cambio, el agua caída fue menor al promedio histórico. Sin embargo, el nivel de rendimiento alcanzado no fue alto. Lo inverso sucedió en el sitio II, ubicado en la misma localidad. Debido a una época de siembra más tardía, en este sitio el déficit hídrico ocurrió en plena floración, obteniéndose el rendimiento menor de todos los sitios.

En los sitios ubicados en la localidad de Carmelo (sitios IV y VI), no se registraron déficits hídricos durante todo el periodo de crecimiento del cultivo. Estos ensayos tuvieron también los rendimientos mayores de todos los sitios. En los sitios ubicados en la localidad de Nueva Helvecia (sitios III, XI y XII), el nivel hídrico registrado tampoco fue limitante, y los rendimientos obtenidos variaron de medios a altos.

Excepto en los sitios I y II, la falta de respuesta a la refertilización nitrogenada a V6 no debería relacionarse con déficits hídricos, ya que muchos de estos sitios (III, IV, VI, X, XI y XII) tuvieron una buena disponibilidad de agua, obteniendo rendimientos superiores a 5000 kg/ha.

Cabe destacar además, que la mayoría de la información sobre indicadores de respuesta, proviene de países donde el nivel de rendimiento promedio de maíz es más elevado. En la bibliografía consultada, se observa que los resultados de experimentos con rendimientos máximos inferiores a 5000 kg/ha generalmente no se incluyen en el análisis. Esto se debe a que se considera que otros factores diferentes del status nitrogenado del suelo o cultivo fueron los limitantes del rendimiento.

B. INDICADORES A V6

I. Nitrato en suelo

El contenido de nitrato en el suelo es un indicador muy utilizado a nivel mundial. En los últimos años, se ha comenzado a utilizarlo también en Uruguay, sobretodo en cultivos de invierno como cebada cervecera y trigo.

Los datos experimentales obtenidos en estos ensayos muestran que el contenido de nitrato en los primeros 20 cm del suelo fue el indicador que mejor se relacionó con la variación en rendimiento relativo de maíz (Fig. 3).

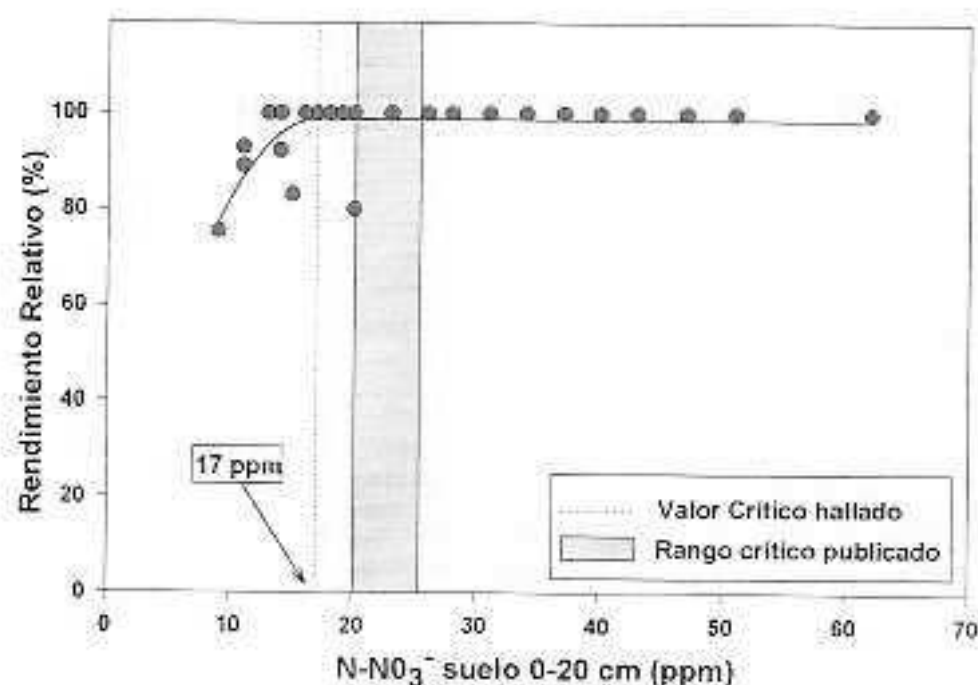


Figura 3: Relación entre rendimiento relativo y contenido de nitrato en suelo (0-20 cm) en V6.

Los menores valores de rendimiento relativo (mayor repuesta) se asociaron con valores menores de nitrato en el suelo. Luego de un valor cercano a 20 ppm de $N-NO_3^-$, la respuesta a la aplicación de N fue siempre nula, o sea se obtuvieron siempre rendimientos relativos de 100%. El modelo matemático que mejor se ajustó a esta relación fue el "cuadrático más plateau". De acuerdo a este modelo, el valor crítico por encima del cual el maíz no respondió al agregado de nitrógeno fue de 17 ppm $N-NO_3^-$. Este valor crítico obtenido es cercano al rango crítico citado en la bibliografía, e incluso coincide con el valor crítico hallado por Sims et al, 1995.

También se evaluó la concentración de nitrato en el suelo a una profundidad de 20-40 cm. Esto fue realizado bajo la hipótesis de que en condiciones de veranos con déficit hídricos, donde la capa superficial del suelo se encuentra más seca, es de

esperar que la actividad de las raíces sea más alta a mayor profundidad. Bajo estos supuestos el contenido de nitrato en esta profundidad sería un mejor indicador de la variación del rendimiento. Los datos experimentales muestran, sin embargo, que no existió una buena relación entre este indicador y el rendimiento relativo (fig. 4).

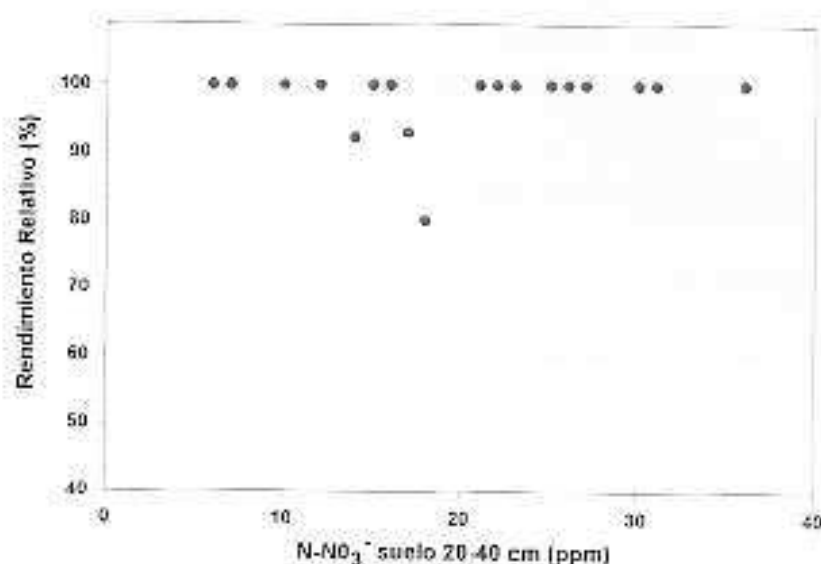


Figura 4: Relación entre rendimiento relativo y contenido de nitrato en suelo (20-40 cm) a V6

A su vez se determinó la relación entre el contenido de nitrato en los primeros 20 cm del suelo y el contenido de nitrato en el total del perfil (0-40 cm) (fig. 5). La alta correlación ($r^2=0.93$) entre ambos indicadores expresa que el análisis de los primeros 20 cm de suelo es un buen estimador del contenido de nitrato en los primeros 40 cm del suelo.

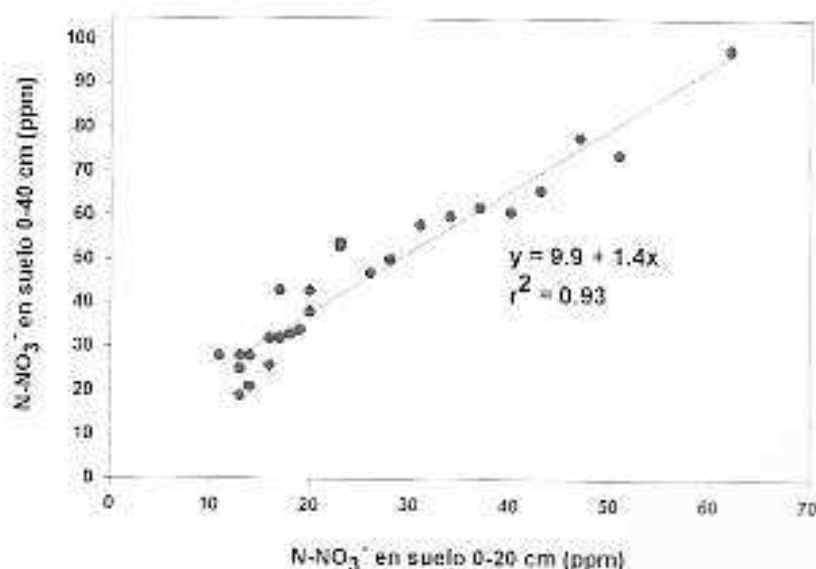


Figura 5: Relación entre la concentración de nitrato en los primeros 20 cm y la concentración de nitrato en el perfil de 0-40 cm.

2. Otros indicadores

Los demás indicadores evaluados a V6 (nitrato en plantas, contenido de nitrógeno en plantas e índice de clorofila) no presentaron una relación clara con rendimiento relativo, impidiendo definir valores críticos. Estas relaciones se muestran en las figuras 6, 7 y 8. Si bien los datos experimentales provienen de un solo año de evaluación, los resultados sugieren que estos tests no se presentan como mejores indicadores del status nitrogenado del cultivo en relación al test de nitrato en suelo a V6. Además, estos resultados sirven para esclarecer el camino a seguir por parte de la investigación, destinando los mayores esfuerzos hacia la mejora del test de nitrato en suelo.

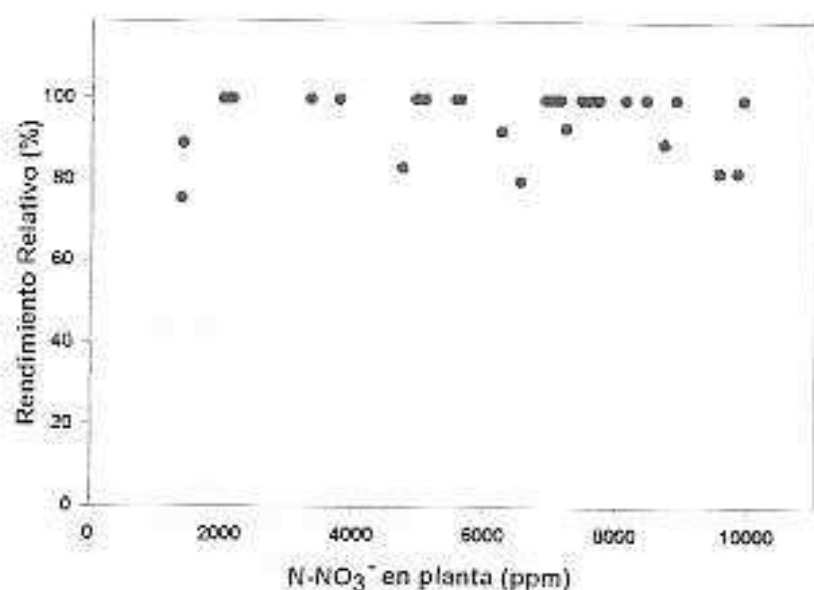


Figura 6: Relación entre rendimiento relativo y concentración de nitrato en planta a V6

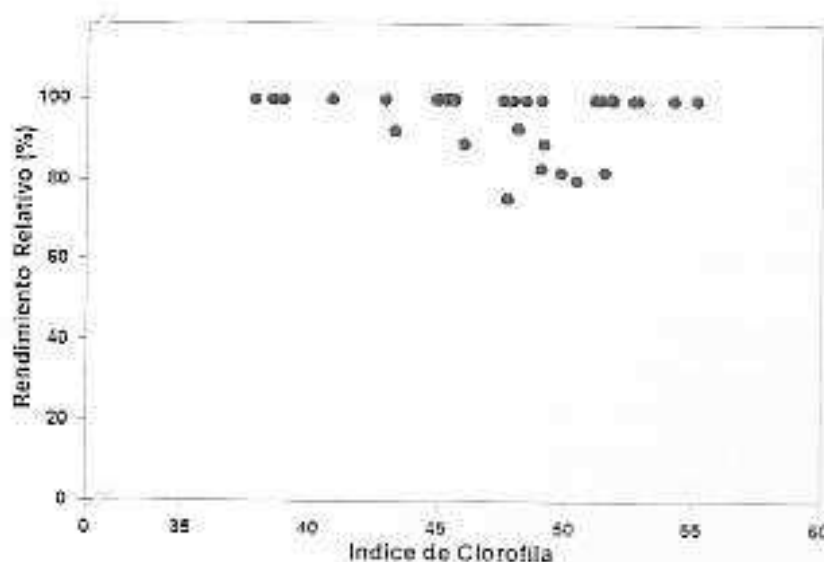


Figura 7: Relación entre rendimiento relativo e índice de clorofila en planta a V6.

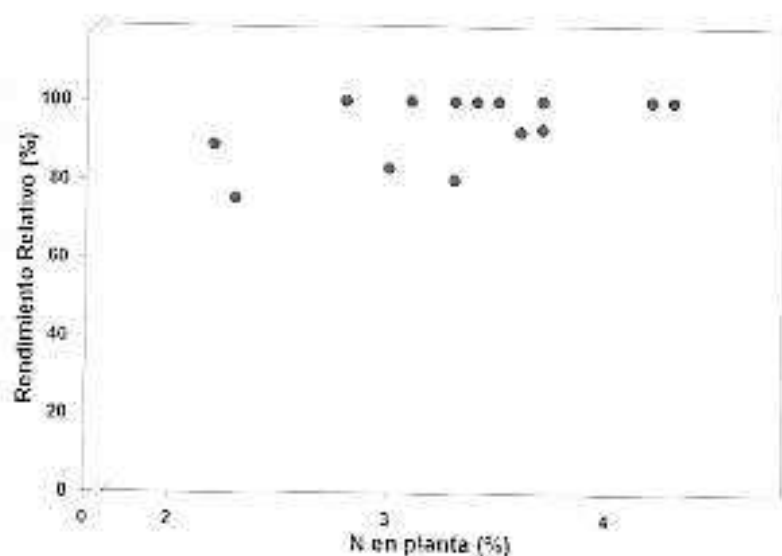


Figura 8: Relación entre rendimiento relativo y contenido de nitrógeno en planta a V6.

3. Relaciones entre los indicadores

Los datos experimentales muestran que existe una zona donde la concentración de nitrato en la planta a V6 aumenta con el aumento de nitrato en el suelo, llegando a un punto en donde posteriores aumentos en la concentración de nitrato en el suelo no resultan en incrementos en la concentración de nitrato en planta. Este punto se conoce como valor crítico (fig. 9)

El modelo que mejor se ajustó a esta relación fue el "lineal más plateau", encontrándose un valor crítico de 27 ppm de $N-NO_3^-$ en el suelo por encima del cual la concentración de nitrato en planta no incrementa más.

Este valor crítico de nitrato en suelo para contenidos de nitrato en planta es mayor al valor crítico determinado para rendimiento relativo. Esto determina que la concentración de nitrato en planta sigue aumentando cuando ya la respuesta en grano al agregado de N cesa (rendimiento relativo no cambia). Esto explica en parte la pobre asociación entre la concentración de nitrato en planta y rendimiento relativo.

Esto sugiere, por lo tanto, que concentraciones de nitrato en planta por debajo del nivel crítico, no se relacionan necesariamente con situaciones de cultivos con respuesta a la fertilización nitrogenada en V6. Sin embargo, concentraciones de nitrato en planta por encima del nivel crítico, confirman que no existirá respuesta en rendimiento ya que estas no aumentan más y están asociadas con niveles altos de nitrato en suelo.

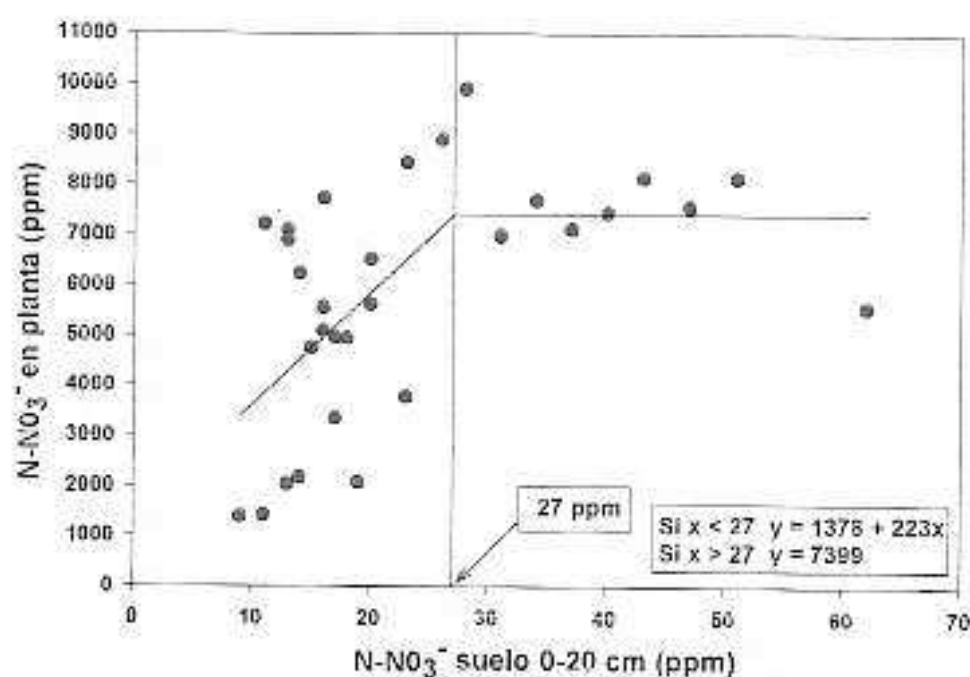


Figura 9: Relación entre la concentración de nitrato en planta y en suelo a V6.

La relación entre el contenido de nitrógeno (expresado en porcentaje) en planta y nitrato en suelo a V6 (fig. 10), es similar a la relación entre la concentración de nitrato en planta y en suelo a V6. El nivel crítico determinado para esta relación es de 29 ppm de N-NO_3^- en suelo. Las consideraciones a realizarse sobre esta relación son las mismas que para la relación anterior. Esta información es útil para complementar el uso del indicador que mejor se relacionó con rendimiento relativo.

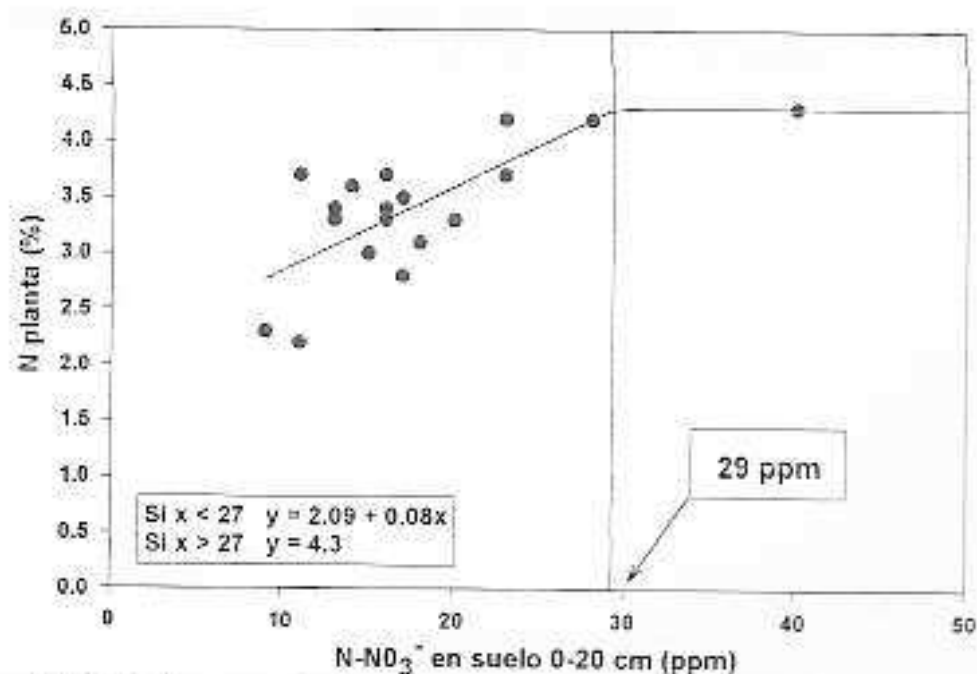


Figura 10: Relación entre nitrógeno en planta y nitrato en suelo a V6.

Cuando se estudia la relación entre ambos indicadores (nitrato y contenido de nitrógeno en planta a V6), se observa que estos están estrechamente relacionados (fig. 11), confirmando las similares relaciones de estos con nitrato en suelo.

El análisis del contenido de nitrógeno en planta (expresado en porcentaje), tal como fue realizado en este trabajo, no incluye las formas oxidadas de nitrógeno como por ejemplo nitrato, por lo que ambas determinaciones son independientes

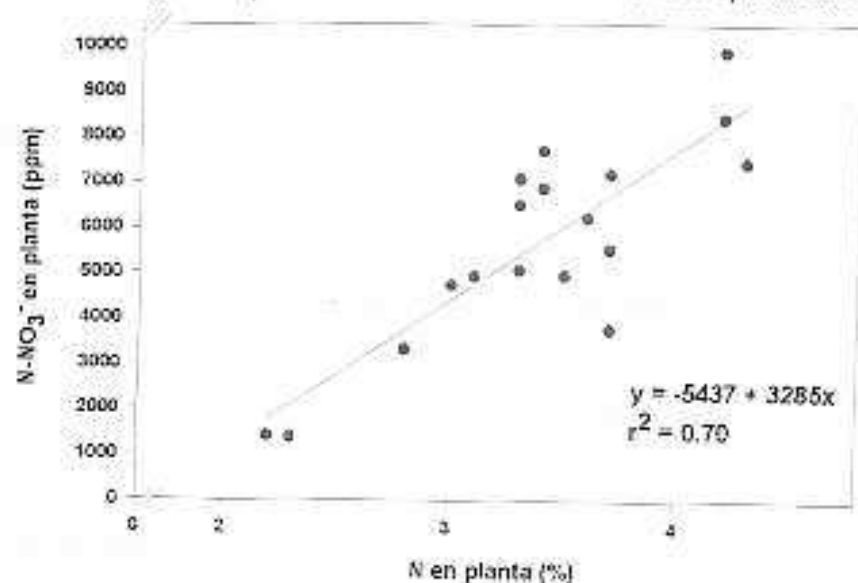


Figura 11: Relación entre nitrato en planta y contenido de nitrógeno en planta a V6.

No se pudo establecer ninguna relación entre el índice de clorofila y nitrato en el suelo a V6 (fig. 12). Tampoco se encontró relación alguna con los demás indicadores. Esto confirma lo citado por la bibliografía, en cuanto a que el índice de clorofila varía además del contenido de nitrato en suelo por diferentes factores.

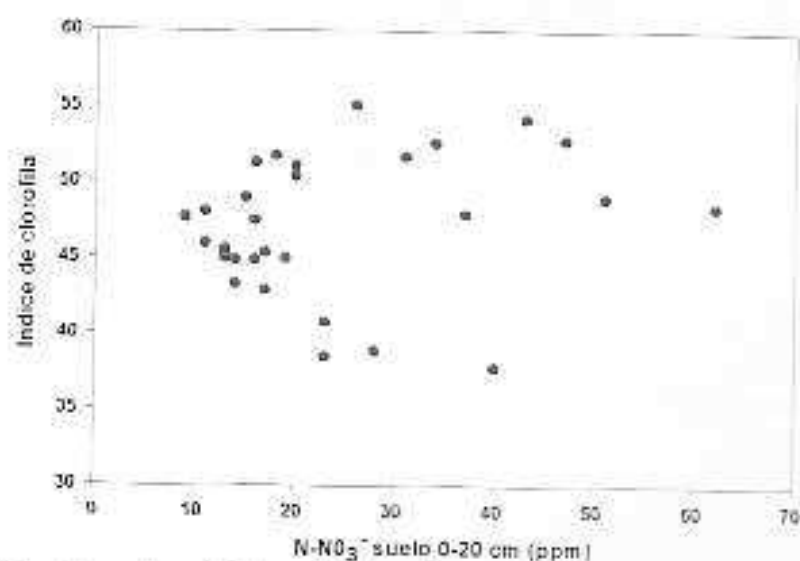


Figura 12: Relación entre el índice de clorofila y nitrato en suelo a V6.

C. INDICADORES DE SUFICIENCIA Y EXCESO

Estos indicadores suministran información sobre el nivel de nutrición nitrogenada que tuvo el cultivo, permitiendo distinguir entre niveles insuficientes, adecuados y excesivos de suministro de nitrógeno durante el ciclo. Debido a que estos análisis se realizan luego de la madurez fisiológica del cultivo, la información que suministran permite a los productores evaluar lo acertado de la dosis de fertilización empleada. Si por ejemplo, se constatan en una serie de años que los valores obtenidos son siempre excesivos, la medida racional a emplear sería una disminución de la dosis de nitrógeno empleada, replanteando así la fertilización para el próximo ciclo del cultivo.

Estos tests también son de gran utilidad en trabajos de investigación, pues permite conocer los efectos del agregado de nitrógeno más allá de su influencia en el rendimiento. En sitios de no respuesta, por ejemplo, estos tests permiten evaluar en qué medida el nitrógeno aplicado no fue efectivo porque no estuvo disponible para el cultivo, o simplemente fue excesivo y se acumuló en la planta y en el suelo sin aumentar el rendimiento.

1. Nitrato en la base del tallo

El análisis de nitrato en tallo se utiliza comúnmente en otros países para detectar situaciones de suficiencia y exceso. Las razones fisiológicas del uso de este test provienen en que durante las primeras etapas de crecimiento, la planta de maíz absorbe el nitrógeno presente en el suelo principalmente como NO_3^- , y también en menor proporción como NH_4^+ . El nitrógeno absorbido es almacenado en el tallo y redistribuido en etapas posteriores al resto de la planta, formando eventualmente diferentes compuestos nitrogenados orgánicos. El resto del nitrógeno que no es utilizado para síntesis de compuestos orgánicos, permanece en el tallo en forma de nitrato hasta el momento de la cosecha. Niveles altos de nitrato en el tallo a cosecha indican entonces que existió durante el desarrollo del cultivo más nitrógeno del que la planta pudo utilizar para producir grano. En este trabajo usamos el nombre de "análisis de nitrato en tocos" para este test.

En la mayoría de los sitios, la concentración de nitrato en los tocos en las parcelas testigo fue superior al límite inferior reportado en la bibliografía como limitante para el crecimiento del cultivo (Fig. 13). En los sitios I, VI, VII y XII, el nivel de nitrato en los tocos estuvo aún por encima del límite superior considerado como excesivo.

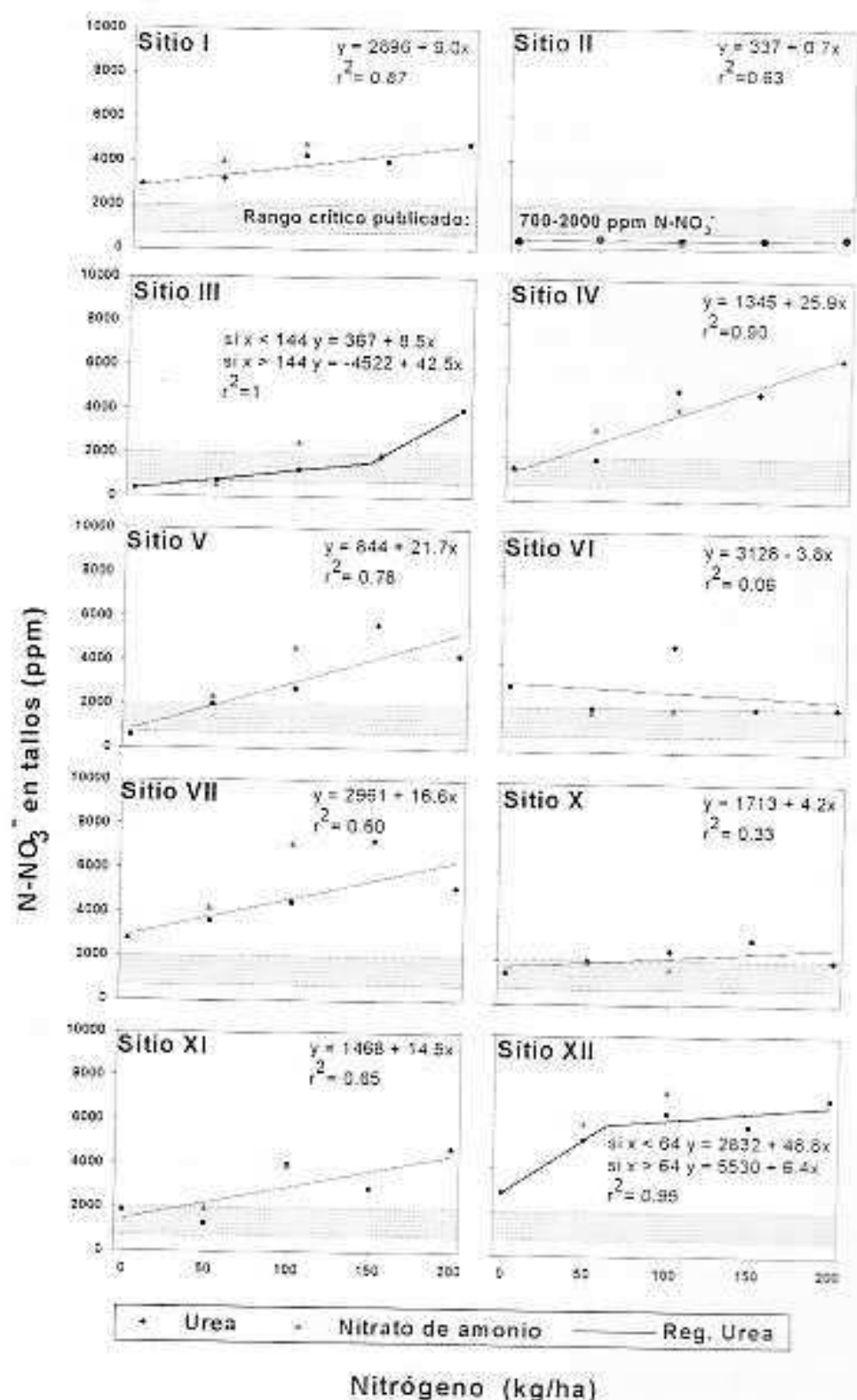


Figura 13: Nitrato residual en la base del tallo al momento de la cosecha según fuente y dosis de nitrógeno.

En el sitio II, en las primeras etapas de crecimiento del cultivo existieron fuertes precipitaciones lo cual provocó un encostramiento del suelo. Este puede haber sido uno de los factores que limitó la absorción de nitrato por las plantas, ya que aún en parcelas que recibieron las máximas dosis de nitrógeno a V6 presentaron niveles de nitrato en los tocos por debajo del límite crítico propuesto por la bibliografía. Otros factores, además del mencionado, pueden haber ocurrido en este sitio. Debido a que conjuntamente con las bajas concentraciones de nitrato en tocos observadas, existieron también bajos niveles de nitrato en el suelo a cosecha (figura 14), da a suponer que existieron pérdidas de nitrógeno en este sitio.

El otro ensayo que presentó concentraciones de nitrato en tocos por debajo del límite crítico propuesto por la bibliografía fue el sitio III. Esto está de acuerdo con la respuesta en rendimiento de grano observada en este sitio. Por tal motivo, los nitrato acumulados en la base de los tocos probablemente fueron mayormente removidos para producir grano en relación a los demás sitios.

De acuerdo a esta información, si bien no existió respuesta en rendimiento en la mayoría de los sitios, esto no fue debido a limitantes en cuanto a la absorción de nitrato. En cinco sitios (sitios III, IV, V, VII, y XII), existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de nitrato, determinando concentraciones mayores en aquellas parcelas que recibieron algún tratamiento con fertilizantes en relación a las parcelas testigo (cuadro 3).

Con respecto a la fuente de nitrógeno utilizada, la tendencia general de los resultados de estas medidas en planta sugieren que no hubo diferencias importantes ($P < 0.05$) de eficiencia de uso entre la urea y el nitrato de amonio para las condiciones particulares de estos ensayos.

Cabe considerar que en la mayoría de estos experimentos, el nitrógeno a V6 se aplicó en cobertura sin incorporar. En cambio, a nivel productivo las refertilizaciones son comúnmente incorporadas mediante aporques, por lo cual es de esperar aún menores diferencias entre estas fuentes de nitrógeno en situaciones reales de producción.

2. Nitrato residual en el suelo

La concentración de nitrato residual en el suelo al momento de la cosecha tendió a incrementarse con el incremento de la dosis de nitrógeno aplicado en V6 (fig. 14). Esto indica que gran parte del nitrógeno agregado que no fue absorbido por la planta permaneció en el suelo como nitrato hasta la cosecha, no perdiéndose por volatilización, lixiviación o denitrificación, y por lo tanto, estando disponible para el cultivo de maíz. Estos resultados confirman entonces aún más la idea de que la falta de respuesta al agregado de nitrógeno a V6 no se relacionó con pérdidas de nitrógeno, sino más bien con la alta disponibilidad de nitrógeno mineral del suelo.

Cuadro 3: Resultados del análisis estadístico para concentración de nitrato en tallos de maíz según dosis y fuente de nitrógeno aplicada.

Sitio	Fuente de variación	gl	CM	F>F	Diferencia entre medias de contrastes (ppm)
I	Bloque	2	369507	0.82	
	Tratamiento	6	1538312	0.96	
	C1(Fert vs. Nofert)	3	3685753	0.17	1226
	C2(Urea vs. NA)	3	1357441	0.40	-673
	Error	12	1803245		
II	Bloque	2	14724	0.63	
	Tratamiento	6	22706	0.62	
	C1(Fert vs. Nofert)	3	13203	0.53	71
	C2(Urea vs. NA)	3	20591	0.43	83
	Error	12	30619		
III	Bloque	2	832411	0.85	
	Tratamiento	6	5001725	0.01	
	C1(Fert vs. Nofert)	3	5142516	0.04	1414
	C2(Urea vs. NA)	3	762048	0.40	-604
	Error	12	1005236		
IV	Bloque	2	2955422	0.13	
	Tratamiento	6	9582866	0.00	
	C1(Fert vs. Nofert)	3	20220846	0.00	2804
	C2(Urea vs. NA)	3	223507	0.68	-273
	Error	12	1228734		
V	Bloque	2	1235315	0.02	
	Tratamiento	6	8958378	0.00	
	C1(Fert vs. Nofert)	3	23156974	0.00	3001
	C2(Urea vs. NA)	3	3610008	0.03	-1056
	Error	12	999200		
VI	Bloque	2	3586866	0.47	
	Tratamiento	6	5190596	0.38	
	C1(Fert vs. Nofert)	3	1589956	0.56	-786
	C2(Urea vs. NA)	3	7474967	0.22	1579
	Error	12	4395426		
VII	Bloque	2	1493905	0.53	
	Tratamiento	6	8628323	0.02	
	C1(Fert vs. Nofert)	3	16102873	0.02	2502
	C2(Urea vs. NA)	3	7835934	0.09	-1610
	Error	12	2243442		
X	Bloque	2	79010	0.91	
	Tratamiento	6	794109	0.52	
	C1(Fert vs. Nofert)	3	1354718	0.23	726
	C2(Urea vs. NA)	3	596302	0.42	449
	Error	12	865561		
XI	Bloque	2	8728061	0.06	
	Tratamiento	6	5086624	0.14	
	C1(Fert vs. Nofert)	3	3951551	0.24	1225
	C2(Urea vs. NA)	3	252300	0.76	1290
	Error	12	2466295		
XII	Bloque	2	628524	0.30	
	Tratamiento	6	7015296	0.38	
	C1(Fert vs. Nofert)	3	32134160	0.04	3535
	C2(Urea vs. NA)	3	2172603	0.56	-851
	Error	12	5987119		

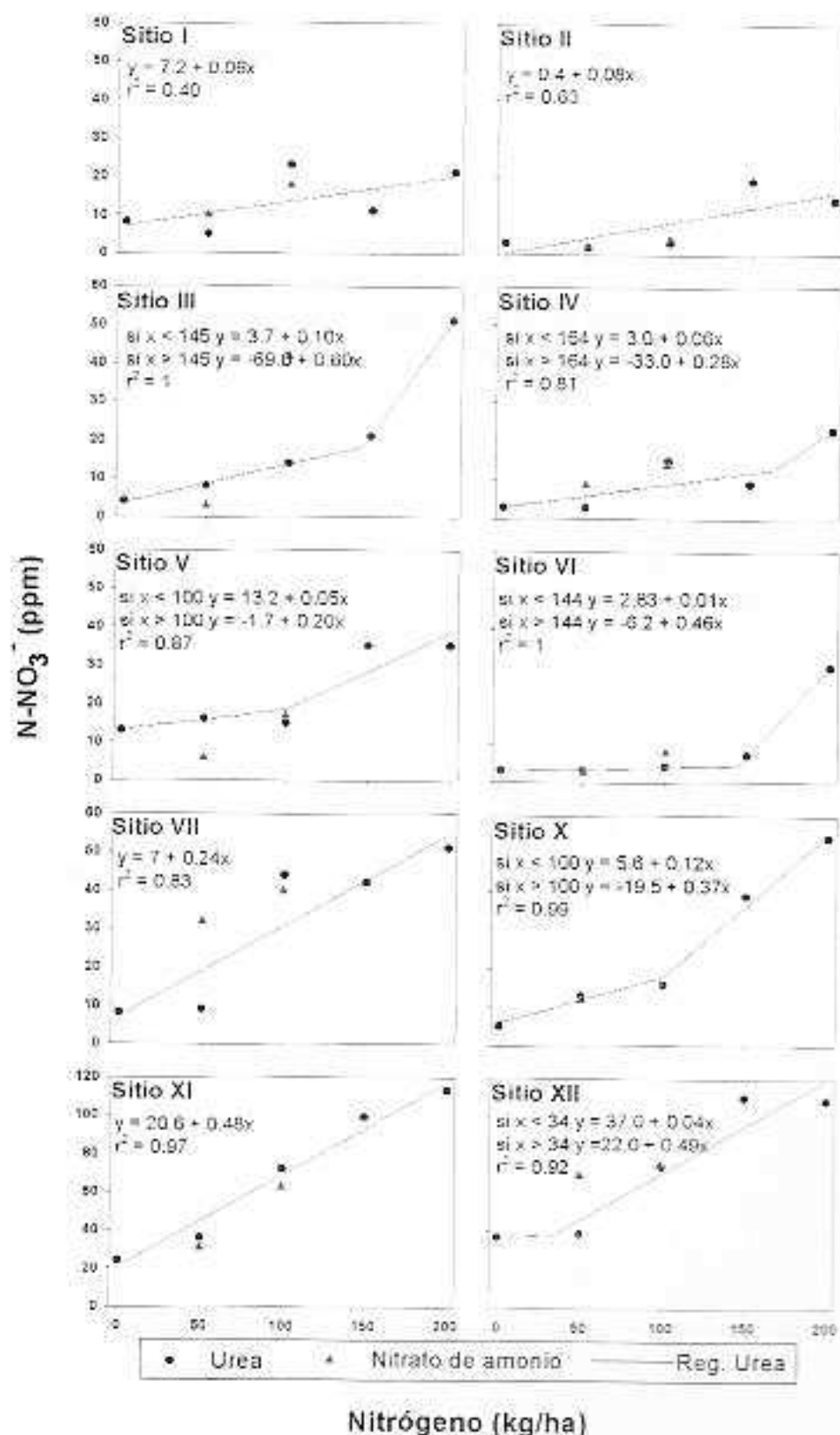


Figura 14. Nitrato residual en el suelo al momento de la cosecha según fuente y dosis de nitrógeno.

D. NITRÓGENO ABSORBIDO POR EL CULTIVO

1. Cantidad de nitrógeno absorbido según rendimiento

En la mayoría de las recomendaciones tradicionales de fertilización se requiere conocer además de la cantidad de nitrógeno aportado por el suelo, cuales serán los requerimientos de nitrógeno del cultivo.

La información generada por estos ensayos indican que a medida que aumentó el rendimiento en grano aumentó el total de nitrógeno absorbido por el cultivo (Fig. 15), determinando que el cultivo requiere absorber 24 kg de nitrógeno para producir una tonelada de grano. Este valor es similar al reportado por la bibliografía (Stanford, 1973, Morón y Baethgen, 1996).

Esta información es útil para determinar los requerimientos de nitrógeno que tendrá un cultivo de maíz para un rendimiento esperado. La mayor dificultad se establece en poder estimar con determinado grado de precisión cuanto realmente rendirá un cultivo. Esto se agrava más aún teniendo en cuenta que el cultivo de maíz se produce mayormente en condiciones de secano, y en estas circunstancias, su índice de cosecha es muy variable.

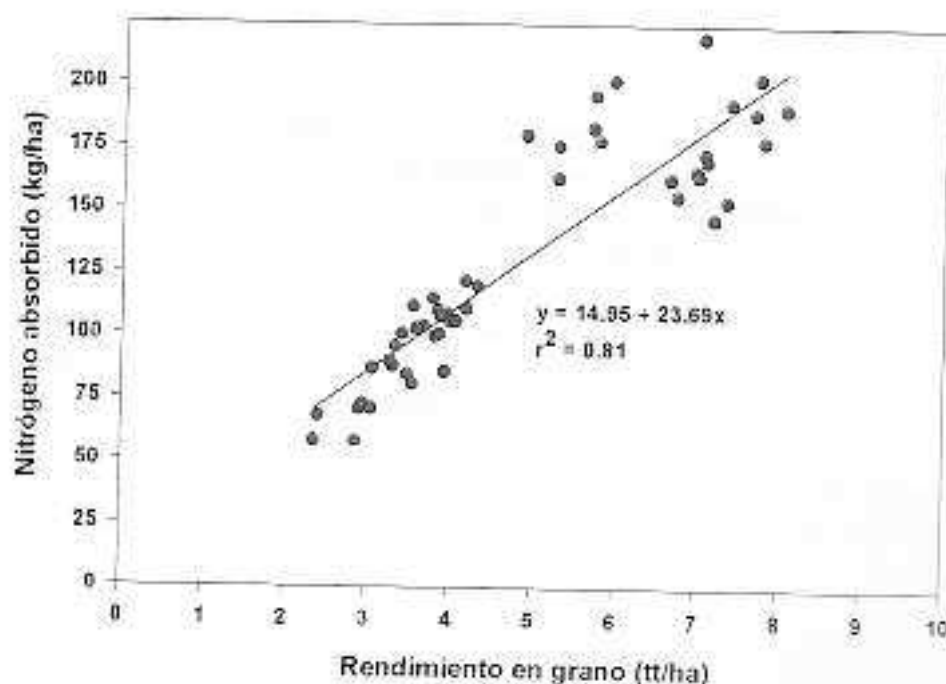


Figura 15. Relación entre rendimiento en grano y nitrógeno total absorbido.

2. Contenido de nitrógeno

Al final de la etapa de crecimiento parte del nitrógeno presente en las hojas es translocado al grano. El contenido de nitrógeno en este, depende no solo de la nutrición nitrogenada sino también del nivel de rendimiento, ya que en maíz opera un régimen de dilución de nitrógeno a medida que se incrementan los rendimientos.

En la mayoría de los sitios, los porcentajes de nitrógeno tanto en el grano como en el resto de la planta al momento de la cosecha, incrementaron con el incremento de la dosis de nitrógeno aplicada en V6 (Fig. 16 y 17).

La causa principal de este incremento en el contenido de nitrógeno se debe a la ausencia de respuesta en rendimiento, por lo que el efecto dilución no ocurrió.

Los sitios I, VII y XII no presentaron cambios importantes en el contenido de nitrógeno tanto en grano como en planta. Como se detalló en la figura 13, una parte posiblemente importante de los nitrato absorbidos por la planta no fueron convertidos a compuestos nitrogenados orgánicos (proteínas, aminas, etc.). Este aumento en la concentración de NO_3^- en la base del tallo no aparece como un cambio en el porcentaje de nitrógeno en la planta en estos tres sitios, ya que como se mencionó en la sección de materiales y métodos, los valores de porcentaje de nitrógeno en planta no incluyen las formas oxidadas de nitrógeno, como por ejemplo nitrato.

El cese en la formación de compuestos nitrogenados orgánicos se produce debido a que son otros los factores limitantes que están actuando, como ser déficit hídricos o lumínicos, determinando así que el contenido de nitrógeno se mantenga sin cambios, aún con incrementos de la forma inorgánica del nitrógeno en la planta.

Al igual que en todos los parámetros detallados anteriormente, no se encontraron diferencias en el contenido de nitrógeno tanto en grano como en planta en cuanto a la fuente de nitrógeno utilizada.

El contenido de nitrógeno en el marlo no se presenta en las figuras, pero su porcentaje osciló entre 0.44 a 0.72, siendo el promedio de 0.56 para todos los sitios analizados.

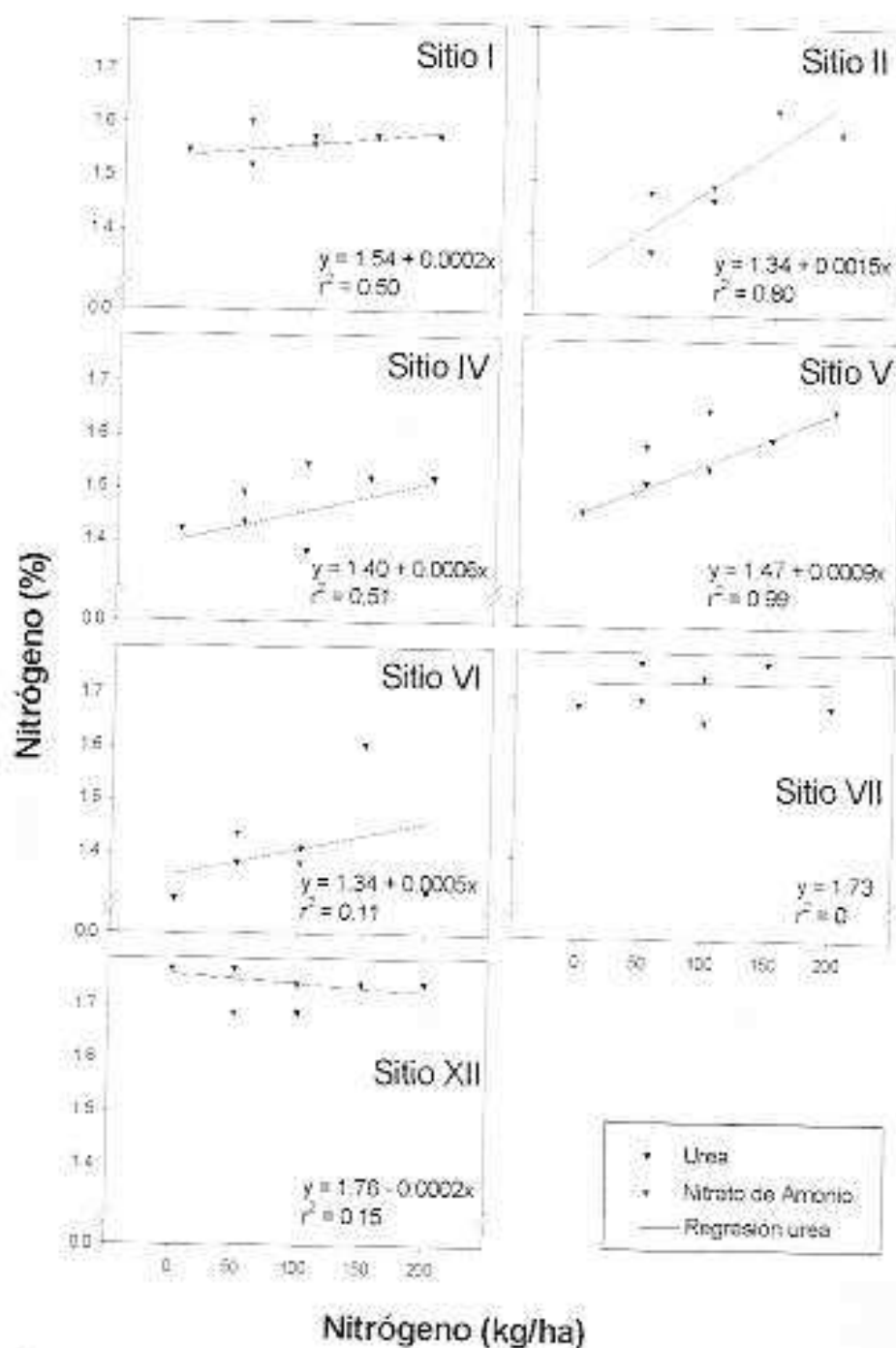


Figura 16: Porcentaje de nitrógeno en grano a cosecha según dosis y fuente de nitrógeno aplicado.

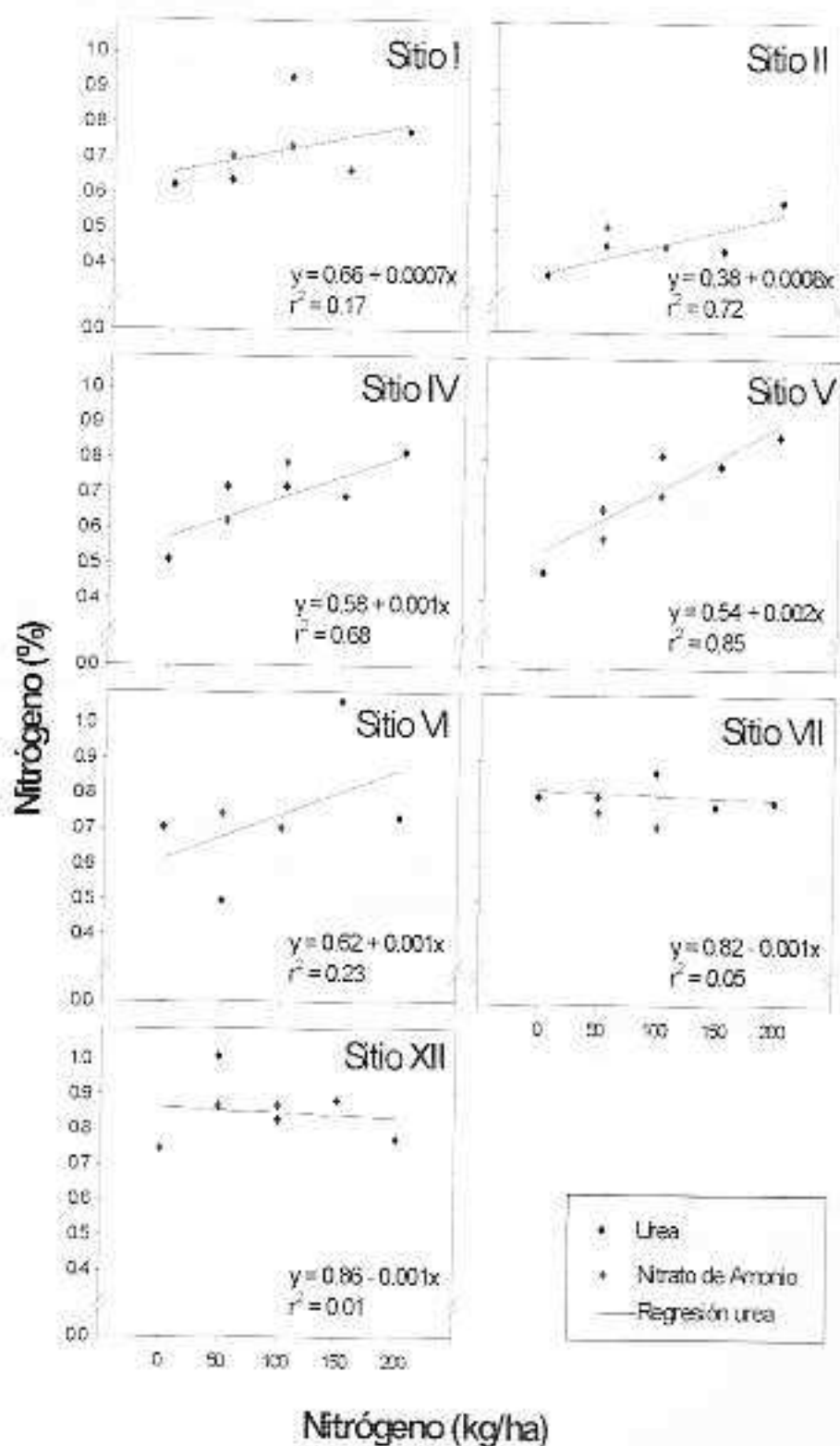


Figura 17. Porcentaje de nitrógeno en planta a cosecha según dosis y fuente de nitrógeno aplicado.

3. Cantidad de nitrógeno absorbido

a. Cantidad de nitrógeno total

El total de nitrógeno absorbido por un cultivo está en función de la cantidad de materia seca producida por las diferentes partes de la planta y de su concentración de nitrógeno. La relación entre la cantidad de nitrógeno absorbido en grano y en planta más marlo según la cantidad de nitrógeno aplicado en V6 se muestra en la figura 18.

El total de nitrógeno absorbido por el cultivo se incrementó solamente en los sitios IV, V y VI. En los sitios I, VII y XII, donde no se registraron incrementos en el porcentaje de nitrógeno, tampoco se observan incrementos en la cantidad de nitrógeno absorbido debido a que no existió aumento en rendimiento. Si bien es en el sitio II donde ocurrió el mayor incremento en el porcentaje de nitrógeno con el aumento de la dosis de fertilizante, es muy leve el incremento observado en la cantidad total de nitrógeno absorbido, debido a los bajos rendimientos registrados en este sitio.

b. Cantidad de nitrógeno absorbido en diferentes partes de la planta

En los sitios IV, V y VI, el incremento en la cantidad de nitrógeno total absorbido se debió fundamentalmente al aumento del nitrógeno absorbido por parte del grano. De todas maneras, cabe aclarar que aún en estos sitios, el aumento de nitrógeno absorbido por el resto de la planta fue prácticamente nulo (Fig. 19). Todas estas relaciones discutidas fueron similares para ambas fuentes de nitrógeno utilizadas (urea y nitrato de amonio).

Debido a su escasa contribución relativa, la cantidad de nitrógeno contenido en los marlos se presentan en la figura 19 en forma conjunta con los datos de cantidad de nitrógeno en el resto de la planta. Las cantidades de nitrógeno en marlo oscilaron entre 2.7 a 7.2 kg/ha de N, siendo el promedio de 4.7 kg/ha de N.

En el promedio de los sitios analizados, el 49 % del nitrógeno absorbido fue retirado de la chacra en el grano, el restante 51 % quedó en la chacra dentro del rastrojo (planta+marlo).

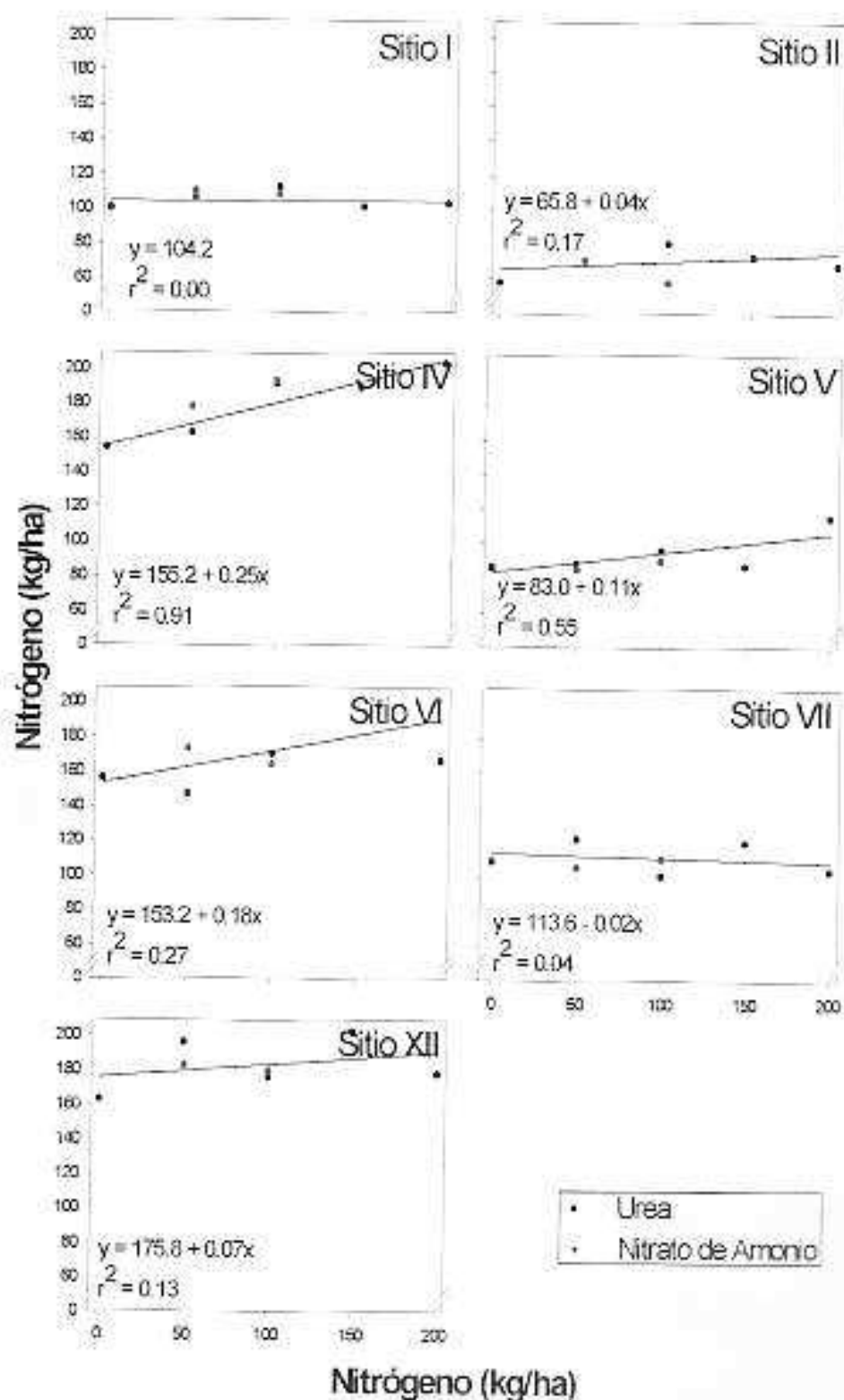


Figura 18: Nitrógeno total (kg/ha) absorbido por el cultivo según dosis y fuente de nitrógeno aplicada.

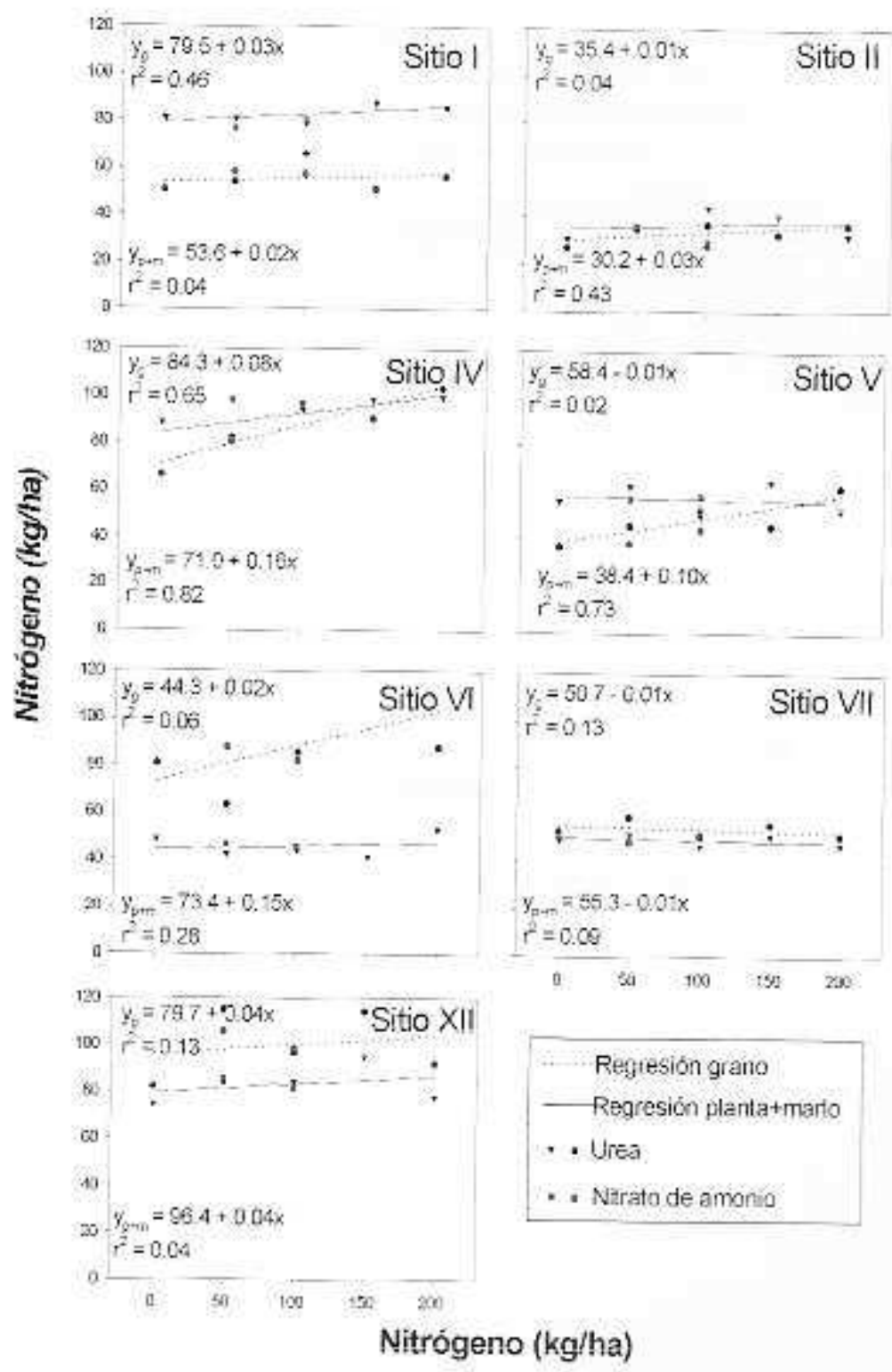


Figura 19: Nitrógeno total (kg/ha) absorbido en grano y planta+marto según dosis y fuente de nitrógeno aplicada

4. Eficiencia de utilización del nitrógeno aplicado

Los resultados muestran una gran variación (Fig. 20) que puede ser debida más al error experimental que a las propias diferencias en utilización. De todas formas, en general los niveles de eficiencia son bajos. Esto se debe principalmente a la falta de respuesta en rendimiento que se observó en la mayoría de los sitios. Sin embargo, el promedio de eficiencias por tratamiento muestra una tendencia a disminuir con el agregado de mayores dosis de nitrógeno.

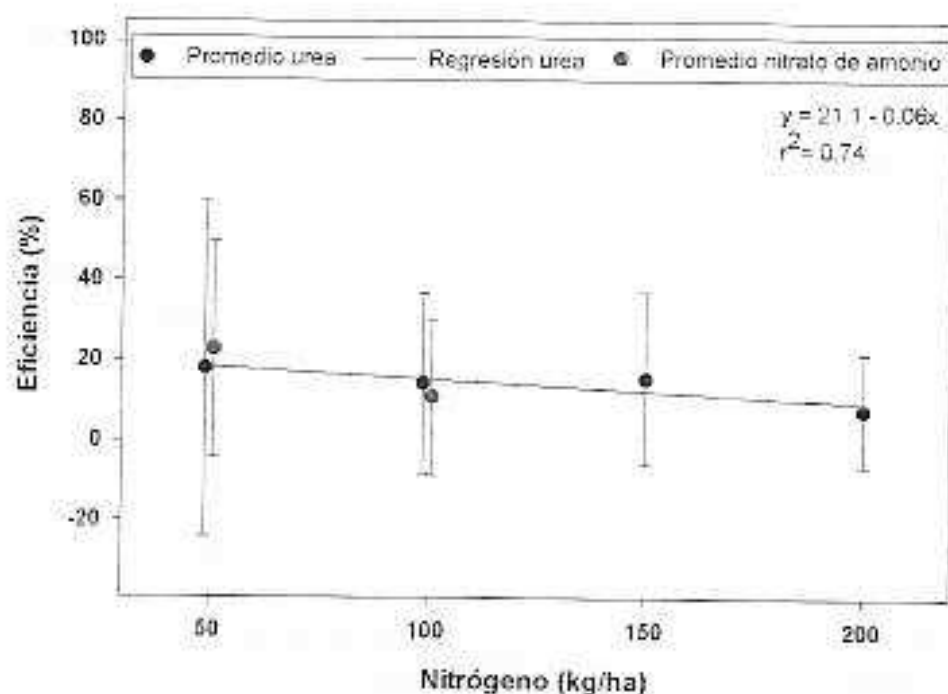


Figura 20. Eficiencia de utilización del nitrógeno para cada tratamiento.

V. CONCLUSIONES

En la mayoría de los sitios, el agregado de nitrógeno a V6 no aumentó significativamente el rendimiento en grano.

Tampoco se encontraron diferencias significativas entre las dos fuentes de nitrógeno evaluadas. Esto indicaría que la falta de respuesta en rendimiento a la aplicación de nitrógeno a V6 no se relacionó con pérdidas importantes de urea por volatilización. A su vez, para los demás indicadores de suelo y planta evaluados, no se encontraron diferencias en cuanto a la fuente de nitrógeno utilizada.

Además, la falta de respuesta a la refertilización nitrogenada a V6 no parece relacionarse con déficit hídricos, ya que muchos sitios tuvieron durante su etapa de crecimiento una buena disponibilidad de agua.

La falta de respuesta observada al agregado de nitrógeno a V6 puede relacionarse en parte a que las concentraciones de nitrato presentes en el suelo en ese momento fueron medias a altas.

El valor crítico determinado en el experimento, por el encima del cual no existen incrementos en el rendimiento fue de 17 ppm N-NO₃ en suelo. Los demás indicadores evaluados a V6 no presentaron una relación clara con rendimiento relativo, impidiendo definir valores críticos.

La concentración de nitrato en la base del tallo en la mayoría de los sitios presentaron al momento de la cosecha niveles superiores al límite inferior reportado por la bibliografía como limitante para el crecimiento del cultivo. A su vez, la concentración de nitrato residual en el suelo al momento de la cosecha tendió a incrementarse con el incremento de la dosis de nitrógeno aplicado en V6. Esto indica que gran parte del nitrógeno agregado fue absorbido por la planta y/o permaneció en el suelo como nitrato hasta la cosecha, no perdiéndose por volatilización, lixiviación o denitrificación, y por lo tanto, estando disponible para el cultivo de maíz.

La información generada por estos ensayos indican que a medida que aumentó el rendimiento en grano aumentó el total de nitrógeno absorbido por el cultivo, determinando que el cultivo requiere absorber 24 kg de nitrógeno para producir una tonelada de grano.

La eficiencia de utilización del nitrógeno aplicado presentó una gran variación, debido principalmente a la falta de respuesta en rendimiento. Sin embargo, el promedio de eficiencias por tratamiento mostró una tendencia a disminuir con el agregado de mayores dosis de nitrógeno.

VI. RESUMEN

En Uruguay, las decisiones de fertilización nitrogenada en maíz (*Zea mays* L.) se realizan muchas veces en base a criterios subjetivos, no corrigiéndose siempre la dosis de nitrógeno a aplicar por la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo. Información de otros países muestra que el ajuste de dosis de fertilización de nitrógeno en base a criterios objetivos, basados en indicadores de suelo o planta, es más exacto. El objetivo de este trabajo fue evaluar para condiciones de producción de maíz de Uruguay, el comportamiento de estos indicadores para la toma de decisiones de fertilización con nitrógeno e indicadores de suelo y planta de uso excesivo de fertilizante nitrogenado, y relacionar ambos indicadores con la eficiencia de uso de nitrógeno por las plantas. Otro objetivo de este trabajo es evaluar *diferentes fuentes* de fertilizantes nitrogenados. En el año 1996 se instalaron 14 ensayos en chacras de productores comerciales, donde el manejo recibido fue el aplicado por el productor a toda la chacra, excepto la refertilización nitrogenada al estado de seis hojas (V6). En V6 se aplicaron los tratamientos que consistieron en cuatro dosis de N como Urea (50, 100, 150 y 200 kg N/ha) y dos dosis de N como Nitrato de Amonio (50 y 100 kg N/ha) dejando parcelas testigo sin refertilizar. En la mayoría de los sitios, el agregado de nitrógeno a V6 no aumentó significativamente el rendimiento en grano. Tampoco se encontraron diferencias significativas entre las dos fuentes de nitrógeno evaluadas. Esto indicaría que la falta de respuesta en rendimiento a la aplicación de nitrógeno a V6 no se relacionó con pérdidas importantes de urea por volatilización. A su vez, para los demás indicadores de suelo y planta evaluados, no se encontraron diferencias en cuanto a la fuente de nitrógeno utilizada. Además, la falta de respuesta a la refertilización nitrogenada a V6 no parece relacionarse con déficit hídricos, ya que muchos sitios tuvieron durante su etapa de crecimiento una buena disponibilidad de agua. La falta de respuesta observada al agregado de nitrógeno a V6 puede relacionarse en parte a que las concentraciones de nitrato presentes en el suelo en ese momento fueron medias a altas. El valor crítico determinado en el experimento, por el encima del cual no existen incrementos en el rendimiento fue de 17 ppm N-NO₃ en suelo. Los demás indicadores evaluados a V6 no presentaron una relación clara con rendimiento relativo, impidiendo definir valores críticos. La concentración de nitrato en la base del tallo en la mayoría de los sitios presentaron al momento de la cosecha niveles superiores al límite inferior reportado por la bibliografía como limitante para el crecimiento del cultivo. A su vez, la concentración de nitrato residual en el suelo al momento de la cosecha tendió a incrementarse con el incremento de la dosis de nitrógeno aplicado en V6. Esto indica que gran parte del nitrógeno agregado fue absorbido por la planta y/o permaneció en el suelo como nitrato hasta la cosecha, no perdiéndose por volatilización, lixiviación o desnitrificación, y por lo tanto, estando disponible para el cultivo de maíz. A medida que aumentó el rendimiento en grano aumentó el total de nitrógeno absorbido por el cultivo, determinando que el cultivo requiere absorber 24 kg de nitrógeno para producir una tonelada de grano. La eficiencia de utilización del nitrógeno aplicado presentó una gran variación, sin embargo, el promedio de eficiencias por tratamiento mostró una tendencia a disminuir con el agregado de mayores dosis de nitrógeno.

VII. ABSTRACT

In Uruguay, Nitrogen (N) fertilization in corn (*Zea mays* L.) is not always based on objective criteria, and N rates are seldom adjusted by the soil N availability. Information from other countries, however, shows that N fertilization in corn could be done on more objective information, using soil and plant N-test. The main objective of this work was to evaluate for the production conditions of Corn in Uruguay, the behaviour of these N tests commonly used in other regions of the world, as well as to evaluate other tests for N excess at harvest. A secondary objective of this work was to evaluate the relative effectiveness of different sources of N fertilizer. In 1996, 14 experiments were installed in farmer's fields planted with corn. Except for the late-spring N fertilization at the V6 corn stage, the experiments received the same management as the rest of the field. This management included starter N applications applied at planting. The N treatments applied at V6 consisted of four N rates applied as Urea (50, 100, 150 y 200 kg N/ha), two N rates applied as Ammonium Nitrate (50 and 100 kg N/ha), and a control treatment (0 N). The results show that in most of the sites the N applied at V6 did not increase grain yields significantly, and that there were no yield differences between the two N sources used. The absence of yield differences between the two N sources suggests that the lack of yield response to N was not due to differences between N sources suggests that the lack of yield response to N was not due to NH_3 volatilization from Urea. Moreover, the observed lack of response to N did not seem to be caused by a shortage of soil-available water, because most sites received enough rain. The lack of N response was probably related to the medium and high soil nitrate concentrations found in V6. The critical level determined in these experiments above which there were no response to N applications was 17 mg/kg of N-NO_3^- , measured in the first 20 cm of soil. The other N-tests evaluated at V6 did not show a good relationship with relative yield, and hence a critical level for them was not determined. At harvest, the nitrate concentration in stalks in most of the sites was above the critical level considered by many authors as the superior level of the deficiency range. The soil-nitrate concentration at harvest also tended to increase with the N rate applied at V6. These results implicate that most of the N applied at V6 was absorbed by the plant or remained in the soil at harvest. Hence, most of the applied N was available to the crop and lost from the soil by processes such as leaching or denitrification. The information gathered in these experiments also shows that the crop needed to absorb 24 kg of N to produce one ton of grain. Probably affected by the lack of yield response, the fertilizer use efficiency determined in these experiments showed a large variation. However, when the results were averaged across sites, the fertilizer use efficiency tended to decrease with increase in N rate.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A.F.; BARTHAKUR, N.N. 1991. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. *Soil Science of the Society of American Journal* 55: 1761-1766.
2. ANDRADE, F.; CIRILO, A.; UHART, S.; OTEGUI, M. 1996. Nutrición mineral. In: *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Balcarce, Médica Panamericana, pp. 147-192.
3. BAETHGEN, W. E. 1996. El nitrógeno en los sistemas agrícola-ganaderos. INIA. Manejo y fertilidad de suelos. Serie Técnica N° 76. pp. 9-22.
4. BENNETT, W.F.; TUCKER, B. 1986. Producción moderna de sorgo granífero. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 128 p.
5. BERGER, J. 1962. Maize production and the manuring of maize. Geneva, Centre d'Etude de l'Azote. 315 p.
6. BINFORD, G. D.; BLACKMER, A. M.; EL-HOUT, N. M. 1990. Tissue test for excess nitrogen during corn production. *Agronomy Journal*, 82: 124-129.
7. BINFORD, G. D.; BLACKMER, A. M.; CERRATO, M. E. 1992. Nitrogen concentration of young corn plants as an indicator of nitrogen availability. *Agronomy Journal* 84: 219-223.
8. BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M.; CERRATO, M.E. 1992. Relationships between corn yields and soil nitrate in late spring. *Agronomy Journal*, 84: 53-59.
9. BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M.; MEESE, B.G. 1992. Optimal concentrations of nitrate in cornstalks at maturity. *Agronomy Journal* 84: 881-887.
10. BLACKMER, A. M.; POTTKER, D.; CERRATO, M. E.; WEBB, J. 1989. Correlations between soil nitrate concentrations in late spring and corn yields in Iowa. *Journal of Production Agriculture*, 2: 103-109.
11. BLACKMER, A.M.; MORRIS, T.F.; BINFORD, G.D. 1992. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Avances in Iowa. In: Bock, B. R. and Kelley, K. R., Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions. National Fertilizer and Environment Research Center, pp. 57-72.

12. CERRATO, M. E.; BLACKMER, A. M. 1990. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*. 82: 138-143.
13. CERRATO, M. E.; BLACKMER, A. M. 1990. Relationships between grain nitrogen concentrations and the nitrogen status of corn. *Agronomy Journal*. 82: 744-749.
14. CERRATO, M. E.; BLACKMER, A. M. 1991. Relationships between leaf nitrogen concentrations and the nitrogen status of corn. *Journal of Production Agriculture*. 4: 525-531.
15. CLAY, D.E.; MALZER, G.L.; ANDERSON, J.L. 1990. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors. *Soil Science of the Society of American Journal*. 54: 263-266.
16. DOU, Z.; FOX, H.; TOTH J.D. 1995. Seasonal soil nitrate dynamics in corn as affected by tillage and nitrogen source. *Soil Science of the Society of American Journal*. 59: 858-864.
17. FOX, R.H.; ROTH, G.W.; IVERSEN, K.V.; PIEKIELEK, W.P. 1989. Soil and tissue nitrate tests compared for predicting soil nitrogen availability to corn. *American Journal*. 81: 971-974.
18. FOX, R.H.; SHENK, J.S.; PIEKIELEK, W.P.; WESTERHAUS, M.O.; TOTH, J.D. and MACNEAL, K.E. 1993. Comparison of near-infrared spectroscopy and other soil nitrogen availability quick tests for corn. *Agronomy Journal*. 85: 1049-1053.
19. GARCÍA, F.O. 1997. La fertilización en siembra directa. Sudeste de Buenos Aires. In: Resúmenes del seminario siembra directa. Experiencia del INTA mirando al futuro, 8 y 9 de octubre de 1997. pp. 49-50.
20. GONÍ, C. 1996. El uso del análisis foliar: potencialidades y limitantes. INIA. Manejo y fertilidad de suelos. Serie técnica 76. pp. 27-32.
21. HOFFMAN, E.; SIRI, G.; ERNST, O. 1996. Posibles manejos para minimizar pérdidas de nitrógeno. *Revista Cangüe* N°8: 13-16.
22. HONG, S.D.; FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P. 1990. Field evaluation of several chemical indexes of soil nitrogen availability. *Plant and Soil*. 123: 83-88.

23. IOWA STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1993. Como se desarrolla la planta de maiz. Iowa State University of Science and Technology. Informe especial N° 48 pp. 1-21.
24. JOKELA, W.E.; RANDALL, G.W. 1989. Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. *Agronomy Journal*. 81: 720-726.
25. KELLER, G.D.; MENGEL, D.B. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Science of the Society of American Journal*. 50: 1060-1063.
26. KLAUSNER, S.D.; REID, W.S.; BOULDIN, D.R. 1993. Relationships between late soil nitrate concentrations and corn yields in new york. *Journal of Production Agriculture*. 6: 350-354.
27. KRESGE, C. B.; SATCHELL, D. P. 1960. Gaseous loss of ammonia from nitrogen fertilizer applied to soil. *Agronomy Journal*. 52: 104-107.
28. MAGDOFF, F. 1991. Managing nitrogen for sustainable corn systems: Problems and possibilities. *American Journal of Alternative Agriculture*. 6: 3-8.
29. McINNES, K. J.; FERGUSON, R.B.; KISSEL, D.E.; KANEMASU, E.T. 1986. Field measurements of ammonia loss from surface applications of urea solution to bare soil. *Agronomy Journal*. 78: 192-196.
30. MEISINGER, J.J.; BANDEL, V.A.; ANGLE, J.S.; O'KEEFE, B.E.; REYNOLDS, C.M. 1991. Presidedress soil nitrate test evaluation in Maryland. *Soil Science of the Society of American Journal*. 56: 1527-1532.
31. MIGUENS, M.; ROJAS, A.; SEMINARIO, E.; CASAS, G. 1989. La fertilidad en el sistema de producción de maiz. In: *Producción de Maiz*. CREA. Cuaderno de actualización técnica N° 42. pp. 20-34.
32. MORÓN, A.; BAETHEN, W. 1996. Relevamiento de la fertilidad de los suelos bajo producción lechera en Uruguay. INIA. Serie técnica 73. 16 p.
33. MOTAVALLI, P.P.; BUNDY, L.G.; ANDRASKI, T.W.; PETERSON, A.E. 1992. Residual effects of long-term nitrogen fertilization on nitrogen availability to corn. *Journal of Production Agriculture*. 5: 363-368.
34. OUDRI, N. 1976. Guía para fertilización de cultivos. Montevideo. M.A.P. D.S.F. CIAAB. 46 p.
35. PETERSON, T. A.; BLACKMER, T. M.; FRANCIS, D. D.; SCHEPERS, J. S. 1993. Using a chlorophyll meter to improve nitrogen management file under soil

resource management, Lincoln University of Nebraska, Fertility Institute of Agriculture and Natural Resources, D-13, 4p

36. PIEKIELEK, W. P.; FOX, R.H. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agronomy Journal*. 84: 59-65.
37. PIEKIELEK, W. P.; FOX, R.H.; TOTH, J. D.; MACNEAL, K. E. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal*. 87: 403-408.
38. PRIEBE, D.L.; BLACKER, A.M. 1989. Soil moisture at time of application as a factor affecting losses of n from surface-applied urea. *Journal of Fertilizer Issues*. 6: 62-67.
39. SIMS, J. T.; VASILAS, B. L.; GARTLEY, K. L.; MILLIKEN, B.; GREEN, V. 1995. Evaluation of soil and plant nitrogen test for maize on manured soils of the atlantic coastal plain. *Agronomy Journal*. 87: 213-222.
40. STANFORD, G. 1973. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. *Journal of Environmental Quality*. 2: 159-166.
41. TORRES, D.A. 1996. Tecnología en cultivos de verano: II maíz y sorgo. Tesis. Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 147p.
42. TOUCHTON, J. T.; HARGROVE, W. L. 1982. Nitrogen sources and methods of application for no-tillage corn production. *Agronomy Journal*. 74: 823-826.