

FERTILIZACIÓN NITROGENADA DEL MAÍZ EN RIEGO POR ASPERSIÓN

Ramón Isla Climente¹, Dolores Quílez Sáez de Viteri¹ y José Cavero Campo²

¹ Unidad de Suelos y Riegos, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Apdo 727, 50080, Zaragoza

² Departamento de Genética y Producción Vegetal, Estación Experimental de Aula Dei, CSIC, Apdo 202, 50080 Zaragoza

Introducción

Aunque el regadío es una necesidad incuestionable para una producción agrícola óptima en zonas semiáridas, los flujos de retorno del riego son una fuente potencial de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, debido al arrastre con el agua de los productos aplicados en la agricultura como son los nutrientes (nitrógeno y fósforo), herbicidas y productos fitosanitarios. La preocupación por el aumento de la concentración de nitrato en las masas de aguas de sus estados miembros llevó a la Unión Europea a dictar la Directiva 91/676 con el objetivo de reducir la contaminación por nitrato de origen agrícola y actuar preventivamente contra nuevas contaminaciones. Se considera que un agua está contaminada por nitrato cuando su concentración es superior a 50 mg/L. El Real Decreto 260/1996 traspuso esta directiva a la Normativa española. En la Comunidad Autónoma de Castilla y León el Decreto 109/1998 de 11 de junio aprobó el Código de Buenas Prácticas Agrarias de la Comunidad Autónoma y designó cinco zonas vulnerables a la contaminación por nitrato todas ellas en la provincia de Segovia (zona 1: Navas de Oro, zona 2: Zarzuela del Pinar, Fuentepelayo y Navalmanzano, zona 3: Escarabajosa de Cabezas, Cantimpalos y Encinillas, zona 4: Cantalejo, Cabezuela, Veganzones y Turégano y zona 5: Chañe y la entidad menor de Chatún). Además, la orden de 27 de junio de 2001 de la Consejería de Medio Ambiente aprobó los programas de actuación de las zonas vulnerables.

Una buena práctica del manejo del fertilizante nitrogenado ha de basarse en dos pilares fundamentales, la aplicación de las cantidades necesarias de nitrógeno en los momentos que el cultivo lo necesita y un buen manejo del riego para reducir al máximo la percolación de agua por debajo de la zona de raíces de los cultivos.

Las necesidades de nitrógeno de un cultivo no dependen del tipo de riego, es decir, son las mismas para una misma producción independientemente del sistema de riego. Sin embargo, la eficiencia con la que la planta extrae el nitrógeno aplicado sí que

cambia dependiendo de la eficiencia del sistema de riego. Cuanto mas eficiente es el sistema de riego menores son las pérdidas de nitrógeno por percolación y por lo tanto menores son las dosis de nitrógeno que hay que aplicar al cultivo para obtener un rendimiento máximo. Así, en general, las dosis óptimas de N que hay que aplicar a un cultivo son menores en riego por aspersión que en riego por inundación.

El maíz es un cultivo que tiene una gran importancia en los regadíos de Castilla y León, ya que su superficie ha aumentado de forma muy importante en los últimos años, llegando hasta casi 140.000 ha en el año 2001.

El trabajo que se presenta tiene como objetivo valorar las dosis óptimas de nitrógeno a aplicar a un maíz en riego por aspersión en las condiciones de los regadíos del valle medio del Ebro que son similares a las de Castilla y León. Además se presentan los resultados de la evaluación del contenido de nitrato en la base del tallo en cosecha como una herramienta de diagnóstico de la fertilización nitrogenada realizada al cultivo.

1. FUNCIONES DE RESPUESTA AL ABONADO NITROGENADO

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en la finca del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA) de la Diputación General de Aragón, situado en Montañana, durante los años 2001 a 2004. El clima de la zona es semiárido con temperaturas altas durante el verano, bajas precipitaciones (325 mm de media en el período 1982-2002), velocidad del viento alta y una elevada demanda evaporativa ($ET_0 = 1.334$ mm, FAO-Penman). El suelo es un suelo típico de las terrazas del río Gallego, y presenta una capa de gravas a profundidad variable a partir de 1,10 m. Las principales características de suelo se presentan en la [Tabla 1](#).

Se evaluaron cuatro dosis distintas de nitrógeno y se utilizó un tratamiento control sin aplicación de nitrógeno para evaluar la capacidad de mineralización del suelo. Las dosis de nitrógeno aplicadas fueron de 0 (N0), 120 (N1), 180 (N2), 240 (N3) y 300 (N4) kg N/ha. Se aplicaron 120 kg/ha de P_2O_5 y 180 kg/ha de K_2O en fondo. El nitrógeno se repartió entre fondo (60 kg N/ha) y el resto en cobertera. En fondo el nitrógeno se aplicó en forma de nitrato (compuesto 9-18-27). En cobertera, el nitrógeno se aplicó en forma de solución nitrogenada N-32 (25% nítrico - 25% amónico - 50% uréico)

Se sembró a tempero durante el mes de Abril, utilizándose la variedad Dracma, un híbrido simple de porte vigoroso y gran potencial de producción. Se sembraron las filas a una distancia de 0.75 m dejando una distancia de 0.14 m entre plantas (densidad de 95.000 plantas/ha).

El ensayo se localizó en una parcela regada por aspersión, con un marco de 12 m x 15 m. Las dosis de agua aplicadas en cada riego se determinaron a partir de las necesidades hídricas del maíz (evapotranspiración de cultivo). Atendiendo a la permeabilidad del suelo se optó por riegos frecuentes y de corta duración, intentando no exceder las 3 horas de duración por riego, debido a que la parcela presentaba una infiltración baja siendo susceptible al encharcamiento en riegos prolongados. En total se aplicaron entre 20 y 27 riegos con un volumen total de agua aplicada de 604 mm en el año 2001, 529 mm en el 2002, 953 en el 2003 (la temperatura media en los meses de junio-agosto fue 2°C superior a la habitual) y 591 mm en el 2004.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La [Figura 1](#) muestra las funciones de respuesta “lineal+meseta” ajustadas a la relación entre dosis de N aplicado y rendimiento en grano para los cuatro años en que se llevaron a cabo los ensayos. El modelo “lineal+meseta” define un aumento del rendimiento del cultivo cuando se aporta nitrógeno hasta llegar a un cierto valor umbral (Numbral) en el que se alcanza el rendimiento máximo o meseta definido por la línea horizontal. Por encima el valor umbral cualquier cantidad de N aplicada no produce un aumento significativo en el rendimiento del cultivo. Por lo tanto el valor de Numbral representa la dosis óptima técnica a aplicar al cultivo

Se observa que los rendimientos de grano en los tratamientos control, representados por los puntos localizados sobre el eje de ordenadas o vertical, fueron disminuyendo desde el 2001 al 2004, resultado lógico debido al agotamiento progresivo en el suelo de nitrógeno, al no realizar ninguna aportación.

En la [Tabla 2](#) se presentan los valores estimados de los parámetros Numbral y Rendimiento máximo (R_m) con su coeficiente de determinación (R^2) para los cuatro años estudiados.

Si bien hay que señalar que las funciones de respuesta son dependientes de la parcela en la que se realizan los ensayos, hay que destacar que los umbrales obtenidos en los ensayos presentados oscilaron entre 136 y 253 UF.N/ha., lo que contrasta con la cantidades significativamente más altas que habitualmente aplican muchos agricultores

en condiciones de riego por aspersión de los regadíos del Valle medio del Ebro. Además, los rendimientos obtenidos están en el rango alto de los obtenidos por los agricultores en la zona. Los resultados obtenidos son consistentes, ya que los coeficientes de determinación (R^2) de los modelos presentados fueron altos (entre 85 y 99%) y los errores de estimación del Numbral fueron pequeños.

Un aspecto a destacar es la ausencia de una relación entre el Numbral y el rendimiento máximo para los cuatro años en que se realizó el ensayo. Así, el año 2003 presentó los rendimientos más altos ($R_m = 16.753$ kg/ha), pero la cantidad de nitrógeno que optimiza la producción no fue la más alta de los cuatro años en que se llevó a cabo el ensayo. Esto va en contra de la creencia popular de que rendimientos más altos han de tener necesariamente niveles óptimos de fertilizantes nitrogenados mayores. Esto puede ser cierto cuando se comparan zonas con rendimientos muy dispares, pero no necesariamente cierto cuando los niveles productivos no son tan diferentes. Las diferencias entre los óptimos obtenidos entre los distintos años pueden atribuirse a diferencias en la mineralización de la materia orgánica del suelo entre los distintos años estudiados, lo que incide en el nitrógeno mineral disponible en los primeros horizontes al inicio y durante el cultivo. Así, la [Figura 2](#) presenta la relación entre el contenido de nitrato antes de la siembra en cada uno de los años del ensayo con la concentración Numbral obtenida. En la misma se observa que el Numbral disminuye conforme aumenta el contenido en nitrato presente en el suelo antes de la siembra. Esta misma relación se observa también con los valores estimados de contribución del suelo a la absorción de N por la planta ([Tabla 2](#)) obtenidos del balance de nitrógeno en los tratamientos control.

Los resultados presentados indican que las cantidades de nitrógeno a aplicar son menores que las dosis de nitrógeno habitualmente aplicadas por la mayor parte de los agricultores, existiendo, por lo tanto, potencial para disminuir de forma significativa las cantidades de fertilizante nitrogenado aplicados al maíz. Esta disminución supondrá, sin ninguna duda, un aumento de la rentabilidad económica de los productores de maíz, y una disminución de las masas de nitrógeno que son exportadas hacia las redes de drenaje y/o a las aguas subterráneas.

Es importante que los agricultores se conciencien de la posibilidad de mejorar la rentabilidad de sus explotaciones a través de una disminución de los inputs o gastos del cultivo, siempre que ello no suponga una disminución de su margen económico. En el caso del maíz, el fertilizante nitrogenado puede suponer una parte importante del gasto

durante el cultivo, y a la vista de los resultados que se presentan en este trabajo (y en otros que pueden encontrarse en la bibliografía), una gran parte del mismo acaba en los drenajes y finalmente en los ríos o aguas subterráneas, con los problemas medioambientales que todo ello conlleva. Los agricultores deben comenzar a experimentar ellos mismos en sus parcelas y no dejarse llevar siempre por ciertas tradiciones en el modo de realizar algunas prácticas agronómicas. En el caso del nitrógeno, resulta sencillo realizar pruebas en el mismo campo con bandas en las que se apliquen cantidades de nitrógeno menores de las que vienen aplicando de forma habitual. La cosecha separada de dichas bandas y la comparación con las bandas de tratamiento “habitual” les puede indicar si sus prácticas de abonado nitrogenado son correctas o si es posible reducir la cantidad aplicada sin una disminución del rendimiento de grano.

Una práctica altamente recomendable, aunque no ha sido evaluada en este trabajo, es la reducción de las cantidades de N aplicadas en presiembra. Aplicaciones de 60 kg N/ha son suficientes para producir un buen arranque del cultivo hasta la aplicación de la primera cobertera. Aplicaciones superiores, aumentan el riesgo potencial de lavado del nitrógeno aplicado durante los primeros riegos.

2. TEST DE NITRATO EN LA BASE DEL TALLO

El test de nitrato en la base de los tallos fue propuesto Binford y col. (1990) y se basa en que cuando las plantas de maíz tienen una fertilización nitrogenada deficiente extraen nitrógeno del tallo y de las hojas inferiores en el periodo de llenado del grano. Sin embargo, cuando el nitrógeno está presente en cantidades excesivas acumulan nitrógeno en forma de nitrato en la parte inferior del tallo al final del ciclo de cultivo. Este test ha sido calibrado en distintas localidades del cinturón de maíz de Estados Unidos y se ha mostrado eficiente para distinguir entre nivel deficitario, adecuado, o con exceso de fertilización nitrogenada.

Las condiciones de producción del maíz en los regadíos españoles son bastante diferentes de las de Estados Unidos y lo que se pretende es adaptar este test a las condiciones de producción españolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la posible utilidad de dicho test en las condiciones de cultivo de maíz en los regadíos del valle medio del Ebro, se utilizaron datos de 8 ensayos

realizados entre los años 2001 y 2003 con distintas dosis de fertilizante nitrogenado, algunos de ellos con fertilización orgánica. Estos ensayos incluían desde tratamientos deficitarios a tratamientos con dosis excesivas de nitrógeno (un total de 226 parcelas). En cada uno de los ensayos, unos días antes de la cosecha se tomaron unos 15 tallos de una longitud de 20 cm (cortados entre 15 y 35 cm por encima del suelo) en cada parcela elemental. Los tallos se limpiaron de hojas, se secaron y se pusieron en estufa a 65°C hasta peso constante, una vez secos, se molieron finamente y se analizó su concentración de nitrógeno total (método Dumas) y de nitrato (electrodo selectivo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La [Figura 3](#) presenta la relación entre el nitrógeno total y el nitrato en la base del tallo de las 226 parcelas experimentales. Los valores más bajos de nitrato y de nitrógeno total en los tallos se corresponden con los tratamientos de dosis de nitrógeno más bajas. En dicha figura se observa que para los valores bajos de ambas variables (equivalente a dosis bajas de fertilizante nitrogenado) se produce un aumento acusado del nitrógeno total para aumentos pequeños de la concentración de nitrato (la línea de puntos es casi vertical), lo que indicaría que para niveles de fertilización deficitarios el nitrógeno se incorpora mayoritariamente al tallo en forma orgánicas. Sin embargo, cuando las parcelas reciben una cantidad creciente de fertilizante nitrogenado el nitrógeno se va acumulando en forma de nitrato. De esta forma se ha podido determinar que a partir de una concentración de nitrato en tallo, todo el nitrógeno se acumula en el tallo en forma de nitrato. Dicho valor, a partir del cual se considera que existe un exceso de fertilización nitrogenada (Nc), resultó ser de 1,04 g de NO₃-N/kg de tallo. Para dicho valor la concentración de nitrógeno total fue de 7,8 g/Kg.

Además, en los ocho ensayos se estudió la relación entre el rendimiento de grano y la concentración de nitrato del tallo. Solamente en cuatro de ellos se encontró una respuesta significativa al fertilizante nitrogenado, observándose que el nivel umbral (Nu) a partir del cual no se obtienen mayores rendimientos ([Figura 4](#)) se fija en 0,94 g de N-NO₃/Kg de tallo. Este valor coincide bastante con la categoría que Binford y col. (1990) interpretan como óptima (de 0,7 a 2 g/kg), en la que se muestra una alta probabilidad de que el N disponible se aproximó al rango necesario para maximizar el beneficio del productor. El valor de 0,94 g de N-NO₃/Kg obtenido a partir de la [Figura 4](#) coincide en gran medida con el valor de Nc obtenido a partir de los datos de la [figura 3](#) (Nc=1,04 g de N-NO₃/Kg), lo que proporciona mayor coherencia a dicho valor y puede

ser usado como un valor umbral para detectar excesos de fertilización nitrogenada del maíz en las condiciones de regadío del Valle Medio del Ebro o zonas similares. Un aspecto importante de la utilidad de dicho test es que es prácticamente la única herramienta disponible para conocer si ha habido un exceso de fertilizante nitrogenado en una parcela de maíz, ya que las medidas sobre el suelo están sujetas a mucha mayor variabilidad espacial, y además es muy difícil estimar con cierta precisión la cantidad de nitrógeno que se ha perdido en la parcela. De hecho, algunos autores (Balkcom y col., 2003), lo han utilizado como herramienta de seguimiento a nivel de polígono de drenaje para evaluar la mejora de las prácticas nitrogenadas en maíz en Estados Unidos.

RECOMENDACIONES FINALES

Las dosis óptimas de nitrógeno para un cultivo de maíz en riego por aspersión son generalmente inferiores a las obtenidas en riego por inundación y las cantidades aplicadas deberían reducirse para evitar la contaminación nítrica de las aguas. Esta reducción supone un ahorro en los costes de producción, que pueden ser importantes por el alto precio de los fertilizantes nitrogenados.

La dosis óptima a aplicar puede variar de año a año en una misma parcela dependiendo del aporte específico del suelo durante cada ciclo de cultivo. Así, la dosis óptima en los ensayos realizados se situó entre 136 y 253 kg N/ha. La medida del contenido de nitrógeno mineral en suelo puede ayudar a un ajuste preciso de la dosis óptima de nitrógeno a aplicar en cada parcela.

Dada la flexibilidad de la aportación de nitrógeno con el agua de riego en sistemas de riego por aspersión se recomienda la reducción de la dosis aplicada en siembra a niveles por debajo de un tercio de la dosis total.

Los agricultores deberían comenzar a experimentar en sus parcelas y no dejarse llevar siempre por ciertas tradiciones en el modo de realizar algunas prácticas agronómicas, sobretodo en los casos en que puedan reflejarse en un descenso de los costes de producción y una mejora de las condiciones medioambientales, como es el caso de la fertilización nitrogenada.

Los técnicos deberían buscar herramientas sencillas de fácil uso por el agricultor para la mejora de las técnicas de fertilización. Así, el test de nitrato en tallo al final del ciclo de cultivo ajustado a las condiciones de los regadíos españoles se vislumbra como una herramienta sencilla de diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz que puede ayudar a corregir las dosis en años sucesivos.

BIBLIOGRAFIA

- Balkcom, K.S., A. M. Blackmer, D. J. Hansen, T. F. Morris y A. P. Mallarino. 2003. Testing Soils and Cornstalks to Evaluate Nitrogen Management on the Watershed Scale. *Journal of Environmental Quality* 32: 1015-1024.
- Binford G.D., A.M. Blackmer y N.M. El-Hout. 1990. Tissue test for excess nitrogen during corn production. *Agronomy Journal* 82: 124-129.
- Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. *Diario Oficial* nº L375 de 31/12/1991: 1-8.
- Decreto 109/1998 de la Junta de Castilla y León por el que se designan las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrícola y ganadero y se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias. *B.O.C. y L.* nº 112 de 16/06/1998.
- Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. *BOE* nº 61, 11/03/1996.

Tabla 1. Características del suelo en el que se realizó el ensayo

Perfil	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Potasio (g/kg)	Fósforo (g/kg)	Mat. Orgánica (%)
0-37	54,2	32,5	13,3	0,645	0,05	2,35
37-53	50,6	36,5	12,9	0,268	0,007	1,10
53-120	55,3	10,7	34,0	0,061	0,001	0,67

Tabla 2. Valores estimados de los parámetros Numbral (\pm error estándar) y rendimiento máximo (Rm) del modelo “lineal+meseta” y el coeficiente de determinación (R^2) para cada uno de los años estudiados. En la última columna se presenta la contribución del suelo a la absorción de nitrógeno por el cultivo obtenida del balance de nitrógeno.

AÑO	Numbral kg/ha	R^2 (%)	Rm kg/ha	Suelo Kg N/ha
2001	253 \pm 33	94	14909	66
2002	218 \pm 33	95	12573	88
2003	182 \pm 35	85	16753	111
2004	136 \pm 2	99	14686	-

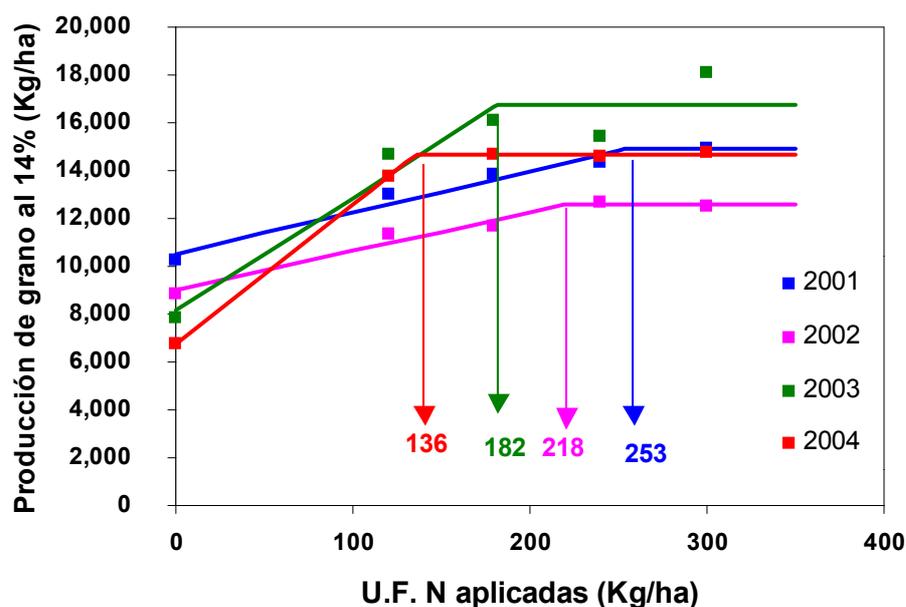


Figura 1. Funciones de respuesta del rendimiento de grano a las dosis de fertilizante nitrogenado. Se presentan las funciones de ajuste según el modelo “lineal + meseta” así como el valor estimado de Numbral.

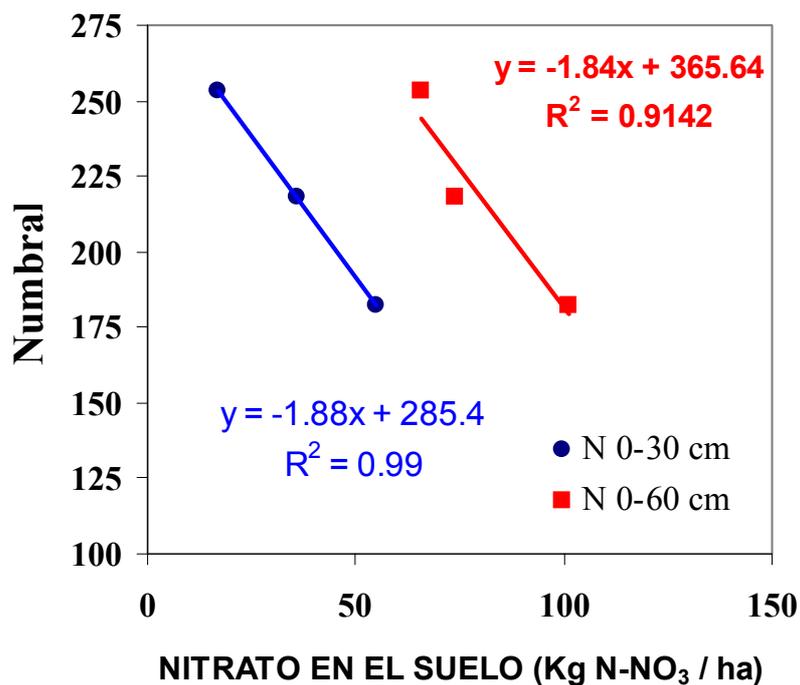


Figura 2. Relación entre el Numbral y la cantidad media de nitrógeno mineral disponible (Kg N/ha) en la parcela de ensayo en los tres primeros años en que se realizó el experimento.

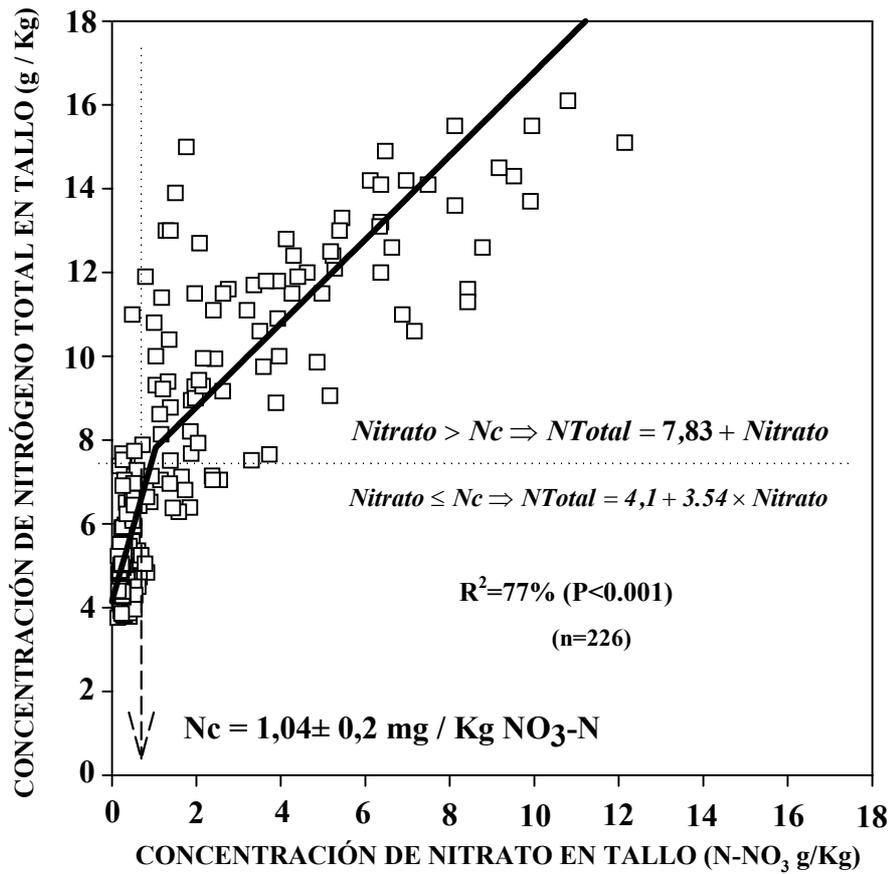


Figura 3. Relación entre el la concentración de nitrógeno total y de nitrato en la base del tallo de maíz después de madurez fisiológica.

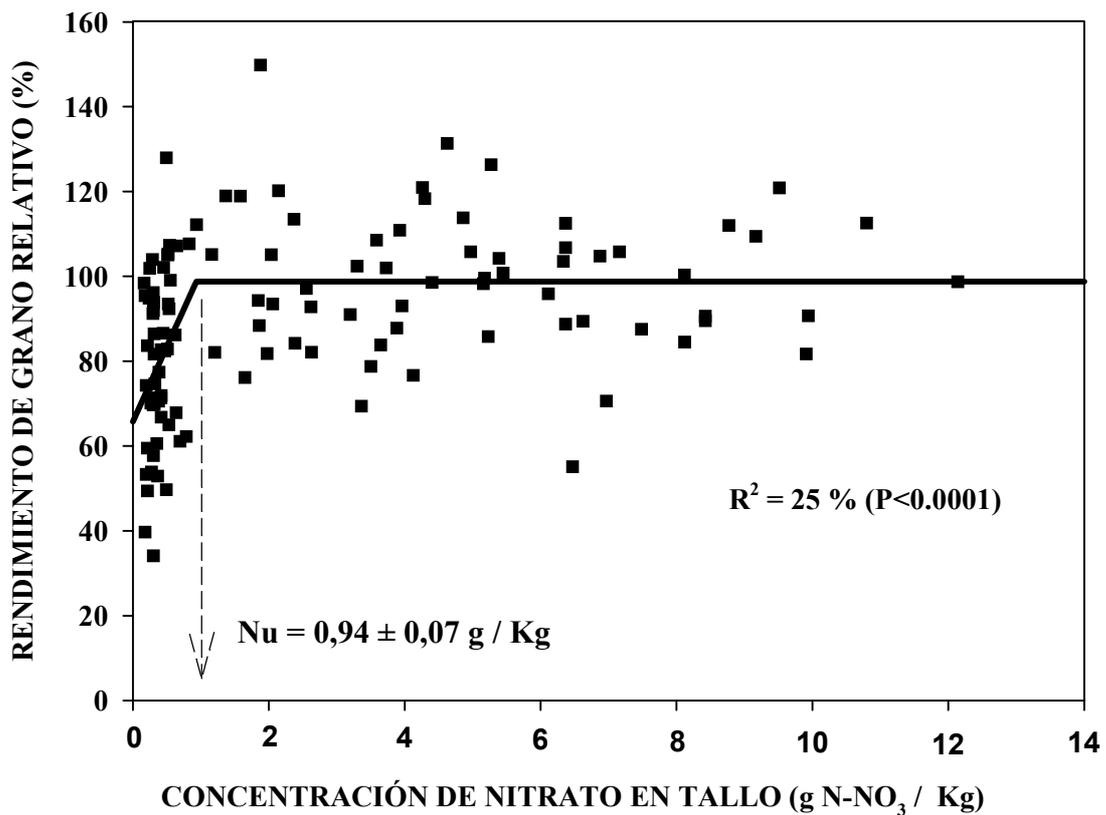


Figura 4. Relación entre el rendimiento de grano relativo y la concentración de nitrato en la base del tallo después de madurez fisiológica.