

INHIBICION DE LA NITRIFICACION CON NITRAPYRIN

F. H. Andrade (1)

Recibido: 12/4/85

Aceptado: 10/12/85

RESUMEN

En este trabajo se demuestra el potencial del nitrapyrin (2 cloro, 6 (triclorometil) piridin) como inhibidor de la nitrificación.

Dos ensayos sembrados con maíz fueron fertilizados con nitrógeno. El fertilizante nitrogenado (OH NH_4) fue tratado con distintas dosis de nitrapyrin. Posteriormente se siguió la relación $\text{NO}_3 - \text{N}/\text{NH}_4 - \text{N}$ en la banda de aplicación por aproximadamente 6 semanas.

En ambos casos, el nitrapyrin redujo la mencionada relación, por lo que resultó eficaz como inhibidor de la nitrificación.

El contenido de nitrógeno inorgánico en la banda de aplicación también resultó ser mayor con nitrapyrin debido a que éste inhibe la formación de nitratos, iones de alta movilidad en el suelo.

INHIBITION OF NITRIFICATION WITH NITRAPYRIN

SUMMARY

Two experiments were conducted to show the potential of nitrapyrin as a nitrification inhibitor.

Different levels of nitrapyrin (2 chloro, 6 (trichloromethyl) pyridine) were added to the nitrogen fertilizer (OH NH_4) and the $\text{NO}_3 - \text{N}/\text{NH}_4 - \text{N}$ ratio in the application band was followed for approximately 6 weeks.

Nitrapyrin kept the $\text{NO}_3 - \text{N}/\text{NH}_4 - \text{N}$ ratio low in the soil. Consequently it was effective in reducing the nitrification process.

The level of inorganic nitrogen in the application band was higher with nitrapyrin due to the inhibition of formation of nitrate, a highly mobile ion in the soil.

INTRODUCCION

Los nitratos (NO_3^-) del suelo están sujetos a pérdidas por lixiviación y denitrificación, disminuyendo así la eficiencia de la fertilización nitrogenada. Si el fertilizante nitro-

genado se aplica en su forma reducida (urea, amoníaco anhidro) junto con un inhibidor del proceso de la nitrificación, por ejemplo, el nitrapyrin (2 cloro, 6 (triclorometil) piridin), las pérdidas de nitrógeno (N) se reducirían ya que el ion amonio (NH_4^+) es menos

1) Cátedra de Cereales, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina.

susceptible a pérdidas por lixiviación y no constituye sustrato para la denitrificación. El aumento en la eficiencia de la fertilización nitrogenada estaría acompañado por una disminución de la contaminación de las napas por NO_3^- . Consecuentemente, el uso de inhibidores de la nitrificación tendría no solo implicancias económicas sino también ecológicas.

El nitrapyrin inhibe la citocromo oxidasa de las *Nitrosomonas* involucradas en la oxidación de NH_4^+ a hidroxilamina (Hooper y Terry, 1973; Cambell y Aleem, 1965). Esta inhibición es revertida por la adición de Cu^{++} , por lo que se concluye que el inhibidor actuaría como un agente quelatizante del Cu^{++} de la citocromo oxidasa.

La materia orgánica disminuye la efectividad del inhibidor afectando sus ritmos de adsorción y descomposición (Goring, 1962 a; b; Redemann *et al*, 1964; Bundy y Bremner, 1977; Hendrickson y Keeney, 1979), mientras que el pH del suelo tiene poco efecto en su persistencia y bioactividad (el pH afecta directamente el proceso de nitrificación) (Hendrickson y Keeney, 1979). Además, el nitrapyrin es más efectivo a bajas temperaturas debido a la lenta degradación y volatilización del producto y a las bajas tasas de nitrificación existentes en dichas condiciones (Bundy y Bremner, 1973).

Las prácticas culturales también inciden sobre la efectividad del inhibidor. El tiempo de aplicación afecta la bioactividad y efectividad del producto según la temperatura del suelo (Bundy y Bremner, 1973). Por otra parte, la forma de aplicación afecta la dosis a emplear por hectárea (ha). En cobertura total son necesarias mayores cantidades de nitrapyrin que en bandas (Goring y Scott, 1976) y, además, la aplicación superficial es muy ineficiente y variable debido a la pérdida por volatilización y fotólisis (Briggs, 1975; Meikle *et al*, 1978).

Finalmente, en suelos sueltos bajo irrigación, la efectividad del producto puede ser afectada por la mayor solubilidad de éste con respecto al NH_4^+ (Rudert y Locascio, 1979).

El objetivo de este trabajo es analizar en condiciones contrastantes del suelo y mane-

jo, los efectos del nitrapyrin en la relación nitrato - N/ amonio - N (NO_3^- - N/ NH_4^+ - N) y en contenido de N inorgánico en la banda de aplicación.

MATERIALES Y METODOS

Ensayo N° 1:

Este ensayo fue realizado en un suelo franco limoso (serie Nicollet, Hapludol méxico ácuico) de los campos experimentales de Iowa State University. Este es un suelo profundo, sin limitaciones al crecimiento radicular y con un buen contenido de materia orgánica. Veintitrés días antes de la floración se fertilizó un cultivo de maíz (híbrido A 632 x A 619, sembrado a 75 cm entre hileras con una densidad final de 55.000 plantas por hectárea) con 90 kg de N/ha aplicado como NH_4OH al que se lo trató con distintos niveles de nitrapyrin (0, 247, 741 y 2.224 gramos de principio activo por hectárea).

La solución del fertilizante y el inhibidor fue aplicada mecánicamente entre hileras a una profundidad de 18 cm.

El ensayo fue realizado en bloques completos aleatorizados con 8 repeticiones y las parcelas medían 150 cm de ancho por 10 m de largo.

A los 18, 30 y 45 días después de la aplicación se tomaron muestras de suelo (en la banda de aplicación) hasta los 30 cm de profundidad. Después de la extracción del NH_4^+ con una solución 2 Normal de KCl, el contenido de NO_3^- y NH_4^+ fue medido por el método de destilación de Bremner y Keeney (1965).

Ensayo N° 2:

Este ensayo fue conducido bajo irrigación en un suelo franco arenoso (serie Huntsville, Hapludol méxico cumúlico) de los campos experimentales de Iowa State University. Este es un suelo más pobre que el correspondiente al Ensayo N° 1, con baja cantidad de materia orgánica y baja capacidad de retención hídrica.

Este ensayo consistió en la aplicación de 90 kg de N/ha como OH NH_4^+ tratados con 4

distintos niveles de nitrapyrin (0, 741, 2.224 y 6.672 gramos por hectárea de principio activo) a un cultivo de maíz en floración. El maíz era el híbrido A 632 x A 619 sembrado a 1 m entre hileras con una densidad de 55.000 plantas por hectárea. A este ensayo se le agregó un testigo sin N.

La solución del fertilizante y el inhibidor fue aplicada en forma manual a una profundidad de 12 cm. El ensayo fue realizado en bloques completos aleatorizados con 8 repeticiones, siendo las parcelas hileras de 1 m de largo.

El NO_3^- y NH_4^+ en la banda de tratamiento fueron medidos a las 2, 4 y 6 semanas después de la aplicación utilizando la técnica ya descrita.

RESULTADOS Y DISCUSION

El efecto del nitrapyrin en la nitrificación correspondiente al Ensayo N° 1 está representado en la Figura 1.

Dicha figura muestra que la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ fue considerablemente re-

ducida por el inhibidor de la nitrificación y que a mayor dosis del producto, mayor fue el efecto inhibitorio (diferencias significativas a $\alpha : 0,001$). También muestra el gráfico una clara interacción entre el tiempo desde la aplicación y la dosis de nitrapyrin (significativa a $\alpha : 0,01$).

Los resultados del Ensayo N° 2 pueden observarse en la Figura 2. Nuevamente la presencia del nitrapyrin disminuyó la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ siendo este efecto función de la concentración del inhibidor (diferencias significativas a $\alpha : 0,001$).

La diferencia en la escala de ambas figuras probablemente responde entre otras cosas a una distinta eficiencia de muestreo en la banda de aplicación. El menor tamaño de parcela en el Ensayo N° 2 posibilitó una buena marcación de la banda de aplicación por lo que se supone que los muestreos fueron mucho más eficientes.

La pendiente positiva de las líneas correspondientes a tratamientos con nitrapyrin en ambos gráficos indica que el efecto inhibitorio de este producto disminuyó en función del tiempo.

Esto se debería a la biodegradación, ad-

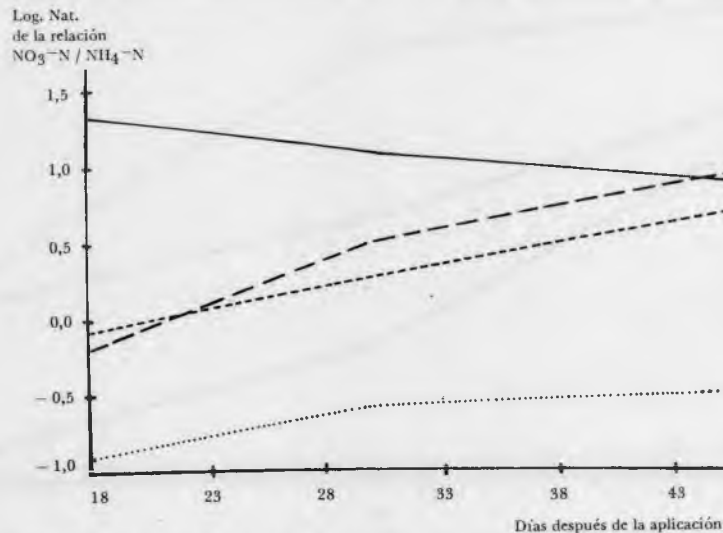


Figura 1: Efecto de la dosis de nitrapyrin en el logaritmo natural de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ del suelo (banda) en función del tiempo transcurrido desde la aplicación del fertilizante (Ensayo N° 1). La desviación estándar de las medias para este gráfico es de 0,12.

(—), (- - -), (· · · · ·), (.....) representan 0, 247, 741 y 2224 g/ha de principio activo de nitrapyrin, respectivamente.

LOG. NAT.
de la relación
 $\text{NO}_3^- \text{N} / \text{NH}_4^- \text{N}$

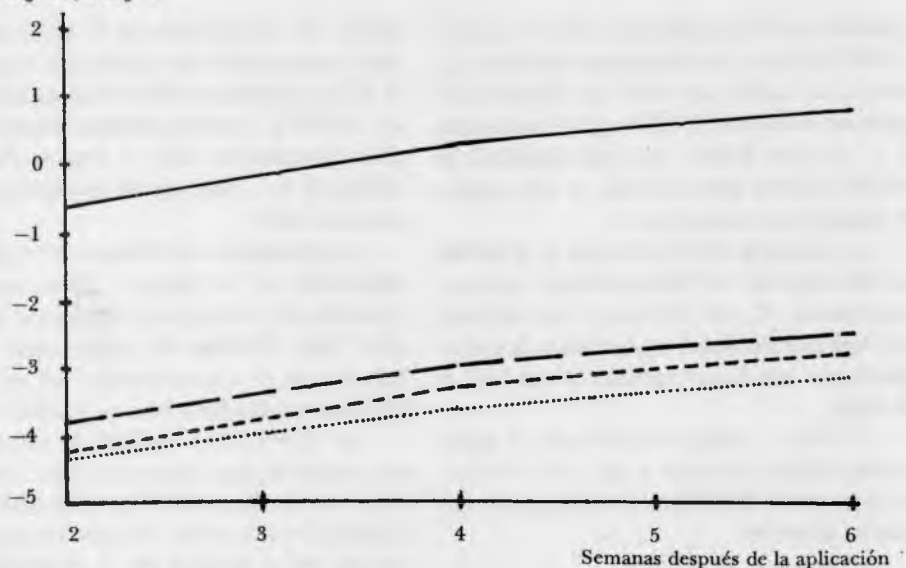


Figura 2: Influencia de la dosis de nitrapyrin en el logaritmo natural de la relación $\text{NO}_3^- \text{N} / \text{NH}_4^- \text{N}$ del suelo (banda) en función del tiempo transcurrido desde la aplicación del fertilizante (Ensayo N° 2). El análisis estadístico fue realizado con grados de libertad conservativos debido a mediciones repetitivas. La desviación estándar de las medias en este gráfico es de 0,18.

(—), (- - -), (- · - · -), (.....) representan 0, 741, 2224 y 6672 g/ha de principio activo de nitrapyrin respectivamente.

N en suelo
mg N/100 g
de suelo

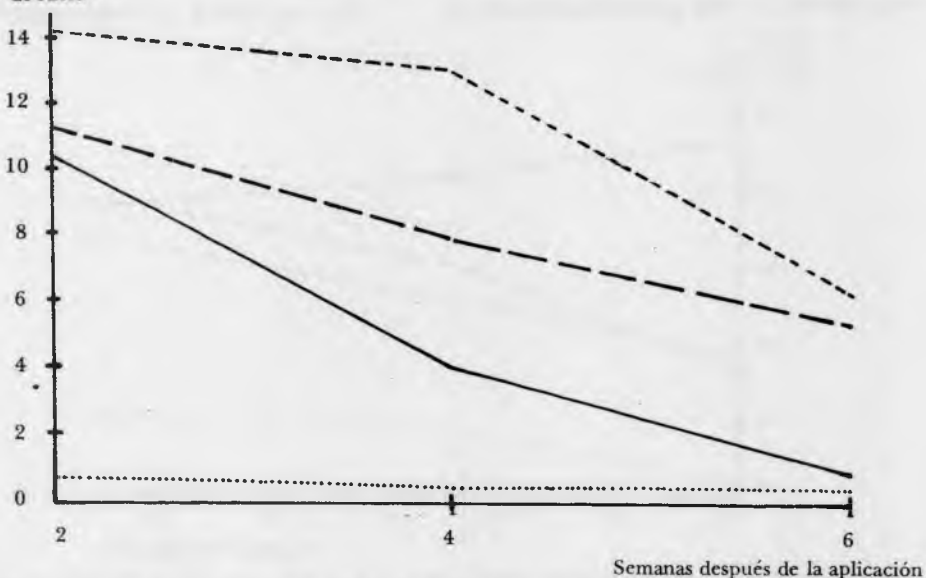


Figura 3: Efecto del nitrapyrin y del tiempo desde la aplicación del fertilizante en el contenido de N inorgánico ($\text{NO}_3^- \text{H} / \text{NH}_4^- \text{N}$) del suelo (Ensayo N° 2).

El análisis fue realizado con grados de libertad conservativos debido a mediciones repetitivas. La desviación estándar de las medias en este gráfico es de 1,07.

(—), (- - -), (- · - · -) representan 0, 741 y 2224 g/ha de principio activo de nitrapyrin respectivamente y (.....) representa al control sin aplicación de N.

sorción, volatilización y/o lixiviación del producto. Cabe acotar que la reducción en los niveles de N en la banda ya sea por absorción por parte de las plantas, por inmovilización, por difusión, o por pérdidas por volatilización también tienden a afectar la relación $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$.

La distinta pendiente para el tratamiento sin nitrapyrin en ambos ensayos se debería a diferencias en la velocidad de nitrificación. En el Ensayo N° 1 la nitrificación fue más rápida y por eso se parte de una alta relación $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ en el muestreo del suelo. A partir de ahí, la pendiente negativa es el resultado de las sucesivas pérdidas de NO_3^- de la banda de aplicación. En el Ensayo N° 2 la formación de NO_3^- a partir de NH_4^+ fue más lenta y gradual lo que explica porque la pendiente de la relación $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ fue positiva.

Al mantener una relación $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ baja, la movilidad del N aplicado al suelo se ve afectada. Esto se ve reflejado en la Figura 3 que muestra que los contenidos de N en la banda de aplicación fueron superiores a lo largo de todo el período de medición cuando el fertilizante fue tratado con el inhibidor de la nitrificación.

El nitrapyrin resultó eficiente en controlar la nitrificación tanto en un suelo franco-arenoso con irrigación como en un suelo franco-limoso, siendo este efecto función de la dosis empleada y del tiempo desde la aplicación. Estos resultados indican que el nitrapyrin sería un importante factor para reducir pérdidas de N ya sea por lixiviación o por denitrificación. En un sistema de producción en donde estos procesos adquieren relevancia, deberían esperarse altas respuestas al uso de inhibidores de la nitrificación con la fertilización nitrogenada (Warren *et al.*, 1975; Chancy y Kamprath, 1982).

El maíz puede absorber y utilizar tanto NO_3^- como NH_4^+ (Schrader *et al.*, 1972; Warncke y Barber, 1973) siempre que el NH_4^+ no llegue a concentraciones tóxicas. Sin embargo, el absorber NO_3^- ó NH_4^+ tiene importantes efectos fisiológicos en la planta de maíz (Andrade, 1984; Andrade y Anderson, 1985 a; Andrade y Anderson, 1985 b). Por lo tanto, al afectar el nitrapyrin la proporción de NO_3^- y NH_4^+ en el suelo, afectaría también la absorción de nutrientes y los procesos metabólicos del maíz.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Andrade, F. H., 1984. Physiological and practical implications of different forms of nitrogen nutrition in maize. PhD thesis. Library, Iowa State University. Ames, Iowa.
- 2) Andrade, F. H. and I. C. Anderson, 1985 a. Cation-anion balance effect in corn nutrition. Enviado al *Agronomy Journal* para su publicación.
- 3) Andrade, F. H. and I. C. Anderson, 1985 b. Physiological effects of the form of nitrogen on corn root tips. A nuclear magnetic resonance (NMR) study. Enviado al *Crop Science* para su publicación.
- 4) Bremner, I. M. and D. R. Keeney, 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Anal. Chim. Acta* 32: 485-495.
- 5) Briggs, G. G., 1975. The behaviour of nitrification inhibitor "N-serve" in broadcast and incorporated application to soil. *J. Sci. Food Agr.* 26: 1083-1092.
- 6) Bundy, L. G. and J. M. Bremner, 1973. Inhibition of nitrification in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 396-398.
- 7) Campbell, N. E. R. and M. I. H. Aleem, 1965. The effect of 2-chloro, 6-(trichloro-methyl) pyridine on the Chemo-autotrophic metabolism of nitrifying bacteria. I. Ammonia and hydroxylamine oxidation by *Nitrosomonas*. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 31: 124-136.
- 8) Chancy, H. F. and E. J. Kamprath, 1982. Effect of nitrapyrin on N response of corn on sandy soils. *Agron. J.* 74: 565-569.
- 9) Goring, C. A. I., 1962 a. Control of nitrification by 2-chloro -6- (thrichloromethyl) pyridine. *Soil Sci.* 93: 211-218.

- 10) Goring, C. A. I., 1962 b. Control of nitrification of ammonium fertilizers and urea by 2-chloro -6- (trichloromethyl) pyridine. *Soil Sci.* 93: 431-439.
- 11) Goring, C. A. I. and H. H. Scott, 1976. Control of nitrification by soil fumigants and N - serve nitrogen stabilizers. *Down Earth* 32 (3): 14-17.
- 12) Hendrickson, L. L. and D. R. Keeney, 1979. A bioassay to determine effect of organic matter and pH on the effectiveness of nitrapyrin (N-serve) as a nitrification inhibitor. *Soil Biol. Biochem.* 11: 51-55.
- 13) Hooper, A. B. and K. R. Terry, 1973. Specific inhibitors of ammonia oxidation in *Nitrosomonas*. *J. Bacteriol.* 115: 480-485.
- 14) Meikle, R. W.; D. A. Laskowski; A. J. Regoli and C. T. Redemann, 1978. The hydrolysis and photolysis rates of nitrapyrin in dilute aqueous solution. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 7: 149-158.
- 15) Redemann, C. T.; R. W. Meikle and J. G. Widofsky, 1964. The loss of 2-chloro -6- (trichloromethyl) pyridine from soils. *J. Agric. Food chem.* 12: 207-209.
- 16) Rudert, B. D. and S. J. Locascio, 1979. Differential mobility of nitrapyrin and ammonium in a sandy soil and its effect on nitrapyrin efficiency. *Ag. J.* 71: 487-489.
- 17) Schrader, L. E.; D. Domska; P. E. Jung Jr. and L. A. Peterson, 1972. Uptake and assimilation of ammonium -N and nitrate -N and their influence on the growth of corn. *Agron. J.* 64: 690-695.
- 18) Warncke, D. D. and S. A. Barber, 1973. Ammonium and nitrate uptake by corn (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen concentration and the NH_4/NO_3 ratio. *Agron. J.* 65:445-450.
- 19) Warren, H. L.; D. M. Huber; D. K. Nelson and D. W. Mann, 1975. Stalk rot incidence and yield of corn as affected by inhibiting nitrification of all - applied ammonium *Agron. J.* 67: 555-560.