21. STOLZY, L.H.; LETEY, J. 1964 Measurements of oxygen diffusion rates. Hilgardia 35:566-576

22. STOLZY, L.H.; LAIRD, R.J.; ACOSTA, R. 1969. Métodos para medir el ambiente físico del suelo In Memoria del 4 Congreso de la Socidad Mexicana de la Ciencia del Suelo p. 13-33.

23. TAYLOR, J.H.; BRUCE, R.R. 1968 Effects of soil strength on root growth and crop yield in the Southern United States. New Brunswick, N.J., Transaction Books. p. 803-811. Presented at the International Congress of Soil Science.

24. UNGER, P.W. 1975. Relationship between water retention, texture, density and organic matter content of west and south central Texas soils Texas Miscellaneous Publication 1192 c 20 p

25. WALKLEY, A.; BLACK, I.A. 1934. An examination of the Degtja-seff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid nitration methods. Soil Science 27:29-38

Destino del Nitrógeno Ureico Aplicado a un Tropaquept Arcilloso, bajo Condiciones Simuladas de Arroz en Siembra Directa[1]

C.E. de Cori, L.S. Holt**, P.L.G. Vlek***

ABSTRACT

In Venezuela, rice is largely direct-seeded. Over 20 000 tons of N are applied, mostly as urea, to rice annually. Although fertilizer uptake efficiency in rice is known to be low, no data are available from rice-growing areas of Latin America. Incubation studies were conducted on a low-activity clay soil (Tropaquet) from Venezuela using ^{15}N-labeled urea, to follow the fate of N applied to soil with different soil-moisture conditions representing alternative soil/water/fertilizer management options. Ammonia volatilization losses of 40%-45% within four weeks were observed when urea was top-dressed into floodwater, whether the soil was puddler or not. Denitrification losses under these circumstances were around 10%. Incorporation of the urea at the time of puddling followed by continuous flooding reduced NH_3 loss (≅ 10%), but apparently denitrification loss partly negated. this gain, as reflected in a total loss of approximately 50% after eight weeks. The most conservative system was dryland rice cultivation with a total loss of less than 30% after eight weeks. The magnitude of N loss in this study points to the need for field research on the fate of applied N under the rice-growing conditions existing in Latin America.

COMPENDIO

En Venezuela, el arroz se cultiva en su mayor parte bajo el sistema de siembra directa, aplicándose anualmente más de 20 000 toneladas de N, principalmente en forma de urea. Aunque se reconoce que la eficiencia del N absorbido es baja, no se dispone de datos provenientes de las zonas cultivadas con arroz en América Latina. En este trabajo se realizaron estudios de incubación utilizando un suelo arcilloso venezolano con arcilla de baja actividad (Tropaquept) y aplicando urea marcada con ^{15}N, a fin de estudiar la distribución del nitrógeno añadido al suelo con diferentes condiciones de humedad que representaban diferentes opciones de manejo suelo-agua-fertilizante. Cuando la urea se aplicó superficialmente en el agua de inundación, se observaron pérdidas entre 40 y 45% del N aplicado, correspondiente a volatilización de amoníaco, independientemente de si el suelo había sido o no batido, mientras que las pérdidas por desnitrificación sólo alcanzaron al 10%. La incorporación de la urea al momento del batido, seguida por inundación continua, redujo drásticamente las pérdidas de amoníaco hasta aproximadamente el 10%. Sin embargo, bajo este sistema, las pérdidas por desnitrificación aparentemente compensaron esta ganancia, tal como se refleja en la pérdida total, la cual alcanzó alrededor del 50% después de 8 semanas. El sistema que mejor conservó el nitrógeno fue aquél que representó al cultivo de secano, con una pérdida total menor al 30%, después de 8 semanas de incubación. La magnitud de la pérdida de nitrógeno en este estudio, señala la necesidad de realizar investigaciones bajo condiciones de campo, para conocer el destino del N aplicado en las diferentes condiciones bajo las cuales se cultiva el arroz en América Latina.

1 Recibido para publicación el 20 de junio 1988.

* Profesor Agregado, Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay 2105, Venezuela.

** Químico Analítico y Director de la División Agroeconómica, respectivamente, del International Fertilizer Development Center, P.O. Box 2040, Muscle Shoals, Alabama 35662, EE.UU.

INTRODUCCION

En Venezuela, el consumo de fertilizantes ha experimentado un notable incremento durante la última década. El renglón de mayor demanda ha sido el nitrógeno, cuyo consumo aumentó de 20 000 a 108 000 toneladas entre 1970 y 1980 (IFDC, 1981). Sin embargo, el aumento en los rendimientos debido a ese incremento no ha sido el esperado, debido en parte a la baja eficiencia del nitrógeno absorbido, obtenida con las prácticas tradicionales de manejo de los suelos.

Alrededor del 60% del fertilizante nitrogenado utilizado en Venezuela en 1980, fue aplicado a los cultivos de arroz, maíz y sorgo, siendo el arroz el responsable por el 20% del nitrógeno aplicado (11). Aunque en estos cultivos el nitrógeno se aplica en forma de urea, sulfato de amonio, 15-15-15 y 12-12-12, es la urea la fuente nitrogenada más importante debido principalmente a su alta concentración en nitrógeno y a que se produce en Venezuela, no solamente para consumo interno sino también para exportación.

El arroz en Venezuela se cultiva bajo el sistema de siembra directa. En la región Central se siembran unas 40 000 hectáreas sobre suelos batidos manteniéndose inundados después de la emergencia. En la región Centro-Occidental, en una área de aproximadamente 160 000 hectáreas, el arroz de secano representa alrededor del 70% de la producción total.

Las condiciones bajo las cuales se cultiva el arroz en Venezuela son comunes en muchas regiones de América Latina y de Africa.

Debido a la eliminación parcial de los subsidios, el aumento de los precios de los fertilizantes en Venezuela, ha despertado el interés por aumentar la eficiencia en el uso de estos insumos. En Venezuela, no se dispone de información relacionada con el uso de la urea en el cultivo del arroz. En otros países de América Latina se han hecho algunas investigaciones, pero, la mayor parte de ellas está relacionada con arroz de transplante (17).

La eficiencia de la urea absorbida en arroz de transplante, ha sido estudiada extensivamente, encontrándose que, en general, no excede del 30% (4). Esta baja eficiencia está relacionada principalmente con pérdidas debidas a volatilización de amoníaco (6, 20).

Los estudios de eficiencia en el uso del nitrógeno en arroz bajo el sistema de siembra directa son escasos. Patrick *et al.* (12) obtuvieron eficiencia de absorción menores de 25% utilizando sulfato de amonio marcado, en arroz sembrado en seco e inundado tres

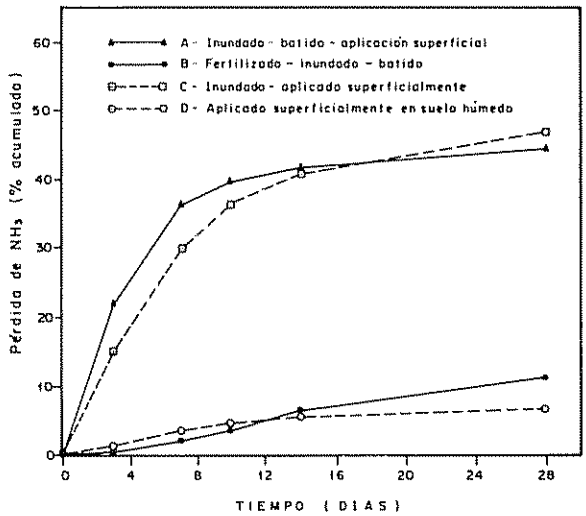


Fig. 1. Efecto del sistema de manejo suelo/fertilizante sobre la pérdida de amoníaco proveniente de la urea aplicada

semanas después de la siembra. Sin embargo, Reddy y Patrick (15) lograron recuperaciones que variaron entre 33 y 61%. Patrick y Reddy (15) determinaron pérdidas entre 15 y 25% del nitrógeno aplicado como sulfato de amonio. Pérdidas similares fueron constatadas por Reddy y Patrick (16); cuando aplicaron, en forma superficial, urea y sulfato de amonio. Aunque todos estos experimentos fueron en siembra directa, la fertilización nitrogenada se realizó posterior a la inundación, aproximadamente tres semanas después de la siembra.

De Datta y Kerim (5) observaron poco efecto del batido sobre la recuperación aparente del fertilizante en arroz bajo siembra directa. Sin embargo, esta práctica del batido mejoró notablemente la disponibilidad del nitrógeno del suelo.

El objetivo de este estudio fue el de determinar el efecto que tiene el manejo del suelo y el agua en el balance del nitrógeno, cuando se aplica urea marcada con ^{15}N a un suelo venezolano, bajo condiciones simuladas de los diferentes tipos de manejo del sistema suelo-agua, propios del cultivo de arroz en siembra directa.

MATERIALES Y METODOS

Este trabajo fue realizado en los Laboratorios del International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, Alabama, EE.UU.

El suelo utilizado en este estudio fue recolectado en la región Centro Occidental de Venezuela (Estado Cojedes) y procede de un lote donde se ha sembrado arroz durante los últimos cinco años. Corresponde a

Cuadro 1. Condiciones suelo-agua durante la preincubación e incubación de los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Preincubación	Fertilización	Incubación
A	Inundado y batido[a]	Superficial	Inundado
B	CC – SAT[b]	Incorporado	Inundado y batido
C	Inundado	Superficial	Inundado
D	CC – SAT	Superficial	CC – SAT

a = Los suelos inundados contenían 100% de agua, resultando una lámina de 1 cm.

b = El contenido de humedad del suelo se mantuvo entre capacidad de campo (36%) y saturación (50%).

CC = Capacidad de Campo.

SAT = Saturación.

un **Tropaquept** con 52% de arcilla, 2.7% de materia orgánica, 22 me/100 g de CIC, 0.25% de N total y pH 5.5. El suelo había sido molido y tamizado a una finura de 2 mm y fue preacondicionado mediante cinco ciclos sucesivos de humedecimiento y secado, quedando, al final, con 2.7% de humedad.

Se tomaron 48 submuestras de 150 g (calculados como suelo seco) y se colocaron en recipientes plásticos de 9.5 cm de diámetro interno. Se seleccionaron cuatro tratamientos, tratando de reflejar el rango de combinaciones relacionadas con el manejo del agua y del fertilizante, dando especial relevancia a la siembra directa de arroz utilizada en Venezuela y comparando el manejo del arroz de secano con el sistema de arroz inundado y batido.

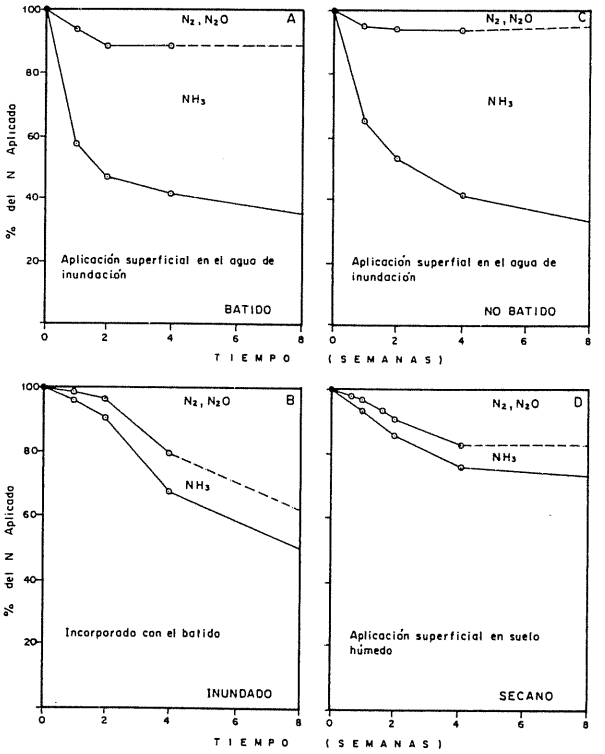
Antes de la incubación, los suelos fueron preincubados bajo diferentes contenidos de humedad. Las condiciones para la preincubación e incubación se muestran en el Cuadro 1.

Los suelos fueron preincubados por un período de 21 días; luego, se aplicó el fertilizante en forma superficial, manteniéndose así durante la incubación en los tratamientos A, C y D, mientras que en el tratamiento B el fertilizante fue mezclado con el suelo dos días después de la fertilización. La incubación se mantuvo durante 56 días.

Tanto en la preincubación como en la incubación, en los tratamientos inundados, a cada recipiente se le añadieron 150 ml de agua, lográndose de esta manera una lámina de 1 cm. El resto de los suelos se mantuvieron saturados mediante la adición de 75 ml de agua. El agua fue añadida cada dos días para compensar pérdidas por evaporación. En los tratamientos no inundados la humedad no bajó de capacidad de campo (36% p/p). En la cámara de incubación, las condiciones fueron: 30°C y bajo nivel de luz (3 $\mu mol/m^2 . s$).

El suelo fue fertilizado con urea granulada (2.38 mm de diámetro) en dosis de 100 mg N/kg de suelo, requiriéndose dos gránulos/recipiente. La urea utilizada contenía 45.21% de N y estaba marcada con 4.834% de átomos en exceso de ^{15}N.

Después de la fertilización, los recipientes fueron colocados en 12 cámaras de volatilización, con circulación de aire forzado, conectadas con trampas de ácido sulfúrico 0.1 N, según modelo descrito por Vlek y Craswell (21). Cada cámara contenía cuatro recipientes, es decir, una repetición de un tratamiento para ser muestreados después de 1, 2, 4 y 8 semanas, respectivamente.



Fi. 2. Fracciones del N aplicado que permanecen en el suelo y pérdidas debidas probablemente a volatilización del amoníaco y desnitrificación a través del tiempo.

Las cámaras de volatilización fueron distribuidas al azar en la cámara de crecimiento y se le inyectó aire humedecido a una tasa de 20 litros/minuto

Las trampas de 500 ml de H_2SO_4 1N fueron reemplazadas a los 3, 7, 10, 14 y 28 días de la incubación El ácido sulfúrico de las trampas ácidas fue analizado por destilación y titulación, seguido por análisis en espectrómetro de Masas (3)

El suelo contenido en cada recipiente (proveniente de los muestreos realizados después de 1, 2, 4 y 8 semanas de incubación), fue mezclado cuidadosamente y conservando su humedad se tomó una submuestra en la cual se determinó el N total y ^{15}N (3). En otra submuestra de 50 g, se hizo una extracción con 150 ml de KCl 2M + acetato fenil mercúrico y en el extracto se analizó el nitrógeno ureico (N-urea), nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH4^+$) y nitrógeno nítrico + nitroso ($N\text{-}NO_3^- + N\text{-}NO_2^-$) (18, 19)

Además, se analizó una muestra testigo para tiempo cero, encontrándose una recuperación de 101% del ^{15}N aplicado

RESULTADOS Y DISCUSION

La volatilización del amoníaco en los cuatro sistemas de manejo se presenta en la Fig 1, en la cual se aprecia una considerable pérdida de amoníaco (hasta 45% del N aplicado) en los suelos donde el fertilizante se aplica en la superficie, independiente de si los suelos habían sido previamente inundados (tratamiento A) o si se inundaron y batieron durante la preincubación. Es interesante observar que la mayor parte del amoníaco se perdió durante las dos primeras semanas. Por otra parte, en aquellos suelos a los cuales se aplicó urea al suelo que había permanecido entre capacidad de campo y saturación, las pérdidas de amoníaco sólo alcanzaron al 10% , en tanto, en los suelos en los cuales se mantuvieron esas condiciones de humedad (tratamiento D) como en aquéllos que fueron inundados después de la fertilización (tratamiento B). Estas diferencias pueden ser atribuidas a los niveles de N amoniacal en el agua de inundación que se producen después de la aplicación de la urea (20)

La recuperación del ^{15}N en el suelo y en las trampas ácidas se muestra en la Fig. 2, para los tratamientos (A-D).

Debido a que estos estudios fueron conducidos en recipientes de fondo cerrado no hubo lixiviación, por lo cual las pérdidas de ^{15}N desde el suelo se atribuyen a la volatilización de amoníaco y a la desnitrificación

Las pérdidas totales en los suelos inundados con aplicaciones superficiales de urea (tratamiento A y C) fueron rápidas y se debieron principalmente a la volatilización del amoníaco (Fig. 1)

La fracción de nitrógeno no determinada, presumiblemente resultante de la desnitrificación, alcanzó un 12% (tratamiento A) y 7% (tratamiento C), no habiéndose observado pérdidas por este concepto, a partir de la segunda semana.

Después de la hidrólisis de la urea, parte del nitrógeno amoniacal permanece en la superficie (22) Las condiciones de oxidación desarrolladas en los primeros milímetros de la superficie del suelo, pueden haber inducido la nitrificación. Posteriormente, este NO_3 se difundió al estrato de suelo donde predominan condiciones de reducción sirviendo de sustrato para desnitrificación, tal como lo señalan Reddy *et al* (15).

Cuadro 2. Diferentes formas de N inorgánico (mg N/kg suelo) extraídos con KCl 2N, en diferentes etapas, durante el período de incubación.

Sistema de manejo	Tiempo (días)											
	7			14			28			56		
	Urea	NH_4^+	$NO_3^- + NO_2^-$	Urea	NH_4^+	$NO_3^- + NO_2^-$	Urea	NH_4^+	$NO_3^- + NO_2^-$	Urea	NH_4^+	$NO_3^- + NO_2^-$
	(ppm)											
A	8.2	111	0.0	0	76	0.5	0	75	0.0	0	52.0	3.8
B	5.7	123	0.0	0	112	0.5	0	92	1.0	0	56.0	6.2
C	5.4	107	0.0	0	91	0.2	0	69	0.0	0	57.0	3.5
D	4.9	116	10.1	0	90	18.5	0	76	10.0	0	8.6	150.0

a Ver Cuadro 1 para la descripción de los sistemas de manejo.

La incorporación de la urea antes de inundación y batido (tratamiento B), causó una pérdida total del 50% del N ureico aplicado. Sin embargo, con este sistema de manejo, las pérdidas de amoníaco por volatilización fueron de menor importancia, contribuyendo en un 12% al final de las ocho semanas.

En este caso, las condiciones iniciales del suelo (aeróbicas), fueron favorables para que ocurriera la nitrificación después de la aplicación e hidrólisis de la urea; sin embargo, las pérdidas por desnitrificación sólo alcanzaron un 2% del N aplicado por semana, en las dos primeras semanas. Esto se explica por los bajos niveles de $NO_2^- + NO_3^-$ encontrados en los extractos de suelo: 0 ppm en la primera y 0.5 ppm en la segunda semana (Cuadro 2). La tasa inicial de desnitrificación aumentó después de la fase inicial de retardo de dos semanas y los niveles de $NO_3^- + NO_2^-$ permanecieron casi constantes hasta la cuarta semana. Estos resultados coinciden con los de Reddy *et al.* (15), quienes encontraron una fase inicial de retardo de 10 días en un sistema de manejo similar.

Con relación al tratamiento D, el cual posee condiciones que se aproximan al sistema de siembra directa (en el cual se evita la inundación durante todo el ciclo, aunque los suelos permanecen saturados), se observa que las pérdidas de amoníaco sólo alcanzaron a 10% del N aplicado. Pérdidas por volatilización de esta magnitud coinciden con las encontradas por Bouwmeester *et al.* (2) en estudios hechos con túneles de viento y en los cuales la aplicación de urea fue seguida por frecuentes lluvias ligeras.

Las pérdidas por desnitrificación fueron estimadas en 19% hasta la cuarta semana, cuando se estabilizaron (Fig. 2D). La nitrificación ocurrió en forma lenta durante las primeras cuatro semanas, pero, a partir de allí, se aceleraron (Cuadro 2). Aparentemente, la suplencia del sustrato para la desnitrificación fue adecuada durante todo el experimento, ocurriendo paralelamente con la nitrificación durante el primer mes, debido, posiblemente, a la presencia de microporos con condiciones reducidas, según lo explican Flühler *et al.* (8).

CONCLUSIONES

De los cuatro sistemas de manejo agua/fertilizante más utilizados por los agricultores en América Latina para el cultivo del arroz en siembra directa, los tres primeros sistemas que involucran inundación conducen a pérdidas considerables.

Si los agricultores preparan el terreno mediante el batido para evitar la percolación (tratamiento A) y aplican la urea superficialmente sobre el terreno inundado (después del establecimiento de las semillas), probablemente ocurrirán pérdidas considerables de amoníaco las cuales alcanzarán hasta el 50%.

De acuerdo con trabajos previos conducidos por el IFDC en Alabama, EE.UU. y en otras partes del mundo, estas pérdidas pueden reducirse mediante la incorporación de la urea (20), práctica comúnmente recomendada para el arroz de transplante.

Donde no se practica el batido, bien porque no hay pérdidas por percolación o debido a la carencia de implementos para realizarlo (tratamiento C), las pérdidas de amoníaco son similares en magnitud a las pérdidas con el tratamiento A. En ambos sistemas, las pérdidas por desnitrificación son reducidas (10%).

Si los agricultores incorporan la urea durante la preparación del terreno y siembran luego en suelo batido (tratamiento B), se reducen las pérdidas de amoníaco, aunque las pérdidas debido a la desnitrificación pueden compensar en gran proporción la ganancia anterior.

Desde el punto de vista de la pérdida de nitrógeno, el sistema de manejo más conservativo es el cultivo de secano.

En áreas en donde se cultiva el arroz de secano, la precipitación debe ser lo suficientemente confiable para asegurar el lavado de la urea en el suelo y así protegerla de la volatilización de amoníaco (2). Por otra parte, la limitada anaerobiosis puede restringir las pérdidas de N_2 y N_2O. Lamentablemente, este sistema de manejo es el que produce los rendimientos más bajos.

Es conveniente señalar que los estudios que se describen en este artículo, no incluyen plantas, es decir, no hubo consumo del N aplicado. Con mucha probabilidad, este método conduce a una sobreestimación de la magnitud de las pérdidas de nitrógeno, especialmente las debidas a la desnitrificación (7).

Los resultados obtenidos parecen justificar futuras investigaciones para diseñar un sistema de manejo agua-fertilizante, para el arroz de siembra directa, con una mejor conservación del N aplicado. Algunas de las opciones que podrían ser exploradas son las siguientes:

1. Colocación profunda de la urea en bandas inmediatamente antes de inundar y sembrar.

2. Completa incorporación de la urea en suelo batido antes de la siembra.

3 Incorporación profunda de la urea en suelo batido antes de la siembra.

4. Incorporación en la urea de un inhibidor de la nitrificación para el sistema B.

5 Incorporación de un inhibidor de la ureasa, para los sistemas A y C.

En relación con las dos últimas porciones, los inhibidores deberán probarse para determinar si su incorporación, como aditivos de los fertilizantes, resulta económica.

LITERATURA CITADA

1 AOMINE, S. 1979. Movement of ammonium in paddy soils in Taiwan. Soil Science and Plant Nutrition 24:571-580.

2. BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. 1984. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea fertilized soil. Soil Science Society of America Journal 49:376-381.

3. BURESH, J.J.; AUSTIN, E.R.; CRASWELL, E.T. 1982. Analytical methods in ^{15}N research. Fert. Res. 3:37-62.

4. CRASWELL, E.T.; VLEK, P.L.G. 1983. Fate of fertilizer nitrogen applied to wetland rice. In Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Developments in plant and soil sciences. Ed. by J.R. Freney, J.R. Simpson. The Hague, Netherlands. Martinus Nyhoff/Dr. W. Junk.

5. DE DATTA, S.K.; KERIM, M.S.A.A.A. 1974. Water and nitrogen economy of rainfed rice as affected by soil puddling. Soil Science Society of America Proceedings 38:515-518.

6. FILLERY, I.R.P.; SIMPSON, J.R.; DE DATA, S.K. 1984. Influence of field environment and fertilizer management on amomonia loss from flooded rice. Soil Science Society of America Journal 48:914-920.

7. FILLERY, I.R.P.; VLEK, P.L.G. 1982. The significance of denitrification of applied nitrogen in fallow and cropped rice soils under different flooding regimes. Plant and Soil 65:153-169.

8. FLUHLER, H.; STOLZY, L.H.; ARDAKANI, M.S. 1976. A statistical aproach to define soil aeration in respect to denitrification. Soil Science 122:115-123.

9. GREENWOOD, D.J. 1963. Nitrogen transformations and the distribution of oxygen in soil. Chemistry and Industry 799-802.

10. INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. 1981. Venezuela fertilizer supply strategy, 1981-1990. Muscle Shoals, Alabama. v. 3.

11. PALMAVEN. 1982. Los fertilizantes en Venezuela. Uso y manejo de fertilizantes en función de su máxima eficiencia. Taller de Trabajo. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo.

12. PATRICK JUNIOR, W.H.; DELAUNE, R.D.; PETERSON, F.J. 1974. Nitrogen utilization by rice using ^{15}N-depleted ammonium sulfate. Agronomy Journal 66:819-820.

13. PATRICK JUNIOR, W.H.; REDDY, K.R. 1976. Fate of fertilizer nitrogen in a flooded rice soil. Soil Science Society of American Journal 40:678-681.

14 REDDY, K.R.; PATRICK, W.H.; PHILLIPS, R.E. 1976. Ammonium diffusion as a factor in nitrogen loss from flooded soils. Soil Science Society of American Journal 40:528-533.

15. REDDY, K.R.; PATRICK JUNIOR, W.H. 1976. Yield and nitrogen utilization by rice as affected by method and time of application of labelled nitrogen. Agronomy Journal 68:965-969.

16. REDDY, K.R.; PATRICK JUNIOR, W.H. 1978. Utilization of labelled urea and ammonium sulfate by lowland rice. Agronomy Journal 70:465-467.

17. SANCHEZ, P.A.; GAVIDIA, A.O.; RAMIREZ, G.E.; VERGARA, R.; MINGUILLO, F. 1973. Performance of sulfur-coated urea under intermittently flooded rice culture in Peru. Soil Science Society of America Proceedings 37:789-792.

18. TECHNICON. 1974. Urea nitrogen Technicon method no. 40001 FD4. New York. Technicon, Tarrytown.

19. TECHNICON. 1973. Ammonia in water and waste water. Technicon Industrial method no. 98-70W. New York. Technicon, Tarrytown.

20. VLEK, P.L.G.; CRASWELL, E.T. 1981. Ammonia volatilization from flooded soils. Fertilization Research 2:247-259.

21. VLEK, P.L.G.; CRASWELL, E.T. 1979. Effect of nitrogen source and management on ammonia volatilization losses from flooded rice-soil systems. Soil Science Society of American Journal 43:352-358.

22. VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M.; BYRNES, B.H. 1980. Urease activity and inhibition in flooded soil systems. Fertilization Research 1:191-202.