

FACTORES ECOLOGICOS ASOCIADOS A LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LOS ARROZALES Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCCION

Carlos BONETTO y Arturo CARCAÑO

SUMMARY: Ecological factors related to the nitrogen fertilization in oricefields and its influence on rice yield.

This paper compares the effect of the time and form of nitrogen application upon rice yield. A discussion about the influence of the physical and chemical characteristics of the water on denitrification and ammonia volatilization is included.

The highest yield was obtained when fertilization was coincident with the tillering and panicle differentiation, lower when it was coincident with the sown and panicle differentiation, and lowest in the control without fertilization.

Inorganic nitrogen concentrations in the water were high if the fertilization was coincident with the sown and tillering while it was low at the panicle formation, similar to that recorded in unfertilized plots.

It was concluded that the lower production in the sown fertilization was due to high nitrogen losses favoured by high water temperatures and inorganic nitrogen concentrations.

INTRODUCCION

El ciclo del nitrógeno presenta en el cultivo del arroz una complejidad distintiva respecto de otros cultivos, en razón de las especiales características físicas y químicas que se desarrollan en el suelo en respuesta al anegamiento. La fertilización con nitrógeno plantea, por tal motivo, dificultades diferenciales. En el agua de inundación y en el estrato superficial del suelo inundado, el oxígeno no es limitante y predomina el proceso de nitrificación. Cualquier forma de nitrógeno presente o agregada a este estrato tiende a ser biológicamente oxidada a nitrato. A pocos centímetros de profundidad, el suelo deviene rápidamente anóxico. La difusión y el arrastre con el agua de riego mantienen un flujo de nitrato hacia el estrato anóxico. En estas condiciones, se favorece el proceso de denitrificación que conlleva a la transformación de nitrato en nitrógeno molecular, resultando en una pérdida neta para el sistema (Tunseem and Patrick, 1971; Yoshida y Padre, 1974; De Datta *et al.* 1974).

Según Ponamperuma (1977), tanto el nitrato nativo como el agregado al suelo desaparecen en unos pocos días después del anegamiento, estimando normal una pérdida que oscilaría entre los 10 y 78 kg. N nativo/hectárea según el tipo de suelo. Minzoni *et al.* (1988) destacan que las pérdidas

* Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Limnología Dr. Raul Ringuelet - C.C. 712 - (1900) La Plata.

** Investigador de la Sección Mejoramiento Genético de Arroz de la Estación Experimental Agropecuaria Corrientes (E.E.A.) del Instituto Nacional de Tecnología (INTA). C.C. 57 (3400) Corrientes.

ECOSUR	Argentina	ISSN 0325-108X	v. 14/15	n. 25/26	págs. 81-92	1987/8
--------	-----------	-------------------	----------	----------	----------------	--------

por desnitrificación son importantes desde el punto de vista económico, pudiendo representar hasta un 80% del nitrógeno agregado en la fertilización.

Existen también otras pérdidas, tales como la volatilización del amonio y la percolación, cuya importancia relativa dependerá de las condiciones imperantes en cada suelo en particular. En cultivos experimentales Humphreys *et al.* (1988) evaluaron pérdidas por volatilización del amonio de hasta un 20% de la urea aplicada como fertilizante.

En su recopilación sobre la transformación del nitrógeno en el cultivo de arroz, Savant y De Datta (1982) destacan que la enorme mayoría de los trabajos sobre el tema fueron realizados incubando muestras en el laboratorio y resaltan la necesidad de incentivar los estudios en parcelas experimentales.

El objetivo del presente trabajo es comparar en condiciones de campo, el efecto de la forma y momento de aplicación de nitrógeno sobre el rendimiento; evaluar los resultados en función de los procesos dominantes como así también estudiar la influencia de las condiciones físicas y químicas del agua en la eficiencia de la fertilización.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria-INTA-Corrientes, en la campaña agrícola 1986/87. El suelo corresponde a un molisol (argiaquol) con un pH de 6,2 y 1,84% de materia orgánica. La textura del horizonte superficial es franco arenosa y su contenido de fósforo asimilable de 7 ppm. (Bray).

La variedad de arroz utilizada fue Lemont: un arroz de tipo moderno, baja estatura, resistente al vuelco, alta calidad de grano, buena respuesta a la fertilización y de ciclo precoz (120-125 días). La densidad de siembra fue de 130 kg./ha.

El agua para riego se obtuvo de una perforación y su manejo se caracterizó por un período de retiro y secado del suelo, de una duración aproximada de una semana. El secado se produjo entre el macollamiento y la iniciación del primordio floral. Se destinó para el ensayo una parcela rectangular de 30 X 50 m. (1500 m²), subdividida en 5 partes de 10 X 30 m., donde se localizaron los distintos tratamientos. Los mismos no estaban separados por taipas. El agua ingresaba del canal de riego al testigo, al que atravesaba para acceder sucesivamente a cada tratamiento en forma secuencial. En la tabla 1, se consignan los distintos tratamientos. El testigo (T), no fue fertilizado con nitrógeno. Los cuatro restantes recibieron 50 kg. N/ha., fraccionado en dos dosis iguales.

El fertilizante empleado fue fosfato diamónico para las aplicaciones de base y urea para las aplicaciones de cobertura. Todos los tratamientos fueron fertilizados con el equivalente a 40 kg. P₂ O₅/ha. La siembra se efectuó el 25 de noviembre de 1986 y el 4 de diciembre el arroz tuvo total

TABLA 1
Resumen de los distintos tratamientos en el ensayo de producción

Tratamiento	Denominación en el texto	Momento de la fertilización	Forma de aplicación
Testigo	T ₀	Sin fertilizar	---
1	T ₁	Siembra y DPF*	<i>Siembra:</i> incorporado <i>DPF:</i> Superficie, al voleo
2	T ₂	Siembra y DPF	<i>Siembra:</i> incorporado <i>DPF:</i> incorporado
3	T ₃	Macollamiento y DPF	Superficie, al voleo
4	T ₄	Macollamiento y DPF	Incorporado

*DPF: Diferenciación del primordio floral.

emergencia. El control de malezas se hizo por medios químicos y manuales. El riego se inició el 22 de diciembre, a los 18 días de la emergencia. La fertilización en coincidencia con el macollamiento activo, se llevó a cabo el 5 de enero de 1987 y la coincidente con la diferenciación del primordio floral (D.P.F.) el 22 de enero. La cosecha se realizó el 30 de Marzo.

En el momento de la cosecha se tomaron 15 muestras por tratamiento de 1 m² cada una. El procedimiento fue el siguiente: sobre una cuerda se fijaron posiciones al azar, luego ésta se tendió en diagonal sobre las parcelas y en cada posición se cosechó la biomasa del interior de un marco cuadrado de 1 m. de lado. En cada muestra se determinó el rendimiento en grano, número de panojas por metro cuadrado, número de granos por panoja, porcentaje de granos llenos y peso de mil granos. La evaluación de los tratamientos se realizó por comparación de medias según el test de Student (Sokal y Rolf, 1982).

Se determinó la concentración de nitrato, nitrito y amonio en el agua de inundación. Se incluye, además, determinaciones de temperatura, pH, oxígeno disuelto, nitrato, nitrito y amonio, en parcelas sin fertilizar, regadas con agua de perforación y del río Paraná realizadas en la campaña 1982/83. La temperatura se midió con termómetro convencional y el pH con un potenciómetro ORION 407. El oxígeno disuelto se determinó por el método de Winkler (APHA, 1980). La concentración de nitrato se estimó por reducción a nitrito en columna de cadmio (APHA, 1980) la de ni-

trito se determinó por colorimetría (APHA, 1980) y la de amonio por el método de Nessler (APHA, 1980).

RESULTADOS

En la Tabla 2 se resumen las determinaciones realizadas en 1982/83, en el agua de inundación de parcelas sin fertilizar.

La temperatura registró valores más elevados (36-37 °C., a media tarde), al principio del período de inundación, cuando las plantas de arroz eran pequeñas, disminuyendo (20-25 °C.) a medida que el cultivo sombrea la superficie.

La concentración de oxígeno disuelto osciló generalmente en un rango comprendido entre 3 y 6 mg./l. representando entre un 36 y 76% de saturación. Excepcionalmente se registró una concentración de solo 1 mg./l. (13% de saturación). En ningún caso se observaron condiciones de anoxia.

El pH varió según el origen del agua, en arrozales regados con agua del río Paraná el pH resultó ligeramente ácido, (6,3-7). Por el contrario, en los regados con agua de perforación resultó alcalino (7,4-8,3).

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico en el agua de inundación de parcelas sin fertilizar resultaron bajas, registrándose valores medios de 43: 93 y 1,5 $\mu\text{g N/l.}$ de nitrato, amonio y nitrito, respectivamente. Las concentraciones de nitrato resultaron mayores en los primeros días de iniciado el riego con valores máximos de 130 $\mu\text{g N/l.}$, para decaer poste-

TABLA 2

Rango de variación, valor medio, número de observaciones (N) y desviación estandard (D.E.) de algunos parámetros físicos y químicos del agua de inundación, determinados en 1982/83, en parcelas sin fertilizar, en la Estación Experimental Agropecuaria Corrientes del I.N.T.A.

Determinación	Rango	Media	N	D.E.
Temperatura (°C)	17 - 37	26	35	4,6
Oxígeno disuelto (mg/l.)	1 - 8	3	39	1,6
pH parcelas regadas con agua de:				
- Perforación	7,4 - 8,3	7,8	14	0,34
- Río Paraná	6,3 - 7	6,7	25	0,28
Nitrato ($\mu\text{g N/l.}$)	n.d. - 130	43	20	27,4
Nitrito ($\mu\text{g N/l.}$)	n.d. - 6	1,4	18	1,3
Amonio ($\mu\text{g N/l.}$)	20 - 280	93	18	65

riormente a valores bastante constantes, entre 40 y 60 $\mu\text{g N/l}$. Las concentraciones de amonio resultaron también, comparativamente elevadas al comienzo del período de anegamiento (280 $\mu\text{g N/l}$.) con tendencia a decrecer posteriormente (20-140 $\mu\text{g N/l}$.).

En la Tabla 3, se consignan las concentraciones de nitrato y amonio en el agua de inundación del ensayo. Las determinaciones efectuadas inmediatamente después de iniciado el riego con posterioridad a la fertilización de base, muestran elevadas concentraciones de nitrato, de uno y hasta dos órdenes de magnitud (2250 $\mu\text{g N/l}$.) superiores a las observadas en parcelas sin fertilizar de la campaña 1982/83 (Tabla 2). Las concentraciones de nitratos resultaron muy superiores a las de amonio.

Al reiniciarse el riego, después de la fertilización coincidente con el macollamiento, las concentraciones de amonio en el agua resultaron más elevadas que las de nitrato alcanzando la máxima concentración (1060 $\mu\text{g N/l}$.) tres días después, para decaer la semana posterior. Las concentraciones de nitratos resultaron máximas al día siguiente de la inundación, decreciendo luego rápidamente.

Luego de la fertilización coincidente con la D.P.F., tanto las concentraciones de nitratos como las de amonio resultaron bajas, del mismo orden de magnitud a las características de parcelas sin fertilizar.

La concentración de nitrógeno inorgánico (N - nitrato más N- amonio) resultó máxima cuando la fertilización coincidió con la siembra (1605 $\mu\text{g N/l}$.), menor cuando coincidió con el macollamiento (1193 $\mu\text{g N/l}$.) y mínima cuando coincidió con la D.P.F. (120 $\mu\text{g N/l}$.).

En la Tabla 4, se consignan los factores que componen la producción de grano obtenida en cada tratamiento. Como puede observarse, la producción en el testigo (4700 kg./ha.) resultó inferior al de todos los demás tratamientos, mientras que los fertilizados mostraron una secuencia creciente, desde un mínimo de 8500 en T_1 , 9279 en T_2 , 9940 en T_4 para alcanzar un máximo de 10580 kg./ha. en T_3 . Todas las diferencias son significativas para $p < 0,1$. En cambio para un nivel de significación de $p < 0,05$; T_1 no difiere de T_2 y es menor que T_3 y T_4 , que no difieren entre sí. Las diferencias en el rendimiento se deben al número de granos por panoja. La diferencia entre T_1 y T_2 para éste componente del rendimiento no resultó significativa, tampoco la diferencia entre T_3 y T_4 . Los tratamientos 3 y 4 presentaron mayor cantidad de granos por panoja que los tratamientos 1 y 2. El porcentaje de granos llenos fue elevado en todos los tratamientos, resultando máximo en el testigo y mínimo en T_1 . El peso de 1000 granos resultó menor en T_1 , y constante en los demás. El número de panojas por metro cuadrado resultó menor en el testigo, mientras que los tratamientos fertilizados mostraron un número de panojas semejante; T_1 , T_2 y T_3 no fueron diferentes estadísticamente; tampoco mostraron diferencias los tratamientos T_1 , T_3 y T_4 .

TABLA 3
Concentración de amonio y nitrato en el agua de inundación del ensayo de producción. Todas las cantidades están expresadas en $\mu\text{g N/l}$.

Fecha		Concentración de NO_3 y NH_3 en cada tratamiento				
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
25 Nov. Siembra. Fertilización T ₁ y T ₂						
22 Dic. Comenzó el Riego						
23 Dic.	NNO_3	176	650	486	2250	840
	NNH_4	53	260	285	355	435
3 Enero. Retiro y secado.						
5 Enero. Macollamiento. Fertilización T ₃ y T ₄						
6 Enero. Se reinició el Riego						
7 Enero	NNO_3	--	258	211	269	247
	NNH_4	--	90	280	605	640
9 Enero	NNO_3	96	78	133	82	40
	NNH_4	75	94	1060	690	290
13 Enero	NNO_3	10	32	88	40	20
	NNH_3	343	514	75	52	37
16 Enero. Retiro y Secado.						
22 Enero. DPF*. Fertilización T ₁ - T ₂ - T ₃ y T ₄						
23 Enero. Se reinició el Riego.						
27 Enero	NNO_3		10	10	15	10
	NNH_4		110	35	60	100
30 Enero	NNO_3	70	8	5	10	13
	NNH_3	40	20	20	30	70

* DPF = Diferenciación del primordio floral.

TABLA 4

Valor medio y desviación estandar, entre paréntesis, de los componentes de la producción en cada tratamiento. Tratamientos con igual subíndice no difieren significativamente ($p < 0.05$). Tratamientos con asterisco difieren con $p < 0.1$. (Test de Student, Sokal y Rolf, 1980).

Determinación	Tratamientos				
	T	1	2	3	4
Número de panojas/m ²	238 (78)	317 (38)ab	320 (33)a	314 (37)ab	295 (31)b
Número de granos/panoja	88 (20)	139 (30)*ac	130 (21)a	154 (16)*bc	157 (15)b
Porcentaje de granos llenos	94 (1,8)	82 (6,7)	87 (4,6)a	90 (4,1)*b	87 (6,3)*ab
Peso seco de 1000 granos (g)	23 (2,9)a	20 (2,4)	22 (2,3)a	22 (1,7)a	22 (2,7)a
Rendimiento (Ton./ha)	4,3 (1,7)	8,5 (1,2)a	9,3 (1,5)*ac	10,6 (1,3)b	9,9 (1,1)*bc

DISCUSION

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la importancia del momento de la fertilización en la producción de arroz y la conveniencia de su aplicación fraccionada.

Los tratamientos que recibieron la primer dosis en coincidencia con el macollamiento tuvieron una mayor producción que aquellos que la recibieron con la siembra. Estos resultados son coincidentes con los de Carcaño, *et al.* (1983); Bin Mustafá *et al.* (1983); Golterman, *et al.* (1988); De Datta *et al.* (1988), quienes obtuvieron mejores rendimientos demorando y fraccionando la aplicación del fertilizante, que al aplicar cantidades mayores junto con la siembra.

La aplicación temprana del fertilizante se produce cuando la planta de arroz no está en condiciones de asimilarlo y las condiciones del ambiente favorecen los procesos de pérdida.

Watanabe y Mitsui (1979) evaluaron diversas prácticas de manejo tendientes a minimizar las pérdidas, obteniendo resultados promisorios al fertilizar incorporando la urea en profundidad en el momento de la diferenciación del primordio floral. Trabajos posteriores tienden a confirmar esta observación, O'Brien *et al.* (1985 a); O'Brien *et al.* (1985 b); Nogami (1986); Takasaka (1986); Yamauchi, (1986); Singh and Singh (1986); O'Brien *et al.* (1987); Savant, (1988).

En el presente ensayo no se observaron diferencias en la producción entre tratamientos con el fertilizante incorporado respecto del aplicado sobre la superficie del suelo. Resta señalar, no obstante, que la incorporación se realizó manualmente a una profundidad menor a la deseada por no disponer del instrumento de labranza adecuado.

Las elevadas concentraciones de nitrógeno inorgánico en el agua y su rápida desaparición en los días siguientes al inicio del riego, con posterioridad a la fertilización de base y a la del macollamiento (Tabla 3), son indicativas de la ocurrencia de activos procesos de nitrificación y denitrificación. En las determinaciones realizadas al iniciarse el riego, casi un mes después de la fertilización de base, las concentraciones de nitrato en el agua resultaron superiores a las de amonio (Tabla 3) sugiriendo que el fosfato diamónico fue nitrificado en el suelo, en el período previo a la inundación. Por el contrario, cuando se reinició el riego inmediatamente después de la fertilización con urea en el macollamiento, las concentraciones de amonio en el agua resultaron superiores a las de nitrato, debido a la rápida hidrólisis de la urea. No obstante, tanto las concentraciones de nitrato como las de amonio resultaron bajas una semana después, señalando la ocurrencia simultánea de nitrificación y denitrificación. Las concentraciones de oxígeno disuelto (Tabla 2), son demostrativas de que el agua de inundación y la superficie del suelo representan un estrato permanentemente oxidante, condicionando el predominio de la nitrificación. El perfil del suelo representa un estrato permanentemente reducido (Podlejsky *et al.* 1978), condicionando el predominio de la denitrificación.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico reflejan no sólo la difusión desde el suelo y su posterior transformación, sino también, el movimiento del agua de un tratamiento a otro, dado que los mismos no fueron separados por taipas. Por este motivo la máxima concentración de NO_3 se midió sobre un tratamiento sin fertilizar y las concentraciones de nitrógeno inorgánico en el testigo del presente ensayo (Tabla 3), resultaron, en ocasiones, superiores a las características de cultivos sin fertilizar (Tabla 2).

Como las bacterias denitrificantes son en su mayoría heterótrofas (Payne, 1981), la cantidad de materia orgánica soluble presente en el suelo determina, en gran medida, su potencial denitrificador (Savant y De Datta, 1982; Golterman et al. 1988). La concentración de sustrato, el potencial redox, la temperatura y la propia actividad de la rizosfera resultan también determinantes (Savant y De Datta, 1982). Como se indicó en la sección anterior, en cultivos sin fertilizar, la concentración de nitrato y amonio en el agua tiende a ser mayor al iniciarse el período de anegamiento. Esta característica se debe a la descomposición y posterior amonificación de la materia orgánica soluble, produciéndose simultáneamente un aumento de la concentración de compuestos de carbono de bajo peso molecular. Cuando se inicia el riego se dan las condiciones óptimas para la denitrificación: máximas temperaturas y máximas concentraciones de nitrógeno inorgánico y de materia orgánica. Si el fertilizante ha sido aplicado con la siembra va a ser denitrificado en los días posteriores al anegamiento. Al retrasar la fertilización se consigue que el arroz crezca al principio a expensas del nitrógeno nativo del suelo, que disminuya la materia orgánica del mismo y la temperatura del agua, limitando las pérdidas.

En Corrientes es una práctica difundida secar el campo al inicio del período de crecimiento. Este manejo favorece la destrucción de materia orgánica y la disponibilidad de nitrógeno nativo y disminuye la denitrificación del fertilizante si este es aplicado con posterioridad. La máxima eficiencia se obtiene cuando la fertilización se implementa en coincidencia con el máximo requerimiento fisiológico de la planta, el macollamiento y la diferenciación del primordio floral (Evatt, 1964 ; Ishizuka, 1971). Cuando la aplicación de urea se realizó en coincidencia con la iniciación del primordio floral, las concentraciones de nitrógeno inorgánico en el agua fueron mínimas (Tabla 3), sugiriendo menores pérdidas y, consecuentemente, un mejor aprovechamiento por el cultivo.

La actividad denitrificadora de la rizosfera es mayor al inicio del crecimiento (García, 1977, citado por Savant y De Datta, 1982). Esta característica contribuye también a explicar la ventaja de retrasar el momento de la fertilización.

Las pérdidas por volatilización del amonio dependen, entre otros factores, del pH, la temperatura, la concentración de amonio en el agua y el movimiento del aire en superficie (De Datta, 1986). Savant y De Datta (1982) señalan que la volatilización aumenta con la temperatura y el pH, siendo de escasa relevancia por debajo de 7, para aumentar rápidamente por encima de ese valor. El pH del agua está relacionado con el origen de

la misma (Tabla 2) y con el desarrollo de algas, cuya actividad fotosintética lo aumenta por fijación del dióxido de carbono disuelto. El desarrollo de algas es escaso en cultivos sin fertilizar pero se estimula en cultivos fertilizados con anterioridad a la inundación (Bonetto *et al.* 1985). La excesiva proliferación de algas aumenta las pérdidas no solo por el aumento del pH sino también porque compiten con el cultivo por la asimilación del nitrógeno disponible. La temperatura, el pH, la densidad de algas y el movimiento del aire en la interfase son mayores al inicio del período de crecimiento y disminuyen a medida que el arroz crece y protege la superficie. En los arrozales de Corrientes, caracterizados por las elevadas temperaturas y pH alcalino en el agua de perforación o elevado por actividad fotosintética en el agua de río, la volatilización producirá importantes pérdidas si la fertilización se produce con la siembra.

También resulta de interés señalar el efecto que posee el momento de la fertilización sobre la fijación biológica de nitrógeno. App *et al.* (1983), sostienen que la fertilidad de los arrozales es mantenida gracias al proceso de fijación biológica. En presencia de nitrógeno inorgánico resulta termodinámicamente más ventajoso la asimilación del medio que la fijación del nitrógeno atmosférico. La fertilización temprana resulta así inhibitoria de la fijación. En Corrientes se observó una baja biomasa de algas en parcelas sin fertilizar. De ellas, las cianofitas representaban el grupo minoritario (Bonetto *et al.* 1985). No obstante, en parcelas fertilizadas con fósforo, pero sin nitrógeno, se inducen condiciones que favorecen selectivamente el desarrollo de las especies fijadoras, observándose densas matas de cianofitas con heterocistos. Aún cuando la significación agronómica de este aporte es materia de controversia, resulta aconsejable demorar la fertilización con N para evitar pérdidas y, simultáneamente, favorecer la fijación biológica.

CONCLUSIONES

1. La mayor eficiencia en la fertilización se obtiene con la aplicación fraccionada en coincidencia con el macollamiento y la diferenciación del primordio floral.
2. La fertilización de base debe evitarse porque las condiciones que determinan las pérdidas de nitrógeno son máximas al inicio del cultivo.
3. No se obtuvieron diferencias entre las formas de aplicación en superficie y al voleo versus incorporación profunda. La falta de respuesta pudo deberse a la insuficiente profundidad de incorporación. Estudios posteriores, que se publicaran por separado, sugieren mejor respuesta cuando la urea es incorporada al suelo.

AGRADECIMIENTOS

A la Ing. Liftchit, (Facultad de Ciencias Agrarias, Corrientes –UNNE–), por las determinaciones de materia orgánica, textura, fósforo (Bray) y pH del suelo.

Al personal del CECOAL: Ramos, C.; Meabe, T.; Cáceres, J.; Benetti, L.; Solari, M. y Felker, L. y del INTA-E.E.A. CTES.: Lezcano, R.; Bizarro, A.; Meza, O.; Serrudo, M. y Quiñonez, R. por su colaboración en los trabajos de campo, laboratorio y búsqueda bibliográfica.

BIBLIOGRAFIA

- APHA. 1980. *Standard method for the examination of water*. 15th. edition. American Public Health Association. Washington. 1134 p.
- APP, A.; WATANABE, T.; VENTURA, T.; BRAVO, M.; JURY, C. 1986. The effect of cultivated and wild rice varieties on the nitrogen balance of flooded soil. *Soil. Sci.* 14 (6): 448-452 p.
- BONETTO, C.; ZALOCAR, Y.; PIZARRO, H. y PEDROZO, F. 1985. Estudios ecológicos en campos de arroz. I: Nutrientes, fitoflora y su productividad. Reunión de comunicaciones de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, Corrientes, Diciembre 1985. (Inédito).
- BIN MUSTAFA, B.; CARCAÑO, A.; RAMANA, J.; GIRI, G.; HASSAN, M. 1983. Study on the effect of nitrogen topdressing at different growth stages on the growth and yield of rice by water culture method. The Compilation of An Experiment In Rice Plant. *Tsukuba International Agricultural Training Centre. Japán*. pp. 141-158.
- CARCAÑO, A.; RAMANA, J.; HASSAN, M.; GIRI, G.; BIN MUSTAFA, B. 1983. Study on the effect of nitrogen topdressing at different growth stages on the growth and yield of rice in lowland condition. The Compilation of An Experiment In Rice Plant. *Tsukuba International Agricultural Training Centre. Japán*. pp. 159-180.
- DE DATTA, S. 1986. *Producción de arroz. Fundamentos y prácticas*. Limusa. México, D.F. 690 p.
- DE DATTA, S. K.; SALADAGA, F. A.; OBCEMEA, W. y YOSHIDA, T. 1974. Increasing efficiency of fertilizer nitrogen in flooded tropical rice, pp. 265-288, Proc., FAI-FAO Semin. New Delhi.
- DE DATTA, S. K.; BURISH, R. J.; SAMSON, M. I. y WANG, K. R. 1988. Nitrogen use efficiency and nitrogen 15. Balances in broadcast-seeded and transplanted rice. *Soil Sc. Soc. of America Jour.* 52 (3): 849-855.
- EVATT, N. S. 1964. The timing of nitrogenous fertilizer applications on rice. The mineral nutrition of the rice plant. The Thous Hopkins Press, Baltimore, Maryland.
- GOLTERMAN, H.; BONETTO, C.; MINZONI, F. 1988. The nitrogen cycle in shallow water sediment systems of rice fields. Part III. The influence of N-application on the yield of rice. *Hydrobiología* 159: 211-217.
- HUMPHREYS, F.; FINEY, J.; MUIRHEAD, W.; DENMEAD, O.; SIMPSON, J.; LEUNING, R.; TREVITT, A.; OBCEMEA, W.; WETSFLAAR, R.; CAI, G. 1988. Loss of ammonia after application of urea at different times to dry seeded, in irrigated rice. *Fertilizer Research* 16 (1): 47-57.
- ISHIZUKA, Y. 1971. Physiology of rice plant. *Advances in agronomy*. 23: 241-315.
- MINZONI, F.; BONETTO, C.; GOLTERMAN, H. 1988. The nitrogen cycle in shallow water sediments systems of rice fields. Part I: The denitrification process. *Hidrobiología* 159: 180-202.
- NOGAMI, H. 1986. Paddy growing by deep application of fertilizer. *Kidaika Nogyo. Res. Inst. for Agric. Biol. Resources, Japán*, N° 6, 4-6.
- O'BRIEN, D. T.; IRAWAN, PRAWIRASUMANTRI, J. 1985 a. Agro-economic analysis of the potential role of urea deep placement in the Subang area of West Java, Indonesia. Special Publication, International Fertilizer Development Center. SP-6, 37-50.
- O'BRIEN, D. T.; IRAWAN, PRAWIRASUMANTRI, J. 1985 b. Economy evaluation of alternative methods of urea deep placement in rice. Special Publication, International Fertilizer Development Center. SP-6, 51-54. Centre for soil Res., Bogor Indonesia.
- O'BRIEN, D. T.; SUDJADI, M.; SRI ADININGSIH, J.; IRAWAN. 1987. Economic evaluation of deep placed urea for rice in farmers' fields a pilot area approach. Ngawi, East Java, Indonesia. En: *Efficiency of nitrogen fertilizer for rice*. Manila, Philipines; International Rice Research Institute. p. 141-159.

- PAYNE, W. 1981. *Denitrification*. Wiley. New York. pp. 205.
- PODLEJSKI, J.; PONT, D. y VAQUER, A. 1978. Caracteristiques physiques et chimiques de léau des rizieres de Camargeu. pp. 66-86. En: CNRS, *Recherches Ecologiques sur les Rizieres de Camargue*. Le Sambuc. 334 p.
- PONAMPHERUMA, F. 1977. Physicochemical properties of suberged soils in relation to fertility. *IRRI Research Paper Series*, N° 5. Manila 32 p.
- SAVANT, N. y DE DATTA. 1982. Nitrogen transformation in wetland Soils. *Advances in Agronomy*. 35: 241-303.
- SAVANT, N. K. 1988. How to use the IFDC dispenser method of hand deep placement of urea supergranules in transplanted rice. Muscle Shoals, USA: International fertilizer Development Center. 31 pp.
- SINGH, T. A.; SINGH, R. K. 1986. Response of flooded rice to different levels and placement methods of urea and urea supergranule. International Rice Research Newsletter. *International Rice Research Newsletter*. 11 (5) 41. Uttar Pradesh, India.
- SOKAL, R. y ROLEF, J. 1980. *Introducción a la bioestadística*. Reverté. Barcelona. 362 p.
- TAKAMURA, Y.; TABUCHI, T. y KUBOTA, H. 1977. Behaviour and balance of applied nitrogen and phosphorus under rice field conditions. pp. 342-349. En: Soc. of the Sci of Soil and manure, Japán. *Proceedings of the international seminar of soil environment and fertility management in intensive agriculture*. (SEFMIA) Tokio. Japán.
- TAKASAKA, I. 1986. Key pints in deep application of fertilizer. *Kidaika Nogyo* N° 6, 7-10.
- TUNSEEM y PATRICK. 1971. Nitrogen transformation in waterlogged soils. *La Agric. Exp. Stm. Bull* 659. 75 p.
- WATTANABÉ, I. y MITSUI. 1979. Denitrification loss of fertilizer nitrogen in paddy soils. Its recognition and impact. *IRRI Research Paper Series* N° 37. Manila. 10 p.
- WATANABÉ, I. 1978. Biological nitrogen fixation in rize soils. In "*Soils and Rice*", pp. 465-478. Int. Rice Res. Inst (IRRI), Los Baños, Philippines.
- WEFRARATNA, C. y CRASWELL, C. 1985. Nitrogen losses from labeled ammonium sulfate and urea applied to a flooded rice soil. *Fertilizer Research*. 6 (3): 199-203.
- YAMAUCHI, T. 1986. Development of fertilizer deep application. *Kikaika Nogyo* N° 6, 11-13. Testing Section, Res. Inst. Agric. Mechanization, Japán.
- YOSHIDA, T. y PADRE, B. 1975. Effect of organic matter application and water regimes on the transformation of fertilizer nitrogen in a Philippines Soil. *Soil Sci, Plant Nutr.* (Tokio) 21: 282-292.