NIVELES Y FACTORES DE RESPUESTA DEL ARROZ A LOS FERTILIZANTES EN CORRIENTES

R. J. Melgar, I. Manoiloff y H. D. Ligier

Estación Experimental Agropecuaria Corrientes, INTA. C. C. Nº 57. 3400 Corrientes

RESUMEN

La fertilización es la práctica agronómica que más influencia tiene en el aumento de los rendimientos de arroz (*Oryza sativa L.*) irrigado; sin embargo, muchos factores afectan la respuesta a los fertilizantes.

Este trabajo se llevó a cabo para evaluar la respuesta al agregado de nitrógeno (N) y fósforo (P), en las variedades de arroz más difundidas así como identificar aquellos factores que influyen en esta respuesta.

Seis ensayos sobre: una variedad semienana (IR-841), dos en Bluebonnet y cuatro en Fortuna fueron conducidos. Los nutrimentos se experimentaron como factoriales con 4 y 3 niveles hasta los 150 kg de N y 69 kg de P ha^{-1}. Las tres variedades respondieron al nitrógeno en todos los ensayos. La variedad semienana IR-841 presentó los mayores rendimientos, con o sin fertilizantes, con respuestas significativas hasta los 70 kg de N ha^{-1}. La variedad Fortuna presentó los menores valores de respuesta, hasta 34 kg de N ha^{-1}. La respuesta promedio en las tres variedades fue de 20 kg de arroz por kg de N aplicado, disminuyó con el enmalezamiento y aumentó con los años consecutivos de cultivo. Los contenidos de M. O. o N total en la capa arable no afectaron la respuesta al N. La respuesta al P fue de menor magnitud que al N, y similar entre variedades. El nivel de P asimilable en el suelo (Bray 1) fue el único factor que influyó en la respuesta al P aplicado.

Palabras clave: Respuestas al Nitrógeno y Fósforo. Enmalezamiento. Arroces semienanos. P asimilable.

RATES AND FACTORS AFFECTING RICE RESPONSE TO FERTILIZERS IN CORRIENTES PROVINCE

ABSTRACT

Fertilization is the more influencing agronomic practice affecting yields of paddy rice (*Oryza sativa L.*); however, many factors affect the response of nitrogen (N) and phosphorus (P) applications. This work was conducted to evaluate the effect of applied N y P on rice grain yields as well as to identify other factors influencing response to fertilizers. Six trials with a semidwarf variety (IR-841), two with Bluebonnet and four with Fortuna were conducted during 1982 to 1984. Nutrients were studied as factorial experiments of 4 and 3 levels to 150 kg of N and 69 of P ha^{-1}. All three varieties responded to N in all trials. The IR-841 variety showed the highest yields, either with or without fertilizers. The IR-841 responded up to an average of 70 kg of N ha^{-1}. Fortuna presented the lowest values, with no response beyond the 34 kg ha^{-1} N rate. Average increase about 20 kg of rice per unit of applied N was similar among varieties. Weed encroaching and consecutive years under cropping were the identified factors affecting the responses to applied N. Soil N or organic matter variations in the top soil did not affect responses to N. Response to applied P were lower as compared to N with no differences among varieties. Soil available P (Bray 1) variations alone accounted for the differences in responses to applied P.

Key words: N and P fertilizers. Weed encroachment. Semidwarf rice. Available P.

INTRODUCCION

El cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) ocupa un lugar preponderante en Corrientes participando con más del 18 % del PBI agrícola. Sin embargo, su importancia económica es mayor ya que un alto porcentaje de la producción se industrializa localmente, aumentando su valor agregado.

En los últimos años la superficie provincial destinada al cultivo promedio aproximadamente 40.000 ha, aunque los suelos disponibles de aptitud arrocera han sido estimados en 1.000.000 ha (Capurro et al., 1978). A pesar de tal extensión en tierras, el alto costo inicial de la infraestructura de riego destaca la necesidad de optimizar los insumos aumentando los rendimientos unitarios antes que incrementando las superficies destinadas al cultivo.

La fertilización es la práctica agronómica que más influencia tiene en el aumento de los rendimientos de arroz irrigado (Sánchez, 1971); sin embargo, únicamente el 42 % de los productores la han adoptado como práctica corriente en sus arroceras (Tiranti y Manoiloff, comun. personal.). Una encuesta realizada entre los productores apuntó como principales causas a la falta de información y una relación insumo-producto desfavorable (Migliarini y Melgar, 1984). Estas causas concuerdan con las señaladas por otros autores y se les ha identificado como los factores de mayor incidencia responsables del bajo consumo de fertilizantes en cultivos extensivos del país (Cirio et al., 1980).

Experiencias previas, realizadas predominantemente con la variedad Bluebonnet, habían dado respuestas erráticas a la aplicación de nitrógeno (N) y de fósforo (P). La variación y falta de consistencia en estos resultados se atribuyen a factores ambientales no identificados o caracterizados. La respuesta a los fertilizantes es normalmente afectada por la suma e interacción de numerosos factores, los cuales pueden categorizarse como edáficos, climáticos o agronómicos. La difusión y transferencia eficiente de tecnología de la fertilización depende de la exactitud de la información a ser utilizada en las recomendaciones. Ella debe incluir no sólo los incrementos a obtenerse sino también los factores que contribuyen a la variación de las respuestas promedios, de modo que el riesgo debido a la incertidumbre se reduzca proporcionalmente (Cirio et al., op. cit.). La incorporación de la influencia de estos factores a las funciones de respuesta resultan en una mayor precisión en el sistema de diagnóstico y en una aceleración de la adopción y transferencia de la práctica (Darwich, 1980; Mombiela et al. 1981).

Considerando las funciones discontinuas de respuestas basadas en la Ley del Mínimo, denominadas linear y plateau, se establece que cuando existen otros factores que limitan la producción, no existe respuesta a niveles superiores, a uno determinado del insumo estudiado. Además, en ensayos de respuesta con más de un factor, cada tratamiento es efecto de un único factor, sin tener en cuenta las relaciones entre factores. Estos modelos permiten interpretaciones económicas directas, además de establecer dosis o niveles críticos del nutrimento menores que los indicados por las clásicas funciones cuadráticas de respuesta (Waugh et al., 1975; Anderson y Nelson, 1987).

Las variedades más utilizadas en la provincia pueden agruparse en tres tipos de acuerdo a la arquitectura de la planta y al potencial de respuesta a los fertilizantes. La variedad Fortuna representa el tipo tradicional, con tallos altos y delgados, que responde al N aumentando su altura y susceptibilidad al vuelco. La variedad Bluebonnet representa a aquellas denominadas genéricamente americanas, poco macolladoras; también posee tallos altos pero son moderadamente resistentes al vuelco. Las variedades semienanas poseen tallos cortos y son muy macolladoras y resistentes al vuelco. Estas características le confieren potenciales de rendimiento más elevados y capacidad para responder a altas dosis de N. Con algunas variaciones anuales, los tres tipos de plantas presentan superficies sembradas en proporciones aproximadamente similares, tanto en la provincia como en la zona productora Norte (INTA, 1978).

Durante los años 1982 a 1984 se llevó a cabo una red de ensayos cuyos resultados parciales ya fueron publicados (Melgar y Ligier, 1986). El presente trabajo completa la información enfatizando las respuestas a N y P y a los factores ambientales que la modifican. Los objetivos son: 1) Evaluar la respuesta al N y P en las variedades de arroz: IR-841, Bluebonnet y Fortuna, determinando las dosis de cada nutrimento que permita obtener máximos rendimientos. 2) Identificar aquellos factores que influyen en la respuesta a las aplicaciones de N y P.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio comprende la región productora Norte de Corrientes (INTA, op. cit.), a lo largo de una franja sobre el Río Paraná, entre las ciudades de Corrientes e Ituzaingó. Se caracteriza por ser una llanura de relieve subnormal,

escurrimiento lento y régimen ácuico. En la región domina el Gran Grupo de los Acualfes, calificados como óptimos para el cultivo del arroz (Capurro et al., 1978; Escobar et al., 1983). Estos suelos poseen un horizonte A franco arenoso, de espesor variable, poco provisto de bases intercambiables y materia orgánica (M. O.), que yace en transición abrupta sobre un horizonte B franco arcillo arenoso a arcilloso, de drenaje deficiente. El clima de la región se clasifica (Thorntwaite) como húmedo, mesotermal con poca o ninguna deficiencia de agua (Escobar et al., op. cit.). La temperatura media anual es de 21,5° C y una precipitación promedio de 1.420 mm, de los cuales 1.170 caen de septiembre a abril.

Tabla 1. Variedades, localización, tipo de suelo y niveles de N y P estudiados en los ensayos.

Variedad	Año	Localización	Suelo	Niveles ensayados kg ha^{-1} N				P			
IR-841	1982	Rzepeck I	Albacualf	0	50	100		0	14	28	
" "	"	Genghammer	Albacualf	0	50	100		0	14	28	
" "	1983	INTA	Argiacuol	0	50	100	150	0	23	46	
" "	"	Roldán	Albacualf	0	50	100	150	0	23	46	
" "	1984	Trevor	Albacualf	0	50	100	150	0	23	46	
" "	"	Branchi	Haplacuept	0	75	150		0	23	46	69
Bluebonnet	1983	Meabe	Albacualf	0	50	100	150	0	23	46	
" "	"	INTA	Argiudol	0	50	100	150	0	23	46	
Fortuna	1983	Meabe	Albacualf	0	25	50	75	0	23	46	
"	"	Meabe	Glosacualf	0	25	50	75	0	23	46	
"	1984	Lomónaco	Albacualf	0	25	50	75	0	23	46	
"	"	Meabe	Albacualf	0	25	50	75	0	23	46	

Tabla 2. Promedio y desvío estandard de las variables de sitio registradas en cada ensayo.

Variable	Descripción	Media	Desvío estandar
Climáticas	Radiación Solar KCal 45 D-1 cm-2 (1)	19,4	3,4
Suelo (2) (0-20 cm)	Arcilla (%)	13,8	2,8
	pH (H_2O 1:2,5)	4,6	0,5
	Carbono (g kg^{-1})	12,7	0,1
	N total (g kg^{-1})	1,0	0,1
	Ca (mmol kg^{-1})	2,0	0,2
	Mg (mmol kg^{-1})	1,1	0,2
	K (mmol kg^{-1})	0,1	0,1
	P Bray 1 (mg kg^{-1})	4,9	0,3
Agronómicas	Fecha de siembra	26/octubre	18 días
	Días hasta 1er. riego	26,3	2,7
	Días hasta cosecha	146,1	3,8
	Años de cultivo	1,5	0,7
	Años de descanso previo	5,7	3,5
	Infestación de malezas (Escala 1-5)	1,4	1,3

(1): Valor acumulado por 45 días antes de la cosecha.
(2): Cada valor representa 48 observaciones (4 rep. de 12 sitios).

Durante los años 1982 a 1984 se condujeron 12 experimentos en la Estación experimental del INTA de Corrientes y en establecimientos privados de la zona (Tabla 1). El diseño experimental de estos ensayos fue bloques al azar con 4 repeticiones, y los tratamientos consistieron en factoriales de 4 niveles de N y 3 de P. Los niveles estudiados de N fueron entre 0 y 150 kg ha^{-1} y los de P entre 0 y 69 kg ha^{-1} (Tabla 1). Se caracterizaron los sitios de ensayo edáficamente y se registraron las prácticas agronómicas realizadas previamente en ellas (Tabla 2).

De cada bloque experimental se tomó una muestra compuesta del horizonte arable (0 – 20 cm), en la que se realizaron las siguientes determinaciones: 1) Arcilla por el método hidrométrico. 2) Nitrógeno total por el método semimicrokjeldhal. 3) Carbono por el método de Walkley-Black. 4) Fósforo asimilable por Bray 1 (FNH_4 0,03 N + HCl 0,025 N). 5) Cationes intercambiables, extraídos con $AcNH_4$ 1 N a pH 7 y luego de filtrar la suspensión, se analizaron en el extracto Ca y Mg por complejometría de EDTA y K por fotometría de llama.

Los ensayos se emplazaron sobre cultivos de arroz ya establecidos, con buen vigor y densidades

estándar (200 a 400 plántulas por m²). Las parcelas oscilaron entre 21 y 50 m². Entre los 10 y 15 días de la emergencia se realizó un control de malezas con equipos manuales y herbicidas de post-emergencia a base de propanil (7-10 L ha^{-1} p.a.) y bentazon (1-2 L ha^{-1}) o propanil y molinate (3-5 l ha^{-1}) en dosis variables según el tipo y la cantidad de malezas. La incidencia de las malezas se registró como una variable más de sitio.

Los fertilizantes se aplicaron a mano, en cobertura y al voleo. El nitrógeno se aplicó como urea y las dosis se fraccionaron por mitades. La primera se aplicó un día antes del primer riego de inundación, que correspondió en promedio 26 días después de la siembra. La segunda aplicación se realizó al comienzo de la prefloración, o iniciación de la panícula, entre 70 y 90 días desde el nacimiento.

El P se aplicó como superfosfato triple junto con la primera aplicación de N. Durante el período de inundación se mantuvo una lámina de agua no menor de 5 cm hasta los 50-60 días, cuando se drenaron los campos para prevenir el vaneo fisiológico (straightead). Luego de secarse el suelo, se reanudó el riego hasta la cosecha. De cada parcela se cosecharon a mano entre 8 y 20 m². Los rendimientos se corrigieron por su contenido de agua, expresándose los resultados en t ha^{-1} de arroz-cáscara a 13% de humedad.

Los resultados se analizaron estadísticamente y los promedios de tratamientos de cada ensayo, agrupados por variedad, fueron ajustados por regresión múltiple al siguiente modelo:

$$Y = a + bN + cN_2 + dNP + eP + fP_2 \qquad (1)$$

El efecto de las variables de sitio sobre la variación de los coeficientes b y e, en el modelo citado (1) fueron analizados por regresión múltiple, utilizando el método de selección progresiva de las variables (step-wise) (SAS Institute, Inc, 1988).

Los tratamientos de cada ensayo, se ajustaron al modelo propuesto por Cate y Hsu (1978). El modelo considera que cada tratamiento es limitado por un único factor a la vez, siendo innecesarios los demás factores; supuestos contrarios a los propios de la regresión múltiple, donde cada observación es influida por todos los demás factores del modelo. Se promediaron los tratamientos por variedades y se ajustaron mediante regresión a funcines discontinuas linear-plateau de acuerdo a lo sugerido por Anderson y Nelson (1987). Se establecieron los rendimientos máximos y las dosis de cada nutrimento asociadas con estos máximos para cada variedad.

RESULTADOS Y DISCUSION

Tabla 3. Rendimientos de arroz-cáscara de las variedades estudiadas en los diferentes ensayos para cada nivel de N y P.

Nivel de Fertilizante (1)		VARIEDAD IR-841 1	IR-841 2	IR-841 3	IR-841 4	IR-841 5	IR-841 6	Bluebonnet 1	Bluebonnet 2	Fortuna 1	Fortuna 2	Fortuna 3	Fortuna 4
		t ha^{-1}											
	Testigo	4,4	5,2	4,8	4,3	4,2	2,6	2,0	3,6	3,3	2,6	3,5	5,4
	NITROGENO												
(2)	0	4,6	5,6	5,5	4,7	4,6	3,3	2,2	3,8	3,6	2,8	3,8	5,5
	1	5,4	6,3	6,0	5,9	5,5	4,2	3,3	4,3	4,4	3,0	4,1	6,1
	2	5,7	6,4	6,8	6,4	5,7	4,4	3,6	4,1	4,5	3,2	4,2	5,8
	3	–	–	6,2	6,7	5,5	–	4,0	3,5	4,4	3,4	4,0	5,2
	FOSFORO												
(3)	0	5,1	6,0	5,8	5,5	4,9	3,2	3,0	3,8	4,1	2,9	3,9	5,5
	1	5,3	6,0	6,2	5,9	5,3	3,9	3,3	4,0	4,3	3,1	4,1	5,7
	2	5,5	6,2	6,4	6,3	5,8	4,1	3,5	4,0	4,3	3,2	4,1	5,7
	3	–	–	–	–	–	4,6	–	–	–	–	–	–
	DLS 0,05	1,1	0,9	1,6	1,1	0,8	1,2	0,2	0,4	0,5	0,4	0,7	1,5
	CV %	11	10	14	16	12	22	14	24	14	11	9	12

(1): Los niveles de fertilizantes están codificados de acuerdo a la tabla 1
(2): Promedio de todos los niveles de P
(3): Promedio de todos los niveles de N.

La interacción entre tratamientos y localidades ocasionó que los rendimientos de cada ensayo se agruparan por variedades. Los rendimientos de cada nivel estudiado para N están representados al nivel promedio del P y viceversa (Tabla 3).

No todos los estimadores de los coeficientes de la respuesta promedio a cada nutrimento fueron significativos en cada uno de los experimentos. Sin embargo se incluyeron en el modelo polinomial con el propósito de presentar la variación entre ensayos (Tabla 4).

Tabla 4. Estimadores de los coeficientes de respuesta al N y al P obtenidos por regresión múltiple en cada ensayo.

Variedad ensayo	a	bN	eP	cN2	R2
		kg ha^{-1}			
IR-841					
1	4375	26,1 **	2,7 *	– 0,15 **	0,98
2	5462	21,9 **	2,3 ns	– 0,14 *	0,91
3	5117	21,4 **	3,0 *	– 0,10 **	0,88
4	4285	27,4 **	3,8 **	– 0,10 **	0,99
5	4188	22,1 **	4,0 **	– 0,11 **	0,91
6	2601	16,4 **	8,7 **	– 0,06 *	0,62
Bluebonnet					
1	2128	19,0 **	3,0 **	– 0,06 **	0,98
2	3787	13,5 *	0,5 ns	– 0,11 **	0,78
Fortuna					
1	3565	35,65 **	0,8 ns	– 0,33 **	0,97
2	2628	13,56 **	1,6 **	– 0,12 ns	0,94
3	3634	19,56 *	1,3 *	– 0,21 *	0,88
4	5394	31,62 *	1,0 ns	– 0,48 **	0,90

**, * y ns: Estimador significativo al 1, al 5 % de probabilidad, y no significativo respectivamente.

En las Fig. 1 a 3 se presentan los rendimientos de arroz-cáscara de las tres variedades en función de los niveles de N cuando no es el factor limitante y viceversa. Cuando a un nivel determinado de un factor el rendimiento está limitado por el otro factor, no hay respuesta por encima de este nivel determinado. Los rendimientos por encima del máximo está limitados por otros factores no controlados.

Respuesta al Nitrógeno. Las tres variedades de arroz presentaron en promedio un incremento de aproximadamente 20 kg de arroz por cada kg de N aplicado. Incrementos similares se obtuvieron en otros ensayos de arroz en diferentes partes del mundo (Doyle, 1966).

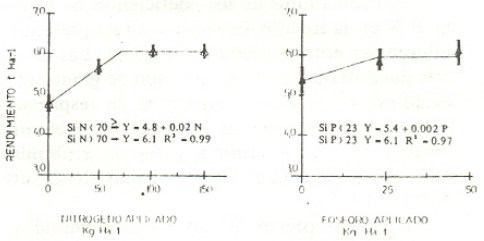

Fig. 1. Respuesta de arroz-cáscara variedad IR-841 al agregado de N y P

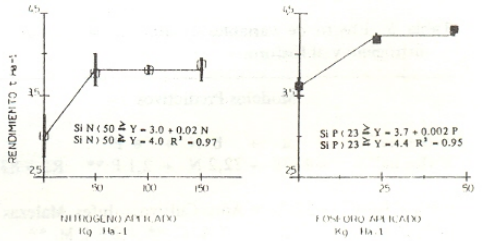

Fig. 2. Respuesta de arroz-cáscara variedad Bluebonnet al agregado de N y P

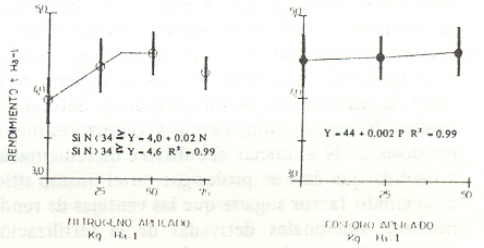

Fig. 3. Respuesta de arroz-cáscara variedad Fortuna al agregado de N y P.

Las dosis máximas asociadas con los rendimientos máximos fueron 70, 50 y 34 kg^{-1} en las variedades IR-841, Bluebonnet y Fortuna respectivamente. Los rendimientos de grano en promedio fueron 6,1, 4,6 y 4,3 t ha^{-1} para las variedades IR-841, Bluebonnet y Fortuna, respectivamente. En el mismo orden los rendimientos máximos registrados por ensayos fueron 7,3, 6,1 y 4,6 t ha^{-1}. Curiosamente la misma tendencia en la producción de grano fue obtenida con los testigos sin fertilizante para cada variedad. En promedio, los rendimientos fueron 4,3; 3,7 y 2,8 t ha^{-1} para las variedades IR-841, Fortuna y Bluebonnet, respectivamente.

Los estimadores de los coeficientes de respuesta al N en la función linear-plateau no presentaron diferencias entre variedades (Fig. 1). Las diferencias encontradas en la producción de grano son indicadoras de la mayor capacidad de respuesta de las variedades semienanas, lo cual coincide con lo señalado por otros autores y fueron atribuidas a una mayor capacidad de macollamiento (Evatt y Hodges, 1975).

El manejo previo del sitio experimental y el grado de infestación de malezas fueron las variables asociadas significativamente con la variación del estimador del coeficiente de la respuesta linear al N aplicado (Tabla 5).

Tabla 5. Efecto de variables de sitio en la respuesta al nitrógeno y al fósforo.

Modelos Predictivos		
$Y\ (Kg\ ha^{-1}) = a + b\ N + e\ P$		
$Y\ (Kg\ ha^{-1}) = 4330 + 22{,}2\ N + 2{,}1\ P$ **		R2 = 83,2
$b\ (KgY\ KgN^{-1}) = 22{,}2$	+ Años Cultivo – Infes. Malezas	
$b\ (KgY\ KgN^{-1}) = 22{,}2$	+ 6,7 A. C. ** – 2,8 I. M. **	R2 = 65,1
$e\ (KgY\ KgP^{-1}) = 2{,}1$	– P asim. (Bray 1)	
$e\ (KgY\ KgP^{-1}) = 2{,}1$	– 0,5 mg P kg^{-1} *	R2 = 34,4

La continuidad del cultivo en el lote, medida en años consecutivos de arroz, incrementó la respuesta promedio y por el contrario el mayor enmalezamiento la disminuyó. La mayor respuesta al N al continuar el cultivo en el lote sugiere considerar la historia del predio cuando se definen los niveles de fertilización, siendo aconsejables menores dosis de N al iniciar el cultivo e incrementarlas a medida que éste se prolongue en el mismo sitio. El segundo factor sugiere que las ventajas de rendimientos adicionales derivadas de la fertilización nitrogenada quedan anuladas por una mayor competencia por enmalezamiento, debido probablemente a que muchas malezas compiten mejor que el arroz por el N aplicado. Esto determina que en la planificación de explotaciones extensivas, un efectivo control de malezas es determinante para la exitosa incorporación de la fertilización.

El contenido de M. O. es utilizado como criterio básico para formular las recomendaciones de fertilizantes nitrogenados en el estado de Rio Grande do Sul, Brasil (Anghinoni, 1986; Siqueira, 1987). Sin embargo, en el caso del arroz, tal criterio no varía en más de 30 kg de N la recomendación entre valores de M. O. que difieren desde menos de 25 a más de 50 g kg^{-1} (2,5 a 5 %). Los sitios estudiados excedieron 25 g kg^{-1} sólo en 3 casos y ninguno llegó a 50 g kg^{-1}. La falta de influencia de otras variables edáficas en la respuesta al N haría extensivas estas recomendaciones a otros suelos utilizados para arroz cuyos parámetros de M. O., N total o arcilla, estuvieran dentro de los intervalos estudiados. Sin embargo, la influencia del tiempo de cultivo confirma la existencia de formas lábiles de N no necesariamente identificadas en la determinación de N total, mayormente N orgánico.

La disminución de rendimientos observada en dosis elevadas de N es atribuida a un aumento de la incidencia de vuelco, particularmente en los ensayos sobre Fortuna. La disminución es significativa estadísticamente, de modo que en el ajuste de la regresión para el cálculo de los rendimientos máximos (Fig. 3), el promedio de la dosis de 75 kg de N ha^{-1} se eliminó siguiendo los procedimientos estadísticos de Anderson y Nelson (op. cit.). Esta característica podría significar serios problemas de vuelco en aplicaciones extensivas de dosis elevadas de N. Otro problema asociado a altos niveles de N fue un aumento en la incidencia de enfermedades como podredumbre del tallo o de la vaina (*Sclerotinia spp.*) particularmente en la variedad Bluebonnet. Este problema fue muy evidente y determinó la pérdida parcial o total de ensayos que no han sido incluidos en este trabajo.

El N fue aplicado en dos fracciones iguales y es posible que otros fraccionamientos del N resulten en respuestas diferentes ya que no se ha cuantificado la respuesta al N aplicado en diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Las aplicaciones a la siembra, por ejemplo, han sido calificadas como de baja eficiencia, debido a que el N está disponible cuando las necesidades del cultivo son limitadas y el riesgo de pérdida por lixiviación o desnitrificación es grande. Aquel N no absorbido por las plantas se perderá totalmente a la inundación (Patrick y Mahapatra, 1968). Aplicaciones posteriores al macollamiento varían en eficiencia de acuerdo a la variedad y a la época de aplicación, siendo el de mayor respuesta aquel N aplicado cuando el primer entrenudo posee entre 2 y 5 mm de longitud, etapa del desarrollo identificado como de diferenciación de la panícula y que difiere de acuerdo a la variedad estudiada (Hall et al., 1968).

Respuesta al Fósforo. El rendimiento de arroz-cáscara por unidad de P aplicado fue en promedio de 2,1 kg de arroz por cada kg de P aplicado, el cual al igual que en el caso de N es un valor similar a los datos señalados para cultivos de arroz en otras partes del mundo (Doyle, 1966). No todos los ensayos mostraron respuestas significativas a la aplicación de P (Tabla 3), y los rendimientos de

los testigos en su mayoría fueron limitados por N. Los coeficientes de respuesta a P para la variedad Fortuna presentaron los valores más bajos (Tabla 4). La evaluación de los componentes del rendimiento en los ensayos 1 y 3 de la variedad IR-841 mostraron un aumento en el número de granos por panoja, pero no en la densidad de las mismas, en respuesta a la aplicación de P. Por lo tanto, el efecto de la fertilización con P fue sobre el porcentaje de granos llenos por panoja.

La única variable de sitio que afectó significativamente la variación del estimador de respuesta lineal de P fue el nivel de P asimilable en el suelo a la siembra. La regresión presentada en la Tabla 5, indica una disminución de la respuesta por cada mg kg^{-1} de P que aumenta en el suelo. En otra parte de este trabajo ya publicada (Melgar y Ligier, 1986) la respuesta promedio de éstos y otros ensayos de la zona fueron asociadas con los niveles de P asimilable evaluados con el extractante Bray 1 (FNH_4 0,03 N + HCl 0,25 N). Dicho trabajo sugiere como nivel crítico 3,3 mg kg^{-1} de P, debajo del cual existe una alta probabilidad de respuesta a la fertilización. Un incremento promedio aproximado de 0,3 t ha^{-1} de arroz, logrado con la aplicación de 44 kg de P ha^{-1} estuvo asociado a valores de P asimilable entre 3,3 y 6,9 mg kg^{-1} de P asimilable (Mehlich 1) utilizados como criterio de diagnóstico en el área arrocera del sur de Brasil (Siqueira, op. cit.).

La correlación encontrada entre respuestas y niveles de P asimilable sugieren una valiosa herramienta de diagnóstico para la fertilización fosfatada. Sin embargo, debido a que el agregado de N resulta en respuestas más generalizadas y de mayor magnitud, la estrategia de utilización del fertilizante P debe ser diferente de la utilizada para el N, por ejemplo, fertilizar con P cuando la respuesta al N está asegurada y los análisis de suelo detecten niveles de P por debajo del crítico. Las dosis recomendables serían de 23 kg de P ha^{-1}; sin embargo, se necesita información que relacione cuantitativamente los valores de P asimilable con los niveles de necesidad de fertilizantes fosfatados.

CONCLUSIONES

Las necesidades de fertilizantes nitrogenados requeridos por las variedades de arroz IR-841, Bluebonnet y Fortuna para obtener rendimientos óptimos de arroz-cáscara fueron de 70, 50 y 34 kg N ha^{-1}. La respuesta promedio fue de 20 kg de arroz por cada kg de N aplicado.

La variedad semienana IR-841 debería ser utilizada preferentemente sobre las variedades Bluebonnet y Fortuna, ya que ofrece la posibilidad de mejores rendimientos en arroz-cáscara con y sin fertilizantes, sin considerar otras cualidades agronómicas o comerciales.

Los factores que influyeron en la respuesta del cultivo a la aplicación de N fueron los años de cultivo continuo del terreno y el grado de infestación de malezas. El primero de ellos influyó en forma positiva y el segundo en forma negativa.

La respuesta promedio de las variedades de arroz estudiadas a la aplicación de P fue de 2,1 kg de arroz por cada kg de P aplicado. Esta respuesta estuvo influida marcadamente por los valores de P asimilable en el suelo. Los valores analíticos de P asimilable (Bray 1) deben utilizarse como guía para la aplicación de P, con un valor crítico de 3 mg kg^{-1} de P.

AGRADECIMIENTOS

El más sincero agradecimiento a los señores productores que facilitaron los predios, y muchas veces recursos. Se reconoce y agradece profundamente al Ing. Agr. Wolfang Jetter por la continua y desinteresada colaboración en todo el curso del trabajo.

REFERENCIAS

Anderson, R. L. y L. A. Nelson, 1987. Linear-plateau and plateau-linear-plateau models useful in evaluation nutrient responses. Tech. Bull. N° 283. North Carolina State University. Raleigh, NC.

Anghinoni, I., 1986. Adubaçao nitrogenada nos Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Pag. 1-18. En: M. B. M. Santana (Ed.). Simposio sobre adubaçao Nitrogenada no Brasil, CEPLAC. Ileus, BA, Brasil.

Capurro, R., E. Escobar y R. Carnevali, 1978. Suelos de aptitud arrocera en la provincia de Corrientes. Información preliminar. EERA Corrientes INTA. 15 p.

Cate, R. B. y Y. T. Hsu, 1978. An algorithm for defining linear programming activities using the Law of the Minimum. Tech. Bull. N° 253. North Carolina Agric. Expl. St. Raleigh, NC.

Cirio, P., R. Canosa y D. White, 1980. Aspectos económicos del empleo de fertilizantes en el agro. Convenio AACREA-BNA-FDPBA. Información Económica. Año II. N° 15.

Darwich, N. A., 1980. Metodología de investigación en fertilidad de suelos, logros nacionales e internacionales. 399-412. En: Actas de la IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Paraná, (E. Ríos).

Doyle, J. J., 1966. El uso de los fertilizantes en arroz. p. 1-69. En: FAO Estudios Agrícolas. FAO. Roma.

Escobar, E. H., R. Capurro, J. Carnevali, J. Contreras y R. Melgar, 1983. Los suelos y la vegetación del área de influencia de las obras de Yaciretá. Provincia de Corrientes. Informe final del convenio INTA/ICA/CFI/Provincia de Corrientes. Inédito.

Evatt, H. S. y T. J. Hodges, 1975. Developing efficient systems of fertilization in rice. En: Six decades of rice research in Texas. Texas A & M University. 136 p.

Hall, V. L., J. L. Sims y M. Johnston, 1968. Timing of nitrogen of rice. Culm elongation as a guide to optimum timing of application near midseason. Agr. J. 60: 450-453.

INTA, 1978. Arroz. Sistema de información para el plan nacional de abastecimiento de productos e insumos de origen agropecuario. Serie: Informes por producto. N^{O} 7.

Melgar, R. J. y H. D. Ligier, 1986. Respuesta del arroz a la fertilización fosforada en el norte de Corrientes. C. del Suelo 4: 38-48.

Migliarini, A. L. y R. J. Melgar, 1984. El consumo de fertilizantes en arroz en la provincia de Corrientes. Boletín 49: 1-4.

Mombiela, F., J. J. Nicholaides, III, y L. A. Nelson, 1981. A method to determine the appropriate mathematical form for incorporating soil test levels in fertilizer response models for recommendation purposes. Agr. J. 73: 937-941.

Patrick, W. H. Jr. e I. C. Mahapatra, 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. Adv. Agron. 20: 323-359.

Sánchez, P. A., 1971. Técnicas agronómicas para optimizar el potencial productivo de las nuevas variedades de arroz en América Latina. 27-44. En: Políticas arroceras para América Latina. CIAT. Cali. Colombia.

SAS Institute Inc., 1988. SAS/STAT Guide for personal computers. Version 6.03. SAS Institute Inc., 1988. Cary, NC.

Siqueira, O. J. F., 1987. Recomendaçoes de adubaçao e calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT.

Waugh, D. L., R. B. Cate, L. A. Nelson y A. Manzano, 1975. New Concepts in biological and economic interpretation of fertilizer response. Ch. 7. En: Soil Management in Tropical America. (E. Bornemisza y A. Alvarado, Ed.). Soil Science Dept. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Raleigh, NC.