

Fertilización nitrogenada y fosfatada en arroz en la región centro-sur de Chile. Efecto sobre los rendimientos en grano¹

Carlos Rojas W.²
Roberto Alvarado A.²

INTRODUCCION

En las estadísticas anuales de producción, el arroz ha figurado en la zona centro-sur (lat. 35° a 36°36' S), como uno de los cereales más importantes en superficie cultivada (Chile, INE, 1978 y 1979), con 40.000 ha, ocupando el segundo lugar después del trigo y representando alrededor del 60 por ciento de la superficie y volumen de la producción nacional. El cultivo, a diferencia de los otros cereales, se desarrolla bajo condiciones de inundación permanente, por riego.

En el país se han realizado esfuerzos en investigación, tendientes a detectar los nutrientes limitantes de la producción, a través de prospecciones en siembras de agricultores (Freres, 1970) y a través de la agregación de nutrimentos como fertilizantes comerciales, en ensayos de campo (Araos y Rojas, 1976). Estos trabajos permitieron concluir que el nitrógeno era el elemento que estaba limitando principalmente la producción del arroz en estos suelos y que el efecto depresivo provocado por la sucesión continua de arroz, era recuperable con la aplicación de dosis adecuadas de nitrógeno (Rodríguez y Rojas, 1977).

Por otra parte, la comparación de fertilizantes nitrogenados en arroz, determinó la selección de la urea como el fertilizante nitrogenado más eficiente para este cultivo en estos suelos (Rojas, 1976).

La producción del cultivo como actividad económica, determina la necesidad de seleccionar la fertilización que maximice las utilidades, a través del empleo de la dosis óptima económica. Para cumplir con este objetivo, en este trabajo se ha pretendido determinar, para el arroz inundado de la zona centro-sur, la relación entre las dosis de nitrógeno y de fósforo y los rendimientos del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Ensayos de campo. Durante las temporadas 1972/73, 1973/74 y 1974/75, se establecieron 20 ensayos de fertilización NP, en potreros de agricultores arroceros. Los ensayos se ubicaron en el llano central, de las provincias de Talca, Linares y Ñuble (Figura 1), incluyendo preferentemente suelos alfisoles y vertisoles.

En el Cuadro 1 se presentan algunas características químicas y de manejo de los suelos en los cuales se establecieron los experimentos. Se puede observar que el contenido promedio de materia orgánica es bajo en estos suelos y que sus pH fluctúan entre fuertemente a ligeramente ácidos; los contenidos de fósforo disponible oscilan entre bajos a medios; los contenidos de amonio inicial ($N-NH_4^+$) son bajos y los de amonio mineralizable, que se libera en forma parcialmente anaeróbica por la condición de inundación de los suelos, muestran un rango más amplio; los contenidos de potasio extractables, en general, son muy bajos. La intensidad de uso de estos suelos ha dependido del número de años de cultivo de arroz, alternados con 2-3 y hasta 4 años de pradera natural.

¹ Recepción de originales: 15 de diciembre de 1980.

Trabajo presentado a las XXXI Jornadas Agronómicas, Santiago, Chile, 1980.

² Ing. Agr., M.S. e Ing. Agr., respectivamente. Estación Experimental Quilamapu (INIA), Casilla 426, Chillán, Chile.

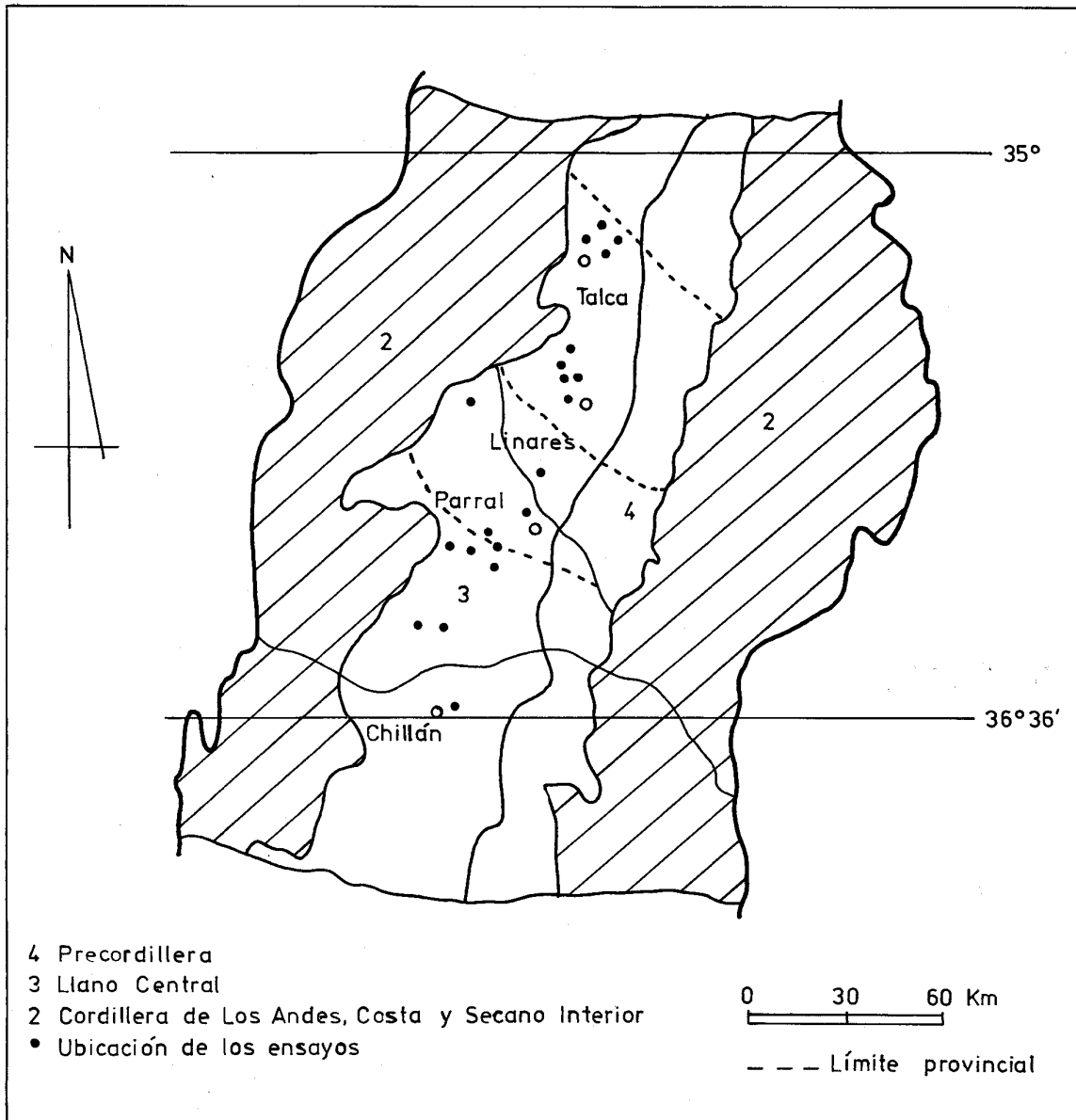


Figura 1. Distribución de ensayos en la región centro sur de Chile (n = 20).

Se empleó un arreglo factorial incompleto 5 x 5, en diseño de bloques al azar, incluyendo 13 tratamientos y 3 repeticiones. Se aplicaron dosis de: 0, 60, 120, 180 y 240 kg de N/ha, en forma de urea (45 por ciento de N) y 0, 50, 100, 150 y 200 kg de P₂O₅/ha, como superfosfato triple (46-48 por ciento de P₂O₅).

Entre la incorporación de ambos fertilizantes y la inundación, transcurrieron de 1 a 10 días. Los fertilizantes se incorporaron con cultivador rotario (rototiller) y, previo a esta operación, se tomó una muestra

de suelo a 0-20 cm. Se sembró arroz (*Oriza sativa*, variedad Oro) en dosis de 160 kg/ha, entre octubre y la primera semana de diciembre.

Para el control de algas se aplicó sulfato de cobre en polvo, entre los 7 y 14 días después de la siembra. La eliminación de malezas de hoja ancha (*Alisma plantago*) se realizó con MCPA, en la etapa de macolla del cultivo. Las malezas gramíneas (*Echinochloa crusgalli* L.) se controlaron con Stam.

De cada parcela de 15 m² (3 x 5 m) se cosechó 8 m²

CUADRO 1. ALGUNAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS (0-20 cm). NUMERO DE ENSAYOS POR PROVINCIA Y AÑOS DE CULTIVO DE ARROZ

Características	Rango	Promedio
Materia Orgánica (%)	1,3 — 3,6	2,25
pH (1:2,5)	5,3 — 6,4	5,72
Amonio inicial N-NH ₄ ⁺ ppm	5,6 — 19,3	12,95
Amonio mineralizable N-NH ₄ ⁺ ppm	17,5 — 69,8	43,58
Fósforo (Olsen) ppm	1,3 — 11,1	4,77
Potasio extractable Meq/100 gr. suelo	0,07 — 0,40	0,14

Provincia	Nº	Años c/arroz	Suelo
Talca	4	2-3-6-10	Alfisoles
Linares	8	3-4-5-6- 8-10-10-10	Entisoles y Vertisoles
Ñuble	8	3-3-4-5-5 8-10-10	Alfisoles y Vertisoles

para la evaluación de rendimiento de grano, ajustado a 14 por ciento de humedad. En nueve de los 20 ensayos, se cortó una muestra de 0,2 m², a una altura de 2-3 cm sobre el suelo en la etapa de madurez de cosecha, para estimar la absorción de nitrógeno en los diferentes tratamientos.

Análisis químico. Se determinó nitrógeno total por el método de Kjeldhal, en muestras de materia seca hasta peso constante (60-70°C) y fósforo, según la metodología del Laboratorio de Suelos de la Estación Experimental Quilimapu (Tejeda y otros, 1967).

Las muestras de suelo, en triplicado, fueron analizadas para:

- pH al agua (relación 1:2,5)
- Materia orgánica, por el método de Springler y Klee
- Nitrógeno disponible (N-NH₄⁺) inicial y mineralizado por la técnica de incubación anaeróbica de Waring y Bremner
- Fósforo disponible, por el método de Olsen
- Potasio extractable (Pratt y Morse, 1954)

Análisis estadístico. Se efectuaron análisis de varianza y análisis de regresión simple y múltiple. Para todas las pruebas se utilizó la probabilidad 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del fósforo sobre los rendimientos. Mediante

el diagnóstico nutricional de la hoja bandera, en el período de inicio de aparición de la panoja (aproximadamente a los 82 días después de la siembra); se observó que los contenidos de fósforo no diferían significativamente entre tratamientos que no incluían fertilizantes fosfatados y aquellos que llevaban 100 y 200 kgs de P₂O₅/ha, variando los valores promedios de 0,18 a 0,21 por ciento, índices que en la literatura aparecen reflejando un estado satisfactorio de la nutrición fosfatada, en una amplia gama de variedades de arroz (Mikkelsen y Hunziker, 1971).

Los rendimientos de arroz, a una dosis fija de 120 kg/ha de nitrógeno, se mantuvieron prácticamente constantes entre 0, 100 y 200 kg de P₂O₅/ha. Esta ausencia de respuesta a la fertilización fosfatada ha sido observada en numerosos países en que se cultiva arroz inundado y se ha explicado por las condiciones de inundación del cultivo, que permitirían la solubilización del fósforo del suelo durante su desarrollo. Por esta razón, los índices de disponibilidad de fósforo del suelo, tan bajos, no guardarían relación con el comportamiento del cultivo (Black, 1968; Mikkelsen y Patrick, 1968).

Efecto del nitrógeno en los rendimientos de grano. Considerando los 20 ensayos de arroz en promedio, el rendimiento máximo alcanzado fue de 76,4 qq/ha, lo que equivale a un incremento de 87 por ciento sobre el testigo sin nitrógeno (NO - P200).

En sólo cuatro ensayos, el efecto de la fertilización nitrogenada no fue significativa. En dos de éstos, ello se debió al estrecho margen entre los tratamientos testigos y el rendimiento máximo (en suelos con tres años de cultivo de arroz) y en los otros dos, la ausencia de respuesta se debió a las pérdidas de plantas en las parcelas, por efecto de secas prolongadas en el período de crecimiento del cultivo.

Al relacionar los rendimientos en grano con las dosis de nitrógeno empleadas, se observó tres grupos de suelos, en cuanto a la respuesta a la fertilización nitrogenada:

GRUPO I. Incluye suelos de alto potencial productivo, de escaso número de años de cultivo de arroz (2 y 3) y que no presentan otras limitantes de producción, aparte del nitrógeno. Los rendimientos del tratamiento testigo fueron altos (sobre 50 qq/ha), así como también los rendimientos máximos (Figura 2).

GRUPO II. Incluye suelos con un gran número de años de cultivo de arroz, pero sin otras limitaciones aparte del nitrógeno. Los rendimientos testigo fueron más bajos que los del grupo anterior (alrededor de 35 qq/ha), pero el rendimiento máximo alcanzado fue similar (Figura 3).

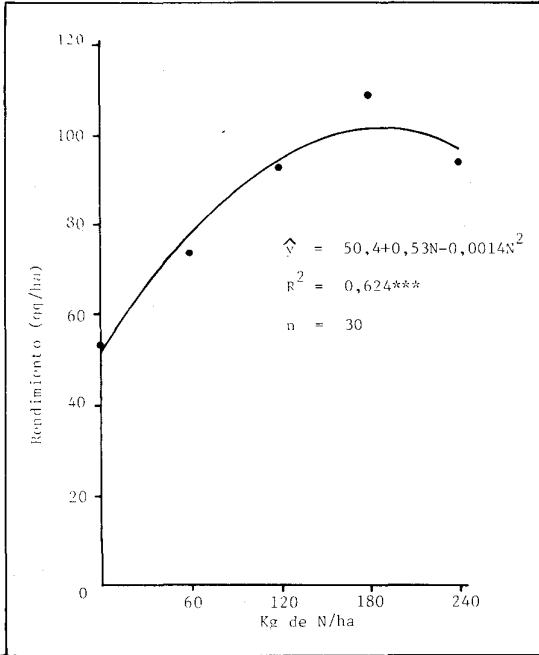


Figura 2. Relación entre rendimientos de Arroz Paddy y kg de N/ha (Grupo I).

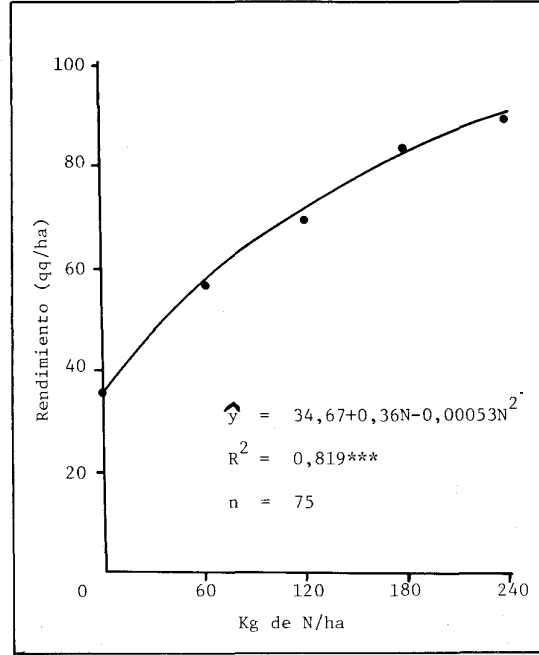


Figura 3. Relación entre rendimientos de Arroz Paddy y kg de N/ha (Grupo II).

GRUPO III. El más amplio de los tres grupos de suelos, incluye también suelos con varios años de cultivo de arroz, con tratamiento testigo similar al del grupo anterior, pero con limitaciones en el manejo del agua (secas), lo que disminuyó el rendimiento máximo alcanzado (Figura 4).

En todos los casos, al relacionar los rendimientos con las dosis de nitrógeno, se ajustaron satisfactoriamente polinomios de segundo grado, en una variable (los valores de R^2 fueron significativos a $P < 0,05$). En el 60 por ciento de los ensayos, el rendimiento máximo se logró con la dosis de 240 kg de N/ha.

Análisis foliar. El análisis foliar de la hoja bandera, al inicio de emisión de la panoja, indicó que los contenidos de nitrógeno fluctuaron entre 2,2 y 2,95 por ciento, de acuerdo con los valores promedios de los nueve ensayos considerados para este análisis. Se obtuvo una buena asociación entre los contenidos de nitrógeno foliar y las dosis de nitrógeno empleadas ($R^2 = 0,68$; significativo a $P < 0,05$).

Esta técnica de diagnóstico resulta adecuada para predecir el estado nutricional de las plantas al finalizar la etapa de crecimiento vegetativo del arroz. Según índices extranjeros (Mikkelsen y Hunziker, 1971), con un valor de 2,6 por ciento de N se estaría

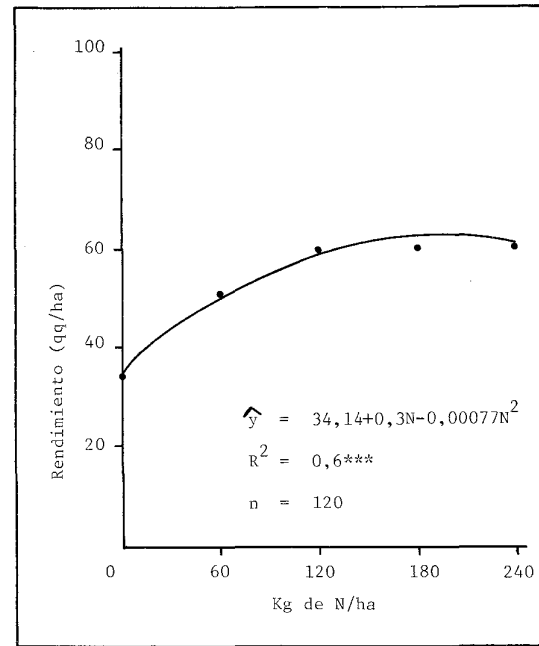


Figura 4. Relación entre rendimiento de Arroz Paddy y kg de N/ha (Grupo III).

en un nivel satisfactorio de nutrición nitrogenada, lo que en este trabajo correspondió a los valores obtenidos con más de 120 kg de N/ha, en forma de urea.

Al relacionar el nitrógeno absorbido por las plantas con las dosis de nitrógeno aplicadas al suelo, en ensayos representativos de los tres grupos según respuesta a nitrógeno (Figura 5, 6 y 7), se observó que la eficiencia del fertilizante nitrogenado fue satisfactoria en los grupos I y II, pero muy baja en el Grupo III (suelos cultivados con arroz por varios años y con "secas" en el período de cultivo) (Cuadro 2).

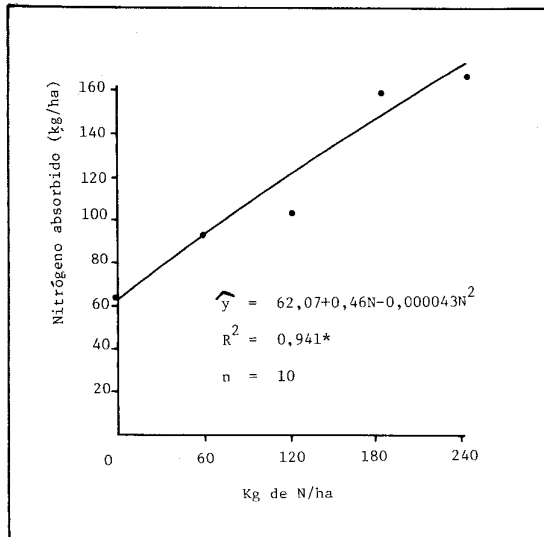


Figura 5. Relación entre la aplicación y absorción de N y kg de N/ha en arrozales de Pelarco (Grupo I).

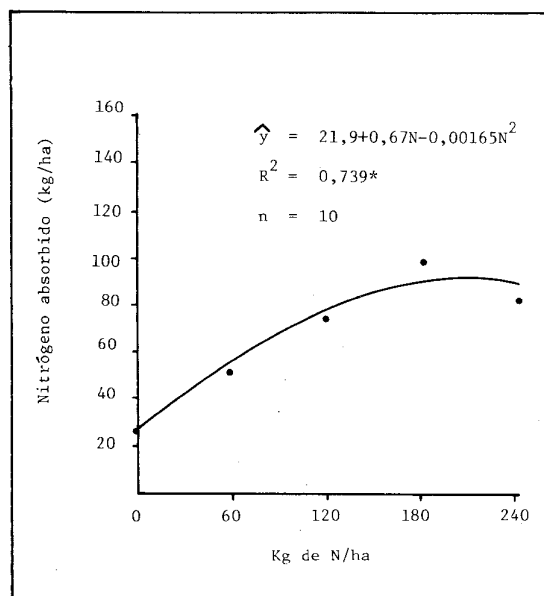


Figura 6. Relación entre la aplicación y absorción de N y kg de N/ha en Cooperativa Pedro de Valdivia (Grupo II).

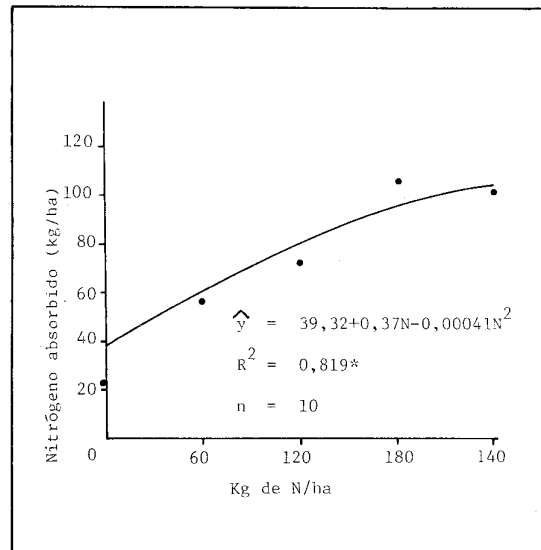


Figura 7. Relación entre la aplicación y absorción de N y kg de N/ha en Manuel Rodríguez (Grupo III).

Al respecto, en el extranjero se ha informado (Westfall, 1970) que, bajo condiciones de inundación permanente, el porcentaje de recuperación de nitrógeno ha sido del orden de 40 a 50 por ciento, con el empleo de variedades adecuadas y satisfactorias prácticas culturales, y de 20 a 25 por ciento, con cultivos que han crecido en condiciones alternadas de inundación y secas (Ramírez y Sánchez, 1971). Lo anterior concuerda con los valores de eficiencia obtenidos en este trabajo y justifica la estratificación de los suelos en tres grupos de respuesta al nitrógeno, según las características de intensidad de cultivo y el manejo del agua de riego.

La primera derivada de las funciones de respuesta permitió determinar las respectivas ecuaciones de producto marginal, con las cuales se estimó las dosis de nitrógeno que generan el rendimiento máximo. Igualando las ecuaciones de producto marginal a la relación de precios insumos/producto (junio 1980), se estimó la dosis óptima (D.O.) económica (Heady y Dillon, 1961) para capital ilimitado, considerándose el costo de la unidad de nutrimento a \$ 31, más el 20 por ciento por concepto de aplicación y transporte, y el qq de arroz a \$ 500 (Cuadro 3).

Las condiciones de intensidad de uso del suelo y el manejo del cultivo afectan los costos de fertilización nitrogenada, los que en este estudio correspondieron a un 24, 32 y 37 por ciento de los mayores ingresos obtenidos por aumentos de rendimiento, en cada grupo de suelos.

CUADRO 2. ABSORCION Y RECUPERACION DE NITROGENO SEGUN GRUPOS DE RESPUESTA

Dosis N kg/ha	Arrozales de Pelarco Grupo I		Coop. P. de Valdivia Grupo II		Manuel Rodríguez Grupo III	
	Absor ¹	% Efic. ²	Absor.	% Efic.	Absor.	% Efic.
0	62,2	—	25,01	—	42,1	—
60	93,9	53	50,81	43	56,6	24
120	103,3	34	74,35	41	71,7	24
180	157,7	53	97,76	40	104,1	34
240	165,8	43	81,83	23	99,6	24
% Eficiencia promedio		46			37	26

¹ Absorción en kg/ha = kg m.s. x % N – total.

² Eficiencia en % = $\frac{(\text{Abs. trat.} - \text{abs. testigo})}{\text{Dosis}} \times 100$

CUADRO 3. PREDICCIÓN DE RENDIMIENTO MÁXIMO (R.M.), DOSIS DE N PARA R.M. (D.M.), DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA (D.O.) Y COSTOS DE FERTILIZACIÓN DE LA D.O., SEGUN GRUPO DE SUELOS

Grupo	Ecuación	R.M.	D.M.	D.O.	Costo D.O.
		qq/ha	kg/ha	kg/ha	\$/ha
I	$Y = 50,4 + 0,53x - 0,0014x^2$	100,5	189,3	162,7	6.053,0
II	$Y = 34,67 + 0,36x - 0,00052x^2$	96,9	346,1	274,6	10.215,1
III	$Y = 34,14 + 0,3x - 0,00077x^2$	63,4	194,8	146,5	5.449,8

RESUMEN

Durante tres temporadas (1972/73, 1973/74 y 1974/75) se establecieron 20 ensayos de fertilización de arroz inundado con NP, en potreros de agricultores arroceros, en las provincias de Talca, Linares y Ñuble. Los experimentos (factorial incompleto) incluyeron 5 dosis de nitrógeno (0, 60, 120, 180 y 240 kg/ha) y 5 dosis de P₂O₅ (0, 50, 100, 150 y 200 kg/ha).

Las principales conclusiones de este trabajo son:

– La fertilización fosfatada no afectó significativamente (P 0,05) los contenidos de fósforo foliares

ni los rendimientos en grano del arroz.

- En 16 ensayos se observó efecto significativo del nitrógeno sobre los contenidos foliares y el rendimiento en grano.
- Se obtuvieron tres grupos de respuesta a nitrógeno, según la intensidad de uso del suelo con arroz y el efecto limitante de las "secas".
- La eficiencia del fertilizante nitrogenado fue, en general, satisfactoria, pero fue baja en aquellos suelos en que el cultivo fue sometido a seca durante su desarrollo.

SUMMARY

Nitrogen and phosphate fertilization of rice in the central—south zone of Chile. Effect on grain yield

During the 1972/73, 1973/74 and 1974/75 growing seasons, 20 NP fertilization trials were set up in flooded rice fields located in the Talca, Linares and Ñuble provinces. The trials (incomplete factorial) included 5 rates of nitrogen (0, 60, 120, 180 and 240 kg/ha) and 5 rates of P₂O₅ (0, 50, 100, 150 and 200 kg/ha).

The main conclusions were:

- Phosphorus fertilization did not affect significantly (P 0,05) the foliar phosphorus concentration. The grain yield was not affected by increasing amounts of applied phosphorus fertilizer.
- The foliar nitrogen concentration and the grain yield were increased by nitrogen fertilization in 16 trials out of the 20 trials.
- Three response groups to nitrogen fertilization were detected. These were related to the intensity of use of the soil and to the effect of dry periods ("secas") induced by some of the growers.
- Nitrogen fertilizer efficiency was satisfactory, but was low in the fields that were subjected to dry periods ('secas') during the plant development season.

LITERATURA CITADA

- ARAOS, F. Y ROJAS, C. 1976. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y azufre sobre los rendimientos de arroz. *Agricultura Técnica (Chile)* 36(2): 58–62.
- BLACK L.A. 1968. *Soil—plant relationships*. John Wiley and Son. Inc. New York 792 p.
- CHILE, Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 1978 y 1979. *Encuesta nacional agropecuaria*. Santiago, Chile.
- FRERES G.R. 1970. Reconocimiento del estado nutricional de arrozales de Talca a Ñuble mediante análisis de suelo y planta. Quillota, Chile. Universidad Católica de Valparaíso (tesis mimeografiada) 87 p.
- HEADY, E.E. AND DILLON, J.L. 1961. *Agricultural production functions*. Ames, Iowa State University Press. 667 p.
- MIKKELSEN, D.S. AND HUNZIKER, R.R. 1971. A plant analysis survey of California rice. *Agrichem. Age* 14(6): 18–20.
- MIKKELSEN, D.S. AND PATRICK, Jr. WH. 1968. Fertilizer use on rice. En: *Changing pattern in fertilizer use*. Ed. L.B. Nelson. Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wis. p. 403–432.
- PRATT, P.F. AND MORSE, H.H. 1954. Potassium release from exchangeable and non exchangeable forms in Ohio soils. *Ohio Agr. Exp. Sta. Res. Bull.* 747 p.
- RAMIREZ, G.E. Y SANCHEZ, P.A. 1971. Factores que afectan la eficiencia de utilización del nitrógeno por el cultivo de arroz bajo riego intermitente en la costa del Perú. *Prog. Nac. Arroz. Informe Técnico*. p. 50–51.
- RODRIGUEZ, J. Y ROJAS, C. 1977. Efecto de los años de cultivo de arroz en la disponibilidad de N del suelo. II. Respuesta a la fertilización nitrogenada. *Ciencia e Investigación Agraria* 5(12): 17–22.
- ROJAS, C. 1976. Evaluación de fertilizantes nitrogenados en arroz. *Agricultura Técnica (Chile)* 34(4): 145–150.
- TEJEDA, H., BAHERLE, P., RODRIGUEZ, N., ETCHEVERS, J. Y GOGAN, G. 1967. Pauta de trabajo para estudios de selección de métodos de análisis para nitrógeno y fósforo disponible en suelos chilenos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Estación Experimental Quilamapu, Chillán—Chile (trabajo mimeografiado).
- WESTFALL, D.G. 1970. The nitrogen uptake and efficiency of rice. *Rice Journal* 73(7): 59–60.