RESPUESTAS DEL ARROZ A LA FERTILIZACION FOSFORADA EN EL NORTE DE CORRIENTES

Ricardo J. Melgar - Héctor D. Ligier
Estación Experimental Agropecuaria Corrientes
INTA C.C. Nº 57 - 3400 - Corrientes

RESUMEN

En veintiseis ensayos de fertilización realizados en el norte de Corrientes, se analizó la respuesta del arroz *(Oryza sativa L.)* al agregado de fósforo; correlacionando las respuestas con valores analíticos de este elemento.

El fósforo asimilable se evaluó con Bray I en determinaciones estándares, e incubando anaeróbicamente los suelos durante lapsos determinados; de modo de estudiar la evolución de los niveles de fósforo extraíble y pH, al avanzar la reducción.

Las cantidades de fósforo se incrementaron casi cuatro veces en promedio a dos semanas de incubados los suelos; los valores de pH también registraron incrementos sensibles.

Los resultados analíticos obtenidos se correlacionaron con las variables de rendimientos, y posteriormente se ajustaron al modelo de Cate y Nelson solamente las respuestas medidas como incrementos de rendimientos (Δ Y).

El método separó los suelos de acuerdo a sus niveles de P extraíble en dos y tres clases de probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada. Las asociaciones más significativas se obtuvieron con el fósforo evaluado sin incubar, señalándose valores interpretativos con fines de diagnóstico.

El incremento promedio de rendimiento fue de unos 400 kg/ha de arroz cáscara obtenido con una dosis promedio de 44 kg/ha de P, y la distribución de las respuestas fue tal que en aquellos suelos con niveles de P-extraíble inferiores a 3,3 ppm registraron incrementos crecanos a 1 Tn/ha, mientras que con valores superiores a 6,9 ppm los incrementos fueron mínimos, del orden de 140 kg/ha.

Palabras clave: fertilización de arroz, suelos inundados, nivel crítico, respuesta al fósforo.

RICE RESPONSE TO PHOSPHORUS FERTILIZATION IN NORTHERN CORRIENTES

ABSTRACT

Phosphorus response was evaluated in 26 fertilizer trials on rice carried out in the north of Corrientes province, correlating soil test with yield responses.

Available P-levels were evaluated with Bray I at standard determinations, and by anaerobically incubating soil samples during fixed times. In that way changes available P and pH associated with advancing reduction were studied.

P-levels increased up to four times two weeks after flooding. pH values showed a marked increase too.

The analytical data obtained were correlated with yield variables; then the P-levels were fitted with yield increases to Cate and Nelson model, wich partitioned the soils into two and three groups of phosphorus response probabilities.

The most significant correlations were obtained with P evaluations without incubation. Interpretation of levels useful for diagnosis of the fertilizer needs are given.

Average yield increase obtained with 44 kg/ha of P, was about 400 kg/ha of paddy rice. The soils P levels were partitioned so that ones with P levels up to 6,9 ppm, gave a slight yield increase, of about 140 kg/ha of paddy rice.

Key words: rice fertilization, flooded soils, critical levels, phosphorus response.

INTRODUCCION

La provincia de Corrientes posee casi el 50% de su territorio con suelos afectados por excesos de agua, temporaria o permanente, que se destinan principalmente a la ganadería y en menor extensión al arroz, (Escobar *et al*, 1982).

Estos suelos, a pesar de ofrecer severas limitaciones a otros cultivos, son convenientes para el arroz, ya que su deficiente drenaje interno le permite mantener con éxito la lámina de agua de riego necesaria para la producción económica del cultivo. Sin embargo, esta capa de agua de unos 10-20 cm de espesor durante unos 100 días al año, provoca cambios fundamentales en las características físico-químicas de los suelos.

Entre los principales fenómenos pueden citarse la intensificación de los procesos de reducción, con alteraciones en el pH y el potencial redox, como así también cambios en la dinámica de los macronutrientes importantes, como el nitrógeno y el fósforo.

El fósforo es afectado por los cambios en el estado de oxidación y se verifica una mayor cantidad de formas asimilables al intensificarse el proceso de reducción. Las causas se deberían entre otras a la reducción de las formas férricas a formas ferrosas solubles, liberando el fósforo ligado a esta fracción. Asimismo también se mencionan como causas, a la hidrólisis de otros compuestos que poseen fósforo y al incremento de la mineralización del fósforo orgánico, (Ponnamperuma, 1972; Patrick y Mahapatra, 1968).

La magnitud de estas reacciones varía con las propiedades del suelo y pueden observarse en determinaciones de fósforo asimilable en estado reducido; en general se acepta que los suelos con mayores porcentajes de fósforo ligado al hierro son los que ofrecen mayores disponibilidades al reducirse (Patrick y Mahapatra, 1968).

Estas modificaciones determinan que gran parte de los suelos donde otros cultivos o pasturas necesitan fertilizantes fosfatados para la producción económica, el arroz no muestra respuestas espectaculares a esta práctica (Sánchez, 1976).

Los suelos del norte de Corrientes en general presentan valores muy bajos de fósforo asimilable, principalmente en Alfisoles, donde las cantidades medidas por Bray I no superan las 10 ppm. La acidez de los horizontes superficiales de la mayoría de ellos suponen que gran parte de la fracción de fósforo activo esté ligado al hierro y al aluminio, (Convenio INTA-ICA-CFI-Prov, Corrientes, Escobar *et al*, 1983).

A pesar de estos bajos valores de fósforo, las respuestas a la fertilización observada en algunas pruebas de campo eran bajas, y en otras inexistentes, aunque también se detectaron ensayos con incrementos significativos, o con buenas interacciones con el nitrógeno, (Melgar *et al*, 1983).

Con la finalidad de revelar las respuestas al fósforo en suelos del norte de Corrientes, se realizaron ensayos, que sumados a otros, de respuesta al N y P, permitieran expresar una estimación global media de la influencia de la fertilización fosfatada sobre los rendimientos de arroz.

Correlaciones entre el nivel de los nutrientes en el suelo y las respuestas obtenidas, permiten una primera aproximación hacia un método interpretativo de diagnóstico de la necesidad de fertilización.

MATERIALES Y METODOS

Los ensayos se llevaron a cabo en las campañas 81/82, 82/83 y 83/84, en establecimientos privados de la región norte de producción de la provincia de Corrientes, y en la E.E.A. Corrientes, INTA, a lo largo de una estrecha franja sobre el río Paraná, entre las ciudades de Corrientes e Ituzaingó.

Los suelos utilizados pertenecen principalmente a las familias Gobernador Martínez (Alfisoles), y en menor proporción a las familias Carolina (Molisoles) y Malezas (Alfisoles). Poseen cualidades diferentes para la producción de arroz, y como características comunes presentan un horizonte A, franco-arenoso, de espesor variable, medianamente provisto de bases de cambio y materia orgánica; que yace en transición abrupta sobre un horizonte B franco-arcillo-arenoso a arcilloso, de drenaje deficiente. Han sido detalladamente descriptos y mapeados en escala 1:50.000, en un trabajo reciente, (Convenio INTA-ICA-CFI-Provincia de Corrientes, (Escobar *et al*, 1983).

En la tabla I se especifica la unidad cartográfica donde estaban emplazados los ensayos, su clasificación taxonómica a nivel de gran grupo y el nombre del productor. Asimismo se dan los valores de algunos parámetros físico-químicos de los primeros 20 cm del suelo de cada sitio experimental.

Los ensayos se emplazaron sobre cultivos de arroz *(Oryza sativa L.)* ya establecidos, registrando en cada uno de todos aquellas variables que contribuyeron a caracterizar el sitio experimental. El control de male-

Tabla Nº 1. Detalle de los ensayos, localidades, suelos, clasificación taxonómica, y algunos parámetros físico-químicos de los primeros 20 cm del suelo de cada prueba.

	Nombre	Localidad	Serie, Asociación o perfil de suelo	Clasificación (Gran Grupo)	Arcilla (%)	N_t (%)	M.O. (%)	Ca	Mg (mmol. kg^{-1})	K
1	Rzepecki	La Palmira	Chequín - Iribucuá	Albacualf	13,5	0,12	2,26	2,0	1,0	0,10
2	Biagini	Corza Cué	Chequín - Iribucuá	Albacualf	14,2	0,10	1,89	2,1	1,7	0,10
3	Genghammer	Itatí	Paso de la Patria	Albacualf	15,7	0,10	1,77	2,9	2,5	0,15
4	INTA Sem NP	El Sombrero	Pangola II	Algiacuol	13,5	0,10	2,23	2,5	2,1	0,15
5	INTA Sem	El Sombrero	Pangola I	Argiacuol	13,6	0,07	1,66	4,3	1,8	0,2
6	Roldán	Itá Ibaté	Chequín - Tataré	Albacualf	11,9	0,12	2,40	2,8	1,0	0,10
7	INTA BB	El Sombrero	Pangola I	Argiudol	13,2	0,08	1,82	4,2	1,8	0,2
8	Meabe BB	Km 1.111	Sta. Ana Ñú	Albacualf	17,4	0,11	2,20	1,2	0,1	0,07
9	Meabe Ft	Km 1.111	Sta. Ana Ñú	Albacualf	9,5	0,07	1,42	1,1	0,1	0,05
10	Meabe Ft	Km 1.111	Ibirá	Glosacualf	11,4	0,12	3,11	0,8	0,1	0,15
11	Chequín	Itá Ibaté	Chequín - Tataré	Albacualf - Ocracualf	13,5	0,10	2,17	2,5	1,2	0,23
12	Meabe BB	Km 1.111	Sta. Ana Ñú	Albacualf	8,6	0,09	1,99	0,9	0,9	0,07
13	Trevor	Km 1.111	Chequín	Albacualf	11,0	0,07	1,67	1,7	0,8	0,18
14	Meabe Ft	Km 1.111	Sta. Ana Ñú	Albacualf	12,3	0,11	2,27	0,8	0,7	0,08
15	Lomónaco	Itatí	Paso de la Patria	Albacualf	13,5	0,11	2,53	3,1	1,5	0,32
16	Branchi	Puerto Valle	Paso Tirante	Haplacueptes	21,4	0,17	4,87	0,2	0,3	0,05
17	Meabe	Km 1.111	Sta. Ana Ñú	Albacualf	10,2	0,08	1,03	0,9	0,9	0,13
18	Leguizamón	La Palmira	Chequín - Iribucuá	Albacualf	15,4	0,08	1,79	1,8	1,1	0,21
19	Branchi	La Palmira	Puerto Corazón	Paleudol	14,3	0,08	1,43	3,0	1,5	0,23
20	De Bernardis	Itá Ibaté	Tataré - Chequín	Ocracualf - Albacualf	14,4	0,12	2,19	1,7	1,1	0,10
21	Roldán	Itá Ibaté	Tataré - Chequín	Ocracualf - Albacualf	15,0	0,10	2,17	1,9	1,5	0,11
22	Ibañez	Yahapé	Chequín	Albacualf	12,8	0,10	1,99	1,3	0,9	0,13
23	Ibañez	Yahapé	Tataré - Chequín	Ocracualf - Albacualf	12,4	0,10	2,01	1,3	0,9	0,13
24	Chequín	Itá Ibaté	Tataré - Chequín	Ocracualf - Albacualf	13,0	0,10	2,32	1,4	1,0	0,15
25	INTA Ft	El Sombrero	Pangola I	Argiudol	18,2	0,11	1,65	3,2	1,5	0,21
26	INTA Sem	El Sombrero	Pangola II	Argiacuol	18,2	0,11	1,65	3,2	1,5	0,21
				Promedios:	13,6	0,10	2,08	2,1	1,2	0,15

Tabla Nº 2: Algunas variables de sitio que caracterizan el manejo de cada ensayo

Ensayo	Años de Cultivo	Años de Descanso	Variedad	Fecha Siembra	Dosis Fertili. zación (kg/ha P)	Días de emergencia			Malezas	Rad. solar (x)
						Fertili.	Riego	Cosecha		
1	2do.	6	Semienano	12/10/81	26	19	21	131	1	22,8
2	3ro.	4	Semienano	19/10/81	52	5	22	172	4	20,9
3	2do.	5	Semienano	17/11/81	26	33	38	151	2	19,9
4	2do.	2	Semienano	9/12/81	39	19	21	166	1	15,7
5	2do.	4	Semienano	17/10/82	44	23	25	147	2	17,4
6	2do.	10	Semienano	31/10/82	44	32	33	146	0	20,9
7	2do.	4	Bluebonnet	17/10/82	44	23	26	131	3	20,6
8	1ro.	4	Bluebonnet	30/10/82	44	33	34	124	1	24,6
9	1ro.	3	Fortuna	16/10/82	44	26	27	151	0	23,3
10	1ro.	10	Fortuna	20/10/82	44	23	24	148	0	23,2
11	1ro.	10	Bluebonnet	30/10/82	44	27	30	124	1	24,2
12	1ro.	10	Bluebonnet	28/10/83	44	15	17	135	0	24,3
13	1ro.	4	Semienano	7/10/83	44	15	42	162	2	16,2
14	1ro.	4	Fortuna	5/10/83	44	20	21	157	2	19,1
15	3ro.	10	Fortuna	2/10/83	44	18	21	144	1	20,7
16	1ro.	10	Semienano	28/10/83	65	8	18	149	1	16,0
17	1ro.	7	Fortuna	14/10/83	44	21	23	149	0	24,3
18	1ro.	0	Semienano	15/10/83	44	14	36	159	4	20,7
19	1ro.	3	Semienano	4/10/83	44	10	40	163	4	20,7
20	1ro.	10	Semienano	28/10/83	44	5	23	152	3	16,0
21	1ro.	1	Semienano	28/10/83	44	5	25	152	1	16,0
22	3ro.	4	Semienano	1/12/83	44	5	23	161	0	14,9
23	1ro.	10	Bonnet 73	18/10/83	44	10	18	139	0	17,3
24	2do.	10	Bluebonnet	6/12/83	44	3	26	135	1	16,2
25	1ro.	2	Fortuna	27/10/83	44	20	22	159	1	14,8
26	1ro.	1	Semienano	29/10/83	44	20	23	159	1	14,8

(x): Acumulada desde 45 días antes de la cosecha, en Kcal/cm^2.

zas se realizó con herbicidas de pre y post emergencia a los 10-15 días de nacido el cultivo. Los resultados de estos controles fueron irregulares, y la incidencia de las malezas se registró como una variable de sitio más, estimando su efecto dañino de acuerdo a una escala de 1 a 5 (de menor a mayor). Ningún sitio fue fertilizado con fósforo en los últimos cinco años por lo menos.

El riego de los cultivos se inició a los 20-35 días, y se mantuvo una lámina de agua no menor de 5 cm hasta los 50-60 días, fecha en que se drenaron las parcelas para prevenir el vaneo (straigh-thead). Luego de secarse el suelo se reinundó y se mantuvo así hasta la cosecha. En la tabla 2 se presenta un resumen de algunas variables de sitio que identifican el manejo de cada ensayo.

Los datos presentados, correspondientes a los ensayos nº 1 al 16 son parte de las pruebas factoriales de respuesta al N y al P, con resultados finales no publicados. Comprenden el promedio de cuatro repeticiones de las parcelas testigo (P_O) y las de las dosis más alta de fósforo sin nitrógeno (P_n). Los datos de los ensayos 7 al 16 son promedios de tres repeticiones, con dos tratamientos solamente: P_O y P_I, llevados a cabo en la campaña 1983/84.

El fósforo se aplicó como superfosfato triple de calcio (20% de P), a mano, en cobertura y al voleo; la aplicación se realizó en diferentes períodos desde la emergencia, pero siempre antes del primer riego de inundación. Las dosis utilizadas fueron en todos los casos O y de 26 a 65 kg/ha de P, siendo 44 kg/ha en la mayoría de los casos.

Las parcelas se cosecharon a mano, en un sector central de 2 m x 4 m; de un total de tamaño de parcela de 3 m x 6 o 7 m. Se trilló con trilladora de parcelas y el producto de cada una se pesó y se midió su humedad; las pesadas fueron corregidas de modo de expresar los resultados en kg/ha de arroz-cáscara a 13% de humedad.

Determinaciones analíticas en suelos incubados anaeróbicamente

En una muestra compuesta del suelo superficial de cada sitio experimental se realizaron incubaciones anaeróbicas por triplicado para determinar los valores de fósforo asimilable y pH.

La incubación se realizó en tubos de ensayo, con 2,85 g de suelo seco y tamizado. Luego se agregaron 20 ml de agua destilada, se taparon los tubos y se colocaron en estufa a 30º C de temperatura constante.

Las determinaciones se realizaron a los 0, 7 y 14 días con todos los suelos; y con una parte de las muestras se continuaron las determinaciones hasta los 21 y 29 días.

Para la evaluación del fósforo extraíble se utilizó el método desarrollado por el Ing. A. Galmarini (x), en la cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNNE, y consiste en recrear en el medio incubado la concentración estándar del extractante Bray I, a partir de un pequeño volumen (0,5 ml) concentrado de ambos reactivos (HCI 0,025 N + FNH_4 0,03 N). Siendo el resto del proceso extractivo idéntico al convencional (I' de agitación). El desarrollo de color se realizó con el método del ácido cloromolíbdico y cloruro estannoso. La medición se realizó con colorímetro con filtro de 470μ.

Las determinaciones de pH se realizaron en una parte de las muestras de suelo. Se incubaron por triplicado tubos con 20 g de suelo y 25 ml de agua destilada, durante 7 y 14 días a 30ºC de temperatura constante, midiéndose el pH luego de agitar la muestra, con un potenciómetro con electrodo combinado.

Análisis de los datos

Para cada ensayo se calculó el incremento absoluto de rendimiento (Δ Y), deduciendo el promedio de rendimiento del testigo (Y_O) del promedio de rendimientos de las parcelas fertilizadas (Y_I). Se calcularon además los porcentajes de mayor rendimiento (% Y_I) a partir de la siguiente fórmula:

$$(Y_O / Y_I) \times 100 = \% Y_I$$

Para las determinaciones de los valores críticos de fósforo asimilable, primeramente se realizó la correlación lineal simple entre las variables de rendimientos: Y_O; Y_I; Δ Y y % Y_I, con los valores de fósforo evaluados a 0,7 y 14 días de incubado.

El ajuste de los datos al modelo discontínuo de Cate y Nelson se realizó con las variables significativamente asociados. Este particiona los resultados en dos o más grupos de suelos, aquellos donde el nivel del nutriente estudiado es tan bajo que la probabilidad de respuesta a la fertilización es alta, y aquellos otros

(x) Comunicación personal.

cuyo nivel de fósforo medido con un extractante determinado, está por encima de un llamado nivel "crítico", donde la probabilidad de lograr incrementos significativos es pequeña, (Cate y Nelson, 1971).

Se separaron los suelos en dos y tres clases de probabilidad de respuesta al fósforo, utilizándose el método estadístico de Nelson y Anderson (1977); donde por medio de un proceso interativo se elige el punto crítico de partición de clases que da el mejor ajuste (R^2).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las evaluaciones de fósforo extraíble se presentan en la tabla 3, y puede observarse que en todos los suelos estudiados las cantidades extraídas por Bray I aumentan sensiblemente al progresar las condiciones de reducción. En la figura I está representada la evolución de los niveles promedios de fósforo.

Este comportamiento es coincidente con otros suelos y otros extractantes utilizados para evaluar el P asimilable, como Bray 2, Olsen y Truog, entre otros. La mayor contribución de este aumento se debería esencialmente al fósforo ligado al hierro y a la fracción soluble en reductores (Verma y Tripathi, 1982; Ekpethe, 1976).

Las evaluaciones a 14 días de incubados los suelos, presentan niveles bastante mayores que las realizadas a 7 días. En la muestra donde se continuaron las evaluaciones hasta los 29 días, se observa un máximo promedio a las dos semanas para decrecer suavemente en mediciones posteriores. Esta disminución no significativa podría ser atribuída a una fijación del fósforo soluble como fosfatos ligados al calcio, (Patrick y Mahapatra, 1968); (Ponnamperuma, 1972).

En otros trabajos se citan evoluciones también variables, aumentando en determinados ocasiones, manteniéndose constante o bien disminuyendo abruptamente, independiente del tiempo de incubación (Moraes, 1973; Basak y Bhattachatya, 1962; De Datta *et al*, 1966). Este comportamiento diferencial depende principalmente de las características de los suelos, ligados a los contenidos de hierro libre, de la textura y de la naturaleza y cantidad de la materia orgánica (Ponnamperuma, 1972). La variación de estos parámetros podrían explicar algunas diferencias individuales, en donde suelos como los de los ensayos 4 y 5, los niveles continúan aumentando levemente; otros permanecen aproximadamente en el mismo nivel (nº 6 y 7); y en otros disminuyen bastante, (nº 1).

Es necesario destacar que los aumentos de fósforo registrados en el campo podrían diferir ampliamente de los observados en el laboratorio, en vista de la considerable influencia que tiene la temperatura en los procesos de incubación, (Moraes, 1973).

Los valores de pH de las muestras de suelo, también presentan un incremento esperado. Las causas de este aumento también puede considerarse como producidas por la reducción del suelo.

Los procesos de P-extraíble y pH atribuidos a compuestos férricos (Ponnamperuma, 1972) implicarían un aumento de los iones ferrosos en la solución del suelo, y podrían relacionarse a síntomas de toxicidad de este elemento, descriptos en suelos arroceros de Corrientes para variedades susceptibles (x).

En la tabla 4 se presentan los resultados de las respuestas obtenidas por la fertilización con fósforo, medidas como incrementos de rendimientos (Δ Y) y como porcentajes relativos del máximo rendimiento (% Y_I). Se dan también los rendimientos de los testigos (Y_O) y de las parcelas fertilizadas (Y_I). En la tabla 5 se presenta la matriz de correlaciones entre las variables de rendimientos y los niveles de P extraíble a 0,7 y 14 días.

Los rindes relativos (% Y_I) han sido usados en numerosas situaciones para la interpretación de los análisis de suelos, principalmente debido a que reduce la influencia de otros factores que afectan las respuestas, y permite realizar comparaciones entre sitios y años, (Nelson y Anderson, 1977). Pero en este trabajo se utilizarán los incrementos absolutos de rendimientos (Δ Y) por tres razones: 1) Los principales factores de manejo, edáficos y climáticos, son relativamente homogéneos; 2) Permite realizar interpretaciones económicas directas, y 3) El rango de variación de esta variable independiente es mucho mayor que el observado para los rendimientos relativos. En efecto, mientras que éstos oscilan en un estrecho margen (76 al 105%), los incrementos absolutos (Δ Y) variaron entre 1320 kg/ha y depresión de rendimientos. El promedio se sitúa en los 407 kg/ha, lo que implica una respuesta media aproximada de 9,4 kg de arroz por cada kg de P agregado.

Estos incrementos promedios son relativamente modestos si se los compara con las respuestas al nitró-

(x) Comunicación personal del Ing. Agr. W. Jetter.

Tabla Nº 3. Niveles de P-extraíble y pH, en suelos incubados anaeróbicamente durante períodos variables. (P en ppm).

Experimento	Fósforo extraíble - Días de incubación					pH - días incubación		
	0	7	14	21	29	0	7	14
1. Rzepecki	3,8	14,0	22,8	21,0	12,5	4,8	–	–
2. Biagini	1,4	8,4	16,4	13,5	18,0	5,0	–	–
3. Genghammer	2,3	11,9	21,3	20,1	17,2	5,0	–	–
4. INTA - Sem NP	3,4	12,7	23,2	19,8	30,8	5,2	–	–
5. INTA - Sem	3,3	8,4	15,3	16,8	17,3	5,6	–	–
6. Roldán	6,4	15,8	24,5	22,6	23,8	3,9	–	–
7. INTA BB	6,0	8,8	16,4	14,3	13,3	5,5	–	–
8. Meabe BB	6,9	15,2	25,6	23,3	15,1	4,1	–	–
9. Meabe F	3,7	7,2	15,8	12,8	11,4	4,2	–	–
10. Ibirá	8,4	16,4	26,4	25,8	22,6	4,0	–	–
11. Chequín	4,8	13,7	15,4	–	–	4,2	–	–
12. Meabe BB	7,1	17,2	23,7	–	–	5,0	6,3	6,3
13. Trevor	5,6	12,8	19,2	–	–	4,7	6,0	6,1
14. Meabe F	6,7	11,7	19,7	–	–	4,5	6,0	6,2
15. Lomónaco	5,7	18,9	25,9	–	–	5,0	6,1	6,3
16. Branchi	3,0	10,4	15,4	–	–	3,7	5,3	5,6
17. Meabe	4,2	12,9	14,0	–	–	4,5	6,0	6,2
18. Leguizamón	4,4	9,4	10,0	–	–	5,0	6,4	6,4
19. Branchi	6,8	17,0	22,0	–	–	4,8	6,4	7,0
20. De Bernardis	4,8	18,8	22,8	–	–	4,0	5,9	6,2
21. Roldán	4,4	16,1	21,0	–	–	4,0	5,9	6,2
22. Ibañez	5,2	10,5	13,3	–	–	4,4	5,6	5,9
23. Ibañez	7,0	19,2	24,5	–	–	4,3	5,7	5,9
24. Chequín	4,4	15,9	21,3	–	–	3,9	5,5	5,7
25. INTA F	5,6	10,5	13,8	–	–	4,8	5,9	6,6
26. INTA Sem	5,3	11,6	15,0	–	–	4,5	5,8	6,5
Promedio Sub-muestra	4,5	11,8	20,7	19,0	18,2	4,4	5,9	6,1
Muestra completa	5,0	13,3	19,4	–	–	4,5	–	–

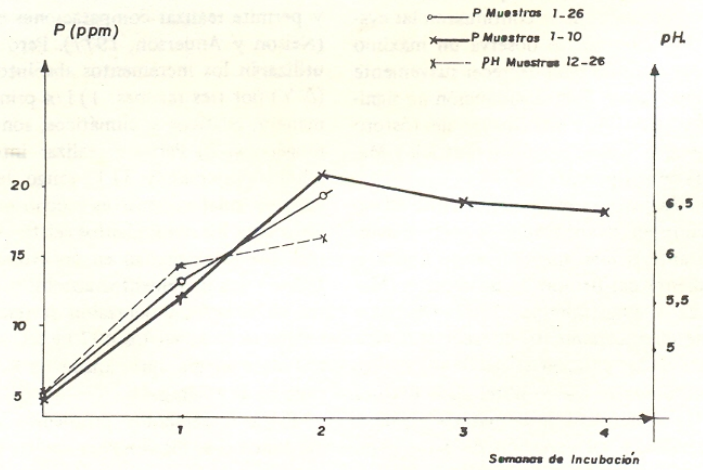

Fig. 1. Variación de los niveles de extraíble Bray 1 y pH con diferentes semanas de incubación anaeróbica.

Tabla Nº 4. Rendimientos e incrementos obtenidos con la fertilización fosfatada, y niveles de fósforo en suelo evaluado a 0 y 7 días de incubado (en kg/ha ppm)

Ensayo	Nombre	P-O	P-7	Y_O	Y_I	ΔY	$\%Y_I$
9	Meabe BB	3,7	7,2	3301	3866	565	85
2	Biagini	1,4	8,4	3012	3725	713	81
5	INTA Sem	3,3	8,4	4753	6073	1320	78
7	INTA BB	6,0	8,8	3624	3965	341	91
18	Leguizamón	4,4	9,4	3307	3407	100	97
16	Branchi	3,0	10,4	2625	3438	813	76
22	Ibañez	5,2	10,5	3871	4698	827	82
25	INTA F	5,6	10,5	2685	2778	93	97
26	INTA Sem	5,3	11,6	5096	5426	330	94
14	Meabe F	6,7	11,7	3543	3948	405	90
3	Genghamer	2,3	11,9	5202	6156	954	84
4	INTA Sem NP	3,4	12,7	5944	6337	393	94
13	Trevor	5,6	12,8	4207	4979	772	84
17	Meabe	4,2	12,9	4113	4201	88	98
11	Chequín	4,8	13,7	5232	5315	83	96
14	Rzepecki	3,8	14,0	4376	4905	529	89
8	Meabe BB	6,9	15,2	2043	2310	267	88
6	Roldán	6,4	15,8	4251	5081	830	84
24	Chequín	4,4	15,9	4039	4136	97	98
21	Roldán	4,4	16,1	5621	5830	209	96
10	Ibirá	8,4	16,4	2637	3015	378	87
19	Branchi	6,8	17,0	2785	3211	426	87
12	Meabe BB	7,1	17,2	3974	3849	−125	103
20	De Bernardis	4,8	18,8	4452	4249	−203	105
15	Lomónaco	5,7	18,9	5411	5618	207	96
23	Ibañez	7,0	19,8	4791	4960	169	96
	Promedio	5,0	13,3	4034	4441	407	91

geno observadas en estos ensayos, donde se han medido relaciones del orden de 15 a 20 kg de arroz por cada kg de N agregado, (Melgar *et al*, 1983).

Sin embargo la muestra relevada presenta algunas situaciones donde los incrementos son sustancialmente mayores al promedio, y surge claramente la necesidad de asociarla a alguna característica medible que permitan diagnosticarlas.

La correlación linear simple de estas respuestas (Δ Y) con los valores de P extraíble a 0,7 y 14 días mostraron distintos grados de asociación, pero todos negativos, es decir a mayores niveles menores incrementos. La mayor se observó con el fósforo evaluado a 7 días de incubado (r = –0,51 xx), siguiéndole las evaluaciones de fósforo sin incubar (r = –0,39 x); y sin asociación significativa las evaluaciones a 14 días (r = –0,18 N.S.), (Tabla Nº 5).

Se considera que las asociaciones son relativamente buenas tratándose de ensayos a campo, donde existen otros factores no controlados que probablemente influyen en la respuesta al fósforo, por ejemplo, competencia de malezas, niveles de nitrógeno nativo y eficiencia en el manejo del riego entre los más importantes, (Sanchez, 1976).

Tabla Nº 5. Valores de correlación (r) entre las variables de rendimiento y datos analíticos de fósforo.

	Y_O	Y_I	$\%Y$	ΔY
P_O	–0,25 N.S.	–0,37 *	0,29 N.S.	–0,39 *
P_7	–0,24 N.S.	0,06 N.S.	0,52 **	–0,51 **
P_{14}	0,18 N.S.	0,11 N.S.	0,18 N.S.	0,18 N.S.

Se realizó luego el ajuste de los datos al modelo discontínuo de Cate y Nelson, separándolos en dos y tres clases se eligieron así para las evaluaciones de

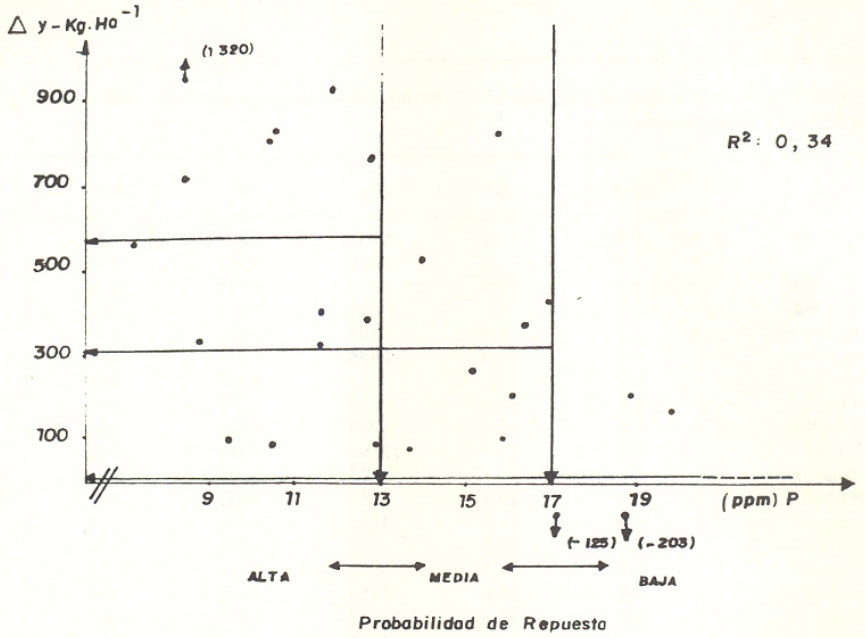

Fig. 2. Relación entre respuestas del arroz a la fertilización fosfatada y niveles de fósforo evaluados con Bray I en suelos incubados por 7 días, agrupados según el método de Nelson y Anderson.

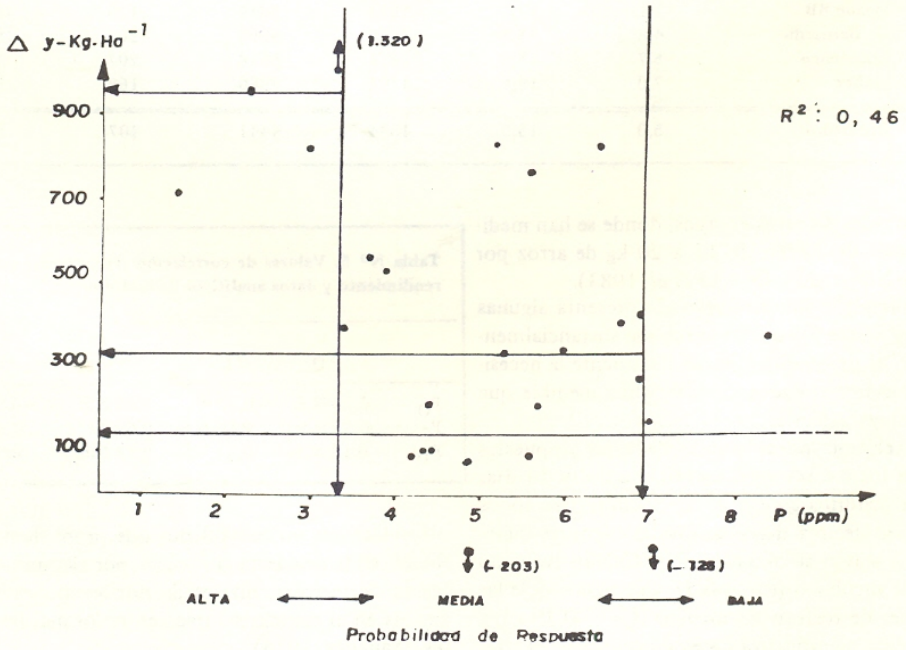

Fig. 3. Relación entre respuestas del arroz a la fertilización fosfatada y niveles de fósforo evaluados con Bray I en determinaciones estandares, agrupados según el método de Nelson y Anderson.

Tabla Nº 6. Niveles de probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada en los suelos estudiados e incrementos asociados a cada clase de probabilidad.

a) Evaluaciones de fósforo sin incubar

	2 clases		3 clases		
Valor crítico (pmm)	3,3		3,3	6,9	
Δ Y promedio de cada clase (kg/ha)	950	308	950	334	140
Probabilidad de respuesta	Alta	Baja	Alta	Media	Baja
R^2	0,43		0,46		

b) Evaluaciones de fósforo a 7 días de incubado

	2 clases		3 clases		
Valor crítico (pmm)	12,8		12,8	17,0	
Δ Y promedio de cada clase (kg/ha)	587	227	587	323	12
Probabilidad de respuesta	Alta	Baja	Alta	Media	Baja
R^2	0,26		0,34		

fósforo sin incubar, e incubado por 7 días. En la tabla 6 se dan los valores críticos obtenidos, el incremento promedio de cada clase y el grado de ajuste del modelo. En las figuras 2 y 3 se graficaron los valores de la tabla 4, donde cada punto representa una prueba de campo; se señalaron los límites de cada clase.

A juzgar por estos resultados resulta evidente que por la forma de distribución de los datos y el grado de asociación de las variables, que los métodos de extracción utilizados presentan sensibilidad suficiente para ser utilizados en el diagnóstico de la fertilización fosfatada en arroz, principalmente las evaluaciones de fósforo sin incubar.

En efecto, en este último caso con valores inferiores a 3,3 ppm, los incrementos promedios encontrados se sitúan de 1 Tn/ha, mientras que con valores superiores a 7 ppm los aumentos originados por la fertilización alcanzan una magnitud mínima de 140 kg/ha.

Es necesario destacar que este método de interpretación solo separa suelos cuyos valores de P-asimilable indican una probabilidad de respuesta, y no dice nada sobre las cantidades de fertilizantes necesarias para alcanzar los máximos rendimientos, los que obviamente diferirán de acuerdo a cada clase.

Por otra parte los valores críticos de un elemento encontrados para un determinado cultivo pueden ser diferentes considerando otros extractantes. Así para Bray 2 y con fines interpretativos de necesidad de fertilizantes para arroz, se han citado valores críticos de 13 ppm con alta probabilidad de respuesta, y 25 ppm como niveles altos de baja probabilidad de respuesta (Peterson *et al*, 1971). Para Bray I se han mencionado valores bajos, medios y altos de 1, 1 a 5 y más de 6 ppm respectivamente (Bingham, 1962).

Esta última interpretación de niveles de fósforo no sería demasiado diferente de la suministrada por el análisis de este trabajo. Y sería coincidente con aquellas observaciones citadas en el sentido que los valores críticos de un cultivo establecidos para un determinado extractante son aproximadamente los mismos en un amplio rango de suelos de diferentes lugares (Fitts, *et al*, 1965).

Es significativo sin embargo que tanto los valores de fósforo encontrados en el área, como su interpretación en relación a las respuestas a este nutriente, serían extremadamente bajos para cultivos de secano o pasturas. Es altamente probable que los mecanismos de reducción y aumentos en los niveles de P extraíble en los suelos inundados, ya sea por riego como por encharcamientos pluviales periódicos, observados en los estudios de laboratorio contribuyan significativamente en la nutrición fosfatada, tanto para el arroz como para las pasturas naturales que sirven de alimentación a la mayoría de la ganadería de la zona.

CONCLUSIONES

Los valores de fósforo extraíble y pH se incrementan sensiblemente al incubarse anaeróbicamente los suelos arroceros típicos del norte de Corrientes. En promedio, este aumento se presenta hasta los 14 días de incubación y representa unas cuatro veces el valor original.

La respuesta promedio del arroz al agregado de 44 kg/ha de P se sitúa aproximadamente en los 400 kg/ha. Sin embargo se detectaron suelos con respuestas casi tres veces el promedio y con ninguna respuesta.

Estos suelos presentaron respectivamente valores menores de 3,3 ppm y mayores de 6,9 ppm, en evaluaciones de fósforo sin incubar; representan niveles con alta y baja probabilidad de respuesta. Para evaluaciones de fósforo en suelos incubados por 7 días, los niveles límites de cada clase son 12,8 y 17 ppm.

Si bien la probabilidad de respuesta se basa en modelos con coeficientes de determinación, no muy altos, pueden sugerirse estos métodos como orientativos para determinar las necesidades de fertilización fosfatada, con las limitaciones explicadas; o indicativos para la selección de sitios para estudios de respuesta más detallada.

REFERENCIAS

Basak, M. N. y R. Bhattachatya, 1962. Phosphate transformations in rice soils. Soil Sci. 94: 258-262.

Bingham, F. T., 1962. Chemical soil test for available phosphorus. Soil Sci. 94: 87-97.

Cate, R. B. Jr. y R. A. Nelson, 1971. A simple statiscal procedure for participationin soil test correlation data into two classes. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 658-659.

De Datta. S. K., J. C. Moomaw, V. V. Racho y G. V. Simsiman, 1966. Phosphorus supplying capacity of Lowland rice soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 780-784.

Escobar, E. H., R. Carnevali y R. A. Capurro, 1982. Suelos afectados por anegamiento en la provincia de Corrientes. E.E.R.A. Corrientes, INTA, mayo de 1982, 22 pp.

Escobar, E. H., 1983; Convenio INTA-ICA-CFI - Provincia de Corrientes. Los suelos y la vegetación del área de influencia de las obras de Yaciretá. Provincia de Corrientes. Inéditos. Bibliotecas INTA, ICA, CFI y Provincia de Corrientes.

Ekpete, D. M., 1976. Evaluation of chemical methods for the determination of available phosphorus in water logged soils. S. Sci. 121: 217-221.

Fitts, J. W., R. B. Jr. Cate, A. H. Hunter, J. L. Walker y D. L. Waugh, 1965. Evaluation of soil fertility in Latin American, Soil testing plant analysis. Int. Soil testing Ser. Tech. Bull 2. North Carolina State University, Raleigh.

Melgar, R. J., A. L. Migliarini, W. Jetter y C. Richieri, 1983. La fertilización del cultivo de arroz en suelos del norte de Corrientes. Resultados de campañas 1981-83. E.E.R.A. Corrientes, INTA, octubre de 1983, 39 pp.

Moraes, J. F. V., 1973. Efeitos da inundacao do solo: I. Influencia do pH, o potencial de óxido-reducâo e a disponibilidades do fósforo no solo. II. Influencia sobre a absorçâo de nutrientes e o crescimento do arroz. *(Oryza sativa)*. Pesq. Agrop. Brasileira. Serie Agronomia. 8: 93-108.

Nelson, L. A. y R. L. Anderson, 1977. Partitioning of soil test-crop response probability. En Soil Testing: Correlating and interpreting the analyrical results. ASA Spec. Pub. number 29, Madison Wisc.

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

Peterson, F. J., R. H. Brupbacher, H. L. Clark y J. E. Sedberry, 1971. Rice fertilization as related to soil type and test. Proc. Int. Symp. Soil Fert. Eval. (New Dehli), I: 446-454.

Ponnamperuma, F. N., 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24: 29-96.

Sánchez, P. A., 1976. Soil management in rice cultivation systems. En Properties and management of soils in the tropics. Cap. II: 413-477. John Wiley & Sons, N. York, 1976, 618 pp.

Verma, T. S. y B. R. Tripathi, 1982. Evaluation of chemical methods for the determination of available phosphorus in water logged: Alfisols: 2. Suitability of soil test methods in relation to plant growth parameters. Soil Sci. 134: 294-299.