

## **VI. DINÁMICA DEL FÓSFORO EN SISTEMAS DE ARROZ-PASTURAS: CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS DE SUELOS PARA ESTIMAR LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO**

Proyecto Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA) No. 082

### **INDICADORES DE DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO Y RESPUESTA DEL CULTIVO DE ARROZ A LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA**

Jorge Hernández<sup>1/</sup> - Andrés Berger<sup>1/</sup>

#### **INTRODUCCIÓN**

El manejo de la fertilización fosfatada en diferentes sistemas agrícola-ganaderos se realiza sobre una base experimental segura, donde los métodos clásicos de análisis de suelo brindan un resultado analítico de buen poder predictivo de la respuesta o no de los cultivos que integran el sistema a la fertilización fosfatada. Sin embargo, en los suelos de los sistemas arroz-pasturas, la utilidad de los métodos clásicos de análisis ha mostrado cierta incertidumbre en cuanto a su capacidad predictiva de la disponibilidad de P. Dicha incertidumbre surge de la constatación de situaciones de respuesta variable al agregado de fósforo con niveles similares del nutriente en el suelo, evaluado por los métodos clásicos. Una de las causas de esta baja capacidad predictiva de los métodos radica en que en este tipo de sistemas, la dinámica del fósforo presenta ciertas particularidades, como consecuencia de la existencia de períodos variables de inundación y secado, las cuales determinan variaciones importantes de la disponibilidad del nutriente. La magnitud de dichos cambios es variable según los suelos, y está principalmente asociada con el contenido de óxidos de hierro y su capacidad de reacción con el fósforo del suelo, haciendo variar su disponibilidad.

<sup>1/</sup> Facultad de Agronomía

El exceso de agua genera condiciones de anaerobiosis en el suelo y reducción del hierro presente en diversos compuestos de suelo, como los fosfatos. Estos cambios determinan un aumento de la solubilidad de dichos compuestos, lo que se traduce en un aumento de la disponibilidad del fósforo. Dicha disponibilidad también se ve incrementada con el aumento del pH durante la inundación de suelos ácidos.

Los trabajos aquí presentados fueron realizados en el marco del proyecto "Dinámica de fósforo en sistemas arroz-pasturas: caracterización de parámetros de suelo para estimar la disponibilidad de fósforo" financiado por I.N.I.A. a través del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria. Los objetivos principales del proyecto consistieron en evaluar diferentes indicadores de suelo para estimar la disponibilidad de fósforo en cultivo de arroz y pasturas sembradas sobre el rastrojo, así como caracterizar la respuesta al agregado de fósforo en las dos etapas del sistema. Estos resultados apuntaron a identificar la mejor estrategia de manejo de la fertilización fosfatada dentro del sistema, no sólo en cuanto a la pertinencia del agregado de fósforo para la situaciones específicas, sino también en que etapa es más justificable su uso. Los resultados que aquí se presentan responden a los

trabajos realizados en cultivo de arroz, los cuales consistieron en:

- Seleccionar indicadores de suelo que permitan estimar la disponibilidad de fósforo con suficiente confiabilidad para el cultivo de arroz.
- Identificar niveles críticos de fósforo en el suelo para decidir la necesidad de agregado de fertilizante fosfatado.
- Cuantificar la respuesta al agregado de fósforo en cultivo de arroz bajo diferentes situaciones de historia de chacra.

### **METODOLOGÍA**

Durante las temporadas de cultivo 2000-2001 y 2001-2002 fueron evaluados 43 experimentos de campo de respuesta a fósforo en cultivo de arroz. Los criterios de selección de los sitios experimentales fueron de abarcar suelos variables en su historia de fertilización fosfatada, así como en sus propiedades químicas, de las diferentes zonas productoras de arroz (este, noreste y norte). Fueron realizados ensayos de campo con cuatro niveles de fósforo a la siembra del cultivo (0, 30, 60 y 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> agregados como superfosfato triple 0-46-46-0) dispuestos en bloques al azar con 4 repeticiones. En todos los casos se agregaron además 20 kg N ha<sup>-1</sup> bajo forma de urea (46-0-0) a la siembra. El resto de las labores post siembra (riego, fertilización nitrogenada, control de malezas, plagas y enfermedades) fue el realizado por el productor en conjunto con la chacra donde se instaló el experimento. En cada experimento se trabajó con la variedad comercial sembrada por el productor, siendo en su mayoría El Paso 144 y Tacuarí, aunque hubo experimentos con Caraguatá, Bluebelle e IRGA 417. De acuerdo con el material de origen, los suelos fueron clasificados en dos grupos: suelos de texturas medias y

pesadas de los Dptos. de Rocha, Treinta y Tres y Cerro Largo (Grupo A); y suelos de texturas pesadas sobre basalto de los Dptos. de Artigas y Salto (Grupo B). De acuerdo con el manejo previo de la chacra, se consideraron diferentes situaciones:

- campo natural o regenerado: sin agricultura en los últimos 10 años o más
- retornos largos: suelos donde el último cultivo de arroz fue sembrado entre 4 y 10 años atrás, luego de los cuales el campo recuperó el tapiz natural
- retornos cortos: suelos donde el último cultivo fue arroz 3 años atrás, luego de los cuales el campo recuperó el tapiz natural
- praderas: cultivos sembrados luego de praderas de 3 años con leguminosas con alguna fertilización baja durante el período
- rastrojos de arroz del año anterior

En cada sitio se realizó un muestreo de suelo previo a la instalación del cultivo de arroz. Los métodos clásicos evaluados para estimar la disponibilidad de fósforo en suelo fueron Bray N° 1, Ácido Cítrico al 1%, Mehlich 3, Olsen. También fue evaluado el fósforo extraído mediante una solución de Oxalato de Amonio 0.2M (utilizado para extraer las formas reactivas de hierro), así como el fósforo extraído por una solución de Bray 1 luego de un período de incubación de 3 y 7 días con exceso de agua a 40°C (simulando condiciones de anaerobiosis ocurridas durante el cultivo de arroz).

En algunos sitios se tomaron muestras de planta en el estado de primordio, en las cuales se determinó el contenido de fósforo. En todos los sitios se evaluó el rendimiento en grano al momento de cosecha, mediante el corte a mano entre 3 y 6 m<sup>2</sup> por parcela. Todos los

rendimientos fueron corregidos al 13% de humedad en grano.

## RESULTADOS

En el Cuadro 1 se indican los valores promedio de fósforo extraído por los diferentes métodos para las diferentes situaciones de manejo en los dos grupos de suelos, así como el promedio general y su amplitud.

Cuadro 1. Valores promedio de fósforo según manejo previo de la chacra para los suelos formados a partir de diferentes materiales de origen.

Historia de chacra	Bray 1		Cítrico		Mehlich 3		Olsen		Bray Inc3		Bray Inc7		Oxalato	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
	----- mg P kg <sup>-1</sup> -----													
C. Nat./Reg.	3.7	5.9	4.2	4.8	4.3	5.6	4.0	3.7	14.7	8.9	23.8	13.4	221	274
Retorno largo	6.1	-	7.0	-	8.2	-	5.1	-	25.1	-	37.9	-	298	-
Retorno corto	8.2	4.9	9.5	5.9	10.2	4.8	6.8	4.0	30.5	10.6	42.3	15.2	186	209
Pradera	7.4	6.1	9.3	7.0	9.4	5.4	6.0	4.5	27.6	12.9	38.8	23.5	212	257
Rastrojos	8.7	2.6	12.7	3.3	11.8	2.2	7.3	4.9	33.5	10.2	44.8	13.8	203	231
Promedio	7.3	4.9	9.3	5.2	9.4	4.4	6.1	4.3	27.9	10.6	39.2	16.7	215	248
Amplitud	5.0	3.5	8.6	3.7	7.5	3.4	3.3	1.2	18.8	4.0	21.0	10.1	112	64

Nota: El grupo A corresponde a suelos de la zona este-noreste del país, desarrollados a partir de materiales variados de origen aluvial. El Grupo B corresponde a suelos de textura pesada desarrollados a partir de materiales de origen con influencia de la alteración de basalto.

Las diferentes situaciones de manejo previo de los suelos marcaron diferencias importantes en los niveles de fósforo asimilable de los suelos evaluados por los diferentes métodos. Para los suelos del Grupo A los valores promedio encontrados fueron campo natural/regenerado < retorno largo < pradera < retorno corto < rastrojo. Dicho orden guarda relación con la frecuencia y/o cercanía de la última fertilización con fósforo. Dentro de los extractantes clásicos, el Ácido Cítrico y la solución de Mehlich 3 mostraron valores con una mayor amplitud que los extractantes Bray 1 y Olsen, para los suelos del Grupo A. Esto indica una mayor capacidad de ambos para estimar las diferencias en residualidad de fósforo. Para los suelos del Grupo B (con influencia de basalto) la secuencia no es tan clara, además de menores

extracciones de fósforo por parte de todos los métodos (excepto por el oxalato). Esto ya indica dificultades analíticas para evaluar la disponibilidad de fósforo en suelos con influencia de basalto.

Todos los métodos tuvieron correlaciones significativas entre sí (Cuadro 2). Los métodos clásicos (Bray, Olsen y Mehlich 3) y el método por el Ácido Cítrico mostraron las más altas correlaciones entre sí, lo cual indicaría que están estimando cantidades proporcionales de P de los suelos. Las incubaciones mostraron correlaciones altamente significativas con los métodos anteriores, en tanto que el método por Oxalato de Amonio 0.2M dio valores algo menores, aunque significativos.

Cuadro 2. Coeficientes de correlación y probabilidad de los mismos para los diferentes métodos evaluados

	Cítrico	Melich 3	Olsen	Oxalato	Bray Inc3	Bray Inc7
Bray	0.930 0.0001	0.964 0.0001	0.887 0.0001	0.321 0.0495	0.802 0.0001	0.670 0.0001
Cítrico		0.944 0.0001	0.888 0.0001	0.381 0.0181	0.807 0.0001	0.672 0.0001
Melich 3			0.921 0.0001	0.338 0.0378	0.854 0.0001	0.743 0.0001
Olsen				0.341 0.0361	0.802 0.0001	0.719 0.0001
Oxalato					0.335 0.0399	0.338 0.0381
Bray Inc3						0.876 0.0001

Nota: Las correlaciones se realizaron para los 38 suelos diferentes. En algunos de ellos se ubicó más de un experimento de respuesta a fósforo.

### **Características de la respuesta a fósforo**

De los 43 ensayos evaluados, fue observada respuesta positiva al agregado de fósforo en 28 sitios. Sin embargo, sólo hubo respuesta significativa en 10 sitios. En estos sitios las diferencias sólo fueron significativas entre el testigo y la dosis de 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. En el Cuadro 3 se indican estos resultados.

Esto permite constatar que en aquellas situaciones donde existe menor residualidad de P (Campo natural y retornos largos) existe efecto positivo de la fertilización fosfatada. Los sitios con historia más reciente de fertilización fosfatada (cultivo previo de arroz y praderas) mostraron menor respuesta a la fertilización fosfatada, y ésta no resultó significativa.

Cuadro 3. Rendimiento Relativo del testigo respecto al promedio de los dos tratamientos que rindieron más con fertilización (RR), diferencia entre el rendimiento promedio de los fertilizados y el testigo (F-T), significación de la respuesta, y niveles de fósforo para tres métodos, según el manejo previo de los sitios.

Sitio experimental	Historia de chacra	RR	F-T	Signif.	Citríco	Bray 1	Mehlich 3
		%	kg ha <sup>-1</sup>		mg P kg <sup>-1</sup>	mg P kg <sup>-1</sup>	mg P kg <sup>-1</sup>
23	CN	86	1314	0.0268	3.3	4.1	3.4
34	CN	94	1047	0.0300	5.9	7.0	6.3
20	CN	92	816		6.2	3.4	5.2
39	CN	96	773		5.9	7.0	6.3
21	CN	95	443		5.3	4.8	5.3
			878		5.3	5.2	5.3
32	RL	57	3164	0.0001	5.9	5.2	6.1
29	RL	90	824	0.0382	3.7	4.3	4.7
15	RL	93	628	0.0834	6.5	7.3	10.2
28	RL	96	37		11.9	7.8	11.6
			1163		7.0	6.1	8.2
4	RC	85	1159	0.0151	3.7	4.8	4.9
8	RC	91	837	0.0069	4.6	5.1	7.3
26	RC	95	362		8.9	8.2	9.4
17	RC	95	300		9.9	9.2	13.4
33	RC	95	248		13.0	9.0	10.8
12	RC	98	42		2.0	3.5	3.3
			491		7.0	6.6	8.2
1	PR	84	996		9.3	7.1	9.9
13	PR	96	506		7.7	6.6	6.0
41	PR	95	488		6.5	5.7	5.2
6	PR	98	466	0.0300	7.4	9.4	9.7
27	PR	97	2		11.0	5.5	8.0
			492		8.4	6.9	7.8
38	AR	91	949	0.0227	3.3	3.0	2.7
9	AR	93	440		3.2	3.9	3.8
14	AR	94	329		5.6	4.2	6.2
10	AR	92	322		20.5	11.2	16.0
35	AR	99	264		3.3	2.3	1.8
36	AR	98	256		3.8	2.4	1.9
37	AR	99	207		4.5	2.6	2.3
24	AR	98	69		22.5	15.4	18.9
			354		8.3	5.6	6.7

Nota: CN: campo natural; RL: retornos largos; RC: retornos cortos; PR: praderas; AR: rastrojos de arroz del año anterior.

### Relaciones entre las cantidades estimadas por los métodos y los índices en planta

A los efectos de evaluar la capacidad predictiva de la disponibilidad de fósforo de los métodos de análisis en términos de parámetros de planta, se calculó un índice de respuesta a fósforo que fue el

rendimiento relativo en grano del tratamiento testigo (sin agregado de P) respecto al promedio de los dos tratamientos de agregado de fósforo que tuvieron mayor rendimiento en cada sitio. Dado el comportamiento diferencial de los dos grupos de suelos, un primer criterio para el análisis fue

realizarlo en forma separada para los dos grupos de suelos. En segundo lugar, se descartaron aquellos sitios con rendimiento promedio del sitio inferiores a los 6000 kg grano por ha, así como aquellos con problemas de manejo que pudieran haber afectado la respuesta a fósforo. Se ajustaron los modelos matemáticos Lineal con plateau (LP), Cuadrático con plateau (CP) y Cate – Nelson (CN). Los parámetros evaluados fueron el nivel crítico de fósforo en el suelo y el  $R^2$  de cada modelo.

método del Ácido Cítrico. El nivel crítico definido por el modelo LP y el modelo CN fue coincidente en los  $7 \text{ mg P kg}^{-1}$  de suelo, siendo levemente superior para el modelo CP ( $10 \text{ mg P kg}^{-1}$ ). Mehlich 3 y Bray 1 fueron los métodos que siguieron al Ácido Cítrico en términos de los valores de  $R^2$  de los modelos ajustados. Para ambos métodos los niveles críticos de fósforo en el suelo fueron similares a los del Ácido Cítrico. En la Figura 1 se indican los ajustes para estos tres métodos. Las restantes metodologías ensayadas mostraron ajustes más bajos, los cuales indican menores poderes predictivos de la disponibilidad de fósforo.

De los métodos ensayados el que presentó mayores valores de  $R^2$  para los tres modelos ajustados fue el

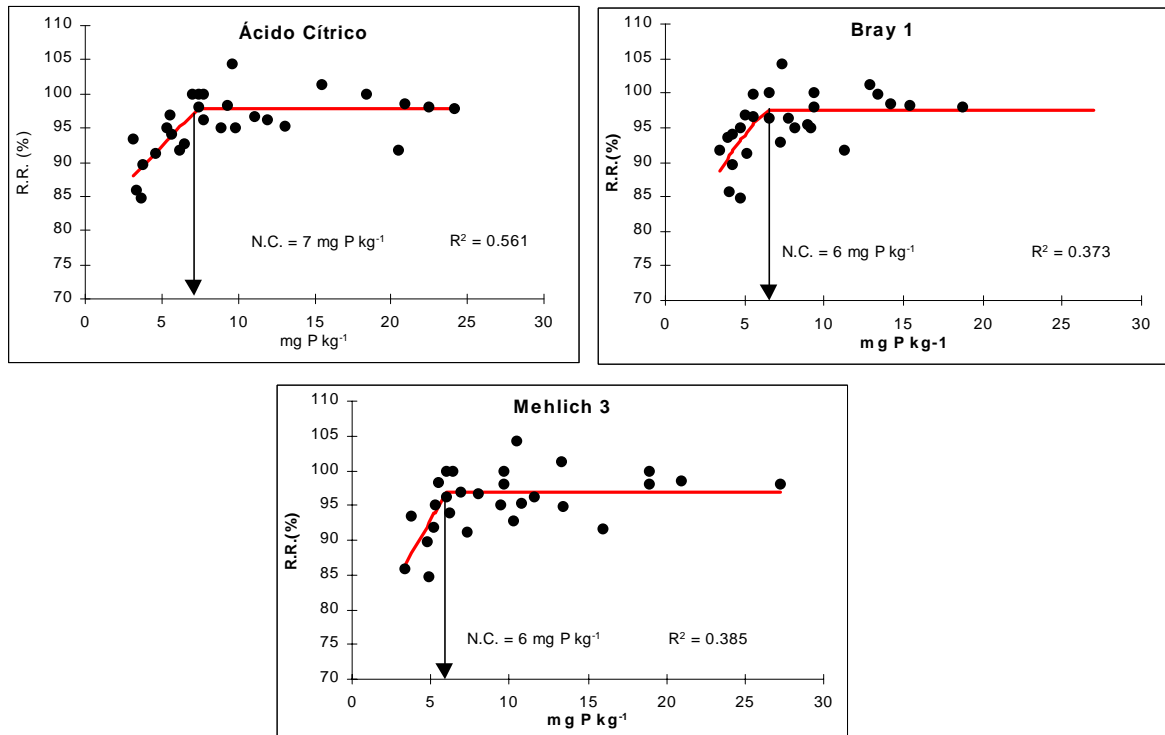


Figura 1. Ajustes del modelo lineal plateau las relaciones entre los valores de fósforo extraídos por los diferentes métodos y el rendimiento del testigo relativo al promedio de tratamientos de mayor rendimiento para 23 sitios del grupo A.

Con respecto a los suelos del grupo B, no fue posible lograr un ajuste de los modelos a los datos de fósforo en el suelo y rendimiento. Esto indicaría que ninguna de las metodologías ensayadas mostró una buena

capacidad para estimar la disponibilidad de fósforo en suelos con influencia de basalto. Cabe realizar, sin embargo, tres consideraciones: i) se trabajó con un escaso número de puntos (10 sitios); ii) los rendimientos relativos fueron



superiores al 90%, lo cual indica ya una respuesta muy baja al agregado de P; iii) el rango de variación de los valores analíticos es muy reducido, como ya ha sido comentado previamente.

Se aplicó la misma metodología de ajuste de los modelos matemáticos a los datos del porcentaje de fósforo en planta al estado de primordio, en función del contenido de fósforo en el suelo evaluado por los diferentes métodos. Este estudio fue realizado sólo en 10 sitios del grupo A de suelos. En términos generales se observaron ajustes relativamente bajos de los modelos a los datos experimentales, relacionados con una alta variabilidad de los mismos. De los métodos ensayados, el método Bray 1 mostró valores de ajuste con los modelos LP y CP con valores de  $R^2$  de 0.3980 y 0.4707, respectivamente. Los niveles críticos en ambos casos son coincidentes: 6 mg P kg<sup>-1</sup> para LP y 7 mg P kg<sup>-1</sup> para el modelo CP. El método del Ácido Cítrico, mostró valores de  $R^2$  similares para los modelos LP y CP (0.395 y 0.378, respectivamente), aunque con niveles críticos diferentes (4 y 7 mg P kg<sup>-1</sup>, respectivamente). El modelo de CN ajustó un nivel crítico de 8 mg P kg<sup>-1</sup>, similar al CP. Para Mehlich 3 los ajustes también fueron del mismo orden que los métodos anteriores ( $R^2=0.306$  para LP y 0.381 para CP), aunque los niveles críticos ajustados por los tres modelos fueron similares (6-7 mg P kg<sup>-1</sup>). El método de Olsen, así como los métodos por incubación y oxalato dieron valores de  $R^2$  muy bajos.

## CONCLUSIONES

- Los diferentes métodos evaluados estimaron cantidades diferentes de P, aunque correlacionadas entre sí.
- Para suelos de texturas medias y livianas de las zonas este-noreste del país el método del ácido cítrico mostró el mejor ajuste con el parámetro de rendimiento, seguido por Mehlich 3 y Bray 1. Los niveles críticos de fósforo en el suelo se ubicaron en el entorno de los 6-7 mg P kg<sup>-1</sup> para los tres métodos. Las restantes metodologías de análisis evaluadas no mostraron ventajas en términos de estimación de la disponibilidad de P.
- Para los suelos de textura pesada sobre basalto ninguno de los indicadores evaluados mostró buenas relaciones con el índice de rendimiento.
- La respuesta al agregado de fósforo en cultivo de arroz fue generalmente baja, siendo el rendimiento sin agregado de fósforo superior al 80% del correspondiente al cultivo fertilizado.
- La respuesta a fósforo fue más notoria en campos sin historia de fertilización o con historia lejana y/o bajos agregados de P.
- Para cultivos implantados sobre rastrojos de cultivos fertilizados con fósforo, o luego de un período de pasturas fertilizadas, la probabilidad de respuesta al agregado de fósforo fue muy baja.

## AGRADECIMIENTOS

Se desea agradecer la colaboración de instituciones, productores y técnicos en la ejecución de los trabajos realizados en el proyecto.