

## Balance aparente de fósforo en rotaciones agrícolas del litoral oeste del Uruguay

Juan D. Cano<sup>1</sup>, Oswaldo Ernst<sup>1</sup> y Fernando García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estación Exp. Mario Cassinoni, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay.

<sup>2</sup> INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

jdcano@adinet.com.uy; fgarcia@inpofofos.org

### Introducción

Los sistemas productivos agropecuarios del litoral oeste del Uruguay se han caracterizado por la predominancia de las rotaciones pasturas - cultivos (García-Préchac *et al.*, 2004). En la actualidad, con la generalización de la siembra directa, se produce una tendencia a prolongar la fase agrícola y acortar o eliminar la fase de pasturas. Los suelos del Uruguay poseen bajos niveles naturales de fósforo (P) extractable, siendo el mismo considerado el primer factor nutricional limitante para la siembra de cultivos (Hernández *et al.*, 1995). La fertilización fosfatada propuesta para cultivos graníferos se realiza en base al resultado del análisis de P utilizando el método de Bray N°1 en los primeros 20 cm de suelo antes de la siembra. En el caso de Argiúoles Típicos, que son los suelos predominantes en los campos agrícolas del Litoral uruguayo, la corrección se realiza con el agregado de 4 kg P ha<sup>-1</sup> por cada punto (ppm) por debajo del nivel crítico correspondiente a cada cultivo (Capurro *et al.*, 1982; Bordoli *et al.*, 2000). La cantidad de P total que se va del sistema en forma de grano no es tomada en cuenta para la posterior reposición vía fertilizante.

El balance de P del suelo es considerado un importante indicador de sustentabilidad de los sistemas de producción, siendo utilizado con diferentes objetivos. Es incierta la evolución de los niveles totales de P en los suelos de los actuales sistemas agrícolas del Uruguay, y se desconoce si el balance de P total del suelo puede ser un indicador útil en la toma de decisiones de fertilización.

A nivel regional, los cálculos de balance de P de los suelos agrícolas de la Región Pampeana argentina muestran que son negativos, a pesar del incremento en el uso de fertilizantes en esa región en la última década. La reposición del P extraído en los granos de los cuatro principales cultivos anuales (soja, maíz, trigo y girasol) varió entre el 43% y 56% en los años 1997, 1998 y 1999 (García 2001).

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el balance aparente de P de secuencias agrícolas del Uruguay y conocer su relación con el criterio de fertilización adoptado, los cultivos integrantes de la secuencia y los rendimientos en grano obtenidos.

### Materiales y Métodos.

Una base de datos con información de chacras comerciales del Litoral Oeste de Uruguay fue conformada a partir de encuestas a productores y técnicos. Las chacras en estudio tienen una secuencia continua en agricultura de secano, de al menos 5 cultivos, comprendidos dentro del período 1999 – 2005.

En la encuesta se recabó información para cada chacra en particular de:

- ⇒ cultivos sembrados
- ⇒ rendimientos obtenidos
- ⇒ tipo y cantidad de fertilizante agregado
- ⇒ resultados de análisis químicos de suelo (P Bray N° 1)

La información útil incluida en la base de datos totaliza 217 cultivos, correspondiente a 32 chacras de 6 productores. La totalidad de las chacras son manejadas en siembra directa. Los suelos dominantes son Argiúoles típicos, poseen 5 a 35 cm de horizonte A, entre 40 y 100 cm de profundidad total, contenidos de materia orgánica de entre 3 y 6%, y entre 0 y 8 % de pendientes que, en general, no superan los 300 metros de largo (MGAP, 1979).

Una vez recogida la información se procedió al cálculo de los balances aparentes de P, que fueron realizados para cada chacra y para el período disponible en cada una. Los balances contemplaron los ingresos de P por fertilizante y las salidas de P en grano o silo. Los ingresos de P se obtienen directamente de los datos de fertilización de la encuesta. Las salidas de P en la cosecha se estimaron utilizando coeficientes de contenido de P en grano para cada cultivo (PPIC, 2003).

A los efectos de profundizar el análisis de los resultados de los balances aparentes de P, se agruparon chacras en base al análisis estadístico Cluster, utilizándose el coeficiente de similitud de Gower (1971) del paquete estadístico SAS (V8). El análisis Cluster utiliza la información de una serie de variables de cada chacra y mide la similitud entre las mismas, con lo cual es posible conformar grupos homogéneos internamente y diferentes entre sí. El análisis Cluster se realizó considerando las variables: número de cultivos realizados, fertilización fosfatada acumulada durante el período

(kg P/ha), exportación de P vía producción de grano durante el período (kg P/ha), y balance aparente de P del período (kg P/ha). En primer lugar se obtuvo una matriz de distancias euclidianas con previa estandarización de las variables, restando la media y dividiendo sobre el desvío estándar para lo cual se utilizó el macro DISTNEW del paquete estadístico SAS versión 8.2. Luego se realizó el agrupamiento por el método de ligamiento promedio, y se obtuvo el resultado en distancias de desvío estándar. Para ello, se usó el procedimiento Cluster y para obtener el dendrograma el procedimiento Tree, del mismo paquete estadístico. La formación de grupos se realizó tomando como criterio la mitad de la distancia máxima entre observaciones y el aporte de cada variable a la formación de los grupos se realizó utilizando el Procedimiento STEPDISC (FORWARD y STEPWISE) del mismo paquete estadístico. El aporte relativo se estableció a partir del valor "F" de cada variable.

## Resultados y Discusión

### Características de las rotaciones

Los 217 registros de cultivos de la base de datos corresponden a 9 especies, entre las cuales el trigo y la soja sumados reúnen el 50%, siguiéndole en importancia los cultivos de girasol, maíz, cebada y sorgo (Tabla 1). Esta información muestra que existe una diversificación importante en los cultivos componentes de las secuencias en estudio, lo cual es más evidente si a esto le agregamos que varias de ellas rotan con pasturas después de un período determinado.

Los cultivos de verano predominan en las rotaciones agrícolas en estudio con un promedio de 63% de participación, valor que es algo mayor al promedio nacional correspondiente a las zafas 2001/02, 2002/03 y 2003/04, en el que los cultivos de verano representan el 56% de la agricultura de secano (DIEA, 2005).

La mitad de los cultivos de verano se siembran como segunda, luego de un cultivo de invierno. Dado que algunos productores manejan estrategias de fertilización diferentes según si el cultivo es de primera o segunda, es importante conocer cuales son los cultivos sembrados de esta última forma. Existen diferencias entre cultivos en cuanto al lugar que ocupan en la rotación;

mientras que todo el sorgo fue como segunda, solamente un 4% del maíz se sembró luego de un cultivo de invierno. Asimismo, un poco más de la mitad de la soja y casi dos tercios del girasol se sembraron después de un cultivo de invierno.

### Balance Aparente de Fósforo

El balance aparente promedio anual de las rotaciones en estudio es de 0,37 kg P/ha/año, con una reposición del P extraído en grano del 102%. Estos datos muestran un balance aparente de P que se podría clasificar como neutro o levemente positivo, evidenciando una realidad diferente a la de Argentina, en donde la reposición de P vía fertilizante se encuentra en torno al 50% (García, 2001).

Los cultivos de maíz, soja y sorgo son quienes exportan más P en grano (Fig 1). El sorgo y la soja además están entre los cultivos menos fertilizados, lo que lleva a que sean los únicos cultivos que en promedio arrojen balances negativos. Esta baja fertilización de soja y sorgo puede estar asociada a que son sembrados en una proporción importante como cultivos de segunda, habiendo productores que optan por no fertilizar o hacerlo con menores cantidades de P. El maíz, en cambio, si bien es el que más P exporta, es también quien más fertilizante recibe, lo cual resulta en un balance aparente positivo.

El rendimiento en grano tiene un elemental impacto en la salida de P en grano, que implica que por ejemplo el maíz exporte casi el triple de P en grano que el girasol, a pesar de que este último tenga un mayor % P. De todos modos, la concentración de P en grano es también muy importante, lo cual queda de manifiesto en el ejemplo de la soja y la cebada, cuyos rendimientos promedio son similares, pero la primera exporta más del doble de P en grano que la segunda por tener un mayor % P en grano. Los cultivos de invierno y el girasol son los que exportan menos P en grano. A su vez, la fertilización que reciben está dentro de los niveles promedio, lo que lleva a que tengan balances aparentes positivos.

Al examinar individualmente los balances aparentes de las 32 chacras, encontramos que existen importantes variaciones en el resultado final de cada

Tabla 1. Participación de cada cultivo, rendimiento en grano promedio (kg/ha) y coeficiente de variación (%) de los rendimientos.

Cultivo	N° cultivos	Rendimiento (kg/ha)	CV (%)
Soja	56	2532	25,1%
Trigo	53	3187	35,6%
Girasol	39	1601	40,9%
Maíz	28	5974	37,5%
Cebada	20	2601	46,7%
Sorgo	12	4533	16,3%
Avena	6	2317	27,9%
Otros	3	-	-

## Balance de fósforo en rotaciones agrícolas

una, variando entre +55 y -60 kg P/ha. Mientras 18 chacras arrojan un balance aparente positivo, hay 14 cuyo resultado es de pérdida neta de P. En base a esto, se hace necesario profundizar el análisis a efectos de identificar situaciones diferentes.

El balance de P del período y el número de cultivos involucrados en el mismo son las variables discriminantes de mayor peso, mientras que la fertilización P acumulada y producción de grano no aportaron significativamente a la conformación de los grupos de similitud.

Como es esperable, los grupos que utilizan estra-

tegias de fertilizar más frecuentemente a los cultivos de la rotación son los que finalizan con balances más positivos (Tabla 2).

El grupo A, con algo más de un cultivo por año, es el que posee un balance más positivo. Este grupo recibe una fertilización alta, lo cual explica principalmente los resultados. Los grupos B y D son quienes poseen mayores tasas de extracción de P en grano (25,5 kg P/ha/año), lo cual posiblemente esté asociado a que son los dos grupos que poseen secuencias más intensas, con un promedio de casi 2 cultivos al año (Tabla 3). Sin embargo la fertilización es muy diferente entre

estos dos grupos, lo que lleva a claras diferencias en el balance aparente de P en suelo. Mientras el grupo B fertiliza casi todos los cultivos y agrega más fertilizante del que extrae en grano, el grupo D representa a chacras que arrancan de valores altos de P extractable en suelo, lo que lleva a que se fertilicen menos de la mitad de los cultivos y tenga pérdidas netas de P. El grupo C(a) es el que menos fertilizante recibe anualmente, y es también quien menos extrae, resultando en un balance aparente levemente positivo. El grupo C(b) posee un balance aparente de -2,34 kg P/ha/año, resultado de las fertilizaciones insuficientes, principalmente en los cultivos de verano de segunda (Tabla 4).

Existen diferencias en la fertilización y los resultados de los balances según el momento del año en que se encuentra la rotación. Los cultivos de invierno son quienes menos P extraen en grano y quienes poseen balances más positivos. En términos promedios, los cultivos de verano de segunda reciben menos de la mitad del fertilizante que los de primera, lo que resulta en claras diferencias en el resultado de los balances de P.

Entre grupos existen también importantes diferencias según estación. El grupo D fue el único con bajas fertilizaciones en cultivos de invierno y balance aparente negativo. En cultivos de verano de primera, que son los más fertilizados por todos los grupos, los 3 que extraen más P en grano son los que poseen balance aparente negativo. En los cultivos de verano de segunda todos los grupos arrojan balance negativo, destacándose los grupos C(a), C(b) y D, que agregan muy poco fertilizante y tienen balances muy negativos. Esto último es muy importante en el caso del grupo D, que tiene un promedio cercano a dos cultivos por año y, por ende, una alta

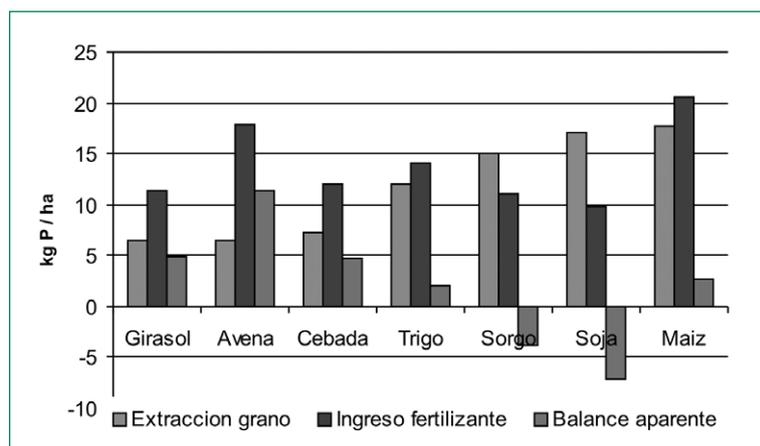


Figura 1. Extracción promedio de P en grano (kg/ha) para los distintos cultivos.

Tabla 2. Características de los grupos resultantes del análisis Cluster.

Grupo	N° cultivos / año	Cultivos fertilizados (%)	Balance final rotación (kg P/ha)
A	1,13	91,1%	24,5
B	1,97	86,7%	11,0
C (a)	1,22	71,4%	4,5
C (b)	1,48	62,2%	-9,6
D	1,82	42,5%	-40,2

Tabla 3. Balance aparente de P promedio anual según grupo.

Grupo	Fertilizante aplicado (kg P/ha/año)	Extracción en grano (kg P/ha/año)	Balance aparente anual (kg P/ha/año)
A	18,5	13,6	4,98
B	27,6	25,5	2,17
C (a)	13,9	12,7	1,18
C (b)	17,0	19,4	-2,34
D	16,4	25,5	-9,13
Total	19,5	19,2	0,37

proporción de cultivos de verano de segunda.

Los cultivos componentes de la rotación tienen incidencia en el resultado de los balances (Fig 1). En el Tabla 5 se muestra la proporción en las rotaciones de cada grupo de los cultivos más extractivos (soja, sorgo y maíz) y menos extractivos (cebada, avena y girasol). El grupo A, que posee el balance más positivo, es el que posee mayor proporción de cultivos menos extractivos. El grupo D, en tanto, que es el de balance más negativo, es el único que tiene más del 50% de sus rotaciones con soja, sorgo y maíz.

### Conclusiones

- El balance aparente promedio anual de las rotaciones resultó ser levemente positivo (0,37 kg P/ha/año), con una reposición del 102% del P exportado en grano. La existencia de grupos de chacras con balances positivos de más de 4 kg P/ha/año y otras con valores negativos alrededor de los 9 kg P/ha/año, sugieren que el análisis deba ir más allá de un resultado promedio.
- En base a los resultados expuestos se destacan dos elementos como los de mayor peso en la determinación de los resultados finales de los balances de P de la base de datos: la estrategia de fertilización empleada y los cultivos componentes de las secuencia.
- **Estrategia de fertilización:** Las chacras que reciben fertilización en una alta proporción de los cultivos tienen siempre balances positivos, mientras que aquellas en que sistemáticamente se omite la fertilización, como ser los cultivos de verano de segunda, resultan en balances que van de neutros a negativos, dependiendo de otros factores.
- **Cultivos componentes de las rotaciones:** los grupos de chacras con balances más positivos son, a su vez, aquellos que tienen menor proporción de los culti-

vos más extractivos. Cual es el cultivo sembrado y cual su rendimiento en grano son determinantes en la salida de P del sistema vía grano y en el resultado del balance. La excepción a esta regla es el cultivo de maíz, que si bien es el más extractivo, también es el más fertilizado y su balance es levemente positivo.

- La base de datos disponible para el trabajo no permite arribar a conclusiones que brinden recomendaciones específicas de manejo de la fertilización, pero si detectar estrategias de fertilización que son insuficientes para mantener o aumentar los niveles de P en suelo.

### Bibliografía consultada.

**Bordoli M, A. Quincke, A. Marchesi.** 2000. Fertilización de Trigo en Siembra Directa. 8ª Jornada Nacional de Siembra Directa. AUSID. Paysandú, Uruguay. Pp 14 – 29.

**Capurro E, W. Baetghen, A. Trujillo, A. Bozzano.** 1982. Rendimientos y respuesta a NPK de cebada cervicera. Miscelánea N° 43, CIAAB, La Estanzuela, Uruguay. 21 p.

**DIEA.** 2004. Encuesta Agrícola 2003/2004. Boletín Informativo – Serie Encuestas N° 219. MGAP, Estadísticas Agropecuarias (DIEA). Montevideo, Uruguay. 28 p.

**García F.** 2001. Phosphorus Balance in the Argentinean Pampas. Better Crops International 15 (1), 22 – 24.

**García-Prézac F, O. Ernst, G. Siri-Prieto, J. Terra.** 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. Soil & Tillage Research, 77, 1 – 13.

**Gower J.** 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics 27, 857-872.

**Hernández J, O. Otegui, J. Zamalvide.** 1995. Formas y contenidos de Fósforo en algunos suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Boletín de Investigaciones N° 43. Montevideo, Uruguay. 32 p.

**MGAP.** 1979. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Tomo III: Descripción de las Unidades de Suelos. Montevideo, Uruguay. 452 p.

**PPIC.** 2003. Nutrient statistics. Disponible en: <http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/canadae.nsf>. Consulta: Mayo 2006. ■

Tabla 4. Cálculo de Balance aparente promedio de P (kg P/ha) de cultivo según grupo, para cultivos de invierno, cultivos de verano de primera y de segunda.

Grupo	Invierno			Verano Primera			Verano Segunda		
	Fertilizante	Grano	Balance	Fertilizante	Grano	Balance	Fertilizante	Grano	Balance
A	15,9	10,3	5,6	18,5	13,8	4,8	11,3	11,9	-0,7
B	16,7	10,4	6,3	17,4	19,4	-2,0	9,3	11,5	-2,2
C (a)	12,4	8,8	3,6	17,6	9,6	8,0	3,1	13,6	-10,6
C (b)	12,9	9,4	3,6	15,3	18,2	-3,0	4,7	12,2	-7,4
D	7,3	12,1	-4,8	14,4	16,1	-1,7	4,9	14,0	-9,2
Total	13,6	10,2	3,4	16,7	15,6	1,1	7,9	12,3	-4,4

Tabla 5. Proporción de cultivos más y menos extractivos en la rotación de cada grupo.

Grupo	Soja + Sorgo + Maíz (más extractivos)	Cebada + Girasol + Avena (menos extractivos)
A	47%	38%
B	43%	30%
C (a)	39%	32%
C (b)	43%	27%
D	53%	20%
Total	44%	30%