

## MANEJO DE LA FERTILIZACION EN UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Ing. Agr. Angel Berardo\*  
aberardo@laboratoriofertilab.com.ar

En Argentina, y principalmente dentro de la Región Pampeana, la producción agrícola se ha realizado durante casi un siglo aprovechando la fertilidad natural de sus tierras.

En efecto, los suelos predominantes (denominados **Molisoles**) son de una alta fertilidad, tanto por sus propiedades químicas y biológicas, como por sus características físicas, lo que favorece el establecimiento y el crecimiento de los cultivos.

Esta fertilidad es debida a un alto contenido original de materia orgánica, un pH levemente ácido, una textura superficial franca ó franca arenosa y a un material madre (loess) rico tanto en bases (calcio, magnesio y sobre todo en potasio) como en otros nutrientes. Entre estas características, la materia orgánica juega un rol relevante, tanto por su contenido de nutrientes (principalmente nitrógeno, fósforo y azufre potencialmente disponibles para las plantas) como por sus efectos sobre la disponibilidad de los micronutrientes (boro, zinc, cobre etc), sobre las propiedades físicas y la actividad biológica del suelo.

En los últimos 30 años, con la intensificación de la agricultura se ha producido un empobrecimiento progresivo de la fertilidad de los suelos, provocado principalmente por la pérdida de materia orgánica. Esto puede atribuirse a los sistemas de labranzas utilizados, a la creciente expansión de las oleaginosas (principalmente la soja), y a la falta de una adecuada reposición de los nutrientes extraídos del sistema.

Sin duda, principalmente en las zonas centro y centro norte de la Región Pampeana, donde el deterioro de los suelos es más preocupante, la siembra directa puede contribuir a una recuperación progresiva de la fertilidad de los suelos, pero para ello es necesario utilizar una mayor proporción de gramíneas en la rotación y aplicar una fertilización balanceada.

Actualmente, la planificación de las actividades agropecuarias requiere un análisis del sistema de producción en su conjunto incluyendo al suelo como un componente del mismo en lugar de analizar cada cultivo o actividad productiva en forma aislada. Este enfoque tiene numerosas ventajas y beneficios, principalmente en cuanto al manejo de la fertilización. Este último aspecto debería tenerse en cuenta inclusive en los contratos de arrendamiento, para obtener un beneficio mayor de ambas partes y además lograr una mejor conservación de los recursos naturales.

El proceso de recomposición por lo menos parcial de la fertilidad de los suelos, a través de una restitución progresiva de la materia orgánica, es bastante lento, al igual que lo ha sido su pérdida. Esta en muchas situaciones alcanza entre un 2 % y un 4 %, con variaciones según las zonas, según los suelos y sobre todo según el manejo utilizado en los últimos 30 - 40 años.

A título de ejemplo, la pérdida de 1 % de materia orgánica (causada principalmente por labranzas inadecuadas) implica una disminución en los primeros 20 cm de 20 a 25 toneladas de materia orgánica por hectárea. A partir de esta cantidad de materia orgánica se mineralizarían y quedarían disponibles para los cultivos 1000 a 1200 kg de nitrógeno (N), 80 a 100 kg de fósforo (P) y 70 a 80 kg de azufre (S). Esta pérdida de materia orgánica y de nutrientes se ha duplicado o triplicado en la mayoría de los suelos de aptitud agrícola de la región Pampeana, alcanzando por hectárea valores de hasta 3000 a 3500 kg de N, 250 a 300 kg de P y 200 a 250 kg de S. Estos nutrientes han contribuido en forma casi exclusiva a la producción agrícola realizada en la región, debido a la baja reposición de los nutrientes exportados por los granos. Si se adjudica su valor a la pérdida de nutrientes a través de la mineralización de la materia orgánica, sin considerar los efectos que ésta tiene sobre el suelo, en

---

\* Docente Fac. de Ciencias Agrarias INTA Balcarce y Director Técnico Laboratorio de Suelos Fertilab

muchas situaciones este supera a los precios actuales de las tierras. Por lo tanto, para detener el proceso de deterioro de la fertilidad de los suelos, estos nutrientes exportados por los granos tienen que ser progresivamente reincorporados al suelo.

Al analizar la evolución de la producción de granos y del consumo de fertilizantes en los últimos 50 años (Cuadro 1), se observa que, con un incremento de sólo 20 a 30 % de la superficie agrícola, se ha triplicado la producción de granos. Esto implica que, con la tecnología incorporada a la agricultura se ha triplicado también la extracción anual de nutrientes. Si bien en los últimos 15 años el incremento del uso de fertilizantes ha sido considerablemente superior (400 a 500 %) al incremento en la producción de granos (120-130 %) el balance de nutrientes (cantidad exportada por los granos o forraje menos la aportada por la fertilización) sigue siendo progresivamente más negativo. Así, aún hoy con un consumo anual de dos millones de toneladas de fertilizantes (700.000 a 800.000 toneladas de nutrientes) se está reponiendo apenas un 50 % de P, un 25 – 30 % de N y menos del 10 % de S, siendo mínima o nula la utilización de otros nutrientes.

**CUADRO 1: EVOLUCION EN LA SUPERFICIE CULTIVADA, EN LA PRODUCCION DE GRANOS Y EN EL CONSUMO DE FERTILIZANTES EN EL PAIS EN LOS ULTIMOS 50 AÑOS (PROMEDIOS APROXIMADOS DE DECENIOS Y QUINQUENIOS)**

PERIODOS	SUP, CULTIVADA (Millones ha)	PROD DE GRANOS (Millones ton)	CONS. FERTILIZ. (Miles de ton.)	CONSUMO PROMEDIO (kg/ha cultivada)
55-65	18	20	50	2
66-75	19	25	150	7
76-85	20	35	250	12
86 - 90	19	30	300	15
91 - 95	20	40	800	40
96 - 2000	22	55	1.600	70
2001 - 2003	24	70	1.800	80

Cabe aclarar que, en los últimos años se ha mejorado sensiblemente la fertilización de los cereales (trigo y principalmente maíz) pero es aún incipiente la fertilización de las oleaginosas (soja y girasol).

Por tal razón, en las rotaciones en las que se incluyen el trigo y el maíz, el balance de nutrientes no es tan negativo ya que se repone en general entre el 70 y 80 % del N y del P exportado por el grano (450.000 a 500.000 toneladas de N y 80.000 a 90.000 toneladas de P entre ambos cultivos).

Por el contrario, en las rotaciones donde predominan las oleaginosas (principalmente la soja) el balance de nutrientes es altamente negativo, por ser muy escaso el agregado de fertilizantes. Por tal razón, aún habiéndose mejorado la fertilización de los cereales, en el último quinquenio se ha producido un estancamiento en el consumo total de fertilizantes por una reducción en la superficie sembrada con gramíneas como consecuencia de la gran expansión de la soja. Actualmente, ésta última representa más del 50% tanto del área sembrada como de la producción total de granos.

Aún con una fijación del 50 - 60 % del nitrógeno requerido, en toda la región este cultivo ocasiona un balance negativo de 700.000 a 800.000 toneladas de N, lo que corresponde al doble de lo exportado por los cereales, en los cuales como ya se ha señalado se repone el 70 - 80 % con la fertilización. La magnitud de tal pérdida de N además del tipo de rastrojo de rápida mineralización, explican la mayor disminución de la materia orgánica en los sistemas donde predomina la soja. Asimismo, los altos requerimientos y exportación de P, de S y también de K de esta oleaginosa, son la causa principal del acelerado empobrecimiento de los suelos, en la medida que va desplazando a las gramíneas dentro de la rotación si no se realiza una fertilización adecuada.

A veces los cultivos que menos responden a los fertilizantes son los de más altos requerimientos, ya que la naturaleza los ha dotado de mecanismos que le permiten utilizar al máximo los nutrientes del suelo. La soja es un cultivo que manifiesta esta ventaja adaptativa pero que empobrece el suelo.

La concentración de nutrientes o los requerimientos por unidad de producción son mayores en las oleaginosas que en las gramíneas. A modo de ejemplo, en el Cuadro 2 se indican los valores promedio o más frecuentes de concentración de macro y micronutrientes en grano y en forraje, obtenidos en numerosos ensayos realizados dentro de la región Pampeana por distintos grupos del INTA, grupos CREA y AAPRESID.

**Cuadro 2: CONCENTRACION DE NUTRIENTES EN GRANOS DE MAIZ, TRIGO, SOJA, GIRASOL Y FORRAJE (a) Y EXTRACCION POR TONELADA DE PRODUCCION (b) (\*\*)**

		MACRONUTRIENTES						MICRONUTRIENTES				
		N	P	K	S	Ca	Mg	Zn	Fe	Cu	Mn	Boro
MAIZ	a) Concentración	1.0 - 1.5	0.25 - 0.30	0.50	0.08 - 0.12	0.05	0.12	30	40	4	10	9
	b) Extracción	10 - 12	2.5	5	1	0.5	1.2	30	40	4	10	9
TRIGO	a) Concentración	1.8 - 2.5	0.30 - 0.40	0.5	0.8 - 0.15	0.07	0.13	30	60	5	30	4
	b) Extracción	20 - 22	3.5	5	1.2	0.7	1.3	30	60	5	30	4
GIRASOL	a) Concentración	2.5 - 3.0	0.40 - 0.50	0.8 - 1.0	0.15 - 0.20	0.25	0.25	50	70	15	25	15
	b) Extracción	25 - 30	4.5	10	2	2.5	2.5	50	70	15	25	15
SOJA	a) Concentración	5.5 - 6.0	0.40 - 0.60	1.8 - 2.0	0.25 - 0.35	0.3	0.3	35	80	15	40	40
	b) Extracción	30 (*)	5	20	3	3	3	35	80	15	40	40
PAST.CONS. (ALFALFA) bajo cortes	a) Concentración	2.5 - 3.0	0.20 - 0.30	2.0	0.18 - 0.20	0.5 (20)	0.2	20	90 - 120	10	80	10 (50)
	b) Extracción	25 - 30	2.5	20	2	5 (20)	2	20	90 - 120	10	80	10 (50)

a) **Concentración:** % para macronutrientes y mg/kg para micronutrientes

b) **Extracción/tonelada:** kg para macronutrientes y g para micronutrientes

(\*) Considerando una fijación biológica del N de más del 50%

(\*\*) Datos provenientes de distintos ensayos realizados por INTA, GRUPOS CREA, AAPRESID y analizados en el Laboratorio Fertilab

La concentración de la mayoría de los nutrientes en los granos se incrementa progresivamente en el mismo orden que se indica en el Cuadro 2 y está asociada a un mayor contenido de proteína en los granos, siendo el menor para maíz y progresivamente con mayores valores para trigo, para girasol y para soja. Por tal razón, en relación a los cereales el grano de soja puede contener hasta el doble de concentración de P, el triple de S y una relación aún mayor de K. De esta manera, con la producción actual de soja (35 millones de toneladas, aproximadamente) se exportan anualmente 170.000 a 180.000 toneladas de P (equivalente a casi 1 millón de toneladas de superfosfato triple o fosfato diamónico), siendo la extracción sólo en este cultivo superior a la reposición anual para todo el país

Los mayores requerimientos de azufre de las oleaginosas, principalmente de la soja, en relación a las gramíneas son la causa principal de la deficiencia cada vez mayor de este nutriente en los suelos donde ésta se presenta con mayor frecuencia dentro de la rotación. El proceso de empobrecimiento se acentúa aún más por la menor cantidad de rastrojo y por su rápida descomposición, lo que da lugar a una mayor pérdida de materia orgánica, reservorio principal no sólo de este nutriente sino también del P y del N, tal como se mencionó con anterioridad. El menor índice de cosecha de S en los cereales y principalmente en el trigo con relación a la soja asegura el éxito de la fertilización con este nutriente en los cereales antecesores de la soja.

Los niveles de extracción por los granos de calcio (Ca) y de magnesio (Mg) son en general bajos a muy bajos principalmente en las gramíneas, siendo en estas comparativamente más elevados los de Mg, sobre todo si se tiene en cuenta su menor reserva en el suelo con respecto a la del Ca, cuyo contenido es muy elevado. Los valores más frecuentes (0 - 20 cm) de la fracción disponible intercambiable son de 300 a 600 y de 2500 a 5000 kg/ha, para Mg y Ca, respectivamente.

Entre los micronutrientes deben destacarse principalmente los mayores requerimientos de boro de las oleaginosas y de la alfalfa en relación a la gramíneas, aspecto que también debería tenerse en cuenta en el manejo de la fertilización. Entre los otros micronutrientes hay algunas evidencias de deficiencias de zinc y de cobre en los cereales, ya que los contenidos de estos en el suelo no suelen ser muy elevados; por consiguiente progresivamente habrá que considerar también la incorporación de estos últimos dentro del manejo balanceado de la fertilización.

En función de los resultados presentados en el Cuadro 2, en el cual se indican también los niveles de exportación de nutrientes por toneladas de granos y de forraje cosechado, puede estimarse la exportación de nutrientes en distintos sistemas de producción en función de los cultivos y de los rendimientos más frecuentes.

Para tener una idea más precisa de la exportación de nutrientes a través de los granos, en el Cuadro 3 se indican las estimaciones realizadas con distintas secuencias de cultivos y con rendimientos variables dentro de la región Pampeana. Al igual que en el Cuadro 2, las secuencias indicadas presentan un orden creciente de extracción de nutrientes. Estas son mayores en las zonas centro y centro norte de la región Pampeana en la medida que la alta productividad de sus suelos y las lluvias estivales permiten alcanzar mayores rendimientos de los cultivos de verano y realizar además el doble cultivo trigo-soja. La incorporación del riego dentro del paquete tecnológico requiere un manejo más cuidadoso de la fertilización para optimizar la incorporación de esta práctica dentro del sistema de producción. Estos niveles de exportación de nutrientes deben tenerse en cuenta para planificar la fertilización dentro de la rotación aplicando la máxima cantidad posible de cada nutriente, si se quiere mantener la fertilidad de los suelos.

En general, aun en los cereales la fertilización utilizada hoy día suele ser inferior a la requerida; distintas son las razones pero la falta de actualización de la información experimental, la falta de conocimiento, y por lo tanto de convencimiento del beneficio real de la fertilización dentro del sistema sin duda son las de mayor relevancia.

Los beneficios de la fertilización tienen que ser evaluados con un enfoque mucho más amplio, tratando de conocer el destino y el reciclaje de los nutrientes que se incorporan al suelo y sus efectos sobre la producción de todos los cultivos dentro de la rotación. Por lo general, se analiza solamente el efecto de esta práctica sobre los rendimientos o la producción del cultivo que se fertiliza y no tanto los efectos residuales y colaterales de los nutrientes. Entre ellos se pueden mencionar sus transformaciones en el suelo, tanto en forma directa como a través de los residuos, sus efectos sobre la materia orgánica y sobre las propiedades físicas y la modificación de la actividad biótica, que tienden a producir cambios sustanciales en la relación suelo-planta y en la productividad de los suelos, lo cual se logra solamente si se mejora el estado nutricional de las especies utilizadas.

**Cuadro 3: EXTRACCION DE NITROGENO (N) FOSFORO (P), AZUFRE (S) Y POTASIO (K) EN DISTINTAS SECUENCIAS DE CULTIVOS CON NIVELES DE PRODUCCION VARIABLES Y EN PASTURAS BAJO PASTOREO (P) ó CORTE (C)**

SECUENCIA DEL CULTIVO (*)	RENDIMIENTOS (kg/ha)	EXTRACCION TOTAL Y ANUAL ( ) kg/ha			
		N	P	S	K
T - G	3200 - 1500	100 (50)	18 (9)	6 (3)	30 (15)
T - G	4500 - 2300	140 (70)	26 (13)	10 (5)	40 (20)
T - M - G ó S	4500 - 8000 - 2500	240 (80)	50 (17)	21 (7)	90 (30)
S - T/S - M	3500 - 4000/2500 - 9000	330 (110)	70 (23)	32 (11)	180 (60)
S - T/S - M con riego	4000 - 5500/3500 - 12000	430 (145)	100 (33)	42 (14)	225 (75)
PAST. CONS. C	8000 - 10000	150 (150)	25 (25)	20 (20)	180 (180)
P	6000 - 8000	50 (50)	3 - 4 (3 - 4)	1 (1)	1 < (<1)

(\*) T= Trigo, G= Girasol, S= Soja, M= Maíz

La utilización de mayores dosis de fertilizantes en las gramíneas, teniendo en cuenta la distinta residualidad de los nutrientes, permite mejorar el manejo y la eficiencia en el aprovechamiento de los mismos.

La aplicación de fertilizantes considerando el balance de nutrientes constituye un pilar fundamental de la agricultura sustentable. El conocimiento de los niveles de productividad de los distintos suelos en cada uno de los ambientes, junto con los requerimientos nutricionales de los cultivos son también aspectos fundamentales para lograr un mejor manejo de la fertilización que permita un óptimo aprovechamiento de los recursos naturales.