

# PRODUCCIÓN DE FORRAJE DE ALFALFA CON APLICACIÓN DE FÓSFORO SUPERFICIAL Y PROFUNDA

BERARDO, A.<sup>1</sup>; MARINO, M.A.<sup>1</sup> y ERHT, S.<sup>2</sup>

## RESUMEN

El fósforo (P) disponible en los suelos del sudeste bonaerense suele restringir el crecimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.), y la profundidad de incorporación del fertilizante podría afectar la recuperación del P por el cultivo. Se evaluó durante dos años el efecto de la aplicación superficial (PS) y la aplicación profunda (PP) de P sobre la producción de materia seca (MS) y la acumulación del P aplicado en una pastura de alfalfa. Se estableció un experimento con tres niveles de P (0, 50 y 100 kg P ha<sup>-1</sup>). Los tratamientos recibieron (como superfosfato triple) 25 kg P ha<sup>-1</sup> en la línea de siembra y el resto de las dosis (25 o 75 kg P ha<sup>-1</sup>) incorporadas con disco superficialmente previo a la siembra (para PS) o con un aplicador a 30 cm de profundidad y 35 cm entre líneas (para PP). Se determinó la producción de MS, la extracción de P por el cultivo, la recuperación aparente del P aplicado y, para los tratamientos de fertilización superficial, el contenido de P extractable (P Bray y Kurtz I). La aplicación de P incrementó la producción de forraje y los tratamientos con PS presentaron mayor producción de MS que los de PP, con valores máximos en el segundo año de evaluación (15.965 y 12.418 kg MS ha<sup>-1</sup> para PS100 y PP100, respectivamente y un promedio de 10.153 kg MS ha<sup>-1</sup> para los testigos). Aunque la concentración de P en planta fue superior con PS, no fue significativamente diferente de PP. La acumulación de P en el forraje se incrementó por la fertilización, para el segundo año el valor mínimo fue 16 kg P ha<sup>-1</sup> (sin P aplicado) y los máximos

---

<sup>1</sup> Docentes Facultad Ciencias Agrarias–Universidad Nacional de Mar del Plata. Unidad Integrada EEA Balcarce, FCA-UNMdP, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), CC 276 (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: aberardo@laboratoriofertilab.com.ar

<sup>2</sup> Becario.

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

fueron de 39 y 25,5 kg P ha<sup>-1</sup> con PS100 y PP100, respectivamente. Por lo tanto, la recuperación aparente del P aplicado fue mayor para PS con respecto a PP.

**Palabras clave:** *alfalfa, fósforo, profundidad de aplicación, producción de forraje, recuperación aparente de P.*

## ABSTRACT

### ALFALFA FORAGE PRODUCTION WITH SHALLOW AND DEEP PHOSPHORUS APPLICATION

The available phosphorus (P) in southeast of Buenos Aires province soils could restrain alfalfa (*Medicago sativa* L.) growth, and the fertilizer depth incorporation could affect P recovery by the crop. During two years the effect of shallow (PS) and deep (PP) P application on dry matter production (DM) and on P extraction by alfalfa was evaluated. An experiment was established with three P levels (0, 50 and 100 kg P ha<sup>-1</sup>). Phosphorus (as triple superphosphate) was applied 25 kg ha<sup>-1</sup> banding at sowing and the rest of the doses (25 or 75 kg P ha<sup>-1</sup>) broadcast incorporated (for PS) or knifed at 30 cm below the surface and 35 cm between rows (for PP). Dry matter production, P accumulated in forage, P applied apparent recovery in each treatment, and P extractable content (P Bray y Kurtz I) in broadcast incorporated treatments, were determined. Phosphorus application incremented forage production and shallow P application presented higher DM production, with maximum values in the second year of evaluation (15.965 and 12.418 kg DM ha<sup>-1</sup> for PS100 and PP100 and average of 10.153 kg DM ha<sup>-1</sup> for controls). Although P plant concentration was higher for PS was not significantly different of PP. P forage accumulation was incremented, and for the second period the minimum values was 16 kg P ha<sup>-1</sup> (without P applied) and the maximum were 39 and 25,5 kg P ha<sup>-1</sup> with PS100 y PP100, respectively. Consequently, P applied apparent recovery was higher for PS in relation to PP.

**Key words:** *alfalfa, phosphorus, application deep, forage production, P apparent recovery.*

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de fósforo (P) es uno de los factores determinantes del resultado productivo de las pasturas de alfalfa, afectando particularmente el crecimiento (Christian, 1977; Sanderson y Jones, 1993), la cali-

dad (a través de la concentración de P en planta) (Petit, Pesant, Barnett, Mason and Dionne, 1992) y la capacidad de fijación de nitrógeno (Christian, 1977; Racca, Collino, Dardanelli, Basigalup, González, Brenzoni, Hein y Balzarini, 2001). En los suelos de la región pampeana, el contenido de P constituye una de las principales limitantes para el desarrollo de cultivos y pasturas, y, en alfalfa, se ha comprobado una marcada respuesta a la aplicación de P en el horizonte superficial (Vivas y Guaita, 1997; Berardo y Marino, 2000a). Por su escasa movilidad en el suelo, este nutriente se desplaza a poca distancia desde el sitio de aplicación; por lo tanto, la ubicación del fertilizante con respecto a las raíces puede afectar la eficiencia de su utilización por los cultivos (Barber, 1984; Black, 1993).

Existen distintas formas de aplicación de los nutrientes, y trabajos previos han demostrado el efecto de la ubicación del fertilizante sobre la absorción por el cultivo y su variación según el tipo de nutriente, las características del suelo y la especie vegetal considerada (Barber, 1984). Dada la capacidad de exploración radical de alfalfa en suelos profundos, la incorporación de P por debajo del horizonte superficial podría incrementar su absorción, la eficiencia de utilización del nutriente y, consecuentemente la producción de MS con respecto a aplicaciones superficiales. Sin embargo, la información disponible sobre formas de aplicación de P es escasa y los resultados para distintos cultivos no son concluyentes. Si bien Bordoli y Mallarino (1998) no encontraron variaciones significativas en el rendimiento de maíz entre aplicaciones superficiales y profundas, tanto Mullen, Johnson, Stritzke, Caddel, Phillips y Raun (2000), para alfalfa, como Jarvis y Bolland (1990), para trigo y lupino, mostraron una mayor respuesta a la aplicación subsuperficial de P en relación con la obtenida a partir de incorporaciones superficiales. Para cultivos estivales como el girasol, en el sudeste bonaerense se han encontrado mayores respuestas al P incorporado en la línea de siembra en profundidad con respecto al aplicado en líneas junto con la semilla (Valetti y Migasso, 1985). Sanderson y Jones (1993) obtuvieron en alfalfa una mayor eficiencia del P incorporado previo a la siembra con respecto al aplicado al voleo, posteriormente a la siembra del cultivo.

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la forma de la aplicación de P en alfalfa. Para tal fin, se utilizaron diferentes dosis de P incorporadas a distinta profundidad evaluando sus efectos sobre la producción de MS, la cantidad de P acumulado en el forraje, la recuperación aparente del P aplicado; además, para la aplicación superficial, se cuan-

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

tificó en forma complementaria el efecto de la fertilización sobre la disponibilidad de P en el suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En septiembre de 1997, se estableció un experimento en el partido de Balcarce (37° 45' Lat. Sur, 58° 18' Long. oeste) sobre un Argiudol profundo con el horizonte textural a los 45-50 cm de profundidad. Algunas características edáficas se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Contenidos de P Bray I (P), de materia orgánica (MO) y pH a distintas profundidades.

Profundidad -----cm-----	P mg kg <sup>-1</sup>	MO -- % --	PH -----
0-20	13,8	6,1	5,7
20-40	3,5	4,2	5,8
40-60	2,5	1,1	7,5

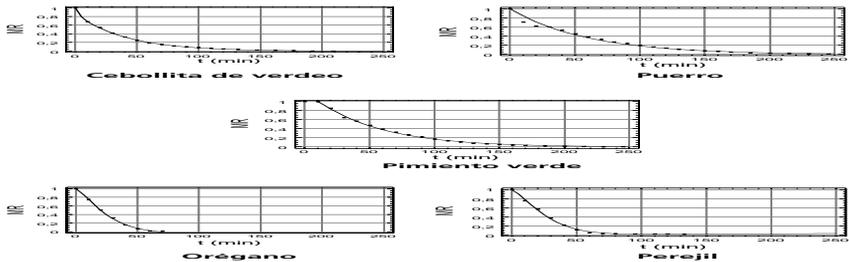
Se sembró un cultivar de alfalfa (*Medicago sativa* L.) de corta latencia invernal (GT 13 R Plus), a razón de 10 kg ha<sup>-1</sup> de semilla viable previamente inoculada con *Rhizobium meliloti*. Durante dos años se evaluaron tres niveles de fertilización fosfatada: 0, 50 y 100 kg ha<sup>-1</sup> de P bajo la forma de superfosfato triple (20% de P). Los tratamientos fertilizados con P recibieron 25 kg ha<sup>-1</sup> de P en la línea de siembra y la fracción restante (ya sea 25 o 75 kg ha<sup>-1</sup> de P) fue aplicada al voleo y posteriormente incorporada con disco previo a la siembra, en los tratamientos de fertilización superficial (PS), o bien ubicada a 30 cm de profundidad en líneas distanciadas a 35 cm, en la fertilización profunda (PP). Para este último tratamiento, se utilizó un aplicador con cinceles diseñado específicamente por los técnicos del Grupo de Maquinaria Agrícola de la Unidad Integrada Balcarce. En los tratamientos testigo, se realizaron las labores efectuadas en los tratamientos fertilizados con P (cincel en PPO y disco superficial en P50) para evitar diferencias entre tratamientos debidas a la remoción del sue-

**100** Producción de forraje de alfalfa con aplicación de fósforo superficial...

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

lo. Los tratamientos de fertilización superficial (PS0, PS50 y PS100) y los de aplicación profunda (PP0, PP50 y PP100) fueron distribuidos en bloques completos aleatorizados con 4 repeticiones; las parcelas eran de de 3,5 x 8 m. Las precipitaciones registradas durante el período experimental se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Precipitaciones mensuales correspondientes al período de experimentación y la mediana 1966-94. Fuente: Observatorio Agrometeorológico EEA INTA Balcarce.



La producción anual de MS se determinó por medio de cortes (tres y cinco cortes en el primer y segundo año, respectivamente) durante el crecimiento primavero-estivo-otoñal. Se recolectaron los 8 m<sup>2</sup> centrales de cada parcela cuando el cultivo presentaba aproximadamente 10% de floración, utilizando una motosegadora automotriz (altura de corte = 5 cm). Para cada unidad experimental, una muestra del forraje fue recolectada y secada en estufa a 60°C hasta peso constante para obtener el porcentaje de MS. Se determinó el contenido de P total en planta utilizando el método de digestión en húmedo con colorimetría para P (Blanchar, Rehm y Galdwell, 1965). Esto permitió estimar la cantidad total de P extraída en cada año, determinándose la «recuperación aparente» como la diferencia entre los tratamientos fertilizados y el testigo, expresada en porcentaje del P aplicado.

Al final del ciclo de producción de cada año (otoño), se extrajeron muestras de suelo (0 a 15 cm de profundidad) en el testigo (PS0) y en los tratamientos de fertilización superficial (PS0, PS50 y PS100) para determinar el contenido de P extractable (Bray y Kurtz I).

Se realizó el análisis de varianza con los datos de producción de MS, contenido de P en planta y P extractable (SAS, 1985). Para la compara-

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

ción de las medias de los tratamientos (formas y niveles de aplicación), se calculó el valor de mínima diferencia significativa (LSD) con una probabilidad de 0,05 (PROC GLM, SAS, 1985). Además, se utilizó el análisis de regresión (PROC REG, SAS, 1985) para estimar tanto el efecto de la fertilización fosfatada como del contenido de P extractable sobre la producción de MS. Las pendientes de las regresiones lineales fueron comparadas aplicando la metodología de variables Dummy (SAS, 1985).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Efecto de la forma de aplicación del P sobre la producción de alfalfa

La producción de alfalfa se muestra en el Cuadro 3. Como se observa, la fertilización fosfatada incrementó significativamente la producción anual de MS en los dos períodos evaluados, pero el rendimiento y la magnitud de la respuesta al P agregado difirieron según los años y el método de aplicación considerados. También se encontraron diferencias en la eficiencia de uso del agua.

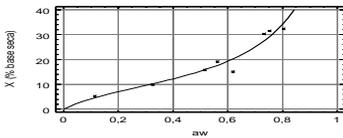
Independientemente del tratamiento considerado, la producción de MS correspondiente al primer año fue menor a la que suele obtenerse para el año de implantación con siembras otoñales (Romero, 1993; Berardo y Marino, 2000a; Pece y Cangiano, 2003), por lo que se estima que la escasez de precipitaciones registradas durante la implantación del cultivo (Cuadro 2) pudo haber afectado la producción de las pasturas. Al respecto, la eficiencia de uso del agua del cultivo de alfalfa en el primer año fue próxima a 11 kg MS/mm de lluvia para los tratamientos sin aplicación de P y cercana a 13 kg MS/mm para los tratamientos fertilizados, sin encontrarse diferencias entre PS y PP. Estas eficiencias fueron menores a las establecidas en trabajos locales previos, con valores promedio para cuatro años de evaluación de 14,5 y 23,4 kg MS/mm para P0 y P100, respectivamente (Berardo y Marino, 2000a).

### **102** Producción de forraje de alfalfa con aplicación de fósforo superficial...

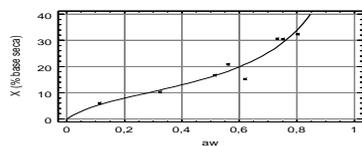
RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

Por otra parte, las bajas respuestas a la fertilización fosfatada registradas durante el primer año de evaluación podrían estar asociadas al contenido de P relativamente alto, principalmente en la capa arable (Cuadro 1). Además, debe considerarse que el mayor crecimiento de alfalfa se registró entre diciembre y marzo, período en el que se incrementa la

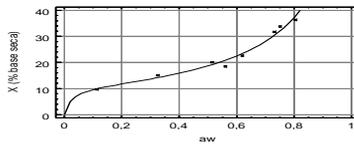
**Cuadro 3.** Producción de materia seca (MS, kg ha<sup>-1</sup>), extracción de P en la MS acumulada (Ppl, kg ha<sup>-1</sup>) y recuperación aparente de P (Prec, %) para cada tratamiento de fertilización fosfatada superficial y profunda, y contenido de P extractable (Ps, mg kg<sup>-1</sup>) para los tratamientos de fertilización fosfatada superficial en el primer y segundo año.



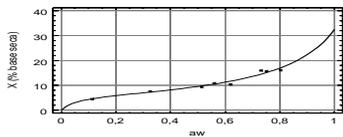
**Cebollita de verdeo**



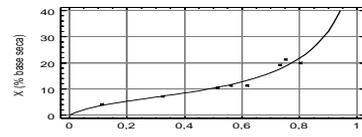
**Puerro**



**Pimiento verde**



**Orégano**



**Perejil**

disponibilidad de P edáfico (Stevenson y Cole, 1999; Picone, Zamuner, Berardo y Marino, 2003).

En este primer año no se detectaron diferencias significativas entre el rendimiento de forraje de ambos sistemas de fertilización, pero los tratamientos con P fueron significativamente superiores a los testigos. Así, el promedio de los tratamientos fertilizados fue 23 y 14,4% mayor que los no fertilizados para PS y PP, respectivamente (Cuadro 3).

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

Los coeficientes de las regresiones lineales ajustadas entre la producción de forraje y el P aplicado para el primer año de evaluación (1 y 2) cuantifican la respuesta al P agregado según el método de aplicación. Aunque dichos coeficientes fueron significativos ( $p = 0,05$  y  $0,019$  para PS y PP, respectivamente), en ambos casos las respuestas fueron de menor magnitud que las obtenidas previamente en trabajos locales (Berardo y Marino, 2000a).

$$MS - 1^{\circ} \text{ año (PS)} = 8914 + 14,85 P \quad r^2 = 0,24 \quad (1)$$

$$MS - 1^{\circ} \text{ año (PP)} = 8260 + 16,84 P \quad r^2 = 0,52 \quad (2)$$

Durante el segundo año, una vez establecido el cultivo, la producción de MS fue considerablemente más elevada que en el primer año (Cuadro 3), con valores que igualaron a los obtenidos en la zona por Berardo y Marino (2000a) y Cangiano y Pece (2005). Al igual que en el primer año, la producción de MS no difirió entre el agregado de 50 y 100 kg de P ha<sup>-1</sup>, y el promedio para ambos tratamientos fue de 67% y 16% superior a los tratamientos testigos para PS y PP, respectivamente (Cuadro 3).

En el período de mayor crecimiento de alfalfa (octubre a marzo), las precipitaciones, en el segundo año, fueron de 310 mm. Este valor fue inferior tanto a los del primer año (470 mm) como al promedio histórico local (520 mm). A pesar de ello, se detectaron diferencias entre el tratamiento testigo (PS0) y los tratamientos PS50 y PS100, con eficiencias de uso de agua de 22, 36 y 37 kg MS/mm, respectivamente. Para los tratamientos PP, los valores de eficiencia de uso del agua fueron de 25 kg MS/mm para P0 y aproximadamente 30 kg MS/mm para PP50 y PP100. De esta manera, las eficiencias de uso del agua estimadas para los tratamientos de fertilización superficial son próximas a las máximas establecidas previamente en trabajos locales (Berardo y Marino, 2000a). Al respecto, Aranjuelo, Irigoyen, Perez, Martinez-Carrasco, Sanchez-Diaz (2006) coinciden con De Luis, Irigoyen, Sánchez-Díaz (1999), destacando una rápida e incipiente aclimatación de las plantas de alfalfa a la baja disponibilidad de agua en el suelo. Esto estaría relacionado con la capacidad de extracción del agua presente en las capas profundas del perfil.

A diferencia del primer año, en el segundo período, se registraron diferencias en la producción de alfalfa según el método de aplicación de P considerado (Cuadro 3). En efecto, los tratamientos con PS presentaron

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

una producción significativamente superior que la de PP aún en un año con deficiencias hídricas, situación en la cual podría esperarse una mayor eficiencia de ésta última forma de aplicación.

Como se observa en el Cuadro 3, la mayor producción de MS en los testigos de los tratamientos de PP en relación con los de PS estaría asociada a los efectos de la remoción del suelo con el cincel. Varios autores encontraron efectos positivos del laboreo subsuperficial sobre el crecimiento de los cultivos, asociado principalmente con el impacto de esta labor sobre propiedades físicas (densidad volumétrica) y químicas del suelo (disponibilidad de nutrientes) (Díaz Zorita, 2000; Ernst y Betancur, 2004).

El ajuste lineal entre la producción de forraje en el segundo año y el P aplicado a la siembra (3) sólo fue significativo para el tratamiento PS ( $p = 0,010$ ), y la respuesta calculada para el segundo año fue superior a la del primero.

$$MS - 2^{\circ} \text{ año (PS)} = 14010 + 97,33 P \quad r^2 = 0,38 \quad (3)$$

Las respuestas a PS del segundo año son similares a las obtenidas para la región en estudios previos con años sin marcadas deficiencias hídricas (Berardo y Marino, 2000a), y supera a la mencionada por Vivas y Guaita (1997) para cultivos de alfalfa bajo condiciones de deficiencia hídrica.

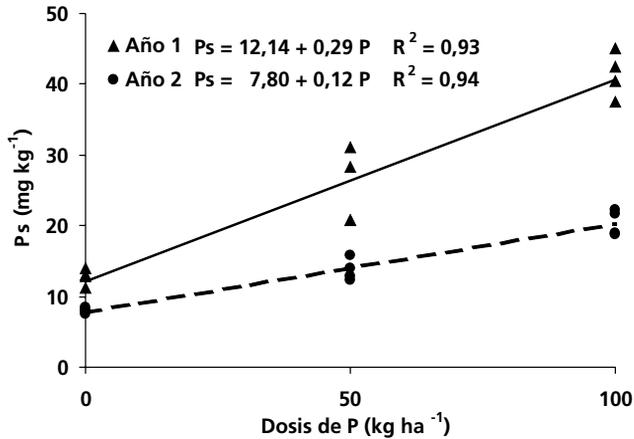
En un experimento de seis años de evaluación, Mullen y otros (2000) encontraron mayores respuestas a partir de la aplicación subsuperficial de P en bandas a la siembra (aplicado con cincel a 15,2 cm por debajo de la superficie y a 51 cm entre líneas) con respecto a la incorporación de una parte de la dosis en la siembra y aplicaciones posteriores (anuales o bianuales) al voleo. Estos autores sostienen que la aplicación en bandas del P incrementa su disponibilidad por ubicar el nutriente en estrecha proximidad con las raíces de las plantas y minimiza las reacciones suelo-fertilizante que mantienen la disponibilidad por un mayor período de tiempo. En el presente trabajo, la mayor respuesta a la aplicación superficial de P podría explicarse por una mayor uniformidad en la distribución del P en la capa arable. La incorporación profunda, con un distanciamiento de 35 cm entre líneas, no mostró ventajas en la producción de forraje de este cultivo con respecto a la aplicación superficial, dado que, en la primera, fue enriquecido con P un reducido volumen de suelo. Barber (1984) menciona que una mayor eficiencia del P aplicado se logra cuando

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

es incorporado con reja y se enriquece un mínimo de 15% del volumen total del suelo en la profundidad de incorporación. Adicionalmente, para suelos Molisoles de la región, se ha demostrado una capacidad de inmovilización relativamente baja y alta residualidad del P agregado superficialmente, tanto en cultivos anuales (Berardo, Grattone y Rizzalli, 1993) como en pasturas (Berardo y Marino, 2000b). Esto también explicaría los escasos beneficios observados localmente a partir de la aplicación localizada en profundidad en relación con la aplicación superficial del fertilizante fosfatado. Además, el mayor volumen de raíces de alfalfa se encuentra en los primeros 30-40 cm de profundidad (Christian, 1977) y hasta un 60% de éstas en los primeros 20 cm (Massey y Sheard, 1970; Mays, Wilkinson y Cole, 1980). Esta distribución radical favorecería la mayor utilización y la alta eficiencia del P aplicado superficialmente.

En el Cuadro 3, se indican también los contenidos promedio de Ps correspondientes a cada dosis de P, uno y dos años después de su aplicación superficial. Tal como se esperaba, en los dos períodos evaluados, el contenido de Ps se incrementó significativamente con la fertilización fosfatada. Son numerosos los estudios internacionales relacionados con las transformaciones en el tiempo del fertilizante fosfatado aplicado al suelo hacia formas cada vez menos solubles y menos disponibles para los cultivos (Black, 1993). Si bien localmente se han realizado algunos estudios tanto bajo cultivos (Berardo, Grattone y Rizzalli, 1993; Berardo y Grattone, 1998) como bajo pasturas (Quintero, Boschetti y Benavidez, 1997; Berardo y Marino, 2000a) para investigar el efecto de la fertilización fosfatada sobre los cambios en el contenido de P extractable del suelo, en los años posteriores a su aplicación, resulta de utilidad obtener mayor información al respecto.

En la Figura 1, se indican las regresiones lineales que estiman el efecto del P agregado sobre el contenido de P extractable (Ps) en cada uno de los dos años posteriores a su aplicación. Los coeficientes lineales permiten estimar los incrementos en los contenidos de P Bray por la aplicación de una determinada dosis de P en los años posteriores a su aplicación en suelos, condiciones climáticas y niveles de consumo de P similares a los de este trabajo. En este caso, un incremento de  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  de P Bray se logra con dosis de 3,5 y 8 kg P  $\text{ha}^{-1}$  luego del primer y segundo año de su aplicación, respectivamente.



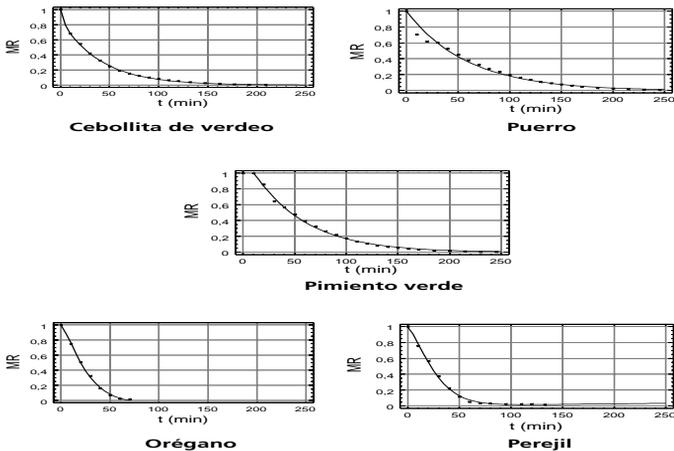
**Figura 1.** Relación entre la dosis de P aplicada superficialmente y el contenido de P extractable (Ps, 0-15 cm profundidad) para el primero y el segundo año posterior a la fertilización.

La mayor disponibilidad de P después del primer período de crecimiento, en relación con la encontrada en trabajos previos bajo pasturas (Berardo y Marino, 2000 a, b), podría atribuirse a una producción de MS y a un consumo de P inferior a los registrados en dichos trabajos. En el segundo año, los valores fueron próximos a aquellos establecidos en los trabajos mencionados, en los que se requiere una aplicación de 6 a 7 kg P ha<sup>-1</sup> para aumentar cada unidad de P Bray. Estas dosis de P requeridas para lograr un determinado contenido de P Bray en el suelo son inferiores a las encontradas por Boschetti, Quintero y Benavidez (1996) en Argiudoles vérticos y Peludertes argílicos bajo pasturas en Entre Ríos, lo que podría explicarse por la mayor capacidad para fijar el P agregado que tienen estos suelos en relación con los utilizados en el presente trabajo. La similitud de estos resultados con los obtenidos en trabajos previos permitirían extrapolar la información a una extensa zona de suelos Molisoles de características similares en el sudeste bonaerense, y, tal vez, a un área más amplia de la Región Pampeana.

Debido a la mayor reposición de nutrientes en sistemas ganaderos bajo pastoreo con respecto a los sistemas con corte y recolección del forraje (como fue el manejo realizado en estos experimentos), en el largo

plazo, en los primeros se debería esperar una mayor residualidad del P que las establecidas a través de estos resultados.

Para complementar la información obtenida se relacionó el nivel de P extractable al final del primer año (marzo 1998), en los tratamientos de fertilización superficial con la producción de MS obtenida en el segundo año (Figura 2). El ajuste obtenido para esta relación es altamente satisfactorio ( $R^2 = 0,89$ ), y muestra que en este caso la disponibilidad de P fue la variable que afectó en mayor medida la producción de MS. En función de estos resultados, se evidencia un incremento en la producción de forraje hasta contenidos de P extractable cercanos a  $35 \text{ mg kg}^{-1}$ , con un incremento próximo a  $560 \text{ kg de MS ha}^{-1}$  por cada unidad adicional de P extractable entre  $10$  y  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esta información concuerda con datos obtenidos en trabajos anteriores para suelos de características similares (Berardo y Marino, 2000a).



**Figura 2.** Relación entre el contenido de P extractable (Ps, 0-15 cm) y la producción de materia seca (MS) para los tratamientos de P aplicado superficialmente.

## 2. Extracción de P en el forraje y recuperación aparente del P aplicado

El contenido de P en planta varió entre  $0,21$  y  $0,24\%$  con la aplicación superficial de  $50$  y  $100 \text{ kg P ha}^{-1}$ , respectivamente, y entre  $0,18$  y  $0,20\%$

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

con las mismas dosis de P incorporadas en profundidad; la concentración de P en los testigos fue de 0,17%. Si bien se observó un incremento en los contenidos de P con la aplicación superficial, las diferencias entre formas de aplicación no resultaron estadísticamente significativas. Las concentraciones de P en planta fueron similares a las obtenidas en trabajos previos en la región con las mismas dosis de P aplicadas en superficie (Berardo y Marino, 2000b), aunque son inferiores a las citadas para otros ambientes por Mays y otros (1980).

En los dos períodos de crecimiento evaluados, la cantidad de P acumulado en el forraje se incrementó significativamente con la fertilización fosfatada (Cuadro 4). A su vez, si bien en ambos años fue significativamente superior con la fertilización superficial que con la aplicación en profundidad, en el segundo año, los valores fueron más elevados que en el primero. Esto puede asociarse con la mayor respuesta a P en la acumulación de MS, así como por la mayor concentración de P en la MS producida. La máxima acumulación de P fue de 39 kg de P ha<sup>-1</sup> con PS100 (Cuadro 4), lo que coincide con los valores observados en trabajos previos en alfalfa (Berardo y Marino, 2000b).

Asimismo, los valores de acumulación de P correspondientes a los tratamientos de fertilización aplicados en profundidad también difirieron entre dosis de P en ambos años. El valor máximo fue de 25,5 kg de P ha<sup>-1</sup> para PP100 (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Efecto de la fertilización fosfatada superficial sobre la extracción de P en la MS acumulada (Ppl, kg ha<sup>-1</sup>) y la recuperación aparente de P (Prec, %) para la fertilización superficial y profunda en los dos años posteriores a la aplicación.

Dosis de P	1° año		2° año	
	Ppl	Prec	Ppl	Prec
PS0	13,85	—	15,94	—
PP0	14,29	—	18,58	—
PS50	21,75	15,8	32,34	32,8
PP50	17,06	5,5	23,16	9,2
PS100	24,64	10,8	39,11	23,2
PP100	20,00	5,7	25,46	6,9
L.S.D.	2,498		3,694	

L.S.D. = Mínima diferencia significativa (P=0.05).  
L.S.D. = Least significant difference (P=0.05).

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

En el Cuadro 4, se indica la recuperación del P incorporado. La baja recuperación del P incorporado superficialmente (5 a 15%) podría explicarse por la baja producción de MS obtenida en el primer año de experimentación (Cuadro 3). En cambio, en el segundo año, la recuperación aparente fue mayor, fue de 33 y 23% para PS50 y PS100, respectivamente. Con la aplicación en profundidad los valores de recuperación aparente, fueron considerablemente más bajos (9 y 7% para PP50 y PP100, respectivamente).

## CONCLUSIONES

En este experimento, la producción de MS de alfalfa se incrementó con la aplicación de P independientemente de la forma de incorporación considerada. La mayor respuesta al P aplicado y la mayor acumulación de P en el forraje se obtuvieron con la aplicación superficial de P, principalmente en el segundo año de evaluación donde hubo mayor producción de MS.

Los resultados indican que, a pesar de la capacidad de profundización radical en las capas inferiores del perfil, las plantas de alfalfa utilizaron más eficientemente el P incorporado superficialmente que aquél incorporado en profundidad. Esto podría relacionarse con una mayor disponibilidad del P aplicado en los horizontes superficiales, donde se encuentra la mayor densidad de raíces.

Estudios posteriores en los que se evalúe la captura y utilización de P en cultivos de alfalfa para suelos con características diferentes a las del presente trabajo permitirán avanzar en el conocimiento de la dinámica de este nutriente en los sistemas ganaderos de la región pampeana.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado en el marco del proyecto «Evaluación de la dinámica del P en suelos del Sudeste Bonaerense bajo pasturas y cultivos fertilizados», UNMdP, con personal, equipos e infraestructura de la FCA y de la EEA INTA Balcarce, y los aportes de PASA Petrobas S.A. e IPNI Cono Sur. Se agradece a los técnicos integrantes del Grupo de Maquinaria Agrícola de la Unidad Integrada Balcarce por la labor desarrollada en el desarrollo del equipo de fertilización profunda.

**110** Producción de forraje de alfalfa con aplicación de fósforo superficial...

## BIBLIOGRAFÍA

- ARANJUELO, I.; IRIGOYEN, J.J.; PEREZ, P.; MARTINEZ-CARRASCO, R.; SANCHEZ-DÍAZ, M. 2006. Response of nodulated alfalfa to water supply, temperature and elevated CO<sub>2</sub>: productivity and water relations. *Environmental and Experimental Botany* 55: 130-141.
- BARBER, S.A. 1984. Chapter 21: Nutrient placement. In: *Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach*. Ed: John Wiley & Sons, Inc. 368-388.
- BERARDO, A.; GRATTO, F.D.; RIZZALLI, R.H. 1993. Evaluación del efecto residual de fósforo en un Argiudol Típico bajo dos secuencias de cultivos. *Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mendoza. 147-148.
- BERARDO, A.; GRATTO, F. 1998. Efecto de la aplicación de P y de su residualidad sobre la producción de trigo (8 años). 4.º Congreso Nacional de trigo. 2.º Simposio Nacional de Cereales otoño-invernales. Nov. 1998, Mar del Plata, Argentina.
- BERARDO, A.; MARINO, M.A. 2000a. Producción de forraje de alfalfa bajo diferentes niveles de nutrición fosfatada en el sudeste bonaerense. *Revista Argentina de Producción Animal*. Vol. 20 N.º 2:93-101.
- BERARDO, A.; MARINO, M.A. 2000b. Efecto de la fertilización fosfatada sobre la disponibilidad de P y su relación con la producción de forraje en molisoles del sudeste bonaerense. II – Alfalfa. XVIIº Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, 11-14 de abril de 2000. En CD.
- BLACK, C.A. 1993. Chapter 7: Fertilizer placement. In: *Soil fertility evaluation and control*. Ed. Lewis Publishers. 573-645.
- BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; GALDWELL, A.C. 1965. Sulfur in plant materials with digestion with nitric and perchloric acid. *Proceedings Soil Science*, Vol. 29 N.º1: 71-72.
- BORDOLI, J.M.; MALLARINO, A.P. 1998. Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agronomy Journal*, Vol 90, Issue 1: 27-33.
- BOSCHETTI, N.G.; QUINTERO, C.E.; BENAVIDEZ, R.A. 1996. Residualidad del fertilizante fosfatado en pasturas consociadas de Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14: 20-23.
- CANGIANO, C.A.; PECE, M.A. 2005. Acumulación de biomasa aérea en rebrotes de alfalfa en Balcarce. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol 25 N. 1-2:39-52.
- CHRISTIAN, K.R. 1977. Effects of the environment on the growth of alfalfa. *Advances in Agronomy* 29:183-227.
- DE LUIS, I.; IRIGOYEN, J.J.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M. 1999. Elevated CO<sub>2</sub> enhanced plant growth in droughted N<sub>2</sub>-fixing alfalfa without improving water status. *Physiol.*

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

Plant. 107, 84-89.

- DÍAZ ZORITA, M. 2000. Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity. *Soil and Tillage Research*. 54: 1-2, 11-19.
- ERNST, O. y BETANCUR, O. 2004. Efecto del laboreo sub-superficial y manejo del barbecho químico sobre la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> en el suelo y rendimiento del maíz en siembra directa después de avena pastoreada. *Agrociencia VIII*: 1, 29-40.
- JARVIS, R.J.; BOLLAND, M.D.A. 1990. Placing superphosphate at different depths in the soil changes its effectiveness for wheat and lupine production: *Fertilizer Research* 22: 97-107.
- MASSEY, D.L.; SHEARD, R.W. 1970. Utilization of surface-applied phosphorus by established stands of alfalfa and bromegrass. *Canadian Journal of Soil Science*, 50:9-16.
- MAYS, D.A.; WILKINSON, S.R.; COLE, C.V. 1980. Phosphorus nutrition of forage. In: *The role of phosphorus in agriculture*. Ed. Khasawneh, F.E., Sample, E.C. and Kamprath, E.J. 805-840.
- MULLEN, R.W.; JOHNSON, G.V.; STRITZKE, J.F.; CADDEL, J.L.; PHILLIPS, S.B.; RAUN, W.R. 2000. Alfalfa yield response to method and rate of applied phosphorus. *Better Crops*, Vol. 84, N.º 3: 18-23.
- PECE, M.A.; CANGIANO, C.A. 2003. Tasa de acumulación de la biomasa aérea en dos cultivares de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Balcarce. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 23 N. 1: 33-43.
- PETIT, H.V.; PESANT, A.R.; BARNETT, G.M.; MASON, W.N.; DIONNE, J.L. 1992. Quality and morphological characteristics of alfalfa as affected by soil moisture, pH and phosphorus fertilization. *Can. J. Plant Sci.*, 72: 147-162.
- PICONE, L.I.; ZAMUNER, E.; BERARDO, A.; MARINO, M.A. 2003. Phosphorus transformations as affected by sampling date and fertilizer rate, and phosphorus uptake in soil under pasture. *Nutrient cycling Agroecosystems*. 67: 225-232.
- QUINTERO, C.E.; BOSCHETTI, N.G.; BENAVIDEZ, R.A. 1997. Efecto residual y refertilización fosfatada de pasturas implantadas en Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo* 15: 1-5.
- RACCA, R.; COLLINO, D.; DARDANELLI, J.; BASIGALUP, D.; GONZÁLEZ, N.; BREZZONI, E.; HEIN, N. y M. BALZARINI. 2001. Contribución de la fijación biológica de nitrógeno a la nutrición nitrogenada de la alfalfa en la región pampeana. INTA.
- ROMERO, N.A.; JUAN, N.A.; ROMERO, L.A. 1993. Establecimiento de la alfalfa en la región pampeana. En: *El cultivo de alfalfa*. INTA.
- SANDERSON, M.A.; JONES, R.M. 1993. Stand dynamics and yield components of alfalfa as affected by phosphorus fertility. *Agronomy Journal* 85:241-246.
- SAS INSTITUTE. 1985. Users guide: Statistics. Version 5 ed. SAS Inst., Cary, NC.

## 112 Producción de forraje de alfalfa con aplicación de fósforo superficial...

RIA, 36 (1): 97-114. Abril 2007. INTA, Argentina.

STEVENSON, F.J.; M.A.COLE. 1999. Chapter 9: The phosphorus cycle. In: Cycles of soil, carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2<sup>th</sup> Edition. 427 p.

VALETTI, O.; MIGASSO, N. 1985. Fertilización profunda en el cultivo de girasol. En: XI Congreso Int. De Girasol, Mar del Plata- Argentina. Actas: 203-208.

VIVAS, H.S.; GUAITA, M.S. 1997. Respuesta a la fertilización fosfatada de alfalfa en un año caracterizado por estrés hídrico. Publicación Miscelánea. N.º 84. EEA INTA Rafaela, Santa Fe.

**Recibido en agosto de 2006 y aprobado en abril de 2007.**