Fertilización de Pasturas y Verdeos

Revisión preparada por Fernando O. García, Matías L. Ruffo e Inés C. Daverede.
Informaciones Agronómicas del Cono Sur No. 1, Marzo 1999.

En los últimos años han ocurrido cambios en la política económica argentina que generaron importantes modificaciones en los sistemas de producción. Por un lado, ha aumentado la presión impositiva y algunos gastos de estructura, mientras que los precios de los productos ganaderos (novillo, ternero y grasa butirosa) se han mantenido constantes o disminuyeron. Estas condiciones han llevado al productor a la necesidad de incrementar el ingreso de la empresa para mantener un nivel de retiros aceptable acorde a su nivel de vida. Por otro lado, el precio de algunos insumos (fundamentalmente fertilizantes y herbicidas), se redujo como consecuencia de la apertura de la economía. Esta combinación de precios determina una menor relación insumo/producto que favorece la aplicación de tecnología con el fin de incrementar el ingreso.

En las condiciones agroecológicas de la región pampeana argentina, el pasto es el forraje más económico. Un primer paso para la intensificación productiva debería pasar por producir mayor volumen de forraje utilizándolo eficientemente y reduciendo de esta forma los costos fijos por kg de materia seca. La fertilización balanceada de pasturas y verdeos es una de las mejores herramientas para incrementar la oferta forrajera y, consecuentemente, la producción animal. La mayor disponibilidad de nutrientes también mejora 1) la eficiencia del uso del agua y de la radiación, 2) la calidad forrajera, 3) la duración del período de utilización, 4) la persistencia de leguminosas en pasturas consociadas y el aporte de nitrógeno (N) por fijación biológica, y 5) la producción agrícola al finalizar el período bajo pastura, ya que se recuperan las propiedades físicas y biológicas del suelo.

En este artículo se discuten resultados de algunas investigaciones en fertilización de pasturas y verdeos de la región pampeana argentina y de Uruguay.

1. Requerimientos de nutrientes de especies forrajeras

Las especies forrajeras presentan diferentes requerimientos de nutrientes. En las Tablas 1 y 2 se indican requerimientos promedio de 12 nutrientes esenciales para algunas especies forrajeras obtenidos de numerosas referencias bibliográficas.

Tabla 1. Requerimientos de macronutrientes y nutrientes secundarios expresados en kg/ton materia seca

Especie	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Calcio	Magnesio
	---------- kg/ton MS ----------					
Alfalfa *(Medicago sativa)*	25-30	2.2-3.3	18-25	2.5-5	11-12.5	2-3.7
Trébol Rojo *(Trifolium pratense)*	22	2.7-3.2	27	5-6		
Trébol Blanco *(Trifolium repens)*	35	3.4	19			
Pasto Ovillo *(Dactylis glomerata)*	25	3.6	23-25	2.2		2.2
Festuca *(Festuca arundinacea)*	19	3.5-4	24-28	2	4.6	2
Raigrás *(Lolium sp.)*	20-35	2.4-3.7	24-28	2-3	5-6	2

Tabla 2. Requerimientos de micronutrientes expresados en g/ton materia seca

Especie	Zinc	Boro	Cobre	Manganeso	Hierro	Molibdeno
	---------- g/ton MS ----------					
Alfalfa	15	25-30	7	25	30-50	0.1-1
Trébol Rojo		21-45	10-12			0.45
Festuca	26		14	62		0.7
Gramíneas		10-50	5-12			0.2-0.7

El balance de nutrientes de las pasturas dependerá en gran medida de la forma de aprovechamiento de los recursos forrajeros. En el caso de los sistemas de producción de forraje para corte, la extracción de nutrientes es muy importante, ya que se está cortando toda la planta y llevando ese material fuera de la pastura. Por ejemplo, la confección de 2 ton/ha de rollos de alfalfa extrae entre 50 y 60 kg N ha^{-1}, alrededor de 4.5 a 7 kg P ha^{-1} y de 36 a 50 kg K ha^{-1}. El aprovechamiento por pastoreo directo resulta en una menor extracción de nutrientes del sistema. Por ejemplo, para una producción de carne de 400 kg/ha, la extracción de fósforo (P) es del orden de 3 kg/ha.

2. Pasturas consociadas y forrajeras perennes

2.1. Fósforo

El fósforo es un nutriente fundamental para las pasturas porque afecta la producción de las leguminosas, que aportan N al sistema y a las gramíneas que las acompañan. La producción de pasturas está fuertemente asociada a la presencia de leguminosas, siendo muchas veces su desaparición la causante de la roturación de las praderas por baja productividad.

2.1.1. Diagnóstico y respuesta a la fertilización fosfatada

Las leguminosas presentan, en general, una mayor demanda de P y respuesta a la fertilización que las gramíneas. En la Tabla 3 se presenta un resumen con eficiencias agronómicas de uso de P aplicado en distintas investigaciones.

Tabla 3. Eficiencia agronómica de uso del fósforo aplicado en ensayos de fertilización realizados en la región pampeana.

Recurso Forrajero	Zona	Comentarios	Dosis de Respuesta (kg P/ha)	Eficiencia de Uso (kg MS/kg P)	Referencia
Pradera	Oeste Entre Ríos	Base alfalfa L.corniculatus y festuca	32	100	Quintero *et al.*, 1995
Refertilización	Entre Ríos	2º año	8	113	Quintero *et al.*, 1997
Pradera	Balcarce (Bs.As.)	3 años	22 44	173 179	Berardo, 1996
Pradera	Balcarce (Bs. As.)	Sin N con 100N (3 años)	50 50	133 274	Berardo, 1998
Alfalfa	Balcarce (Bs. As.)	Implantación Residual Año 2 Año 3 Total 3 años	100	102 65 39 206	Berardo, 1998
Trébol rojo	Este Entre Ríos	20 meses	30 60	238 144	De Battista y Costa, 1998
Pradera Festuca y T. rojo	Azul (Bs. As.)	Implantación	16	294	Marchegiani y Satorre, 1981

A continuación, se discuten resultados de evaluaciones de respuestas y metodologías de diagnóstico en distintas zonas de la región.

Sudeste de Buenos Aires

En los primeros trabajos llevados a cabo en la Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce, a fines del ’60–principios del ’70, se encontraron respuestas a la aplicación de P que duplicaban la producción del testigo. Se obtuvieron rendimientos de 6000 a 12000 kg MS/ha con la aplicación

de 120 a 150 kg de superfosfato triple de calcio (SPT, 46% P_2O_5 o 20%P). Las respuestas por kg de P aplicado estuvieron comprendidas en un rango entre 26 y 35 kg MS/kg P.
Investigaciones recientes (Berardo, 1998) en pasturas consociadas muestran importantes respuestas a P con el agregado de N, demostrando la importancia de una fertilización balanceada. En un ensayo de tres años de duración, las eficiencias para la dosis de 50 kg P/ha para el primer, segundo y tercer año de la pradera fueron 124, 100 y 48 kg MS/kg P para los tratamientos con N y 36, 82 y 14 kg MS/kg P sin aplicación de N (Fig. 1). El umbral crítico de respuesta a la fertilización resultó de 21 mg/kg de P asimilable (Ps, Bray 1). Estos valores son superiores a los encontrados por otros autores, debiéndose considerar la elevada productividad de la pastura y las condiciones edafo-climáticas del área.

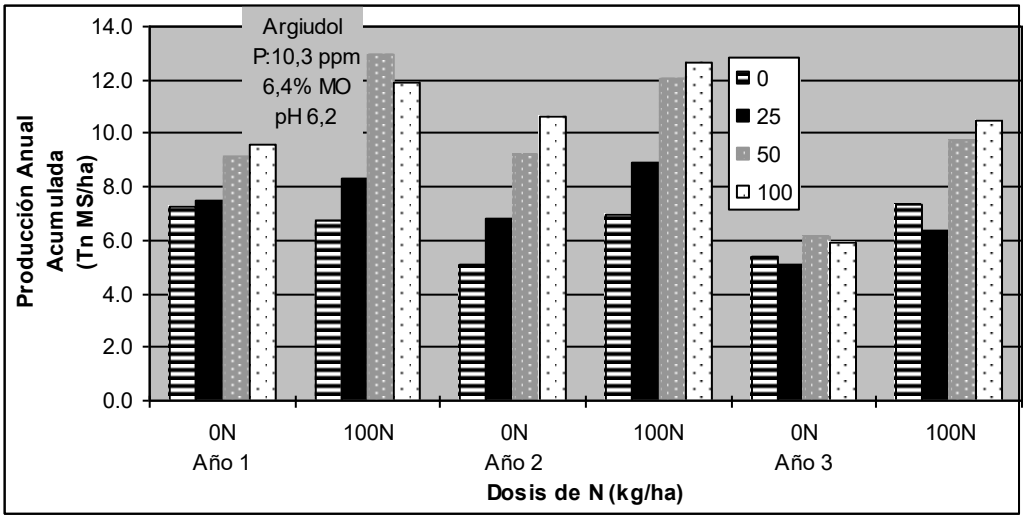

Fig. 1. Producción acumulada de materia seca de una pastura consociada en 3 años para cuatro tratamientos de fertilización fosfatada sin (0N) y con (100N) el agregado de N en agosto en el Sudeste de Buenos Aires (Berardo, 1998).

En la Tabla 4 se indican los rangos de valoración de la disponibilidad de P y la dosis de SPT recomendada para lograr incrementos de 3 ton MS/ha en pasturas consociadas (N. A. Darwich, com.pers.).

Tabla 4. Valoración agronómica según nivel de Ps y recomendación de fertilización fosfatada para lograr incrementos de 3 ton materia seca por ha en pasturas consociadas del Sudeste de Buenos Aires (N. A. Darwich, com. pers.).

Nivel de Ps (Bray 1)	Valoración Agronómica	Dosis
--- mg/kg ---		--- kg SFT/ha ---
0-5	Muy Bajo	120
6-10	Bajo	85
11-15	Medio	70
16-20	Medio – Alto	55

En alfalfares puros, Berardo (1998) encontró una importante respuesta a la fertilización fosfatada (Fig. 2). La eficiencia promedio del primer año fue de 180 kg MS/kg P, siendo de 83 kg MS/kg P al segundo año y de 44 kg MS/kg P en el tercero. Estos estudios permitieron estimar el umbral crítico de respuesta para la fertilización fosfatada de alfalfa en 26 mg/kg de Ps (Bray 1), nivel similar a los encontrados en numerosas referencias de la bibliografía internacional. En este ensayo, la refertilización del tratamiento de 50 kg P/ha mejoró la producción respecto de la dosis de 50P, pero recién en el tercer año la refertilización del tratamiento de 50 kg P superó al de 100 kg P, mostrando un importante efecto residual del P aplicado.

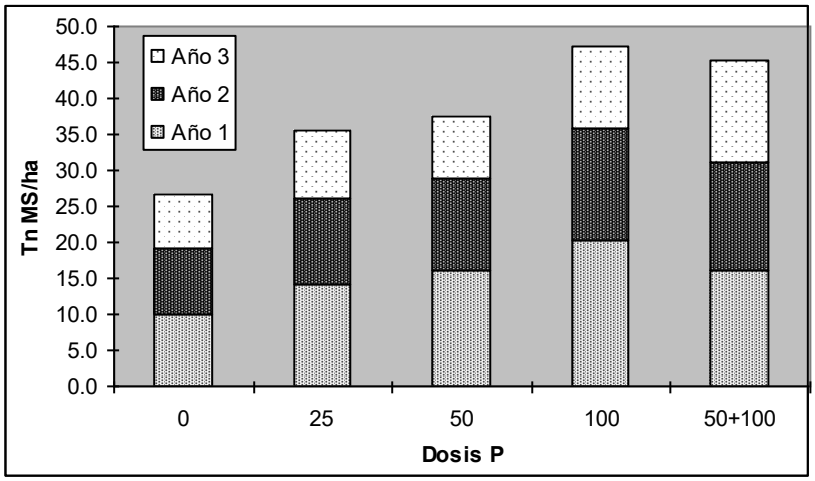

Fig. 2. Producción de materia seca de alfalfa para 4 niveles de fertilización fosfatada a la siembra y una refertilización anual sobre el tratamiento de 50 kg P a la siembra(50+100). Suelo Argiudol típico, Ps 13,3 mg/kg, MO 6,4% y pH 6,2. Fuente SFT (Berardo, 1998).

Entre Ríos

En el oeste de Entre Ríos, las pasturas consociadas tienen respuestas importantes a la fertilización en implantación. Quintero y colaboradores (1995), en suelos argiudoles vérticos y vertisoles y con pasturas a base de alfalfa o lotus y festuca, obtuvieron los resultados que se presentan en la Fig. 3. En suelos con menos de 12 mg/kg de P se observó un incremento del 24% en la producción de MS con aplicaciones de 8 kg de P/ha y del 90% con 64 kg de P/ha. Por encima de 12 mg/kg, la respuesta no superó el 27%, aun con las dosis más altas. Estas investigaciones permitieron definir un umbral de 12 mg/kg de Ps para encontrar respuestas importantes a la fertilización durante el primer año. Los autores proponen la siguiente ecuación para calcular la dosis de SPT a aplicar a la siembra:

Dosis SPT (kg /ha) = (23 - P disponible (mg/kg)) x 12

23 mg/kg es el nivel óptimo de disponibilidad de Ps (90% de la producción máxima) y 12 kg/ha es la cantidad de SPT que produce un incremento de 1 mg/kg de P a los tres meses. La Tabla 5 indica los niveles de producción promedio observados para cada clase de fertilidad.

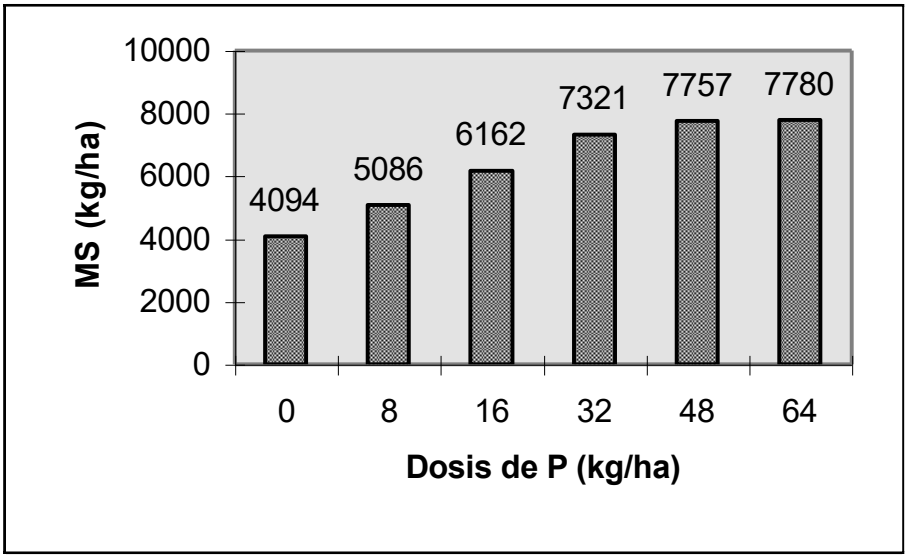

Fig. 3. Respuesta a la fertilización fosfatada en pasturas consociadas. Media de 9 ensayos con disponibilidad de P menor de 12 mg/kg. Entre Ríos (Quintero *et al.*, 1995).

Tabla 5. Producción de materia seca de pasturas consociadas de acuerdo a la clase de fertilidad fosfatada. Entre Ríos (Quintero *et al.*, 1995).

Nivel de P (Bray 1)	Clase de Fertilidad	Materia Seca
mg/kg		kg/ha
0-4,9	Muy Baja	3182
4,9 - 10,2	Baja	4321
10,2 - 14,9	Media	6067
14,9- 23,1	Alta	6976
+ 23,1	Muy Alta	7112

Investigaciones realizadas en el este de Entre Ríos en suelos vertisoles de bajo a muy bajo nivel de Ps, reportan respuestas significativas a la fertilización fosfatada de trébol rojo (De Battista y Costa, 1998) y en *Lotus corniculatus* (Arias, 1998).

Santa Fe

En la zona centro de Santa Fe, Vivas y Guaita (1997) obtuvieron respuestas significativas a la fertilización de alfalfa aún en un año con marcado estrés hídrico que limitó el rendimiento potencial (Fig. 4). Estos autores señalan a la dosis de 120 kg P como el punto de inflexión de la respuesta. Por otro lado, relacionando la producción de MS con el Ps en el mes de septiembre, encontraron un incremento de 46.5 kg MS por mg/kg de Ps (MS= 5776,5 + 46.5*Ps ; r^2=0,38 ; p< 0,05).

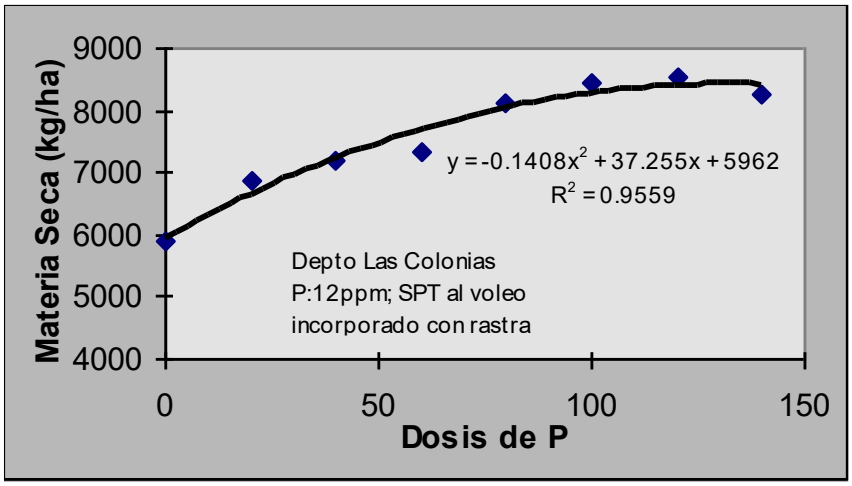

Fig. 4. Producción de materia seca de alfalfa con distintas dosis de fertilización fosfatada a la siembra en Pujato Norte, Departamento Las Colonias, Santa Fe (Vivas y Guaita, 1997).

Uruguay

Las condiciones agroecológicas de Uruguay son similares a algunas zonas de la región pampeana (p.e. Entre Ríos). La Cátedra de Fertilidad de Suelos de la Facultad de Agronomía de Montevideo (Bordoli, 1998) plantea rangos críticos para la implantación de diferentes especies en suelos de texturas medias y finas (Hapludertes y Argiudoles) (Tabla 6). Los niveles críticos de Ps para la refertilización de pasturas implantadas serían 2 a 3 mg/kg menores que para la implantación.

Tabla 6. Rangos críticos de Ps (Bray 1) para suelos de texturas medias y pesadas en el sur y litoral oeste de Uruguay (Bordoli, 1998).

Especie	Rango Crítico Ps (Bray 1), 0-15 cm
	---- mg/kg ----
Alfalfa	20-25
Trébol Blanco	15-16
Trébol Rojo	12-14
Lotus *(Lotus corniculatus)*	10-12
Gramíneas	8-10

De acuerdo al nivel crítico de la especie a fertilizar y a la relación entre la cantidad de P aplicado y los cambios en P disponible en suelo (7 a 15 kg P_2O_5 para elevar 1 mg/kg el nivel de Ps Bray 1), se generan las recomendaciones de fertilización que, a modo de ejemplo para alfalfa y trébol blanco, se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Recomendaciones de fertilización fosfatada para alfalfa y trébol blanco para suelos de texturas medias y pesadas en el sur y litoral oeste de Uruguay (Bordoli, 1998).

Ps (Bray 1)	Alfalfa	Trébol blanco
mg/kg	---- kg/ha P_2O_5 ----	
< 6	150-200	100-120
7-11	100-150	50-70
12-15	80-100	30-40
16-20	40-80	0-20
> 20	0-40	0

2.1.2. Residualidad y Refertilización

Las fertilizaciones fosfatadas presentan un importante efecto residual, manifestándose sus efectos sobre la producción de la pastura por un período mínimo de dos a tres años. Este efecto residual se debe a las características de la dinámica del P en el sistema suelo-planta y a

su baja movilidad, y varía según el tipo de suelo (contenido de arcilla, mineralogía, materia orgánica) y sistema de manejo (rotación, especies, pastoreo o corte). En el sudeste de Buenos Aires (Berardo, 1996), se encontró que la suma de la respuesta a la aplicación de P en el segundo y tercer año posterior a la fertilización es similar a la encontrada en el primer año. Las eficiencias de uso para dosis de 50 kg/ha de P_2O_5 fueron de 35, 22 y 12 kg MS/kg P para el primer, segundo y tercer año, respectivamente, resultando en una eficiencia acumulada para los tres años de 69 kg MS/kg P aplicado a la siembra. La refertilización al 2º y 3er año permite obtener respuestas similares a las observadas con aplicaciones a dosis mayores en el año de implantación.

Quintero y colaboradores (1997) hallaron un nivel óptimo de disponibilidad de Ps para refertilizar pasturas implantadas de 14 mg/kg de P. Este valor, inferior a los 23 mg/kg para implantación, se debería a que las leguminosas de más de un año tienen un sistema radical desarrollado que les permite alcanzar un crecimiento óptimo con menos P en el suelo. Las respuestas a la refertilización observadas son de 85-90 kg MS/kg P con Ps de 5 mg/kg y de 57-80 kg MS/kg P con Ps de 5 a 15 mg/kg. El uso de dosis altas de P a la siembra (160 o 320 kg/ha SFT) permitió alcanzar respuestas en el segundo año iguales o superiores a las pasturas refertilizadas.

La Fig. 5 muestra el efecto de fertilizaciones a la siembra y al año de establecida una pastura en la producción acumulada de tres años en el este de La Pampa en trabajos realizados por INTA Anguil (Bono *et al.*, 1997).

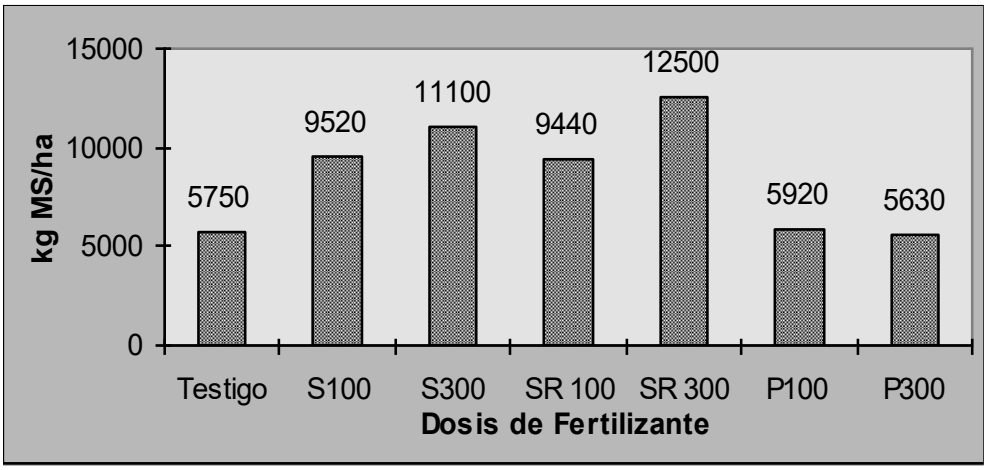

Fig. 5. Producción acumulada de tres años para dos dosis de fertilizante fosfatado (20 y 60 kg P/ha para 100 y 300 respectivamente) con una base de 15 y 17 kg/ha de N y azufre. S: Fertilización al voleo incorporada a la siembra; SR: Fertilización a la siembra y a año; P: Fertilización al año. Este de La Pampa (Bono y col., 1997).

Bordoli (1998) plantea que en las condiciones de Uruguay se han encontrado respuestas a las refertilizaciones otoñales en pasturas con distintas leguminosas. Estas refertilizaciones deben hacerse en otoño, porque confieren a las plantas mayor resistencia al frío invernal, aseguran un mejor aprovechamiento por estar húmedo el suelo y favorecen la producción en invierno. Respecto a este último punto, han encontrado respuestas que exceden los 500 kg/ha de MS en invierno.

2.1.3. Tecnología de Aplicación

La comparación de fuentes solubles (SFT, DAP) con rocas fosfóricas de menor solubilidad demuestra que, en general, la eficiencia de uso es mayor para los fertilizantes solubles durante el primer año, pero el efecto residual de la roca es mayor por su menor solubilidad. Berardo y Marino (1993) comprobaron este comportamiento en ensayos donde la producción de materia seca con roca fosfórica se incrementó en el tiempo, superando a la fuente más soluble al tercer año de evaluación, especialmente en dosis bajas. En dosis mayores, la residualidad del SPT alcanzó a mantener una alta producción. Por la pérdida de trébol rojo y la invasión de malezas,

la producción de materia seca fue muy baja, quizá con una especie de mayor perennidad la respuesta a la aplicación de roca hubiera sido más marcada en ese momento. En suelos de pH más ácido, la roca fosfórica liberará el P más rápidamente, perdiendo de esta manera el efecto residual.
En cuanto a la forma de aplicación, la aplicación al voleo es menos eficiente que la aplicación en bandas a la siembra, especialmente con dosis bajas y con niveles de Ps bajos. Marchegiani y Satorre (1981) encontraron una mayor respuesta a la aplicación en líneas que a la aplicación en cobertura total en las dosis medias, estas diferencias desaparecen con la mayor dosis (Tabla 8).

Tabla 8. Forraje total cosechado en una pastura de festuca y trébol rojo con 4 dosis de fertilizante fosfatado y dos métodos de aplicación. Partido de Azul, Buenos Aires. Suelo Natralbol (pH 6,3; P 7,2 mg/kg; MO 5,4%) (Marchegiani y Satorre, 1981).

Dosis de SPT (kg/ha)	Producción de forraje	
	Voleo	Líneas
kg/ha	----- kg MS/ha -----	
0	2723.3 aA	2660 aA
40	5076.7 bA	8033.3 bB
80	6164 bA	8612.7 bcB
120	9152 cA	10002.7 cA

Letras minúsculas para comparaciones dentro de métodos y letras mayúsculas entre métodos.

Pueden ocurrir problemas de fitotoxicidad cuando se aplican fuentes amoniacales (urea, fosfato di y monoamónico) en la misma línea de la semilla. Cuando se aplica SPT no se presentarían problemas, al menos hasta 100 kg/ha de producto (Vivas, 1995).

2.2.Nitrógeno

A fin de decidir el momento de mayor impacto de la fertilización nitrogenada en la producción de las pasturas es fundamental conocer la dinámica del N en el suelo a lo largo del año. El nivel mínimo de N disponible o mineral (nitratos + amonio) ocurre en invierno con las temperaturas más bajas y el máximo en primavera-verano con las temperaturas más altas. Por lo tanto, el período de invierno - principio de primavera es el momento crítico en la disponibilidad de N para la pastura.
En numerosos ensayos se registraron importantes respuestas a la fertilización nitrogenada con aplicaciones de fin del invierno y principio de primavera que corroboran esta hipótesis. Aplicaciones más tardías resultan en menores eficiencias de uso del N aplicado.
La aplicación temprana del N adelanta el crecimiento de las gramíneas y, por lo tanto, el pastoreo, en un momento estratégico en cuanto a la oferta forrajera. Estas aplicaciones tempranas tienden a aumentar la producción y proporción de gramíneas que compiten y reducen el crecimiento de leguminosas, por lo cual, el manejo del N debe ser cuidadoso para evitar el desbalance gramínea/leguminosa en la composición de la pastura.
En general, la respuesta al agregado de N es elevada a dosis bajas y en situaciones de marcada deficiencia de N disponible, disminuyendo a medida que se incrementa la dosis de aplicación. Sin embargo, en numerosas ocasiones se han observado respuestas lineales o casi lineales, donde la eficiencia es constante.
En la Tabla 9, se indican eficiencias agronómicas del uso de N aplicado observadas en distintas investigaciones.
Como se vio anteriormente, en praderas consociadas del sudeste de Buenos Aires, Berardo (1998) encontró una interacción significativa N*P con mayor respuesta a la fertilización nitrogenada en los tratamientos que habían recibido más de 25 kg P a la siembra (Fig. 1). La mayor respuesta anual media para este ensayo correspondió a la dosis de 50P, con una eficiencia de uso del N aplicado de 34,5 kg MS/kg N, triplicando la alcanzada por los tratamientos con menor P aplicado. Este autor señala que la fertilización nitrogenada tiene un valor estratégico porque permite adelantar el primer pastoreo de fin de invierno en alrededor de 30 días.

Tabla 9. Eficiencia agronómica de uso del nitrógeno aplicado en ensayos de fertilización realizados en la región pampeana.

Recurso Forrajero	Zona	Comentarios	Dosis de Respuesta (kg N/ha)	Eficiencia de Uso (kg MS/kg N)	Referencia
Pastura degradada	Balcarce (Buenos Aires)	Raigrás perenne y Trébol Rojo	75-150	15	Guaita *et al.*, 1996
Pastura polifítica	Miramar (Buenos Aires)	Aplicación Agosto	50 100	27-37 16-30	Berardo, 1996
Pastura polifítica	Balcarce (Buenos Aires)	Aplicación Agosto, Base 50 kg/ha P	100	28-39	Berardo, 1998
Agropiro ***(Thinopyrum ponticum)***	Balcarce (Buenos Aires)	Aplicación Agosto, Natracuol	50 100 150	49 35 37	F. Grecco *et al.*, 1996
Agropiro	Balcarce (Buenos Aires)	Aplicación otoño, Argiudol	50 100 150	23 20 27	Piaggio *et al.*, 1998
Agropiro	Laprida (Buenos Aires)	Aplicación Octubre	100	60	Linari, 1998
Pastizal Natural	Ayacucho (Buenos Aires)	Aplicación Agosto, Media loma	50 100 150 200	20 27 23 19	F. Grecco *et al.*, 1995
Festuca	Balcarce (Buenos Aires)	Aplicación Mayo-Julio Media de dos cultivares	50 100 150 200	28 27 28 27	Lattanzi y Mazzanti, 1997
Pasto llorón ***(Eragrostis curvula)***	Bahía Blanca (Buenos Aires)	Producción primavero-estival	60	25	Aduriz *et al.*, 1998
Bromus auleticus	Este Entre Ríos	Perenne de reg. templada húmeda/subhúmeda	39 77	21 17	De Battista y Costa, 1997
Digitaria eriantha	San Luis	Perenne de reg. Semiárida-árida	127	19-45	Veneciano *et al.*, 1997

Los pastizales naturales también tienen interesantes respuestas a la fertilización nitrogenada. Fernández Grecco y col, (1995 y 1998) trabajando sobre dos pastizales de media loma dominados por raigrás y Bromus encontraron respuestas hasta los 150 kg N/ha. En un caso se sextuplicó la producción y en el otro se triplicó. Las eficiencias agronómicas para la dosis de 150 kg/ha de N estuvieron entre 23 y 30 kg MS/kg N. El incremento de la disponibilidad de forraje permite aumentar la carga animal y la producción de carne por hectárea (Tabla 10).

Tabla 10. Respuesta en la producción de carne a la fertilización nitrogenada de un pastizal de media loma de Ramos Otero, Balcarce, Buenos Aires. N aplicado en abril y junio, pastoreo del 28/6 al 15/11 (Rodríguez Palma *et al.*, 1997).

Dosis de N	Carga Animal	Producción de Carne
-- kg/ha --	-- novillos/ha --	-- kg/ha --
0	1,64	224
50	2,07	279
100	3,07	440

En pastizales de la Cuenca del Salado (Buenos Aires) también se observa una significativa interacción NP a partir del bajo nivel de Ps y reducida disponibilidad de N de estos suelos (Tabla 11) (Rubio *et al.*, 1997).

Tabla 11. Producción de materia seca de un pastizal natural de la Pampa Deprimida (Buenos Aires) con fertilización nitrogenada y fosfatada en el período Septiembre 1992-Marzo 1994 (5 cortes). Suelo Argiudol ácuico, pH 6.4, Ps 5.8 mg/kg (Rubio *et al.*, 1997).

Tratamiento	Producción Materia Seca
-- kg/ha --	-- ton/ha --
Testigo	19.3
33N	21.9
16P	21.7
33N + 16P	26.0

El agropiro ha demostrado ser una especie que responde enormemente a la aplicación de N, aún en los suelos salino-sódicos (Tabla 9). Las respuestas observadas son lineales hasta dosis de 150 kg/ha de N. Las aplicaciones de fin de invierno producen mayores incrementos en la producción primaveral que las aplicaciones otoñales.

La festuca es otra especie que responde significativamente a la fertilización nitrogenada. En la Fig. 6 se muestra la respuesta observada en dos cultivares de distinto tipo de crecimiento (Lattanzi y Mazzanti, 1997). Ambos cultivares responden a la fertilización, siendo mayor la respuesta en primavera. Resulta interesante la diferencia entre cultivares en el período invernal, donde Maris Kasba supera ampliamente a El Palenque. La diferencia se debe a que Maris Kasba tiene una mayor tasa de expansión foliar a bajas temperaturas que El Palenque.

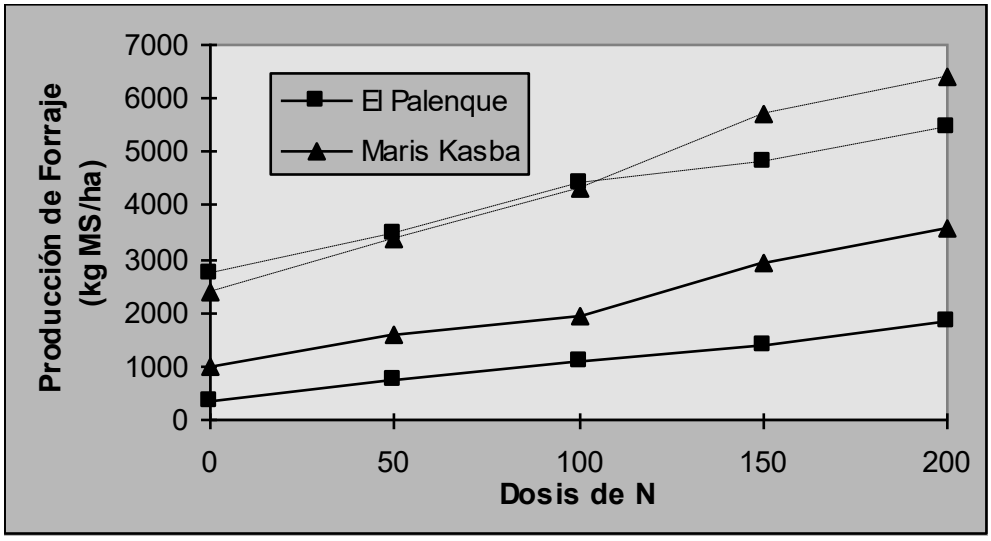

Fig. 6. Respuesta de la producción de festuca a la aplicación de N para dos cultivares, Maris Kasba (mediterráneo) y El Palenque (templado). Las líneas enteras corresponden al período 22/5-9/9 y las punteadas al período 10/9-15/10. Balcarce, Buenos Aires (Lattanzi y Mazzanti, 1997).

En todos los casos la decisión de la dosis de N a aplicar depende del sistema de producción y del objetivo final de la fertilización. Podríamos elegir aplicar dosis que maximicen la respuesta o que sean las más eficientes (mayor kg MS/kg nutriente). La decisión debe ser tomada por cada empresario en función de su sistema de producción y del costo de oportunidad del forraje en cada época del año.

2.3. Otros nutrientes

Potasio

Si bien los suelos de la región pampeana presentan buena disponibilidad de potasio (K) para la producción de cultivos, hay situaciones en las que debe vigilarse la evolución de la disponibilidad del K del suelo como es el caso de la producción de pasturas y forrajeras en

sistemas de manejo de alta producción bajo corte. En Uruguay, se han determinado disminuciones de 78 mg/kg (0.2 meq/100g) luego de dos ciclos de rotación alfalfa de corte-maíz para silo en explotaciones lecheras (Bordoli, 1998).
La alfalfa es un cultivo particularmente demandante de K. En el centro de Santa Fe, Vivas (1995) observó en estudios preliminares respuestas del orden del 12% al 73% en producción de MS en el primer corte luego de la fertilización. En San Luis, Conti y colaboradores (1997) obtuvieron respuestas de 13.4 kg MS/kg K aplicado en seis cortes de alfalfa bajo riego sobre un suelo Haplustol típico con alto nivel de K intercambiable (702 mg/kg o 1.8 meq/100 g).

Azufre

El azufre (S) se caracteriza por presentar una dinámica muy similar a la del N. Las deficiencias de S generalmente se presentan en suelos arenosos de bajo contenido de materia orgánica y en suelos degradados con disminuciones marcadas de la fracción orgánica.
En el oeste de Buenos Aires y este de La Pampa, sobre suelos Hapludoles, se han observado respuestas significativas a la aplicación de S en pasturas consociadas y alfalfares puros. Los efectos se han observado tanto en la producción de materia seca como también, en el caso de alfalfa, en el número de nódulos de *Rhizobium*.

Micronutrientes

El cultivo de alfalfa es particularmente sensible a la deficiencia de boro (B) y se han observado deficiencias del nutriente y respuestas a la aplicación en el oeste de la región pampeana. En el ámbito internacional, la fertilización de alfalfa con B se recomienda con niveles de B en suelo menores de 1 mg/kg y en planta menores de 30 mg/kg.

2.4 Encalado

Entre las forrajeras, la alfalfa es el cultivo más sensible a la acidez del suelo. Altos rendimientos altos se obtienen cuando el pH es de 6.5 o superior ya que mejora la nodulación y se logra un mejor establecimiento, persistencia y desarrollo del cultivo.
Experiencias realizadas en 9 de Julio (Buenos Aires) por Carta y colaboradores (1998), muestran respuestas significativas y rentables a la aplicación de cal para una pastura en el año de implantación sobre un suelo Hapludol de pH 5.8 y materia orgánica 3.4% (Tabla 12).

Tabla 12. Producción de materia seca en el año de implantación de una pastura con dosis variables de cal dolomítica. 9 de Julio, Buenos Aires (Carta *et al.*, 1998)

Dosis de cal	Producción de materia seca
-- kg/ha --	-- kg/ha --
0	13887
1000	15351
2000	16696
3000	18036

3. Verdeos de invierno

Varios ensayos han demostrado respuestas positivas a la aplicación de nitrógeno en verdeos de invierno. En esta sección se discutirán los factores que influyen en la respuesta a la fertilización. Estos factores incluyen la dosis utilizada y el momento de aplicación del fertilizante, el nivel de fertilidad y contenido hídrico del suelo y el cultivo antecesor.

3.1. Respuesta a distintas dosis y momentos de aplicación del fertilizante

En el sudeste de la Pcia. de Bs.As., existe una severa deficiencia de nitrógeno disponible para el crecimiento de los verdeos en la época invernal. Marino *et al.* (1995) llevaron a cabo dos ensayos en años consecutivos, donde evaluaron el efecto de un amplio rango de dosis de N aplicados a la siembra sobre la acumulación de forraje inverno-primaveral de avena (*Avena sativa*) y raigrás cv. Tama (*Lolium multiflorum*). Ambos ensayos coincidieron en las mínimas

dosis de nitrógeno que permitieron lograr las máximas tasas de crecimiento inverno-primaveral de forraje, que fueron de 100 y 150 kg N ha^{-1} para raigrás y avena, con respuestas de alrededor de 32.7 kg MS / kg N.

En las regiones semiárida y subhúmeda, que se caracterizan por tener muy bajas precipitaciones en invierno, se ha comprobado que las respuestas son mayores cuando se aplica una dosis de nitrógeno a la siembra, sin efectuar refertilizaciones. Kenny y Resch (1996), en el sur de Córdoba, llevaron a cabo un ensayo en centeno (*Secale cereale*) donde evaluaron el efecto de la aplicación de urea al voleo en tres momentos de aplicación: todo a la siembra, fraccionada mitad a la siembra y mitad al macollaje y fertilizado en macollaje. Observaron que el tratamiento con 80 kg de urea a la siembra fue el de mayor rinde por hectárea y también el más eficiente en kg MS/kg de N (Fig.7).

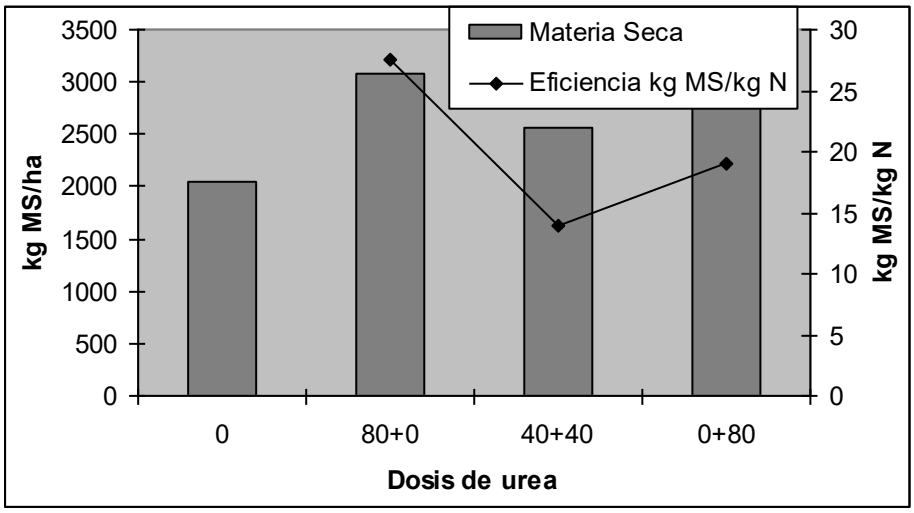

Fig.7. Respuesta del centeno ante aplicaciones de urea: al momento de la siembra (80+0), fraccionada a la siembra y en macollaje (40+40) y en macollaje (0+80). Suelo Haplustol éntico, Ps 48.9 mg/kg, MO 1.6% y pH 5.1. Huinca Renancó, Córdoba (Kenny y Resch, 1996).

Las refertilizaciones en la zona este de la Provincia de Buenos Aires muestran resultados contrapuestos a la zona oeste. En un trabajo sobre raigrás, llevado a cabo en Luján por Bussolini *et al.* (1998), se evaluaron 3 dosis de N (60,120 y 180 kg N ha^{-1}) fraccionadas de 3 formas distintas (entre siembra y el segundo corte). Los tratamientos con mayor fraccionamiento fueron los más eficientes en términos de kg de MS/kg de N (24 kg de MS/kg N), mientras que dosis únicas a la siembra tuvieron respuestas de 13.1 kg MS/kg N (Fig. 8).

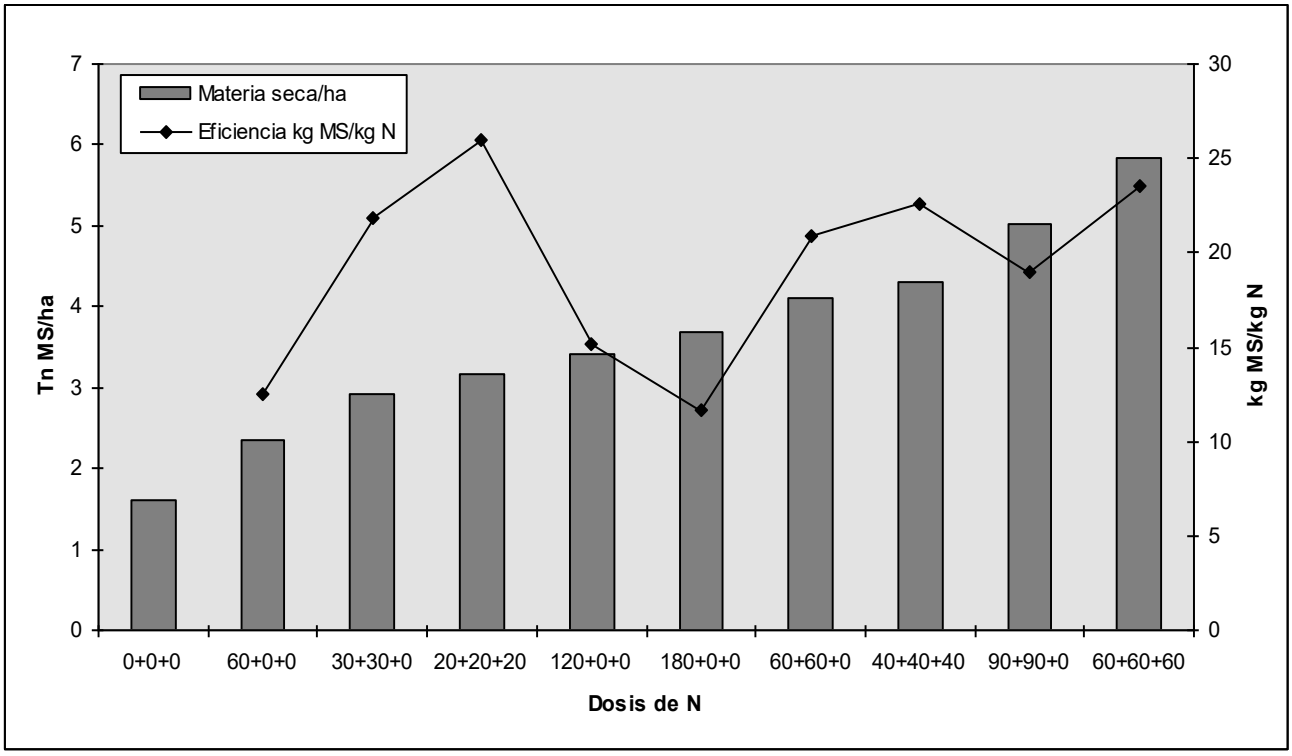

Fig.8. Efecto de distintas aplicaciones de urea al momento de la siembra y fraccionadas luego del primer y segundo corte sobre la respuesta productiva del raigrás. Suelo Argiudol típico, Ps 11 mg/kg (Bussolini *et al.,* 1998).

3.2. Nivel de fertilidad y contenido hídrico del suelo

En la región semiárida pampeana, en centeno y avena, Quiroga *et al.* (1993) encontraron que el contenido de agua almacenada y de nitratos a la siembra explicaron el 70% de la variación en la producción de materia seca de los tratamientos sin fertilizar:
MS (kg/ha) = 801.4 + 23.8 NO_3(mg/kg) + 12.4 humedad (mm)

Con los resultados en producción de biomasa tras aplicar 40kg/ha y 80 kg/ha de urea, Quiroga y Ormeño (1996) pudieron agrupar las producciones en función del contenido de nitratos a la siembra (Tabla 13). Los altos contenidos de nitratos en el suelo aumentaron la producción del testigo y disminuyeron las eficiencias de uso de urea.

Tabla 13. Efecto de dos dosis de urea y el contenido inicial de nitratos a la siembra sobre la producción (kg /ha) distintos verdeos de invierno. Entre paréntesis se indica la eficiencia agronómica de uso del N en kg de MS/kg de N aplicado. (Quiroga y Ormeño, 1996).

Contenido N-NO_3	Producción de MS de verdeos de invierno		
siembra	Testigo	40 kg/ha de urea	80 kg/ha urea
mg/kg	---------- kg/ha ----------		
< 20	818	1092 (14)	1401 (15)
> 20	1732	1875 (7)	2155 (11)

En el oeste de Buenos Aires, Trasmonte y Díaz-Zorita (1998) observaron una relación inversa entre el contenido de materia orgánica del suelo y la respuesta en la producción de materia seca ante el agregado de N. De acuerdo a esta relación, se pueden predecir los incrementos en producción de materia seca respecto del testigo como se indica a continuación:

% de M.O.	1	1.5	2.0	2.5	3.0
% de incremento con respecto al testigo[1]	142	108	74	40	6

[1](kg MS fertilizado/kg MS testigo = -0.68 (M.O.% de 0-20cm) + 3.1 R=0.74)

3.3. Cultivo antecesor

El efecto que tienen los cultivos antecesores sobre la producción forrajera del verdeo está principalmente relacionada con la extracción que cada uno de ellos efectúa del agua y los nitratos del suelo para completar su ciclo. En el centro de Santa Fe, la pastura resultó ser el mejor cultivo antecesor, mientras que los cultivos de ciclo completo, como el sorgo granífero, extraen más agua y nutrientes que los verdeos de verano y las pasturas (Fontanetto *et al*., 1995).

4. Conclusiones

La información discutida en este artículo indica que a través de la fertilización razonada se pueden obtener aumentos significativos en la producción de forraje y, por lo tanto, en la producción animal.
Es recomendable comenzar un programa de fertilización a partir del análisis del sistema de manejo, tipo de suelo, características climáticas y niveles de producción actuales. La base del plan de fertilización es conocer la disponibilidad de nutrientes en los suelos en los que se está trabajando, es decir realizar un análisis completo de suelos.
El plan de fertilización debe considerar todos los nutrientes, a fin de lograr una fertilización balanceada. Una vez cubiertas las necesidades de un nutriente, otro nutriente puede presentarse como deficiente. De allí, la importancia de efectuar el análisis completo de suelos, el seguimiento del cultivo y, en muchas ocasiones, el análisis foliar.

Bibliografía

Adúriz, M.A., A.O. Gárgano y M.C. Saldungaray. 1998. Efecto residual de la fertilización sobre la producción primavero-estival de digitaria y pasto llorón. Actas 22º Cong. Arg. Prod. Anim. Vol. 18 p. 91.

Berardo A. 1996. La fertilización fosfatada y nitrogenada de las pasturas y sus efectos en distintos sistemas de producción. Pp. 173-182. En: Fertilización de cultivos extensivos y forrajeras. Seminario de Actualización Técnica, CPIA y SRA. Buenos Aires.

Berardo A. 1998. Fertilización de pasturas. En 5º Seminario de Actualización Técnica CPIA-SRA. Buenos Aires.

Berardo A. y M.A. Marino. 1993. Eficiencia relativa de un fosfato natural en pasturas cultivadas en molisoles al sudeste bonaerense. Actas 14º Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo.

Bono A., D.E. Buschiazzo, P. Lescano, J. C. Montoya y F. J. Babinec. 1997. Fertilización de una pastura con nitrógeno, fósforo y azufre en un Haplustol éntico de la Pampa (Argentina). Ciencia del Suelo 15:95-98

Bordoli J.M. 1998. Fertilización de pasturas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas. En: Jornada de Fertilización en cultivos y pasturas. INTA Concepción del Uruguay, Entre Ríos.

Bussolini, F., Centioli, M y Vernengo, E. 1998. Producción de forraje de raigrás anual bajo diferentes niveles y modalidades de fraccionamiento de la fertilización nitrogenada. Actas 22° Cong. Arg. Prod. Anim. Pp. 130-131.

Carta H., L. Ventimiglia y S. Rillo. 1998. Encalado de trigo con pasturas. Agromercado, Año 12, No. 139, p. 68-71.

Conti M., A.M. de la Horra, N.M. Arrigo y A. Marchi. 1997. Fertilización e interacción potasio-fósforo sobre el rendimiento de alfalfa en un Haplustol típico (Zona Semiárida, Argentina). Ciencia del Suelo 15:51-52.

De Battista J. P. y M.C. Costa. 1997. Efecto de la frecuencia de defoliación y la fertilización nitrogenada sobre la producción de Bromus auleticus. Actas 21º Cong. Arg. Prod. Anim. P.122

De Battista J. P. y M.C. Costa. 1998. Efecto de la fertilización fosfatada y la frecuencia de defoliación sobre la producción y calidad del trébol rojo. Rev. Arg. Prod. Anim. 18 Sup. 1 p. 192-193.

Fernández Grecco R. , A. Mazzanti y H. E. Echeverría. 1995. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento de forraje de un pastizal natural de La Pampa Deprimida Bonaerense (Argentina). Actas 19º Cong. Arg. Prod. Anim. Pp. 173-176.

Fernández Grecco R., A. Sciotti y A. Mazzanti. 1996. Fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la acumulación de forraje de *Thinopyrum ponticum*. Actas 20º Cong. Arg. Prod. Anim. Pp.223-224.

Fernández Grecco R. y A.E. Mazzanti. 1998. Respuesta de un pastizal natural de la Pampa Deprimida a la fertilización nitrogenada. Actas 22º Cong. Arg. Prod. Anim. P.118.

Fontanetto, H., S. Gambaudo y O. Keller. 1995. Siembra directa de avena: Influencia del cultivo antecesor y de diferentes dosis de nitrógeno. Actas 19º Congreso Arg. de Prod. Animal. P.130-133

Guaita M.S., H.E. Echeverría y C.J. Escuder. 1996. Fertilización de una pastura de raigrás perenne y trébol rojo: 2. Recuperación de nitrógeno en el sistema suelo-planta. Rev Arg. Prod. Anim. 17 (2): 97-104.

Kenny, M.R. y Resch, G. 1996. Fertilización nitrogenada en centeno en Huinca Renancó. INTA EEA Marcos Juárez. Hoja informativa.

Lattanzi, F. y A.E. Mazzanti. 1997. Fertilización nitrogenada de pasturas en *Festuca arundinacea* de tipo templado y mediterráneo. 1. Crecimiento otoño-invernal. Actas 21º Cong. Arg. Prod. Anim. P. 166-167

Linari, J. 1998. Siembra directa, promoción de raigrás criollo y fertilización de suelos bajos. En: Informador Sudeste 110. CREA Laprida.

Marchegiani G.J. y O.V. Satorre. 1981. Fertilización fosfórica aplicada en líneas y en cobertura en la implantación de una pastura. Producción Animal 8:262-269.

Marino, M.A., A. Mazzanti y H.E. Echeverría, 1995. Fertilización nitrogenada de cultivos forrajeros anuales de invierno en el sudeste bonaerense.1. Crecimiento y acumulación de forraje. Actas 19º Cong. Arg. Prod. Anim. Pp. 179-182

Piaggio, A. A. Marino, F. Lattanzi y M. Agnusdei. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada otoñal sobre el crecimiento primaveral de agropiro alargado. Actas 22º Cong. Arg. Prod. Anim. Vol. 18 .P.117.

Quintero C., N.G. Boschetti y R.A. Benavidez. 1997. Efecto residual y refertilización fosfatada de pasturas implantadas en Entre Ríos. Ciencia del Suelo 15: 1-5.

Quintero, C. N.G. Boschetti y R.A. Benavidez. Fertilización fosfatada de pasturas en implantación en suelos de Entre Ríos. 1995. Ciencia del Suelo 13:60-65

Quiroga, A.R., M. Díaz-Zorita y E. Adema. 1993. Fertilización nitrogenada de verdeos en la región semiárida pampeana. Actas 14º Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo. p. 181.

Quiroga, A.R. y O. Ormeño. 1996. Fertilización en verdeos de invierno. Actas 8° Cong. AACREA ZOA, s/p.

Rodríguez Palma, R.M., A. Mazzanti, M.G. Agnusdei, R.C. Fernández Grecco y P. Albanese. 1997. Fertilización nitrogenada y productividad animal en pastizales de la Pampa Deprimida Argentina. Actas 21º Cong. Arg. Prod. Anim. P. 164.

Rubio G., M.A. Taboada, R.S. Lavado, H. Rimski-Korsakov y M.S. Zubillaga. 1997. Acumulación de biomasa, nitrógeno y fósforo en un pastizal natural fertilizado de la Pampa Deprimida, Argentina. Ciencia del Suelo 15: 48-50.

Trasmonte, D. y M. Diaz-Zorita. 1998. Fertilización de verdeos de invierno en la región de la pampa arenosa. Curso de actualización en Fertilización de pasturas y cereales de invierno. INTA. Pp.44-58.

Veneciano, J.H. y O.A. Terenti. 1997. Efectos de al defoliación y la fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad de *Digitaria eriantha*. Actas 21º Cong. Arg. Prod. Anim. P. 77.

Vivas H. 1995. Toxicidad de fertilizantes sobre plántulas de alfalfa. En: Información técnica para productores. INTA Rafaela.

Vivas H. 1995. Fertilización de pasturas base alfalfa en la región central de Santa Fe. En: Información técnica para productores. INTA Rafaela.

Vivas H.S. y M.S. Guaita. 1997. Respuesta a la fertilización fosfatada de alfalfa en un año caracterizado por estrés hídrico. Publicación Miscelánea No. 84. EEA INTA Rafaela, Santa Fe.