

# DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE *LOTUS CORNICULATUS L.* EN SUELOS DE URUGUAY

Mónica Barbazán, Marcelo Ferrando y José Zamalvide

Departamento de Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía, UDELAR. Av. Eugenio Garzón 780. CP 12900.

Montevideo, Uruguay.

[mbarbaz@fagro.edu.uy](mailto:mbarbaz@fagro.edu.uy)

## Introducción

El lotus (*Lotus corniculatus L.*) es una leguminosa forrajera perenne de ciclo estival muy utilizada en sistemas ganaderos, agrícola-ganaderos y lecheros de Uruguay, con un área sembrada de más de 300.000 hectáreas (Censo Agropecuario, 2000). Tradicionalmente, el manejo de la nutrición de lotus y otras leguminosas en el país se ha restringido a la fertilización con fósforo (P), mientras se asume que los requerimientos de nitrógeno (N) son cubiertos por fijación simbiótica y por absorción de N mineral del suelo. Los demás nutrientes son aportados por mecanismos naturales del suelo o agregados indirectamente con los fertilizantes, como calcio (Ca) o azufre (S) en algunas fuentes fosfatadas.

A nivel mundial existe escasa información sobre los requerimientos nutricionales de *Lotus corniculatus L.* (Kelling y Matocha, 1990; Pinkerton *et al.*, 1997). En Uruguay, la investigación se ha centrado en estudiar la respuesta a la fertilización fosfatada y al encalado en leguminosas, incluyendo *Lotus corniculatus L.* (Cambra, 1987; Marchesi y Elhordoy, 1993; Martínez Haedo y Mastropiero, 1993; Zamalvide, 1998; Bordoli, 1998; Olmos, 1998; del Pino, 2000; Casanova, 2004b; Bermúdez *et al.*, 2004; Bordoli, 2005; Casanova y Barbazán, 2005). En cambio, la respuesta a otros nutrientes, como S, ha sido estudiada menos frecuentemente (Zamalvide, 1998; Casanova y Cerveñansky, 2002). Sin embargo, en situaciones de producción agrícola intensiva, con altos rendimientos y remoción de nutrientes, y sin mecanismos eficientes de reciclaje a través de cultivos y/o animales, otros nutrientes pueden empezar a limitar el crecimiento.

Los relevamientos nutricionales, mediante la comparación de datos de análisis de suelos y plantas con concentraciones críticas, estándares o de referencia, permiten inferir la probabilidad de que ocurran limitantes para la producción a causa de déficit o exceso de nutrientes. Debido a la influencia de diversos factores sobre la concentración de nutrientes, como edad de la planta, órganos o partes analizadas y condiciones ambientales, el muestreo se realiza en cada cultivo según pautas que permiten que los datos sean comparables. El inicio de la floración (o un 10% de floración) y la parte aérea fueron propuestos como el estado de crecimiento y la parte de la planta más apropiados para evaluar el estatus de la mayoría de los nutrientes en pasturas (Jones y Case, 1990; Kelling y Matocha, 1990). La concentración crítica de un nutriente es aquella en la cual se alcanza un determinado porcentaje del rendimiento máximo. Dicho porcentaje varía entre un 80 a 95% del rendimiento máximo, según el criterio utilizado (Smith y Loneragan, 1997). Las concentraciones críticas establecidas para un

cultivo difieren según distintos trabajos, dependiendo de varios factores como variedad, prácticas de manejo, tipo de suelo (Smith y Loneragan, 1997), y de los modelos estadísticos y niveles de probabilidad aceptados para estimar el valor de esa concentración. Kelling y Matocha (1990) mencionan valores de concentración crítica de potasio (K) para alfalfa que varían desde 0.8 a 2.2%. En pasturas, además, puede existir un criterio adicional como la calidad del forraje para los animales (Kelling y Matocha, 1990). Ante diferentes realidades económicas e intensidad de uso de fertilizantes, algunos autores parecen priorizar la incorporación de todas las situaciones con posible respuesta, mientras que otros tenderían a asegurarse que siempre exista respuesta por debajo de la concentración crítica, generando concentraciones críticas más altas en los primeros respecto a los segundos.

Si bien en Uruguay se han realizado algunos relevamientos nutricionales para leguminosas como trébol blanco (Morón, 2004) o alfalfa para la cuenca lechera (Morón, 1998; Morón, 2000), no existe información para *Lotus corniculatus L.* Los objetivos de este estudio fueron: a) conocer los valores de concentraciones de nutrientes en planta de cultivos comerciales de *Lotus corniculatus L.* en el país, b) detectar áreas o situaciones con mayor probabilidad de deficiencias y c) relacionar los resultados con algunas características de los suelos.

Cabe señalar que este trabajo marca a la vez, las diferencias de aportes de nutrientes de los suelos a través de un cultivo indicador, como el lotus, y esta información es aplicable a otros cultivos, como por ejemplo, soja. El lotus fue elegido porque probablemente es la especie más sembrada en diferentes suelos y en sistemas de producción más diferentes, abarcando desde zonas agrícolas hasta ganaderas.

## Materiales y Métodos

Durante tres años consecutivos se relevaron 179 cultivos de *Lotus corniculatus L.* en establecimientos comerciales del país, abarcando la mayoría de los suelos bajo producción de esta especie. De un área uniforme de 0.5 ha se tomaron, en varios puntos, muestras compuestas de la parte aérea de plantas, cortadas con tijeras a 4 cm del suelo, cuando el cultivo se encontraba aproximadamente a 10% de floración. Las muestras fueron secadas a 60°C por 48 h y molidas hasta un tamaño menor a 1 mm. Se determinó N total por el método de Kjeldahl y P total según Murphy y Riley, 1962. El Ca, cobre (Cu), hierro (Fe), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y zinc (Zn) se determinó por absorción atómica y

el K total por emisión (Isaac y Kerber, 1971). El S total se determinó indirectamente (luego de su precipitación con BaSO<sub>4</sub>) midiendo el bario residual por absorción atómica (Malavolta *et al.*, 1989).

Las muestras de suelo (15 - 20 tomas y de 0 - 15 cm de profundidad) fueron extraídas simultáneamente con las de plantas y dentro del área de muestreo de las mismas. En cada muestra se midió pH en agua y en KCl 1 M por potenciometría. Para materia orgánica (MO) se usó el método de Walkley y Black (1982). El P asimilable fue analizado por el método Bray-1 (Bray y Kurtz, 1945). Las bases intercambiables se analizaron por extracción simple con acetato de amonio 1 M y se determinaron por absorción atómica (Ca y Mg) y emisión (K y Na) (Isaac y Kerber, 1971).

En cada sitio se identificó la unidad de suelo según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (escala 1:1.000.000, MAP/DSF, 1976). Los sitios muestreados fueron agrupados en 11 zonas (Tabla 1), según características del material geológico asociado:

- Zona 1, sobre Formación Libertad en el litoral oeste y sur, con suelos francos a arcillosos formados sobre sedimentos con calcáreo, altos contenidos naturales de MO y fertilidad alta (n = 20);
- Zona 2, sobre Formación Fray Bentos del litoral oeste, con suelos arcillosos formados sobre sedimentos con calcáreo y arcillas ricas en K, altos contenidos naturales de MO y fertilidad alta (n = 24);
- Zona 3, sobre Areniscas de Cretácico y otras areniscas del litoral oeste, con suelos de texturas arenosas, contenidos medios a bajos de MO y fertilidad media a baja (n = 13);
- Zona 4, sobre materiales relacionados con los de la Zona 3 (Cretácico) con suelos más arcillosos, mayores contenidos de MO y mayor fertilidad natural (n = 9);
- Zona 5, sobre materiales asociados a Basamento Cristalino en Planicies y lomadas del Este, con suelos de texturas francas y niveles medios de MO y de fertilidad natural (n = 22);
- Zona 6, sobre materiales asociados a sierras y lomadas del Basamento Cristalino del centro del país, con suelos de pH ácidos y, a veces, presencia de aluminio (Al) intercambiable, texturas intermedias y fertilidad natural media a baja (n = 15);
- Zona 7, sobre Formación Libertad apoyado en Basamento Cristalino en el centro y sur, con suelos de texturas arcillosas, con altos niveles de arcilla y fertilidad natural (n = 13);
- Zona 8, sobre materiales cuaternarios con influencia de Basalto en el norte del país, con suelos de texturas muy arcillosas y CIC, fertilidad natural y contenidos de MO muy altos (n = 25);
- Zona 9, sobre Areniscas de Tacuarembó en el noreste, con suelos de textura arenosa, profundos y pH muy bajo, con Al intercambiable y bajos niveles de MO y de fertilidad natural (n = 12);
- Zona 10, sobre Formación Yaguarí al noreste, con suelos de texturas francas, niveles medios a altos de fertilidad natural y de MO (n = 22);
- Zona 11, sobre Sedimentos Pelíticos Grises al noreste con suelos de texturas muy arcillosas y niveles muy altos de MO y fertilidad natural (n = 4).

Los suelos muestreados son fundamentalmente Molisoles y Vertisoles y, en menor medida, Alfisoles y Ultisoles.

El análisis de los datos se realizó sobre la totalidad de las muestras para disminuir los efectos del año, edad de las plantas, genotipo, dominancia del tapiz, estado sanitario, sistema de laboreo, prácticas de manejo y objetivos de producción. Para diagnosticar áreas o situaciones con deficiencias, se compararon los contenidos de nutrientes en planta con valores de referencia, considerando, además, los análisis de suelo y sus características. Se utilizaron niveles de referencia nacionales e internacionales desarrollados para *Lotus corniculatus L.*, o datos publicados para otras leguminosas (ej. alfalfa). El grado de asociación entre las concentraciones de nutrientes en suelos y plantas se analizó con el coeficiente de correlación de Pearson (r), utilizando el programa SAS (1985) tomando todos los puntos muestreados.

## Resultados y Discusión

### Propiedades químicas de los suelos

#### pH del suelo

El rango de pH en agua de los suelos fue de 5.0 a 7.8 (Tabla 1), indicando que el *Lotus corniculatus L.* es una especie adaptada a un amplio rango de acidez. La mayoría de los sitios con pH menores a 5.5 correspondieron a la Zona 9, con suelos arenosos de las Unidades Tacuarembó y Rivera, que naturalmente presentan pH bajo y cantidades significativas de Al intercambiable (Durán, 1991). Varios de los suelos con pH superior a 7.2 correspondieron a los de las Zonas 1, 2 y 7, desarrollados a partir de materiales cuaternarios con carbonatos de Ca, como son los suelos con influencia de la Formación Libertad y Fray Bentos (Durán, 1991).

#### Materia orgánica

Los contenidos de MO del suelo variaron entre 0.8 a 9.3% (Tabla 1). En general, los suelos de la Zona 8, derivados de materiales cuaternarios sobre Basalto presentaron los mayores valores de MO, y los de la Zona 9 con suelos arenosos, los menores, lo cual concuerda con los valores reportados por Durán (1991 y 1998) para los suelos predominantes en estas zonas.

#### Bases intercambiables

La suma de bases intercambiables (Ca, Mg, K, y sodio - Na) presentaron valores dentro del rango de 2.6 a 30.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (Tabla 1). Estos valores concuerdan con los datos reportados por Durán (1991) para los suelos de Uruguay, con los menores valores de bases para suelos de texturas arenosas (Zona 3 y 9) y los mayores para los suelos desarrollados a partir de materiales cuaternarios sobre Basalto (Zona 8) y Sedimentos Pelíticos Grises (Zona 11).

#### Concentración de nutrientes en planta

##### Nitrógeno

La concentración media de N en planta fue de 2.7%, con

un rango de 1.5 a 4.5%. Debido a que no hay información sobre concentraciones críticas para lotus, se tomó como aproximación la concentración de N en alfalfa, de 2.0% (Kelling y Matocha, 1990). Casi todos los puntos de muestreo presentaron concentraciones de N en planta por encima de dicho valor (Tabla 2), excepto dos sitios de la Zona 8 y uno de cada una de las Zonas 2, 4 y 5 (Fig.

1a). La variabilidad encontrada en las concentraciones de N podría ser consecuencia de pequeñas variaciones en el estado fenológico al momento del muestreo o variaciones en la producción de materia seca, aunque esta variable no fue medida en nuestro estudio.

Las concentraciones de N muestran, que en general, la fijación biológica de N actuó en forma eficiente.

**Tabla 1.** Características químicas de los suelos de 179 cultivos comerciales de *Lotus corniculatus L.* relevados en Uruguay.

Zona		pH	MO§	P‡	K	Ca	Mg	Na	Bases
		(agua)	(%)	(mg kg <sup>-1</sup> )	----- (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----				
1 (n=20)	Media	6.4	3.9	16	0.63	14.08	3.67	0.53	19.6
	DE†	0.5	0.9	13	0.21	6.55	1.03	0.25	6.5
	Min	5.7	2.0	4	0.30	0.75	1.13	0.28	7.0
2 (n=24)	Media	6.5	4.9	14	0.81	21.18	2.19	0.36	24.5
	DE	0.4	0.8	6	0.21	6.53	0.92	0.06	6.5
	Min	6.0	3.6	7	0.30	11.00	0.87	0.27	13.2
3 (n=13)	Media	6.0	2.7	11	0.26	8.29	1.21	0.32	10.1
	DE	0.3	0.8	6	0.09	3.02	0.54	0.03	3.3
	Min	5.6	1.8	4	0.15	2.27	0.45	0.26	3.5
4 (n=9)	Media	6.2	4.8	10	0.48	17.47	2.75	0.38	21.1
	DE	0.3	1.2	8	0.15	4.78	0.77	0.08	5.1
	Min	5.8	2.7	5	0.25	11.30	1.35	0.30	15.1
5 (n=22)	Media	5.7	4.5	7	0.26	6.01	2.42	0.51	9.2
	DE	0.3	1.0	2	0.08	2.07	0.78	0.24	2.9
	Min	5.4	2.7	3	0.15	2.32	0.98	0.29	3.9
6 (n=15)	Media	6.0	4.4	11	0.35	10.60	3.06	0.52	14.5
	DE	0.4	1.4	9	0.11	4.87	1.09	0.12	5.8
	Min	5.4	3.1	4	0.21	3.89	1.50	0.30	6.1
7 (n=13)	Media	6.6	4.7	12	0.60	21.37	3.69	0.42	26.1
	DE	0.6	1.3	6	0.19	6.32	0.93	0.07	6.1
	Min	5.9	3.0	5	0.38	11.30	2.11	0.32	16.4
8 (n=25)	Media	5.9	6.2	7	0.41	20.27	6.36	0.49	27.5
	DE	0.3	1.6	3	0.17	3.78	1.59	0.12	4.8
	Min	5.6	3.7	4	0.20	14.50	3.68	0.37	18.9
9 (n=12)	Media	5.4	1.7	35	0.18	1.58	0.54	0.30	2.6
	DE	0.4	0.6	23	0.10	0.66	0.21	0.03	0.8
	Min	5.0	0.8	9	0.08	0.73	0.21	0.25	1.3
10 (n=22)	Media	6.4	2.6	78	0.42	2.91	1.00	0.36	4.0
	DE	5.7	4.6	7	0.43	9.50	3.82	0.55	14.3
	Min	0.2	1.4	3	0.29	4.12	2.50	0.29	6.4
11 (n=4)	Media	5.5	2.5	4	0.17	3.53	0.85	0.28	4.9
	DE	6.2	7.6	13	1.33	17.30	10.60	1.49	29.2
	Min	6.2	6.6	9	0.72	22.95	6.25	0.47	30.4
Total (n=179)	Media	1.0	1.2	4	0.62	9.45	2.60	0.02	11.7
	DE	5.4	5.3	4	0.36	16.60	4.00	0.44	24.3
	Min	7.7	7.6	13	1.64	37.00	10.00	0.48	47.9
Total (n=179)	Media	6.05	4.49	12	0.46	13.76	3.29	0.45	18.0
	DE	0.52	1.61	11	0.27	8.03	2.09	0.19	9.4
	Min	5.00	0.81	3	0.08	0.73	0.21	0.25	1.3
Total (n=179)	Media	7.75	9.32	78	1.64	37.00	10.60	1.49	47.9

†DE: desvío estándar; Min: mínimo; Max: máximo § MO: Materia orgánica, ‡ P: Bray-1

Zonas de suelos: 1: Libertad; 2: Fray Bentos; 3: Cretácico Livianos; 4: Cretácico Pesados; 5: Basamento Cristalino de Planicies y lomas del Este; 6: Basamento Cristalino del Centro; 7: Libertad sobre Basamento Cristalino; 8: Basalto; 9: Arenosos de Tacuarembó y Rivera; 10: Yaguari; 11: Sedimentos Pelíticos Grises.

No obstante, estos resultados indicarían que existió una amplia variación en la calidad del forraje y, por lo tanto, podrían esperarse diferencias en la aptitud de estas pasturas para la producción de carne. En ensayos de respuesta a la fertilización fosfatada en coberturas de *Lotus corniculatus L.* con animales en pastoreo, del Pino (2000) encontró que la producción de carne estuvo fuertemente relacionada con la calidad de la pastura.

### Fósforo

La concentración media de P en plantas fue de 0.21%, con un rango que varió entre 0.11 y 0.38% (Tabla 2). El nivel crítico sugerido en Nueva Zelanda (Pinkerton et al., 1997) y por Kelling y Matocha (1990) fue de 0.24%. La estimación realizada en Uruguay a partir de varios ensayos de respuesta fue de 0.22% (Hernández, no publicado). El 72% de las muestras presentó valores

**Tabla 2.** Concentración de macro y micronutrientes en planta de 179 cultivos comerciales de *Lotus corniculatus L.* relevados en Uruguay.

Zona		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
		----- % -----						----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
1 (n=20)	Media	2.73	0.23	2.16	1.03	0.28	0.24	9	121	64	26
	DE	0.33	0.06	0.26	0.15	0.05	0.05	2	76	26	7
	Min	2.18	0.16	1.76	0.79	0.20	0.14	6	39	41	16
2 (n=24)	Media	2.63	0.23	2.24	1.17	0.25	0.22	8	109	64	22
	DE	0.33	0.05	0.36	0.24	0.05	0.03	1	78	40	6
	Min	1.97	0.15	1.41	0.90	0.18	0.15	6	46	31	13
3 (n=13)	Media	2.73	0.21	1.68	1.18	0.30	0.23	9	94	70	23
	DE	0.26	0.05	0.37	0.27	0.04	0.04	3	22	20	14
	Min	2.35	0.13	1.24	0.70	0.22	0.16	7	72	35	13
4 (n=9)	Media	2.36	0.18	2.05	1.21	0.30	0.21	7	62	76	21
	DE	0.31	0.05	0.33	0.22	0.04	0.03	1	15	41	3
	Min	1.90	0.11	1.38	0.92	0.23	0.16	6	45	36	17
5 (n=22)	Media	2.56	0.19	1.59	0.99	0.34	0.23	9	81	81	21
	DE	0.33	0.02	0.39	0.17	0.06	0.04	2	26	34	4
	Min	1.90	0.11	0.81	0.80	0.23	0.16	5	42	36	15
6 (n=15)	Media	2.81	0.21	1.82	1.09	0.32	0.23	9	85	66	25
	DE	0.31	0.04	0.32	0.19	0.05	0.03	2	16	30	3
	Min	2.25	0.11	1.24	0.81	0.23	0.16	7	58	31	19
7 (n=13)	Media	2.72	0.21	2.13	1.08	0.27	0.22	8	84	55	23
	DE	0.37	0.04	0.33	0.25	0.05	0.06	2	48	15	6
	Min	2.19	0.15	1.59	0.67	0.19	0.12	6	40	38	12
8 (n=25)	Media	2.64	0.21	1.83	1.24	0.36	0.25	11	111	85	31
	DE	0.51	0.05	0.55	0.25	0.09	0.04	10	53	30	20
	Min	1.51	0.14	1.01	0.85	0.26	0.16	4	61	40	20
9 (n=12)	Media	3.15	0.26	1.62	0.69	0.34	0.23	9	115	116	27
	DE	0.46	0.06	0.58	0.20	0.07	0.04	2	44	46	9
	Min	2.35	0.18	0.96	0.34	0.25	0.17	6	50	54	18
10 (n=22)	Media	2.90	0.20	2.04	0.97	0.32	0.24	9	97	90	27
	DE	0.46	0.04	0.57	0.18	0.05	0.05	2	62	36	7
	Min	2.14	0.12	0.85	0.75	0.21	0.17	6	46	41	18
11 (n=4)	Media	2.31	0.21	2.15	1.02	0.29	0.20	7	70	76	23
	DE	0.20	0.01	0.24	0.21	0.06	0.05	2	28	21	3
	Min	2.11	0.21	2.00	0.74	0.22	0.13	4	43	54	21
Total (n=179)	Media	2.71	0.21	1.93	1.07	0.31	0.23	9	96	77	25
	DE	0.41	0.05	0.48	0.25	0.07	0.04	4	51	35	10
	Min	1.51	0.11	0.81	0.34	0.18	0.12	4	39	31	12
	Max	4.15	0.38	3.30	1.84	0.59	0.36	58	350	207	115

DE: Desvío standard; Min: mínimo; Max: máximo

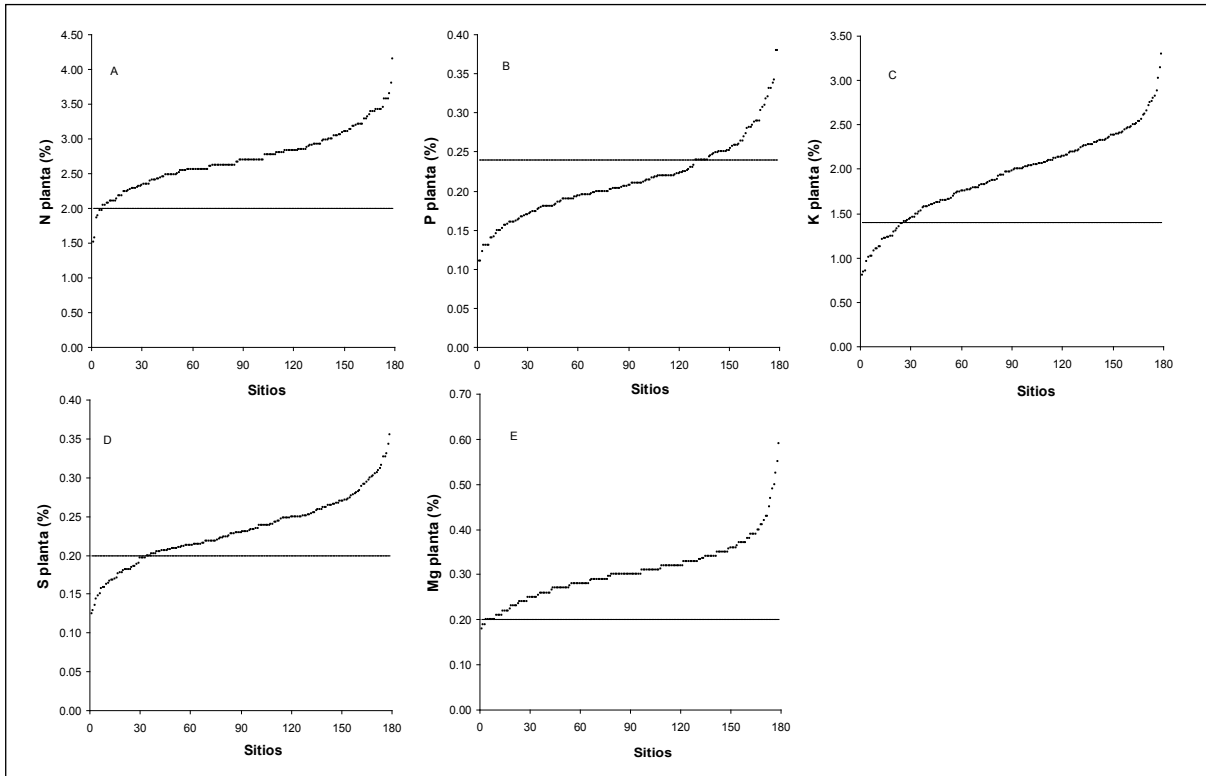
Zonas de suelos: 1: Libertad; 2: Fray Bentos; 3: Cretácico Livianos; 4: Cretácico Pesados; 5: Basamento Cristalino de Planicies y lomas del Este; 6: Basamento Cristalino del Centro; 7: Libertad sobre Basamento Cristalino; 8: Basalto; 9: Arenosos de Tacuarembó y Rivera; 10: Yaguarí; 11: Sedimentos Pelíticos Grises.

inferiores a la concentración crítica de 0.24% en planta, siendo las Zonas 4, 5, 10 y 11 las que presentaron la mayor frecuencia de casos por debajo de la concentración crítica (Fig. 1b). En la mayoría de las zonas, los suelos presentaron valores de P inferiores a 10 - 12 mg. kg<sup>-1</sup> (Bray-1) sugerido como rango crítico de P para *Lotus corniculatus L.* para suelos de texturas medias y pesadas del sur y litoral de Uruguay (Bordoli, 1998).

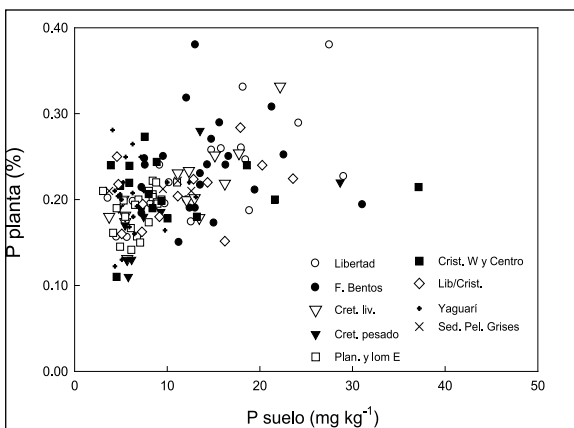
La Figura 2 muestra la concentración de P en planta en función del P disponible, para tres grupos de suelos: Zona 8, de suelos desarrollados sobre materiales cuaternarios con influencia de roca basáltica, Zona 9, de

suelos desarrollados sobre Areniscas de Tacuarembó y Rivera, y el resto de las zonas estudiadas.

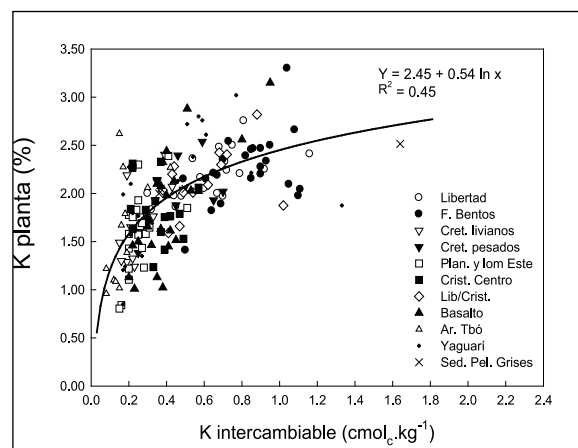
Considerando todos los puntos, independientemente del tipo de suelo, la ecuación de ajuste utilizando el modelo lineal con plateau fue de  $Y = 0.67 + 0.0045 X$ , plateau = 0.266 siendo Y el % de P en planta y X el P en el suelo expresado en mg kg<sup>-1</sup>. En este modelo, un contenido en el suelo de 12 mg kg<sup>-1</sup> corresponde a 0.22% de P en planta, lo cual coincide con la información nacional. Teniendo en cuenta que todos los cultivos de lotus tienen antecedentes de fertilización fosfatada, parece necesario un mejor manejo de la misma.



**Figura 1.** Contenido de N (A), P (B), K (C), S (D) y Mg (E) en plantas de *Lotus corniculatus L.* de 179 sitios relevados. Las líneas horizontales corresponden a las concentraciones críticas utilizadas (N = 2,00%; P = 0,24%; K = 1,40%; S = 0,20% y Mg = 0,20%).



**Figura 2.** Relación entre fósforo en plantas de *Lotus corniculatus L.* y fósforo disponible (Bray-1) hasta 50 mg kg<sup>-1</sup> para suelos desarrollados sobre 11 zonas de suelos de Uruguay.

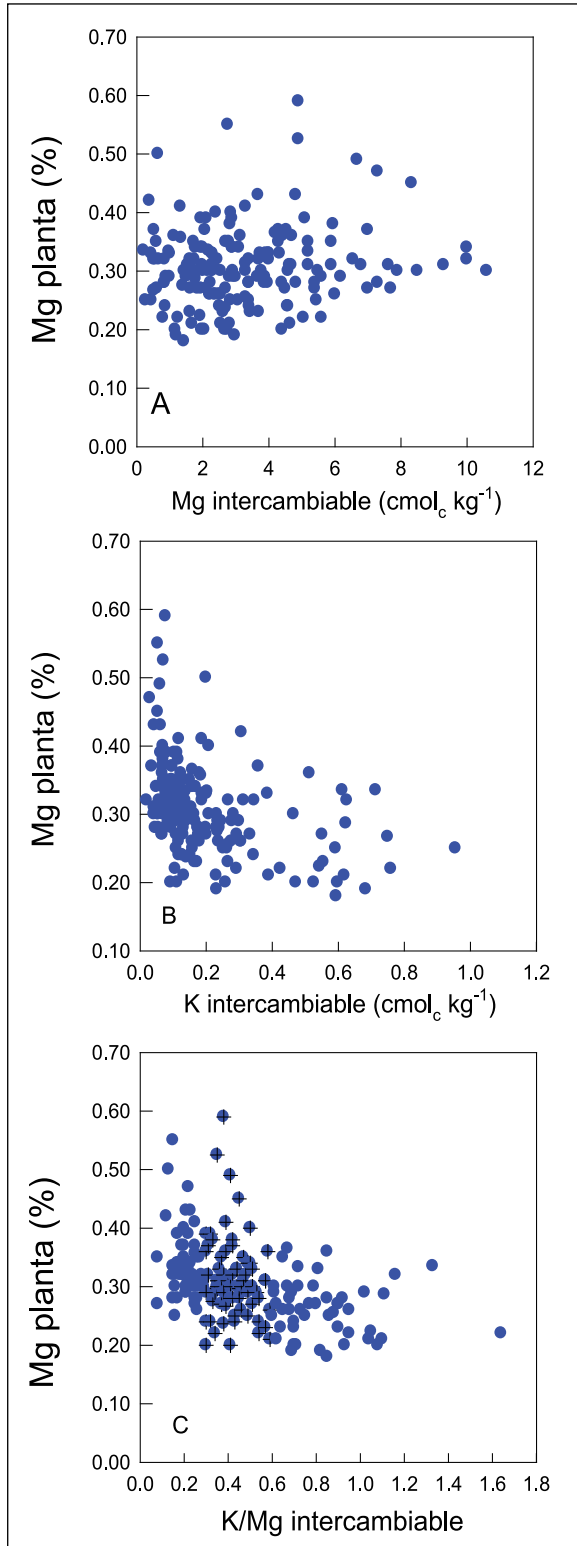


**Figura 3.** Relación entre K en plantas de *Lotus corniculatus L.* y K intercambiable según las zonas de suelos.

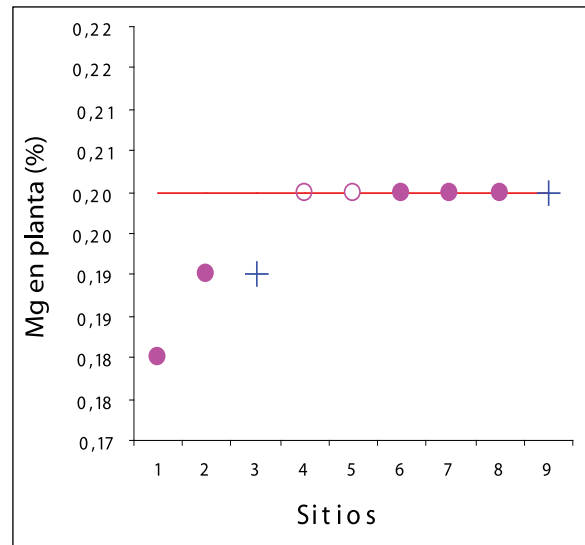
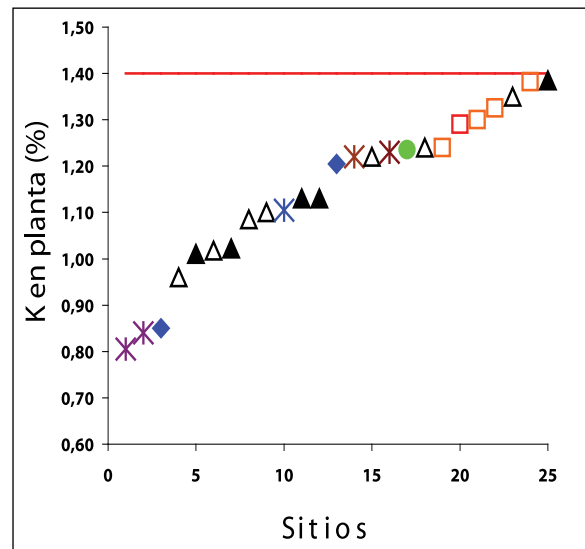
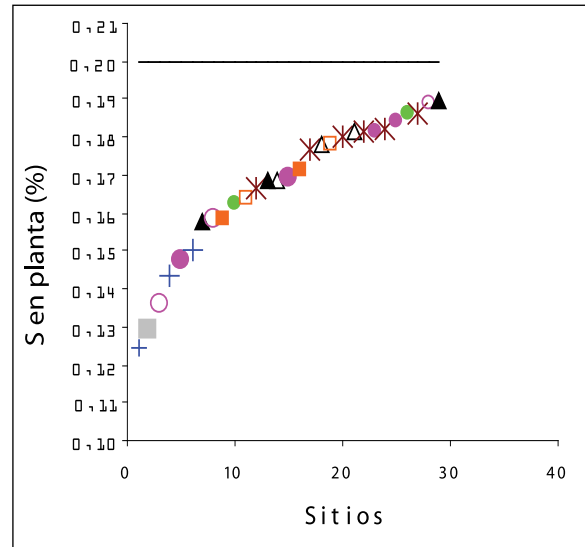
**Azufre**

La concentración media de S en planta fue de 0.23%, con un rango de 0.12 a 0.36% (Tabla 2 y Fig. 1d). Dado que para lotus no se han establecido concentraciones críticas de S en planta, se tomó el valor crítico de alfalfa, 0.20% (Kelling

y Matocha 1990). Nosotros encontramos que 16% de las plantas presentaron concentraciones de S menores a 0.20% y no se asociaron con ninguna zona en particular (Fig. 1d



**Figura 4.** Relación entre concentración de Mg en planta de *Lotus corniculatus* L. y Mg intercambiable (A); K intercambiable (B) y relación K/Mg en suelo (C).



**Figura 5.** Identificación de suelos con bajos contenidos de S, K y Mg en planta.



y Fig. 5). Kelling y Matocha (1990) sugieren como criterio de suficiencia de S en planta una relación N:S entre 11:1 y 15:1. El 12% de las muestras estudiadas, provenientes de todas las zonas, presentaron relaciones N:S mayores a 15:1. De esas muestras, la mayoría presentó concentraciones de S inferiores a la concentración crítica.

Aunque es posible analizar la concentración de S tanto en tejidos vegetales como en suelos, aún no se ha avalado el uso de un indicador confiable que determine adecuadamente la disponibilidad de S por análisis de suelo para nuestras condiciones. En la mayoría de nuestros suelos, la dinámica del S es fundamentalmente orgánica, siendo de poca significancia el sulfato retenido en la fase inorgánica. Por lo tanto, la disponibilidad de sulfato será mayor en etapas de mineralización neta de MO, mientras que en etapas de acumulación de ésta se inmovilizará (Tisdale *et al.*, 1993). También deben considerarse los aportes de S por algunos fertilizantes fosfatados. En nuestro estudio no se encontró una relación entre los valores de MO del suelo y S en planta ( $r = -0.02$  y  $P = 0.78$ ), aunque Casanova y Cerveñansky (2001) sugieren que el valor de MO del suelo es un buen indicador de la disponibilidad de S. Probablemente las distintas situaciones de equilibrio mineralización-inmovilización de S, expliquen la falta de correlación. Estos resultados indicarían posibles deficiencias de S en algunas situaciones de suelo y del cultivo, y coinciden con lo observado en ensayos de campo, donde se ha encontrado respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfatados con S (Zamalvide, 1998; Casanova y Cerveñansky, 2002).

La dinámica de la MO y la incorporación de S en los programas de fertilización previas deben ser elementos a considerar en futuros trabajos para estudiar la respuesta a S.

### Potasio

La concentración media de K en plantas fue de 1.93%, con un rango de 0.81 a 3.30% (Tabla 2) y el 14% presentó valores menores a 1.40%. Este valor debe considerarse como una aproximación a la concentración crítica, ya que corresponde al contenido que separa las concentraciones bajas de las óptimas en alfalfa (Cornforth y Sinclair, 1984), debido a que no hay información sobre este nutriente para *Lotus corniculatus L.* (Fig. 3). La mayoría de las plantas con concentración de K inferior a dicho valor provenían de suelos de las Zonas 3 y 9, de texturas livianas y bajos contenidos de K (Fig. 1c y Fig. 5). También se observaron bajas concentraciones de K en plantas de las zonas de suelos sobre Planicies y lomadas del Este (Zona 5) y en suelos sobre cuaternario asociado a Basalto (Zona 8). En estos últimos podrían existir deficiencias de K atribuidas a la predominancia de arcilla esmectita, pobre en K (Hernández *et al.*, 1988; Hernández, 1997b). Los niveles más altos de K se encontraron en suelos de la Zona 2 (Fig. 1c) sobre materiales asociados a Formación Fray Bentos con presencia de arcillas micáceas (illita), ricas en K. Los niveles de K intercambiable en dichos suelos fueron superiores a  $0.80 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  y las concentraciones de K en

planta fueron altas. Aunque no se han establecido en el país niveles críticos para K en el suelo, se han sugerido los valores de  $0.15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para suelos arenosos,  $0.25 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para suelos medios y más de  $0.35 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para suelos muy arcillosos, como tentativos para la mayoría de los cultivos (Hernández, 1997b). Utilizando la ecuación del ajuste de todos los puntos de este estudio, independientemente del tipo de suelo,  $Y = 2.45 + 0.54 \ln X$ , el valor estimado de análisis de suelo correspondiente a una concentración de 1.40% en planta es de aproximadamente  $0.15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Este valor en suelo es menor a los niveles críticos usados en el país como aproximación, e indica la necesidad de estudios específicos para este nutriente.

### Magnesio

La concentración media de Mg en planta fue de 0.31%, con un rango de 0.18 a 0.59% (Tabla 2) y los valores más bajos se observaron en las Zonas 2 y 7 (Fig. 1e y Fig. 5). Como no existen referencias sobre concentraciones críticas de Mg para lotus, se usó la concentración crítica para alfalfa, 0.20%, (Kelling y Matocha, 1990). Nosotros encontramos un 5% de las muestras con concentraciones de Mg iguales o inferiores a esa concentración crítica. Si bien los contenidos de Mg en planta se correlacionaron positivamente con los valores de Mg intercambiable en el suelo ( $r = 0.14$ ;  $P = 0.05$ ) (Fig. 4a), la correlación fue más alta e inversa con los valores de K intercambiable ( $r = -0.44$ ;  $P = 0.01$  y Fig. 4b) y con el contenido de K en planta ( $r = -0.59$ ;  $P = 0.01$ ). La concentración de Mg en planta disminuyó con el aumento de la relación K:Mg intercambiables (Fig. 4c). Tisdale *et al.* (1993) sugiere que habría mayor probabilidad de deficiencias de Mg si la relación K:Mg intercambiable es cercana a 1:1 y/o la relación Ca:Mg es mayor a 15:1. El 9% de los sitios presentó relaciones K:Mg intercambiable cercanos a 1:1 y el 3% relaciones Ca:Mg superiores a 15:1. La mayoría de estos casos correspondieron a suelos de la Zona 2 (Formación Fray Bentos), con materiales ricos en Ca y K y relativamente pobres en Mg intercambiable. Estos datos indican que pueden ocurrir deficiencias de Mg por causas naturales, o inducidas por altas dosis de fertilización con K.

### Calcio

La concentración media de Ca en planta fue 1.07%, con un rango de 0.34 a 1.84% (Tabla 2). El valor tomado como referencia fue de 0.40%, el cual es considerado como concentración baja (Cornforth y Sinclair, 1984). En nuestro estudio, sólo un suelo presentó concentraciones inferiores a ese valor. En el país, generalmente la aplicación de Ca se realiza como  $\text{CaCO}_3$  para corregir el pH, ya que los suelos presentan niveles altos de Ca intercambiable, por lo cual no se esperan deficiencias de este nutriente en el mediano plazo.

## Micronutrientes

Las concentraciones media de Cu, Fe, Mn y Zn en planta fueron 9, 96, 77 y 25 mg. kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 2). Según Kelling y Matocha (1990) y Cornforth y Sinclair (1984), los valores críticos de Cu, Fe, Mn y Zn para alfalfa son 5, 44, 24 y 12 mg. kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Dado que todas las concentraciones fueron superiores a las concentraciones críticas, los resultados obtenidos en nuestro estudio indican que no se esperarían deficiencias de estos micronutrientes para lotus en nuestras condiciones.

## Referencias Bibliográficas

- Bermúdez R., W. Ayala, A. Morón y C. Mas.** 2004. Residualidad del fósforo en mejoramientos de trébol blanco y lotus común sobre suelos superficiales. In Seminario de actuarío técnica: Fertilización fosfatada de pasturas en la región Este. Actividades de difusión 356. INIA. Treinta y Tres. Pp. 59-66.
- Bordoli J.M.** 1998. Fertilización de pasturas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas. Manejo de la fertilidad en sistemas extensivos (Cultivos y Pasturas). Facultad de Agronomía. Unidad de Educación Permanente y Postgrado. Pp. 71-79.
- Bordoli J.M.** 2005. Encalado de alfalfa E. Chaná. Simposio binacional Impacto de la intensificación agrícola en el recurso suelo. 1era. Reunión Uruguaya de la Ciencia del Suelo. Colonia del Sacramento, Uruguay. 6 y 7 de octubre.
- Bray R.H. y L.T. Kurtz.** 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Cambrá A.** 1987. Encalado, fertilización y refertilización fosfatada en alfalfa para tres suelos del departamento de Canelones. Montevideo, Facultad de Agronomía, Uruguay.
- Casanova O. y A. Cerveñansky.** 2001 (Mayo-Junio). La materia orgánica es un buen estimador de la necesidad de azufre? *ISUSA Agrotomario* 4, No. 22.
- Casanova O. y A. Cerveñansky.** 2002. Nuevas alternativas de la fertilización P y S en alfalfa. XIX Reunión del Grupo Técnico en forrajeras del Cono Sur, Zona Campos. Mercedes, Corrientes, Argentina.
- Casanova O.** 2004. Fertilizantes fosfatados. Fertilización en suelos de sierra. *Boletín* 256, Seminario de Actualización, INIA Treinta y Tres. Uruguay.
- Casanova O.** 2004b. Manejo de la fertilización fosfatada en Zona de Sierras. In Seminario de actuarío técnica: Fertilización fosfatada de pasturas en la región Este. Actividades de difusión 356. INIA. Treinta y Tres. Pp 67-72.
- Casanova O. y M. Barbazán.** 2005. Alternativas de mejoramiento de campo natural en suelo sobre Basamento Cristalino en Uruguay. In III Congreso Nacional sobre manejo de pastizales naturales. Paraná, Entre Ríos. Argentina. Pp. 144.
- Censo General Agropecuario.** 2000. On line. Actualizado: 17 de Noviembre de 2006. <http://www.mgap.gub.uy/Diea/CENSOVOL2/>
- Cornforth I.S. y A.G. Sinclair.** 1984. Fertilizer and lime recommendations for pastures and crops in New Zealand. Second Revised Edition. Ministry of Agriculture and Fisheries, Private Bag, Wellington.
- Malavolta E., G.C. Vitti y S.A. Oliveira.** 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba: Potafos. 201 p.
- Del Pino A.** 2000. Respuesta de la producción animal al mejoramiento de campo natural con fósforo y leguminosa. <http://www.fagro.edu.uy/dptos/suelos/fertilidad/investiga/Prod-Carne>.
- Durán A.** 1991. Los suelos del Uruguay. Editorial Hemisferio Sur. 398p.
- Durán A.** 1998. Caracterización de suelos de la Región Basáltica del Uruguay. In XIV Reunión del Grupo técnico regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo Campos. Serie técnica 94. INIA Tacuarembó. Pp. 3-10.
- Hernández J.** 1997. Óxidos de hierro en los suelos: sus propiedades y su caracterización con énfasis en los estudios de retención de fósforo. *Agrociencia* 1:1-14.
- Hernández J.** 1997b. Potasio. Manejo de la fertilidad en producciones extensivas (Cereales y pasturas). Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. Pp. 29-33.
- Hernández J., O. Casanova y J.P. Zamalvide.** 1988. Capacidad de suministro de potasio en suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. *Boletín de Investigación* No. 19. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. 20p.
- Isaac R.A. y J.D. Kerber.** 1971 Atomic Absorption and flame photometry: techniques and uses in soil, plant and water analysis. In *Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissues*. Pp. 17-37. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin, USA.
- Jones J.B. y V.W. Case.** 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. In *Soil testing and plant analysis*. Third edition. R. L. Westerman. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 389-427.
- Kelling K.A. y J.E. Matocha.** 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing forage crops. In *Soil testing and plant analysis*. Third edition. R. L. Westerman. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 603-643.
- MAP/DSF.** 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo, Uruguay.
- Marchesi C.E. y J.A. Elhordoy.** 1993. Limitantes nutricionales para la producción de pasturas mejoradas. Efecto de la dosis, fuente de fósforo y encalado en suelos de las unidades Arroyo Blanco y Zapallar. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 260p.
- Martínez Haedo A. y H.D. Mastropiero.** 1993. Limitantes nutricionales para la producción de pasturas mejoradas. Efecto de la dosis, fuente de fósforo y encalado al tercer año en suelos de Basamento Cristalino (Unidades: Sierra de Polanco y San Gabriel – Guaycurú). Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 200p.
- Morón A.** 1998. Requerimientos de fertilización y relevamiento nutricional. In *Jornada de alfalfa*. Canelones, Uruguay. Pp. 15-20.
- Morón A.** 2000. Fertilidad de suelos y estado nutricional. In *Tecnología en alfalfa*. *Boletín de divulgación* N° 69. INIA La Estanzuela. Pp. 37-51.
- Morón A.** 2004. Relevamiento del estado nutricional y la fertilidad del suelo en cultivos de trébol blanco en la zona Este de Uruguay. In *Fertilización fosfatada de pasturas en la Región Este*. Seminario de Actualización Técnica. Actividad de difusión 356. INIA Treinta y Tres.
- Murphy J. y J.P. Riley.** 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36.
- Olmos F.** 1998. Mejoramientos de pasturas con Lotus. In XIV Reunión del Grupo técnico regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo Campos. Serie técnica 94. INIA Tacuarembó. Pp. 59-60.
- Pinkerton A., F.W. Smith y D.C. Lewis.** 1997. Pasture species. In *Plant analysis, an interpretation manual*. Second edition. D. J. Reuter and J. B. Robinson editores.
- SAS Institute.** 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computer. Version 6 Edition. SAS Inst. Cary, North Carolina, USA.
- Smith F.W. y J.F. Loneragan.** 1997. Interpretation of plant analysis: concepts and principles. In *Plant analysis, an interpretation manual*. Second Edition. Reuter D. J. and J. B. Robinson. Assistant Editor. C. Dutkiewicz. CSIRO. Australia.
- Tisdale S. L., W.L. Nelson, J.D. Beaton y J.L. Havlin.** 1993. Soil fertility and fertilizers. Fifth Edition.
- Walkley A. y T.A. Black.** 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29-38.
- Zamalvide J.** 1998. Fertilización de pasturas. In XIV Reunión del Grupo técnico regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo Campos. Serie técnica 94. INIA Tacuarembó. Pp. 97-107. <