

Relevamiento nutricional del cultivo de soja en Uruguay*

J.M. Bordoli¹, M.M. Barbazán¹, y L. Rocha¹

Introducción

En los últimos años se ha producido un proceso de expansión e intensificación de la agricultura en Uruguay y en la región, cuyo denominador común ha sido la creciente y acelerada dominancia del cultivo de soja [*Glycine max* (L.) Merr.]. Mientras en el año 2001 el país sembraba unas 30 000 ha y exportaba casi 10 000 t de grano de soja, en 2011 esas cifras pasaron a ser de 1 500 000 ha y más de 1 000 000 de t de grano exportadas. Este gran incremento estuvo explicado principalmente por la expansión del área sembrada, producida tanto por el desplazamiento de áreas con otros cultivos como por la inclusión de áreas no tradicionales, con suelos que en muchos casos presentan restricciones para la agricultura de secano. Además, con la generalizada adopción de sistemas sin laboreo, se produjo también una gran intensificación del uso del suelo, propiciándose la realización de 1.5 cultivos por año (DIEA, 2010). Sin embargo, el rendimiento promedio del cultivo de soja se ha mantenido estable en 2000 kg ha⁻¹, siendo incluso más bajo que el promedio de países

vecinos, si se considera solo el cultivo de soja como cultivo de primera.

Dados los precios del producto y las perspectivas del mercado, hoy el desafío del país es aumentar el volumen exportado en base a un incremento en la productividad del cultivo por superficie. El objetivo de este estudio fue identificar situaciones (áreas, tipos de suelo, prácticas de manejo del cultivo) donde ocurran o sean más probables de ocurrir desequilibrios nutricionales en especial para el cultivo de soja. La importancia de este estudio es la de orientar nuevos aspectos a investigar en este y en otros cultivos para superar las limitantes nutricionales que se pudieran encontrar.

Materiales y métodos

Durante las zafas de 2009/10 al 2011/12, se llevó a cabo un relevamiento nutricional de 214 cultivos comerciales de soja, distribuidos por todo el país (Zonas Centro, Este, Noreste, Noroeste, Sureste). Al estado de R1-R2 del cultivo y de un área uniforme de 0.2 ha, se tomaron muestras compuestas de planta (25-30 hojas con pecíolo, seleccionando la más reciente y completamente desarrollada).

Estas muestras se secaron a 60 °C durante 48 hs y se molieron hasta un tamaño menor a 1 mm para su posterior análisis. La concentración de nitrógeno (N) total se determinó por el método Kjeldahl y la de fósforo (P) total de acuerdo a Murphy y Riley (1962).

Las concentraciones totales de calcio (Ca), cobre (Cu), hierro (Fe), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y zinc (Zn) se determinaron mediante absorción atómica y las de potasio (K) y sodio (Na) por emisión (Isaac y Kerber, 1971), mientras que la concentración de azufre (S) total se determinó por combustión LECO.

De la misma área desde donde se tomaron las muestras de hoja, se tomaron muestras compuestas de suelo (15-20 tomas de 0-15 y de 15-30 cm de profundidad), que fueron secadas a 40 °C y molidas para determinar el pH en agua y en KCl por potenciometría, materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black, P extractable por el método Bray-I (Bray y Kurtz, 1945) y bases intercambiables extraídas con acetato de amonio 1 M por absorción atómica (Ca y Mg) y emisión (K y Na) (Isaac y Kerber, 1971). En cada zona de

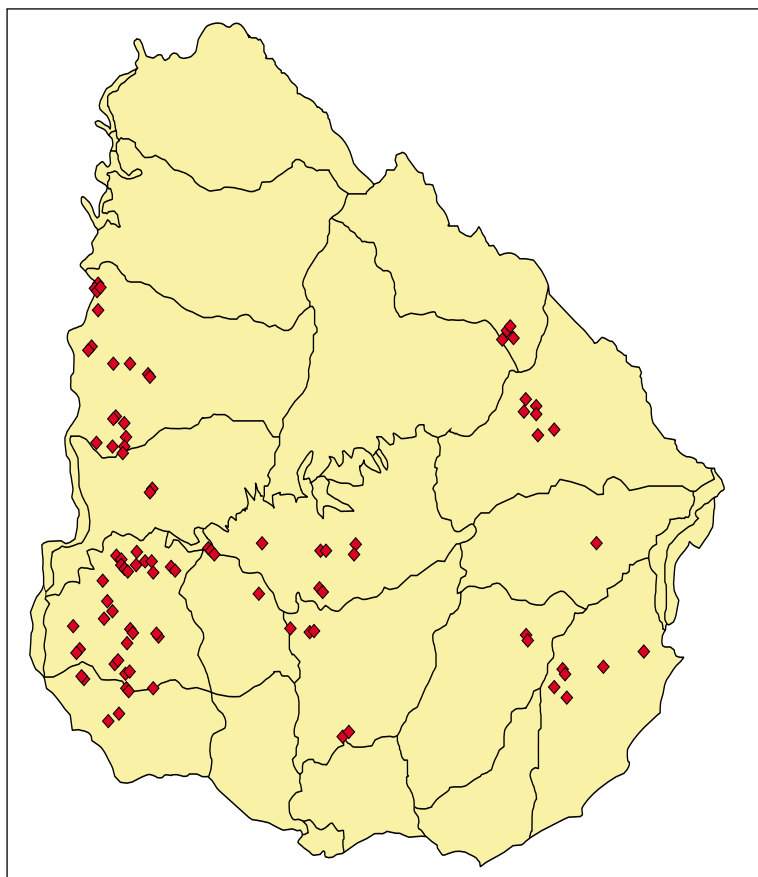


Figura 1. Ubicación de los cultivos de soja muestreados en Uruguay durante las zafas del año 2009 al 2012.

¹ Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Garzón 780. CP 12900. Montevideo Uruguay. Correo electrónico: jbordoli@fagro.edu.uy

* Trabajo presentado en el Simposio "Potasio en Sistemas Agrícolas de Uruguay". 28 de Mayo de 2013. Mercedes, Soriano - Uruguay.

Tabla 1. Valores promedios, mínimos y máximos de concentración de nutrientes en hojas de soja y rendimiento en grano de las zafas de 2009/10, 2010/11 y 2011/12 (Robinson y Reuter, 1997).

Nutrientes	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Rendimiento kg ha ⁻¹
	----- % -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
Total de muestras											
Promedio	4.31	0.26	1.93	0.31	1.17	0.38	9	84	68	31	2868
Mínimo	2.82	0.09	0.21	0.19	0.67	0.19	2	43	22	8	511
Máximo	6.23	0.48	3.30	1.76	2.05	1.12	18	435	455	62	6333
Soja de primera											
Promedio	4.31	0.26	2.00	0.29	1.15	0.36	9	79	64	30	3429
Mínimo	2.82	0.09	0.53	0.21	0.67	0.19	2	45	22	8	523
Máximo	5.89	0.48	3.22	0.51	2.05	1.12	17	307	455	62	6333
Soja de segunda											
Promedio	4.32	0.26	1.86	0.33	1.19	0.39	8	88	73	33	2335
Mínimo	2.82	0.11	0.21	0.19	0.73	0.22	3	43	23	21	511
Máximo	6.23	0.48	3.30	1.76	2.00	0.84	18	435	438	53	4498
Concentración crítica	3.5	0.24	1.76	0.20	-	0.20	-	-	-	-	-

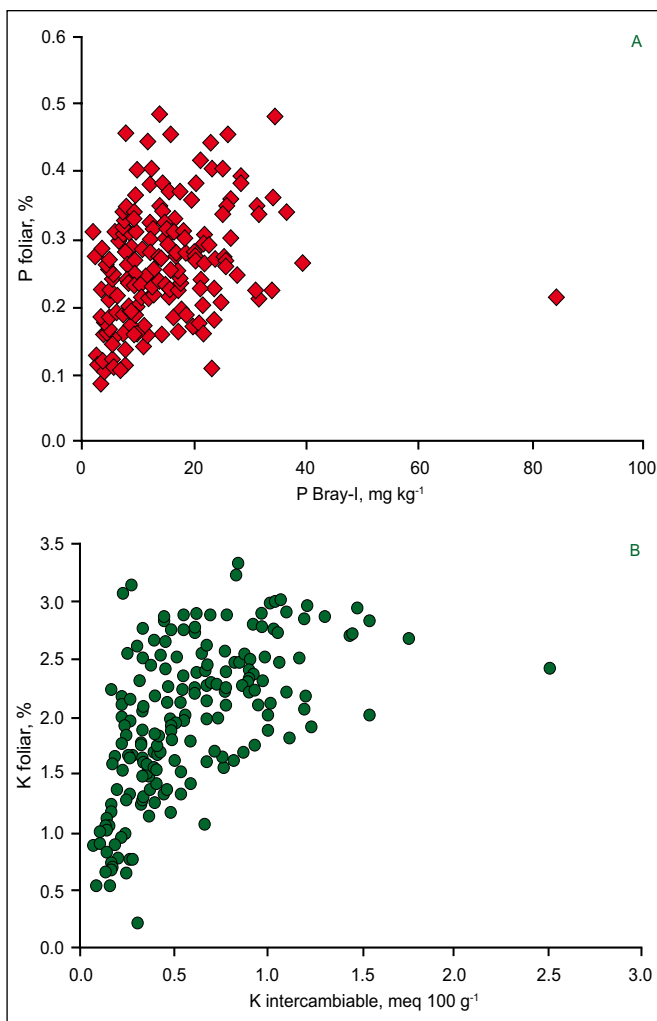


Figura 2. Relación entre concentraciones foliares de P (A) y K (B) y el nutriente en el suelo.

muestreo se estimó el rendimiento mediante cosecha manual o con el dato del monitor de rendimiento de la cosechadora. El peso de grano fue corregido a 13% de humedad. De cada cultivo muestreado se intentó contar con información adicional relacionada al manejo del cultivo e historia del sitio.

Los resultados obtenidos se compararon con los valores de referencia. Para las muestras de plantas se utilizó la concentración crítica más baja reportada por Robinson y Reuter (1997) para el cultivo de soja en el estado de crecimiento señalado (**Tabla 1**).

El relevamiento abarcó las principales áreas sembradas de soja en los tres veranos entre 2009 y 2012 (**Figura 1**), buscando los suelos y situaciones más representativas del cultivo, completando un total de 214 puntos de muestreo.

Resultados y discusión

Rendimiento en grano y concentración de nutrientes en hojas

El rendimiento promedio en los cultivos de soja de primera fue de 3429 kg ha⁻¹, el cual resultó un 47% mayor que el rendimiento promedio del cultivo sembrado como de segunda (2335 kg ha⁻¹). Ambos valores fueron más altos que el promedio del rendimiento nacional situado en 2000 kg ha⁻¹ (DIEA, 2010). El rango de cada cultivo fue muy amplio: de 523 a 6333 kg ha⁻¹ para la soja de primera, y 511 a 4498 kg ha⁻¹ para la de segunda (**Tabla 1**).

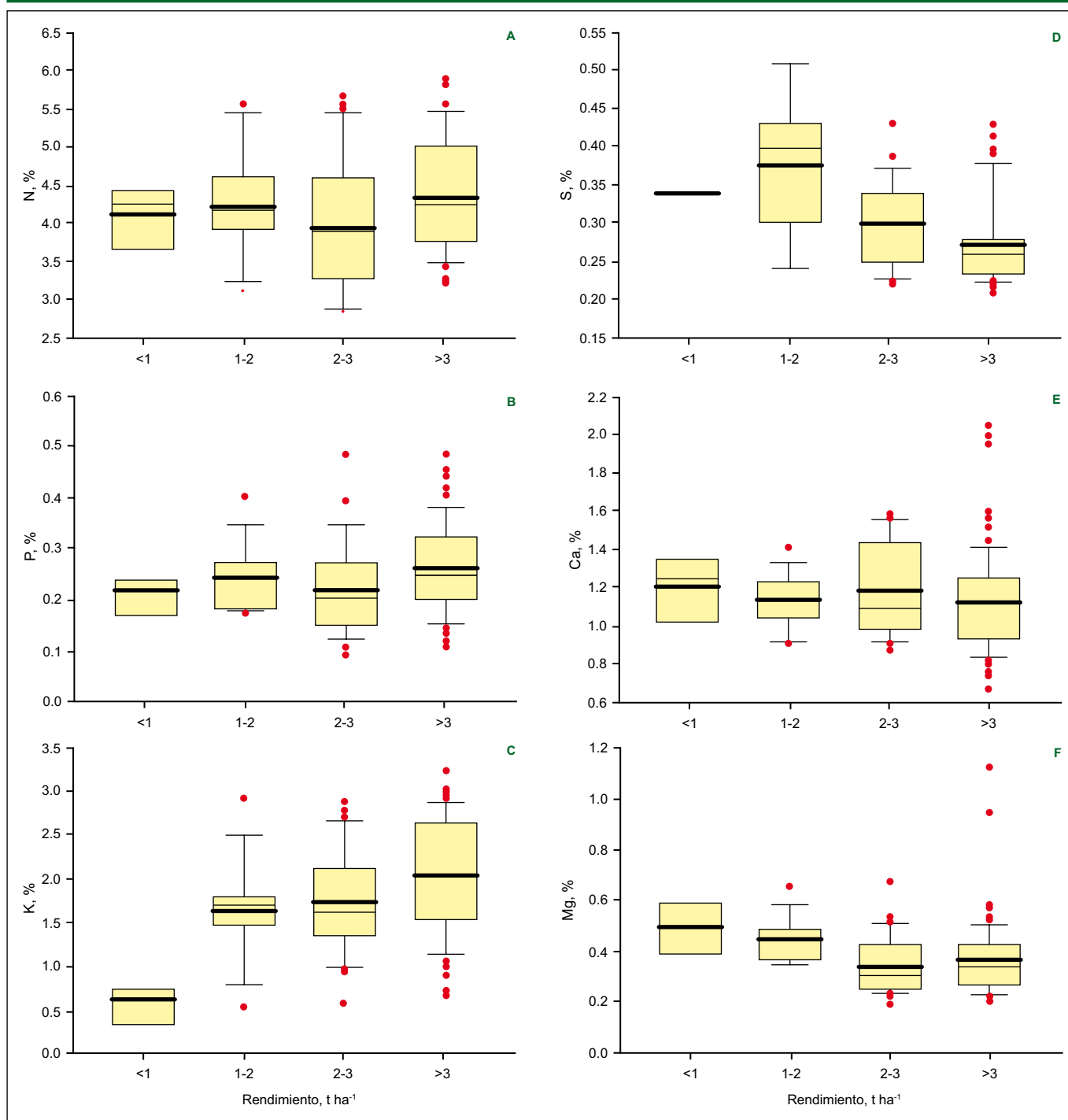


Figura 3. Concentración de macronutrientes y nutrientes secundarios en hoja y pecíolo al estado de crecimiento R1-R2 en función del rendimiento del cultivo de soja de primera. Media (línea gruesa), mediana (línea fina) y percentiles (10, 25, 75 y 90; círculos rojos).

El estado nutricional general del cultivo, evaluado a través del análisis foliar, muestra que hubo una gran variación en la concentración de nutrientes tanto para los cultivos de primera como de segunda (**Tabla 1**). Los nutrientes que presentaron mayor cantidad de casos con concentraciones menores a los valores críticos fueron, en orden descendente: $P > K > N$. Para los otros nutrientes analizados, como S, Mg y Ca, y los micronutrientes Cu, Fe, Mn y Zn, los valores de concentraciones fueron iguales o mayores a las concentraciones críticas, por lo cual no se evidenciaron problemas de deficiencia de estos nutrientes a través del análisis foliar.

Se debe tener en cuenta, además, que en la comparación con valores de referencia se utilizó en todo los casos el valor de referencia más conservador, aunque existen autores que sugieren mayores concentraciones críticas.

La concentración promedio de P en hoja fue de 0.26%, con un rango de 0.09 a 0.48%, con un alto porcentaje de las muestras con concentraciones por debajo de las críticas de 0.24% (49% y 41% en soja de primera y segunda, respectivamente). La relación entre la concentración de P en hoja y el P Bray-I y entre P Bray-I y rendimiento fueron muy pobres, lo que indicaría que existieron otras restricciones que no fueron solo P (**Figura 2A**).

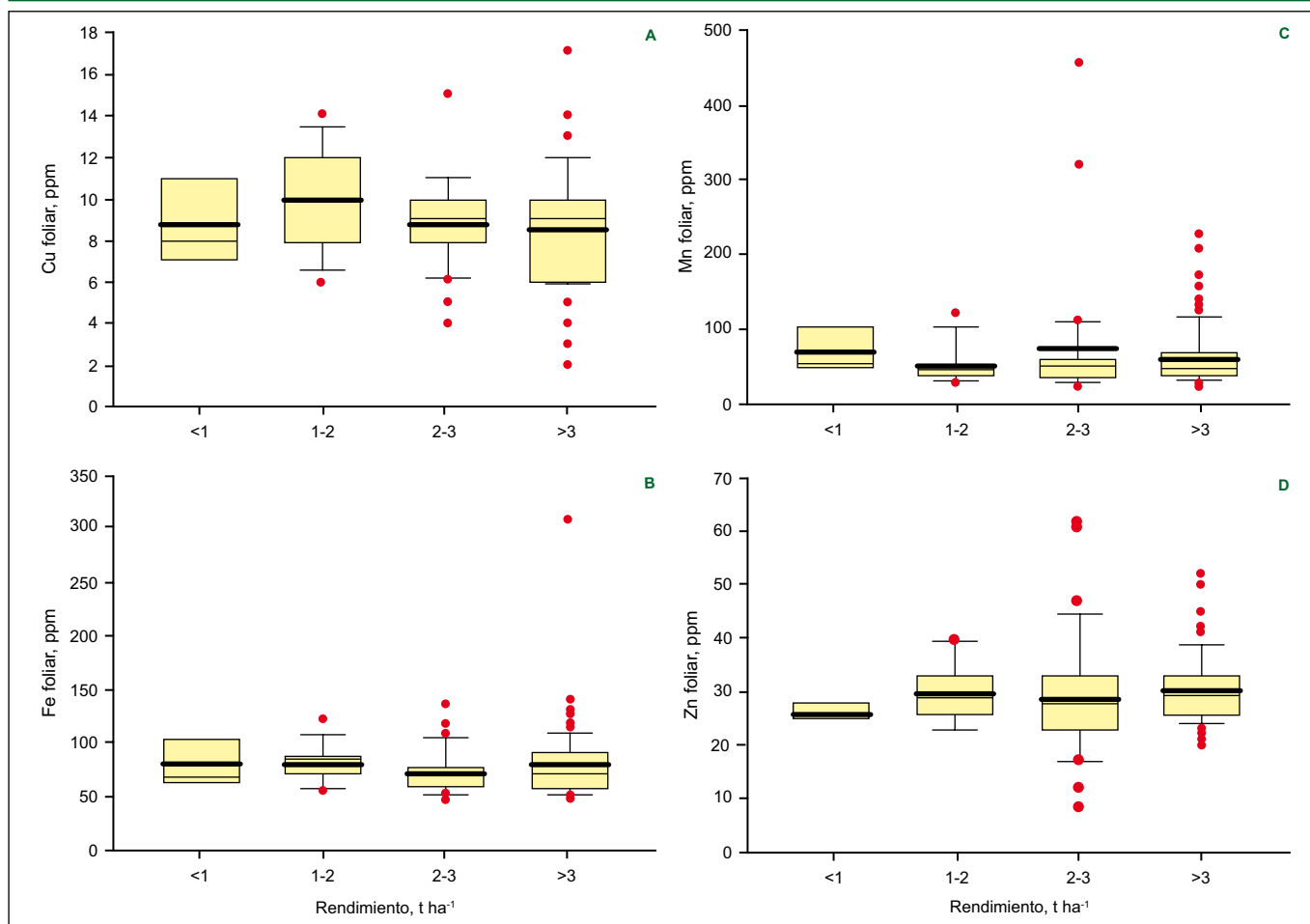


Figura 4. Concentración de micronutrientes en hoja y pecíolo al estado de crecimiento R1-R2 en función del rendimiento del cultivo para Cu, Fe, Mn y Zn de soja de primera. Media (línea gruesa), mediana (línea fina) y percentiles (10, 25, 75 y 90; círculos rojos).

Tabla 2. Valores promedios, mínimos y máximos de análisis de suelo en sitios muestreados con soja (n = 200) durante las zafas 2009/10, 2010/11 y 2011/12.

	MO	pH	Ac. Int.	Ca	Mg	K	Na	P
	%			----- meq 100 g ⁻¹ -----				mg kg ⁻¹
Total de muestras								
Promedio	3.8	5.6	0.06	15.94	2.31	0.56	0.47	14
Mínimo	1.1	4.4	0.00	2.31	0.56	0.08	0.26	2
Máximo	6.2	7.6	1.16	46.4	9.80	2.50	1.35	84
Soja de primera								
Promedio	3.9	5.6	0.06	15.63	2.21	0.55	0.47	15
Mínimo	1.7	4.4	0.00	2.4	0.58	0.08	0.26	2
Máximo	6.0	7.6	1.16	46.4	7.15	1.55	1.03	84
Soja de segunda								
Promedio	3.8	5.6	0.08	16.26	2.42	0.57	0.46	13
Mínimo	1.1	4.5	0.00	2.31	0.56	0.10	0.26	3
Máximo	6.2	7.6	1.07	45.59	9.80	2.50	1.35	36

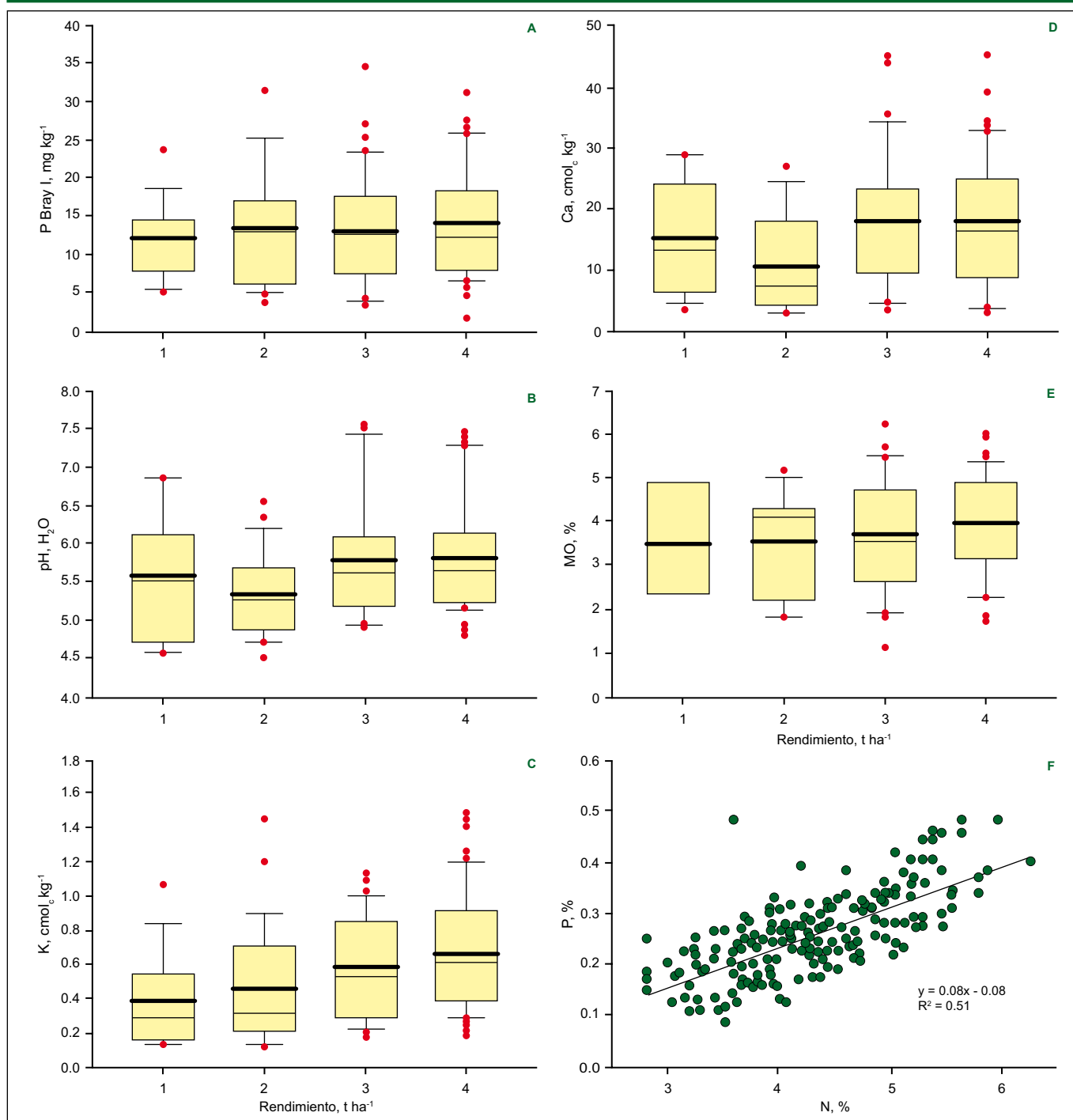


Figura 5. Media (línea gruesa), mediana (línea fina) y percentiles (10, 25, 75 y 90; círculos rojos) de P extractable (A), pH del suelo (B), K intercambiable (C), Ca intercambiable (D), y materia orgánica del suelo (E) para rendimientos de soja inferiores a 1000 kg ha⁻¹ (1), entre 1000 y 2000 kg ha⁻¹ (2), entre 2000 y 3000 kg ha⁻¹ (3), y mayores a 3000 kg ha⁻¹. Relación entre P y N en hoja (F).

La concentración promedio de K en hoja fue de 1.93%, variando de 0.21 a 3.30%. El 33% de las muestras de soja de primera y el 41% de las de segunda estuvieron por debajo de los valores de referencia de 1.76%. La **Figura 2B** muestra la relación entre el contenido de K en hoja y el K intercambiable, en la cual se observa que con niveles relativamente bajos de K en el suelo se produjeron valores en planta altos, e inversamente, es decir, con valores altos en suelo se observan valores en hoja considerados bajos. Estos resultados se asociarían, entre otras causas, a problemas de absorción de K por las plantas, inducidos en sistemas de producción bajo

siembra directa y relacionados a la humedad en los primeros centímetros del suelo (Bordoli, 2001).

Las concentraciones de N en hoja con pecíolo para el total de muestras variaron entre 2.8% y 6.2% (**Tabla 1**), y fueron similares entre ambos tipos de cultivos (primera y segunda). El 13% de las muestras de soja de primera y el 10% de las de segunda presentaron concentraciones inferiores al valor crítico de 3.5%. La variación en la concentración de N observada podría explicarse por diferencias genéticas y en prácticas de manejo del nutriente, relacionadas al pH del suelo y P disponible,

Tabla 3. Análisis de suelos en sitios con soja (n = 178) para las zafas 2009/10 y 2010/11, según zona y cultivo.

Propiedades	Zona														
	----- Centro -----			----- Este -----			----- Noreste -----			----- Noreste -----			----- Suroeste -----		
	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx
Soja de primera															
P Bray - I	11	6	24	7	3	18	8	2	18	15	4	34	18	4	84
MO	3.7	2.5	4.8	2.9	1.1	6	4.6	3.5	5.2	4.4	2.6	5.7	3.8	1.7	6.2
pH(H ₂ O)	5.6	2.3	7.6	5.2	4.4	6.3	5.4	5.2	5.8	5.8	5.1	7.6	5.6	4.6	7.3
Ac. Int.	0.14	0.08	0.2	0.36	0.18	0.65	0.35	0.24	0.54	0.06	0.04	0.1	0.15	0.08	0.23
K	0.39	0.09	0.70	0.27	0.08	0.49	0.65	0.24	1.20	0.55	0.26	1.01	0.63	0.13	1.55
Na	0.4	0.2	0.5	0.6	0.3	1.4	0.4	0.3	0.6	0.4	0.3	0.8	0.5	0.3	1
Ca	17.2	2.4	39.2	6.3	2.4	16	12.4	4.9	22.6	19.8	4.2	46.4	16.7	2.4	45.5
Mg	2	0.7	3.3	2.1	0.7	5	3.2	1.6	6.2	1.9	0.6	2.9	2.3	0.6	5.2
Soja de segunda															
P Bray - I	10	5	19	5	3	9	10	3	19	14	5	36	16	5	31
MO	3.6	2.3	5.2	2.5	1.1	3.9	4.4	2.9	6.2	4.6	1.8	5.6	3.5	1.6	5.9
pH(H ₂ O)	5.4	4.8	5.8	5.4	5.2	6.3	5.1	4.7	5.6	6	4.9	7.6	5.9	4.5	7.5
Ac. Int.	0.49	0.05	1.07	0.37	0.21	0.53	0.33	0.13	0.58	0.06	0.06	0.06	0.22	0.1	0.34
K	0.27	0.14	0.45	0.29	0.16	0.49	0.53	0.25	1.13	0.68	0.10	1.23	0.70	0.12	2.50
Na	0.4	0.3	0.6	0.7	0.4	1.4	0.4	0.3	0.5	0.3	0.3	0.6	0.5	0.3	0.8
Ca	10.5	3.3	22.1	6.7	3	16	9.1	2.3	17.9	19.5	2.4	45.6	18.5	2.5	44
Mg	2.5	1.0	4.4	2.6	1.2	5.0	3.3	0.7	9.8	1.5	0.8	2.0	2.2	0.6	5.2

P Bray-I: mg kg⁻¹; MO: %; K, Ca, Mg, Na, y acidez: meq 100 g⁻¹. Acidez intercambiable solo en suelos con pH (H₂O) < 5.3.

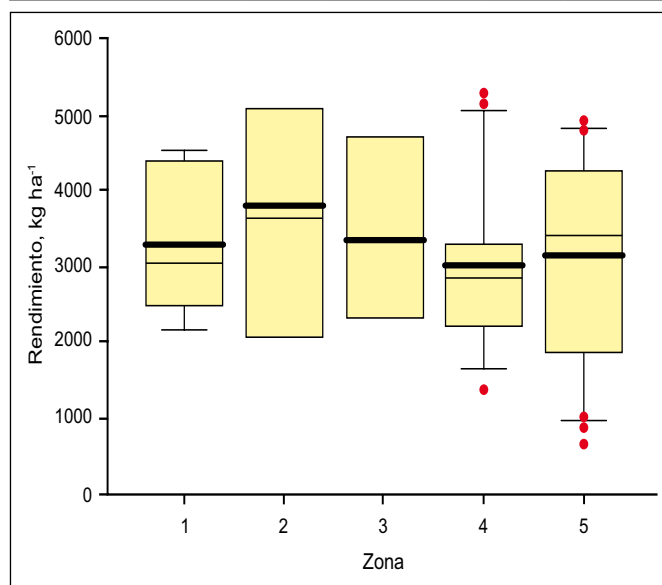


Figura 6. Media (línea gruesa), mediana (línea delgada), y percentiles (10, 25, 75 y 90; círculos rojos) para el rendimiento de soja de primera, zafas 2009/10 y 2010/11 y diferentes zonas: 1, Centro; 2, Este; 3, Noreste; 4, Noroeste; 5, Suroeste.

los cuales pueden limitar la fijación simbiótica del N, y, por lo tanto, disminuir la concentración de N en planta.

La baja correlación entre la concentración de N en hoja y las propiedades químicas del suelo analizadas (con valores de r de 0.20 a 0.40) evidencian la complejidad de este proceso. Sin embargo, hubo una clara relación entre las concentraciones de N y P en hoja (**Figura 5F**).

Diferenciando por rendimiento, los cultivos con mayor rendimiento presentaron los mayores promedios de N, P, K y Zn en hojas, mientras registraron menores concentraciones de S, Mg y Mn, siendo similares las de Ca, Cu y Fe (**Figura 3 y 4**).

Los rendimientos más altos se observaron en los suelos que presentaron los valores mayores de pH, MO, P extractable y bases intercambiables, especialmente K (**Figura 5**). Sin embargo, las correlaciones entre estas variables y el rendimiento fueron pobres, indicando que otros factores, además de la nutrición, afectaron el rendimiento. Se destaca que durante la zafra de 2010

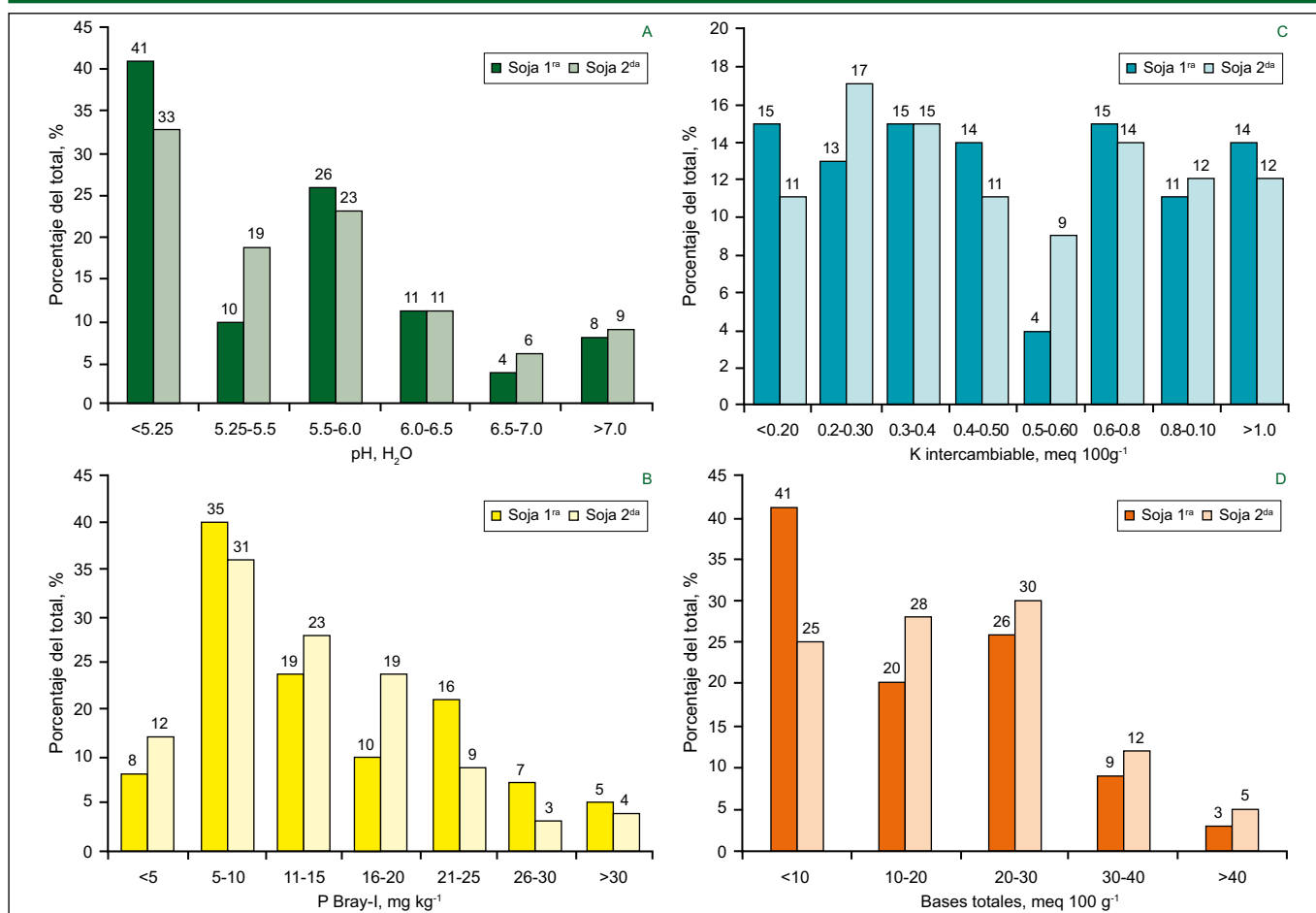


Figura 7. Distribución de frecuencias de pH del suelo (A), P extractable Bray-I (B), K intercambiable (C) y bases totales (D) de muestras de suelos a la profundidad 0-15 cm.

Tabla 4. Concentración de Hierro (Fe) y Zinc (Zn) en hoja y pecíolo según el pH (H₂O) del suelo.

pH	Fe		Zn	
	Media	Rango	Media	Rango
< 5.3	80	43 - 307	83	29 - 278
5.3 - 7.3	76	45 - 170	29	8 - 53
> 7.3	64	49 - 83	23	12 - 29

hubo un déficit hídrico importante durante los meses de crecimiento del cultivo.

La discriminación de rendimientos por zonas indicó una gran variación dentro de zonas pero con promedios similares (Figura 6).

Propiedades químicas de los suelos

El contenido de MO del suelo varió desde 1.1 hasta 6.2% (Tabla 2), siendo los de las zonas agrícolas del Noreste y Noroeste los que presentaron los valores más altos (Tabla 3), y los suelos de texturas más livianas, ubicados en la Zona Este los valores más bajos, coincidiendo con las contenidos reportados por Durán (1991) para suelos de Uruguay en su estado natural.

El pH del suelo para el total de las muestras analizadas varió de 4.4 a 7.6, estando el 34% por debajo de 5.3 (Figura 7A). En esos suelos con pH menores a 5.3, la acidez intercambiable promedio fue de 0.28 meq 100 g⁻¹, con un rango de 0.04 a 1.16 meq 100 g⁻¹, lo cual implica la existencia de aluminio (Al³⁺) intercambiable. La mayoría de los sitios con pH inferior a 5.3 correspondió a suelos de textura más liviana en el Este, Centro y Suroeste del país, coincidiendo con los valores encontrados para estos suelos en su estado natural (Durán, 1991). No obstante, es posible que los procesos y prácticas de manejo de nutrientes tales como la mineralización de la MO y de los restos de cultivos, las aplicaciones frecuentes de fuentes amoniacales o la extracción continua de cationes por los cultivos podrían haber disminuido el pH del suelo. De acuerdo con esto, Morón y Quincke (2010) informaron que el pH de suelos bajo agricultura de la Zona Suroeste fue un 50% y un 31% inferior a los mismos suelos sin historia agrícola, a la profundidad de 0-7.5 y 7.5-15 cm, respectivamente.

Por otro lado, los suelos con pH mayor a 7.3 se situaron en las Zonas Noroeste y Suroeste, que corresponden a suelos desarrollados a partir de materiales cuaternarios con carbonatos de Ca (Durán, 1991) (Tabla 3). A estos altos valores de pH en el suelo se asocian los síntomas de la deficiencia de Fe y Zn que se observan

frecuentemente en hojas jóvenes de las plantas, debido a la menor absorción de estos nutrientes al aumentar el pH del suelo. La **Tabla 4** muestra la relación negativa encontrada en este estudio entre la concentración de Fe y Zn en hojas de soja y el pH del suelo.

El valor promedio de P Bray-I de las muestras fue de 14 ppm, con un rango entre 2 y 84 ppm. Para el total de muestras de suelo, el 54% de las muestras presentó valores inferiores al rango crítico de 10 a 12 ppm sugerido por Oudri et al. (1976) y Morón (2005) para el cultivo de soja en Uruguay (**Figura 7B**). En general, los suelos del país presentan un bajo contenido de P en su condición natural. Si bien los valores bajos se observaron en todas las zonas y en los dos tipos de cultivos de soja (primera y segunda), fueron más frecuentes en las nuevas zonas agrícolas (Centro, Este y Noreste), que son las que presentan una menor historia de fertilización fosfatada. Este resultado sugiere que hay necesidad de realizar un mejor manejo de la fertilización con P.

El promedio de K intercambiable en los suelos analizados varió entre 0.08 y 2.50 meq 100 g⁻¹ (**Tabla 2**), confirmando la gran variabilidad en la capacidad de aporte de los suelos de Uruguay encontrada por Hernández et al. (1988) para suelos sin historia de fertilización potásica. El 23% de las muestras presentaron valores por debajo de 0.30 meq 100 g⁻¹, considerando el nivel tentativo sugerido por Barbazán et al. (2011) (**Figura 7C**), siendo en su mayoría suelos de textura liviana, ubicados en las Zonas Centro, Este y en algunos suelos de la Zona Suroeste (**Tabla 3**). Las bases totales fueron menores de 10 meq 100 g⁻¹ en el 41% y 25% de los sitios con soja de primera y de segunda, respectivamente (**Figura 7D**).

Consideraciones finales

Los resultados muestran que la productividad de soja del país podría estar parcialmente afectada por deficiencias de nutrientes, lo que sugiere que debe considerarse la corrección de pH, P y/o K dentro del programa de manejo de nutrientes del sistema de producción de cultivos.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con fondos del FPTA 257. Agradecemos a todos los técnicos y productores que nos permitieron realizar los muestreos y suministraron la información solicitada.

Bibliografía

- Barbazán, M.M., C. Boutes, L. Beux, J.M. Bordoli, J. Cano, O. Ernst, A. García, F.O. García, y A. Quincke. 2011. Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: rendimiento según análisis de suelos. *Agrociencia Uruguay* Vol. 15(2):93-99.
- Bordoli, J.M. 2001. Dinámica de nutrientes y fertilización en siembra directa. pp. 289-297. In *Siembra Directa*

- en el Cono Sur. Coordinador Roberto Díaz Rossello. Serie Documentos, PROCISUR, Montevideo, Uruguay.
- Bray, R.H., y L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*59:39-45.
- DIEA – MGAP. 2010. Anuario estadístico agropecuario 2010. <http://www.mgap.gub.uy/DIEA> – MGAP. 2012. Anuario estadístico agropecuario 2012. <http://www.mgap.gub.uy/>
- Durán, A. 1991. Los suelos del Uruguay. Editorial Hemisferio Sur. 398 p.
- 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. 20 p.
- 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*: 17-37. Soil. Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin, USA.
- Morón, A. 2005. Informe de resultados de la red de ensayos de fertilización de soja. Jornada Técnica de Cultivos de Verano. Serie Actividades de Difusión No. 417. INIA. Uruguay.
- Morón, A., y A. Quincke. 2010. Avances de resultados en el estudio de la calidad de los suelos en agricultura en el Departamento de Soriano. Serie Actividades de Difusión No. 605:5-8.
- 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.
- Oudri, N., J.L. Castro, R. Doti, y A. Sedondi de Carbonell. 1976. Guía para fertilización de cultivos. Ministerio de Agricultura y Pesca, Centro de Investigaciones Agrícolas “Alberto Boerger”. Dirección de Suelos y Fertilizantes.
- Robinson, D. J., y J.B. Reuter. 1997. Plant analysis: an interpretation manual. CSIRO Publishing. Second edition. 450 p. ❁

