

RESULTADOS PRELIMINARES DE ENSAYOS DE FERTILIZACION FOSFORADA EN SOJA (*Glycine max* (L.) Merr.), REALIZADOS EN EL SUR DE SANTA FE.

Efecto sobre la producción de materia seca, la concentración foliar y el rendimiento.

M. LAMAS⁽¹⁾, G. PRIETO⁽²⁾, M. BODRERO⁽³⁾, S. UDAQUIOLA⁽¹⁾ y J. LOTANO⁽¹⁾

Recibido: 12/08/97

Aceptado: 13/02/98

RESUMEN

Se presentan los resultados del primer año de ensayos realizados en el cultivo de soja. Se estudió el efecto de la fertilización fosforada sobre la producción de materia seca, la concentración foliar de nutrientes y el rendimiento de grano en lotes (Serie Peyrano) que representan distintas situaciones de bajo nivel de fósforo (P) en suelo (11.5: 5.8 y 5.3 $\mu\text{g g}^{-1}$, siendo la última una fase erosionada).

La fertilización moduló en forma diferente las variables estudiadas en los tres ensayos: en términos generales la Dosis 2 (100 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) no tuvo efecto diferente a la Dosis 1 (50 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$), la Dosis 1 aumentó el rendimiento en un ensayo, afectó de forma distinta los niveles de materia seca total (MST) de los tres ensayos, y en forma negativa la concentración foliar de zinc (Zn) en dos casos. Al correlacionar las variables en estudio se encontró una asociación positiva entre el P foliar y la MST en floración (R2). La MST en R2 fue la única variable que presentó correlación positiva con el rendimiento.

Palabras clave: *Glycine max* (L.) Merr., fertilización fosforada, materia seca total, concentración foliar, rendimiento en grano.

PRELIMINARY RESULTS OF PHOSPHORUS FERTILIZATION TRIALS IN SOYBEAN (*GLYCINE MAX* (L.) MERR.), IN SOUTH OF SANTA FE

SUMMARY

First year results of soybean trials are shown. Phosphorus (P) fertilization effect on total dry matter weight (TDM), nutrient foliar concentration and grain yields in three plots (Serie Peyrano) representing different situations of low level of soil P (11.5, 5.8 and 5.3 $\mu\text{g g}^{-1}$ being the last one an eroded soil) was studied.

Phosphorus fertilization effect of Dosis 2 (50 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) was similar to Dosis 1 (100 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). Dosis 1 affected the studied variables in different ways: yields were increased only in a plot, the TDM increased in different ways in the three plots and Zn foliar concentration was decreased in two cases. When the variables were correlated to each other, a positive association between P and the TDM at flowering (R2) was found. The TDM in R2 was the only variable which was positively correlated with yields.

Key words: *Glycine max* (L.) Merr., phosphorus fertilization, total dry matter, foliar concentration, grain yields.

INTRODUCCION

La soja es el principal cultivo en el sudeste de la provincia de Santa Fe. Se encontró que una alta proporción de los suelos de la zona presentan niveles de P extraíble menores a 10 $\mu\text{g g}^{-1}$, conside-

rados limitantes para que otros cultivos alcancen los máximos rendimientos. Sin embargo los resultados a la aplicación de fertilizante fosforado sólo o con otros nutrientes han sido erráticos (Bodrero *et al.*, 1989). Muchas son las razones por las cuales

⁽¹⁾Edafología, FAUBA. Av. San Martín 4453. 1417 Capital. ⁽²⁾Agencia de Extensión Rural de Arroyo Seco. San Martín 528. 2128 Arroyo Seco, Santa Fe. Argentina. ⁽³⁾Estación Experimental Agropecuaria Oliveros del INTA, 2206 Oliveros, Santa Fe. Argentina.

la aplicación del fertilizante puede no traducirse en un aumento del rendimiento. El P aplicado puede no estar disponible para la planta porque es adsorbido por el suelo o por falta de agua; o se absorbe y se acumula en la planta debido a la deficiencia de otros nutrientes, etc. (Kamprath y Watson, 1980).

En un estudio exploratorio realizado en esta zona Lamas *et al.* (1998) encontraron una correlación positiva entre la disponibilidad de P en suelo y la concentración foliar en floración y entre ésta y el rendimiento de soja, lo que hace pensar que debería esperarse respuesta a la fertilización fosforada en suelos con bajo nivel de fósforo.

Para decidir una estrategia de fertilización es necesario conocer todos los factores que condicionan la respuesta a la aplicación de un nutriente. En este trabajo, se presentan los resultados del primer año de un ensayo (Campaña 93/94) donde se estudió el efecto de la fertilización fosforada sobre la producción de materia seca, la concentración foliar de nutrientes y el rendimiento de grano de soja en tres ensayos que representan situaciones diferentes en suelos con bajo nivel de P.

MATERIALES Y METODOS

Características del suelo

Se realizó un experimento con tres ensayos de fertilización fosforada en soja, en suelos Argiudoles vérticos de la Serie Peyrano en el sudeste de la Provincia de Santa Fe. Los ensayos 1 (E_1) y 2 (E_2) se hicieron en la localidad de Villa Amelia y el ensayo 3 (E_3) en Sargento Cabral en una fase erosionada de la Serie. En el Cuadro N°1 se presentan los datos analíticos de los suelos testigo de este experimento:

En la caracterización general de Darwich (1980) para los niveles de P extraíble en la región Pampeana, el lote 1 se considera moderadamente bien provisto ($10-20 \mu\text{g g}^{-1}$), en tanto que los lotes 2 y 3 se consideran deficientes en este elemento ($<10 \mu\text{g g}^{-1}$).

Según el Standard para suelos de la región Pampeana utilizado en la Cátedra de Edafología de la FAUBA, los valores de la materia orgánica (MO) y de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se consideran moderados. En cuanto a los cationes los niveles de calcio (Ca) se encuentran en el límite entre bajo-moderado, en tanto que los de magnesio (Mg) y potasio (K) se consideran altos.

Al hacer un análisis de varianza se encontró que el lote 1 presentó mayores niveles de P, CIC, Mg y K y éstos difieren estadísticamente de los otros dos lotes, en tanto que los niveles de MO y pH son estadísticamente menor y mayor respectivamente para el lote 3 comparado con los otros dos.

Diseño del experimento

El experimento se diseñó en bloques completos al azar con tres repeticiones. Consta de tres tratamientos: Testigo (T), Dosis 1 (D_1): $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ y Dosis 2 (D_2): $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$. La fertilización se realizó con superfosfato triple de calcio (0-46-0) en bandas a un costado de la línea de siembra, a 3-7 cm de profundidad. Se utilizó la variedad A6381, que presenta un rendimiento potencial de 4000 kg ha^{-1} (fuente: Nidera).

Manejo del cultivo

Los suelos provenían de más de 5 años de cultivo de soja, la siembras se realizaron a 40 cm, sobre suelo barbechado con una densidad de 22 semillas por metro lineal. Los E_1 y E_2 se sembraron el 22 de Noviembre y el E_3 el 2 de Diciembre. Para el control de malezas en los E_1 y E_2 en presiembra se pasó una rastra de discos, a la siembra se aplicó un herbicida postemergente (Imazetapyr), y a partir de ese momento se realizó un

Cuadro N°1: Características de los suelos testigo de los tres ensayos

Ensayo	P $\mu\text{g g}^{-1}$	pH H_2O 1:2,5	MO %	CIC	Ca	Mg $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}_t^{-1}$	K	Na
2	5,83b	5,49b	4,50a	15b	10,30	3,30b	1,50b	0,19
3	5,33b	5,72a	3,00b	14c	9,70	3,00b	1,40b	0,15

Fósforo extraíble por $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$: P; materia orgánica: MO; capacidad de intercambio catiónico: CIC; cationes de intercambio: calcio: Ca, magnesio: Mg, potasio: K y sodio: Na.
Letras iguales no presentan diferencia significativa (Tukey, $P < 0,05$).

repasso manual. En el E_3 únicamente se realizó desmalezado manual. En ningún caso se utilizaron insecticidas. Durante el período que transcurrió entre plena floración y comienzo de maduración, R2 y R7 respectivamente (Fehr, 1971), se presentó una sequía.

Análisis químico de suelos

Los suelos testigo fueron muestreados a la siembra (0-20cm). El P se determinó por el método de Bray y Kurtz N°1 (K y B₁), la MO a través del carbono oxidable por Walkley y Black, el pH en agua relación suelo solución 1:2,5; la CIC se obtuvo por el método del acetato de amonio 1N pH 7,0 y en el percolado se determinaron Ca y Mg por espectrometría de absorción atómica y K por fotometría de emisión.

Muestreo y análisis químico de plantas

El muestreo se realizó en R2, se tomaron 30 folíolos superiores totalmente abiertos, sanos y limpios. Las muestras se secaron en estufa a 70°C hasta constancia de peso, se molieron finamente para su análisis químico (Benton Jones y Case, 1990). Se realizó una digestión nítrico-perclórica-sulfúrica para P, Ca, Mg, Zn, Cu Fe y Mn. El P se determinó por el método de coloración sulfomolibdica y los cationes por espectrometría de absorción atómica. El N se determinó por el método Micro-Kjeldahl.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza de los datos de rendimiento, peso de materia seca total y concentración foliar de nutrientes. Se determinaron los coeficientes de correlación entre las variables estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la fertilización fosforada sobre el rendimiento

En la Figura 1 se presenta el efecto de la fertilización fosforada sobre los rendimientos.

El efecto de la fertilización fosforada sobre los rendimientos fue distinto para cada ensayo, lo que concuerda con la gran variabilidad de respuesta a P en soja mencionada por Melgar *et al.* (1995), especialmente a bajos niveles de P en suelo. En la Fig. 1 puede verse que la fertilización fosforada produjo un aumento en los rendimientos en los E_1 y E_2 , sólo estadísticamente significativo para el segundo, sin diferencia entre las D_1 y D_2 .

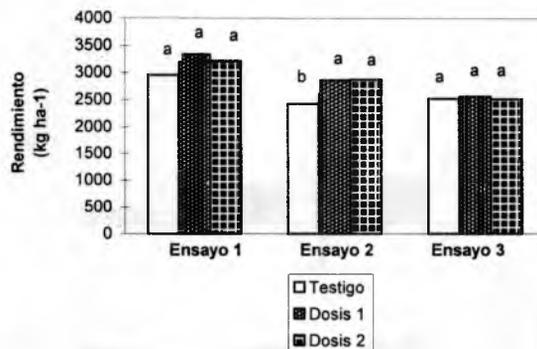


Figura N°1: Efecto de la fertilización fosforada sobre el rendimiento en grano en el cultivo de soja.

Dosis 1: 50 kg P_2O_5 ha⁻¹, Dosis 2: 100 kg P_2O_5 ha⁻¹. Letras iguales no presentan diferencia significativa (Tukey, $P < 0,05$).

En el E_1 se obtuvo un aumento de grano de 378 kg para la D_1 con una eficiencia de 7,6 kg de grano por kg de fertilizante y ésta decreció notablemente (Ef.:2,6) para la D_2 . En el E_2 se obtuvieron 439 kg de grano para la D_1 , con una eficiencia de 8,8, y ésta se redujo a la mitad para la D_2 . En el E_3 se obtuvo un aumento de 40 kg con la D_1 (Ef.:0,9) y los rendimientos disminuyeron con la D_2 . En todos los casos la eficiencia disminuyó con la D_2 . Los resultados obtenidos con la D_1 en los E_1 y E_2 concuerdan en términos generales con los mencionados por Melgar *et al.* (1995) para dosis y niveles similares de P en suelo. Los resultados obtenidos en el E_3 pueden deberse a que se realizó en un suelo erosionado con poca capacidad de retención hídrica donde el cultivo fue intensamente afectado por la sequía.

Efecto de la fertilización fosforada sobre la producción de materia seca

En la Fig. 2 se presentan los resultados de la evolución de la materia seca total durante el ciclo del cultivo para los tres ensayos en respuesta a la fertilización fosforada.

Puede observarse que en el estado vegetativo con ocho nudos con hojas plenamente desarrolladas (V8) la fertilización aumentó la producción de la materia seca total (MST) en los tres ensayos.

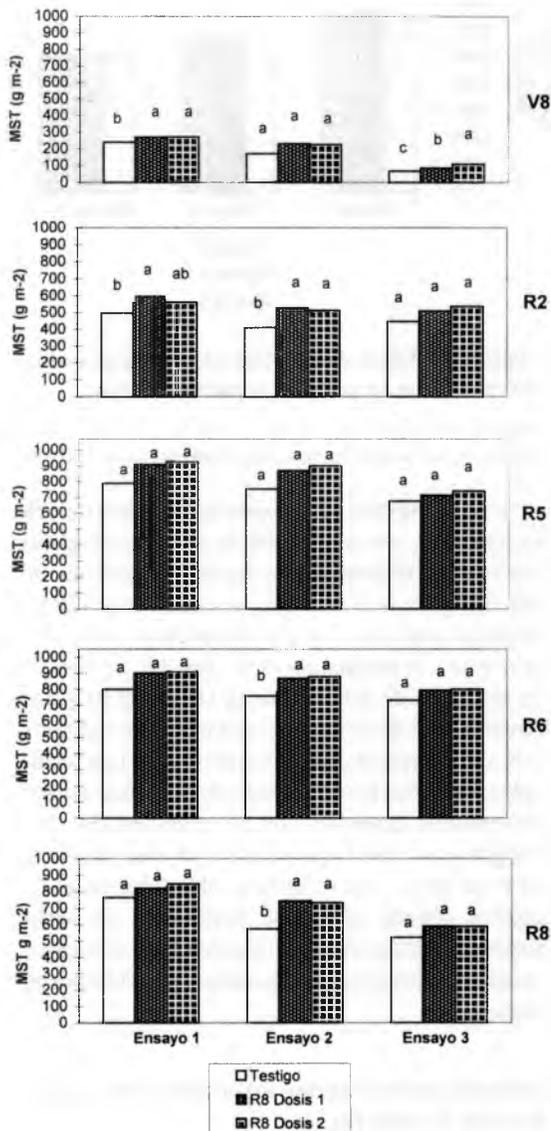


Figura N°2: Efecto de la fertilización fosforada sobre la producción de materia seca total en V8, R2, R5, R6 y R8 en el cultivo de soja.

Estado vegetativo, ocho nudos con hojas plenamente desarrolladas (V8), plena floración (R2), inicio de llenado de grano (R5), fin de llenado de grano (R6), maduración completa (R8).

Dosis 1: 50 kg P₂O₅ ha⁻¹, Dosis 2: 100 kg P₂O₅ ha⁻¹.

pero sólo significativamente en los E₁ y E₃. En estadios posteriores el efecto fue diferente para los tres ensayos:

- en el E₁, el efecto inicial de la fertilización fosforada sobre la MST persistió hasta floración (R2). No se manifestó en los otros estadios y si bien se observa un aumento de rendimiento, éste no fue estadísticamente significativo,

- en el E₂ se observa un efecto significativo de la fertilización fosforada sobre la MST para las dos dosis de P, a partir de R2 (salvo inicio de llenado de grano: R5) y hasta maduración completa (R8) que se mantiene en los rendimientos finales y

- para el E₃, a partir de R2 no se manifiestan diferencias estadísticamente significativas en la MST ni en los rendimientos finales en las parcelas fertilizadas. El valor de MST de este ensayo fue menor que para los otros dos desde los estadios iniciales y esto se mantuvo durante todo el ciclo.

No se observan diferencias significativas entre las dos dosis de P sobre la producción de MST en los tres ensayos.

Cada órgano de la planta para cumplir adecuadamente con sus funciones requiere una concentración óptima de los nutrientes. Al agregar un elemento deficitario éste puede producir un aumento de materia seca, pero si los otros nutrientes no son absorbidos al mismo ritmo se produce una disminución de la concentración o dilución. Por tanto es necesario analizar la MST y la concentración de nutrientes conjuntamente, como se hará luego.

Efecto de la fertilización fosforada sobre la concentración foliar en R2

En la Fig. 3 se presentan las concentraciones foliares de macro y micronutrientes para los tres ensayos. Se observa que al nivel de significación establecido (P < 0,05) ninguna de las concentraciones de los macronutrientes fue afectada por la fertilización fosforada. Cabe destacar que sin embargo se observa una tendencia creciente de la concentración foliar de P debido al tratamiento en E₁ y E₃, fue levemente significativo para el E₁ (P < 0,07).

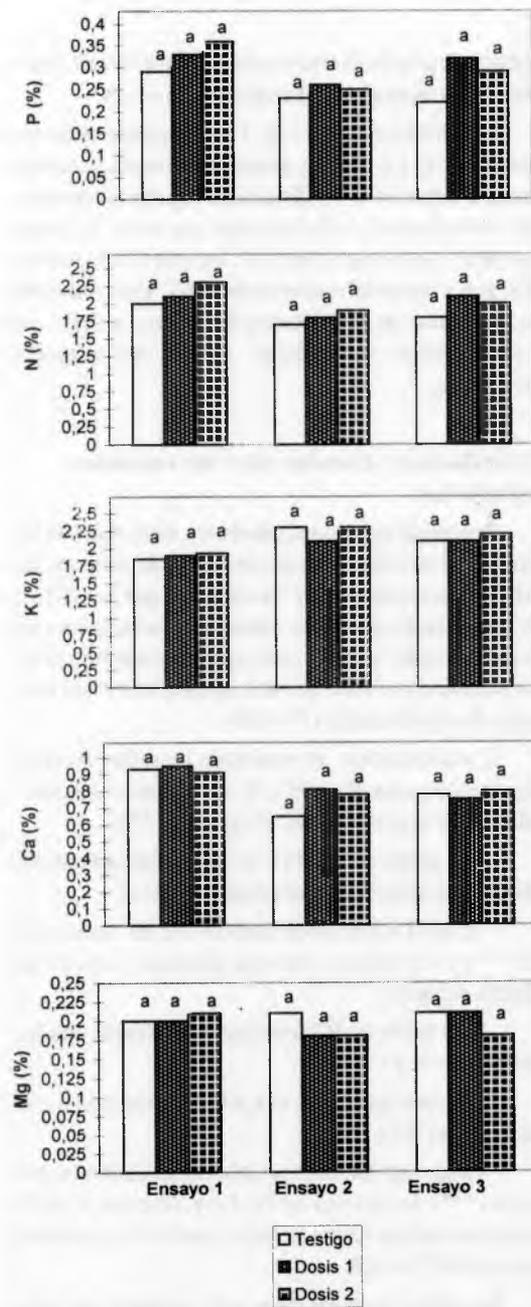


Figura N°3: Efecto de la fertilización fosforada sobre la concentración foliar de macronutrientes en el cultivo de soja.

Expresado en porcentaje de nutrientes en peso de materia seca (%). Fósforo (P), nitrógeno (N), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K). Dosis 1: 50 kg P₂O₅ ha⁻¹, Dosis 2: 100 kg P₂O₅ ha⁻¹. Letras iguales no presentan diferencia significativa (Tukey, P<0,05)

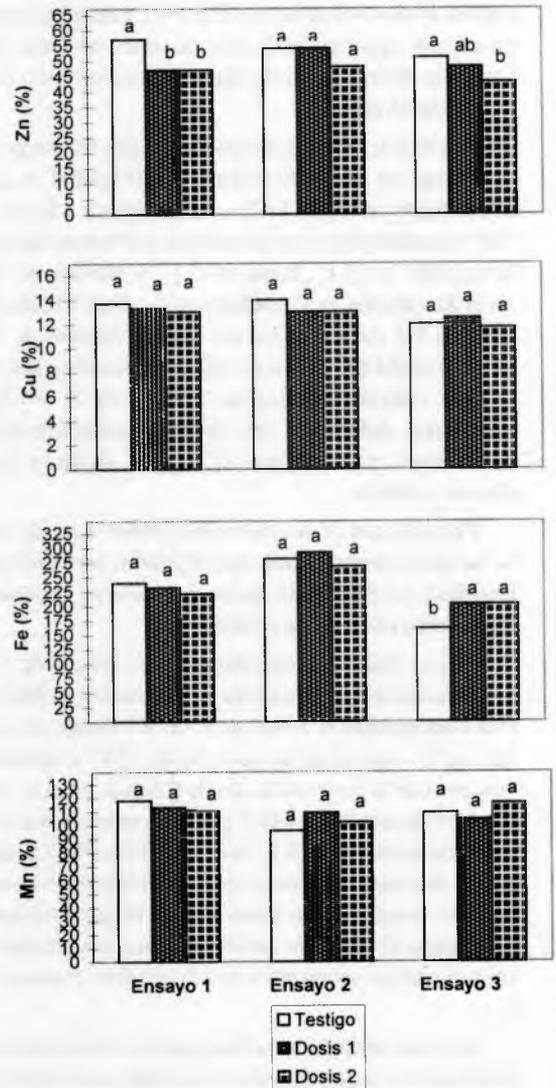


Figura N°4: Efecto de la fertilización fosforada sobre la concentración foliar de micronutrientes en el cultivo de soja.

Expresado en porcentaje en peso de materia seca (%). Zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn). Dosis 1: 50 kg P₂O₅ ha⁻¹, Dosis 2: 100 kg P₂O₅ ha⁻¹. Letras iguales no presentan diferencia significativa (Tukey, P<0,05).

En cuanto a los micronutrientes se observó una tendencia general a la disminución de Zn con fertilización fosforada siendo ésta estadísticamente significativa en los E_1 y E_3 , sin diferencia para ambos dosis en el primero (Fig. 4). La fertilización no afectó significativamente la concentración de Cu y Mn foliar. En tanto que la concentración de Fe aumentó en el E_3 .

Los niveles foliares de nutrientes fueron comparados con los datos de bibliografía (Melsted *et al.*, 1968; Scott y Aldrich, 1975). Al considerar a Scott y Aldrich como referencia los niveles de P fueron todos suficientes en el E_1 , bajos en el E_2 y alcanzaron el nivel de suficiencia al fertilizar en E_3 . Para Melsted, salvo la D2 del E_3 , todos los niveles foliares de P estuvieron debajo del nivel crítico. Para ambos sistemas de referencia todos los valores de N y Mg estuvieron debajo de los niveles considerados deficitarios, en tanto que el Ca y K superan los niveles críticos.

Para el caso de los micronutrientes, a pesar de la variación mencionada anteriormente asociada la fertilización fosforada, todos los valores superan los niveles críticos de referencia.

Si se analiza conjuntamente el efecto de la fertilización fosforada sobre la producción de MST y la concentración foliar de P en R2 puede verse que: en E_1 se produjo un aumento de MST y un leve aumento de la concentración de P foliar, en el E_2 se produjo aumento de MST y la concentración permaneció constante, en E_3 no aumentó la MST pero creció levemente la concentración foliar de P. Esto permite concluir que hubo mayor disponibilidad de fósforo al fertilizar en los tres ensayos, aunque solo se tradujo en un aumento de rendimiento en el E_2 .

Interesa analizar detalladamente el efecto de la fertilización fosforada sobre la concentración foliar de Zn ya que ésta es afectada por la interacción P/Zn (Payne y Watson, 1980). En bibliografía se mencionan varias relaciones que permiten conocer el nivel nutricional de Zn en soja: Payne y Watson (1980) mencionan como adecuada la relación P/Zn: 115 y Beverly (1986) la relación P/Zn: 98 para rendimientos mayores a 3500 kg ha⁻¹. En nuestro

estudio esta relación tomó valores entre 38 y 81, lejos de las consideradas deficitarias para el Zn.

Sin embargo en las Fig. 3 y 4 se puede observar que en los E_1 y E_3 , donde, aunque levemente, aumenta la concentración de P, disminuye significativamente la concentración de Zn, en tanto que en el E_2 donde no varió la concentración de P, tampoco lo hizo la de Zn, aún a pesar del aumento de MST. Esto indicaría la existencia de una interacción P/Zn, a tener en cuenta cuando se fertilizan suelos con mayores niveles de P.

Correlaciones lineales entre las variables estudiadas

Buscando relaciones generales, se realizaron las correlaciones lineales entre las variables foliares, las MST y los rendimientos. Se encontró que la MST en R2 presentaba el mayor número de relaciones con otras variables, y fue la única que correlacionó positivamente con el rendimiento, aunque a un nivel muy bajo de significación ($P < 0,10$).

A continuación se presentan aquellas correlaciones con una $P < 0,05$ (*), destacando las muy altamente significativas $P < 0,001$ (***):

- los pesos de la MST en los estadios medidos estuvieron todos correlacionados entre sí,
- la MST en R2 correlacionó con los valores de P (***) y Ca foliares en forma positiva, y con Zn en forma negativa,
- el P foliar en R2 correlacionó además con los niveles de N y Ca foliar,
- en tanto que el P y el Ca foliar lo hicieron con la MST en R6 y R8.
- Otras correlaciones positivas significativas: Mn y Ca (***) los niveles de Fe, Cu y Zn entre sí; el Fe correlacionó en forma negativa con el N y positiva con la MST en R8.

Se deben destacar para este conjunto de relaciones la asociación positiva entre el P foliar con los niveles de N, Ca y la MST a partir de R2 y la asociación negativa entre P y Zn foliar que muestra la tendencia general entre estos dos nutrientes en planta.

CONCLUSIONES

La fertilización afectó en forma diferente las variables estudiadas en los tres ensayos:

- la Dosis 1 aumentó el rendimiento en uno (E_2) de los tres ensayos. La Dosis 2 fue menos eficiente en los tres ensayos o aún redujo el rendimiento (E_3),

- la fertilización aumentó la MST en los estadios iniciales en dos ensayos (E_1 y E_3), y en los estadios R2, R6 y R8 en el otro (E_2). No hubo diferencia entre las dos dosis.

- la fertilización fosforada produjo una disminución estadísticamente significativa de la concentración foliar de Zn en dos ensayos (E_1 y E_3) y un

aumento estadísticamente significativo en la concentración de Fe en otro (E_3). La diferencia fue significativa para las dos dosis sobre la concentración de Zn,

- la MST en R2 presentó correlaciones lineales positivas con las siguientes variables: rendimiento ($P < 0,10$), P foliar ($P < 0,001$), Ca foliar ($P < 0,05$), entre otras.

AGRADECIMIENTOS

A Cargill que facilitó el fertilizante fosforado para la realización de los ensayos. A la Ing. Agr. Silvia Ratto de Miguez por sus gestiones ante Cargill.

BIBLIOGRAFIA

- BENTON JONES J.Jr. and V.W.CASE. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. Soil test and plant analysis. *3rd SSSA. Ch. 15*, 389-427.
- BEVERLY R.B. 1986. Foliar diagnosis by DRIS. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.*, 17(3), 237-256.
- BODRERO M., J.M.NAKAYAMA y R.MARTIGNONE. 1989. Experiencias argentinas sobre fertilización en soja. *IV Conferencia Mundial de Investigación en soja*. Bs. As. Argentina 621-627.
- DARWICH N.A., 1980. Metodología de Investigación en Fertilidad de Suelos, logros nacionales e internacionales. 399-411.
- FEHR W.R., C.E.CAVINESS, D.T.BURMOOD and J.S.PENNINGTON. 1971. *Crop Science*, (2), 929-931.
- FONTANIVE V., D. EFFRON, R. DEFRIER, A.M. DE LA HORRA y M.P. JIMENEZ. 1995. Relación suelo-planta para algunos nutrientes en soja. *Congreso de soja*. Pergamino. 136-142.
- KAMPRATHE J. and M.E.WATSON. 1980. Conventional soil and tissue test for assessing the phosphorus status of soils. Ch. 16. The role of P in agriculture. 433-465.
- LAMAS M., G.PRIETO y C.RAS. 1998. Estado nutricional del cultivo de soja en suelos con distintos niveles de P en el Sur de Santa Fé (en este número).
- LOPEZ CAMELO L.G., C.FUMAGALLI, O.HEREDIA y I.MIZUNO. 1991. Análisis foliar de fósforo en soja. *Rev.Fac.de Agronomía*. 12 (1): 91-98.
- MELGAR R.J., E. FRUTOS, M.L. GALETTO y H. VIVAS. 1995. El análisis de suelo como predictor de la respuesta de la soja a la fertilización fosfatada. *Congreso de la soja*. Pergamino, 167-174.
- MELSTED S.W., H.L.MOTTO and T.R.PECK. 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Ag.Journal*, Vol. 61, 17-20.
- MUNSON R.D. and W.L.NELSON. 1990. Principles and practices in plant analysis. Ch. 14. Soil testing and plant analysis. *3rd. SSSA* 359-387.
- PAYNE G.G., M.E. SUMNER and C.R.O.PLANK. 1986. Yield and composition of soybean as influenced by soil pH, Phosphorus, Zinc and Copper. *Communication in Soil Sci. Plant Anal.* 17 (3), 257-273.
- SCOTT W.O. y S. ALDRICH. 1975. Los fertilizantes de la soja. *Producción Moderna de la soja*. Editorial Hemisferio Sur. 67-99.