

ANALISIS FOLIAR EN PLANTAS DE MAIZ DE CULTIVO I. MACROELEMENTOS

SILVIA RATTO de MIGUEZ; MARIA del CARMEN LAMAS y E. CHAMORRO¹

Recibido: 10-01-91

Aceptado: 07-05-91

RESUMEN

Para conocer el estado nutricional del cultivo de maíz en la zona maicera núcleo a través del análisis foliar se tomaron muestras en floración en lotes testigo y lotes fertilizados con 80 kg N/ha aplicado como urea de presiembra. Se efectuaron determinaciones de N, P, K, Ca y Mg. Los datos obtenidos se evaluaron a través del nivel crítico del nutrimento y del DRIS. Ambos sistemas señalan al N como elemento limitante. El P y K están por encima de los niveles medios citados por la bibliografía y el Ca y Mg se encuentran cercanos al nivel crítico.

La fertilización aumentó el peso individual de las hojas y la concentración de N, P y K en las mismas. En lotes testigo no hubo correlación entre concentración de N, P, y K y rendimiento del cultivo. En lotes fertilizados la asociación se dio entre el N en hoja y el rendimiento del cultivo.

Se considera que el análisis foliar puede ser útil en la búsqueda de otras carencias que limitan la respuesta a la fertilización nitrogenada.

Palabras clave: maíz, análisis foliar, balance de nutrimentos, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, DRIS, fertilización nitrogenada.

FOLIAR ANALYSES IN FIELD-GROWN CORN. I. MACROELEMENTS

SUMMARY

On the field trials leaf samples were taken at silking from plots fertilized with 80 kg/ha as urea and from unfertilized controls. Concentration values obtain were correlated among them and compared with the critical values reported in the bibliography and DRIS. The influence of fertilization on absorption of micronutrients and its relationships with yield was also evaluated. The critical nutrient level (CNL) and DRIS pointed out N as the limiting element. P and K are above average and Ca and Mg are near of critical nutrient level.

Leaves individual weight and N, P and K concentration increased with fertilization. There were not correlation between N, P and K and crop production in the non treated plots but in fertilized plots there was correlation between N and crop production.

It's considered foliar analysis may be useful to know others factors affecting nitrogen fertilization response.

Key words: N, P, K, Ca, Mg, foliar analysis. DRIS, corn, nitrogen fertilization.

¹Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía. UBA. Avda. San Martín 4453 -1417- Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCION

El diagnóstico de deficiencia de un nutrimento y consecuente recomendación a partir del análisis del vegetal se basa en la concentración crítica del mismo en la planta o en alguna parte de la misma, por debajo de la cual el crecimiento o rendimiento del cultivo se ven restringidos (Bates, 1971). Ulrich y Hills (1967) llamaron nivel crítico a aquel que produce un 95% del máximo rendimiento. El concepto también es válido cuando la calidad es tanto o más importante que el rendimiento. El valor crítico ha sido bastante discutido debido a que no toma en cuenta una serie de factores importantes como las interacciones, edad del tejido, parte de la planta considerada, efecto del cultivar o variedad e influencia del medio ambiente. La concentración de un nutrimento dentro del vegetal se ve también afectada por la tasa de absorción en relación a la producción de materia seca.

Aunque se sabe que la suficiencia o deficiencia de un nutrimento puede afectar la concentración en el vegetal de otro u otros elementos, es poco lo que se ha trabajado sobre balance. Beaufils (1971) propuso utilizar la relación entre la concentración de distintos nutrimentos en hoja para calcular índices que permitan diagnosticar el estado nutricional de la planta. El sistema se denomina DRIS (Diagnosis Recommendation Integrated System). En maíz son varios los investigadores que lo han aplicado (Sumner, 1977 a,b,c; Sumner, 1979; Kim y Leech, 1986; Elwali *et al.* 1985). Sumner (1977a) tomó los datos de análisis foliar obtenidos por numerosos investigadores de diferentes países para el cultivo de maíz y aplicando el DRIS estableció las primeras normas, introduciendo algunas modificaciones a las propuestas de Beaufils. Se considera que el DRIS permite minimizar efectos tales como edad del tejido muestreado, posición de la hoja elegida y cultivar. Otra ventaja importante es que

permite ordenar los elementos que pueden llegar a ser limitantes, correspondiendo el índice más negativo al más deficiente. El índice más positivo indica el elemento que proporcionalmente se encuentra en mayor abundancia, dando siempre la suma de todos los índices igual a cero. Debido a que el cálculo de numerosos índices conlleva una cierta dificultad en la actualidad se han desarrollado programas de computación que permiten un cálculo rápido de los mismos. Para aplicar el DRIS es necesario contar previamente con relaciones de concentración óptimas entre los nutrimentos para determinar niveles de producción. Este es uno de los mayores problemas para su aplicación en nuestro medio puesto que las normas o relaciones dadas por la bibliografía están calculadas para maíces de elevados rendimientos, producidos con riego y fertilización. En la Argentina se registran escasos antecedentes de análisis foliar en maíz por lo que no se dispone de una información básica. El presente trabajo persiguió por lo tanto más de un objetivo:

- a) Ajustar la metodología de toma de muestra vegetal y posterior tratamiento analítico
- b) Comparar los niveles de concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio hallados con los valores críticos citados por la bibliografía.
- c) Relacionar la composición foliar con el rendimiento del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Toma de muestra

Se trabajó sobre ensayos de campo pertenecientes al Programa de Fertilización en Maíz (Convenio FAUBA-LAQUIGE) ubicados en los partidos de Salto (4 lotes) y Colón (1 lote). Las muestras foliares se obtuvieron en floración. En los cuatro lotes de Salto, debido al deterioro de la hoja opuesta a la

Análisis foliar en plantas de maíz de cultivo. I. Macroelementos

espiga se tomó la hoja inmediata por debajo de la panoja (hoja superior) y en el lote de Colón se tomaron la hoja opuesta a la espiga (hoja inferior) y la anteriormente denominada hoja superior. El muestreo se llevó a cabo determinando tres zonas equidistantes dentro de cada lote, las cuales equivalieron a repeticiones. Dentro de cada zona se tomaron diez plantas en un radio no mayor a la distancia de dos surcos a partir del central. Cada una de las hojas se identificó, lavó y pesó para finalmente formar parte de la muestra compuesta. Las muestras finamente molidas (1mm) de cada hoja individual se transformaron en muestras compuestas para su posterior análisis químico.

Idéntico procedimiento se efectuó en parcelas fertilizadas con 80 kg/ha aplicado como urea de presembrado, por lo que se contó con 15 muestras compuestas de lotes testigo y otras tantas de lotes fertilizados.

Análisis químicos

Se determinó contenido total de N (nitrógeno), P (fósforo), Ca (calcio), Mg (magnesio) y K (potasio). El valor de N se obtuvo por el método de micro-Kjeldhal. Para P se efectuó una digestión con HNO₃ y HClO₄ (1:4) y la colorimetría con ácido vanado-molibdico. Una alícuota de digesto se utilizó para la lectura en espectrofotómetro de absorción atómica de Ca, Mg y K.

Análisis estadístico

Se utilizó análisis de la variancia para confirmar variaciones en la concentración de nutrientes en hoja y/o aumento de peso en hoja como respuesta a la fertilización nitrogenada. Para comparar concentraciones en hoja superior e inferior se realizaron pruebas relativas a diferencia de dos medias utilizando la t de Student.

DRIS

El sistema caracteriza cada nutriente a través de índices calculados utilizando las siguientes ecuaciones:

Índice para nitrógeno:

$$\frac{+ | f(N/P) + f(N/K) |}{2}$$

Índice para fósforo:

$$\frac{- | f(N/P) + f(P/K) |}{2}$$

Índice para potasio:

$$\frac{+ | f(K/P) - f(N/K) |}{2}$$

Donde

$$f(N/P) = 100 \left[\frac{N/P}{n/p} - 1 \right] \frac{10}{CV}$$

cuando $N/P > 10,04$ ó

$$f(N/P) = 100 \left[\frac{1 - n/p}{N/P} \right] \frac{10}{CV}$$

cuando $N/P < n/p$, en el cual

N/P = valor actual de la hoja considerada

n/p = valor medio de esta relación para la

población de mayores rendimientos

CV = coeficiente de variación para la población de mayores rendimientos

Los otros términos, $f(N/K)$ y $f(K/P)$ se obtienen en forma similar. Los valores medios de las relaciones para diagnósticos y sus coeficientes de variación para poblaciones de buenos rendimientos obtenidos por Sumner (1977) son los siguientes:

Relación	Valor medio	CV(%)
n/p	10,04	14,8
n/k	1,49	22,2
k/p	6,74	24,7

Cuadro N° 1: Peso de las hojas que componen la muestra para hoja superior y dos tratamientos.

N° muestra	Tratamiento NO		Tratamiento N80	
	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)
1	1,80	25	1,76	24,4
2	1,43	32,7	1,65	18,3
3	1,27	24,5	1,75	26,7
4	1,41	23,7	1,61	28,4
5	1,45	31,3	1,68	21,2
6	1,54	27,0	1,70	18,8
7	2,46	20,6	2,54	23,2
8	2,15	25,9	2,83	25,2
9	1,89	22,7	2,33	23,4
10	2,10	20,5	2,50	18,8
11	2,11	26,6	2,45	25,3
12	2,39	18,8	1,86	35,1
13	1,86	22,2	1,69	42,6
14	1,37	41,0	1,76	29,1
15	1,36	27,7	1,78	29,4

Cuadro N°2: Peso de la hoja superior y hoja opuesta a la espiga para una misma planta y dos tratamientos.

muestra	Hoja superior				Hoja inferior			
	NO		N80		NO		N80	
	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)	\bar{x} (g)	CV (%)
1	1,86	22,2	1,69	42,6	5,15	11,9	5,55	14,4
2	1,37	41,0	1,76	29,1	4,35	12,0	5,24	11,5
3	1,36	27,7	1,78	29,4	4,51	15,1	5,33	10,5

Los valores de referencia de tabla que se utilizan en este trabajo son las relaciones de concentración de nutrimentos asociados con elevados rendimientos, obtenidos en diferentes condiciones y localidades de modo de abarcar la mayor cantidad de situaciones posibles (Sumner, 1977a).

RESULTADOS Y DISCUSION

Obtenido el peso individual de cada una de las hojas muestreadas (Cuadros N°1 y N°2) se observó que el coeficiente de

variación de peso para la hoja opuesta a la espiga era mucho menor que el de la hoja debajo de la panoja, siendo deseable, siempre que se pueda, trabajar con la primera.

En el Cuadro N°3 se presentan los valores promedio de concentración de N, P y K en la hoja superior para las muestras de lotes testigo y fertilizados y los datos de rendimiento del cultivo. De acuerdo con Melsted *et al.* (1969) la concentración de N y P en hoja de maíz en floración es casi constante en las distintas hojas, al margen de su ubicación en la planta. Mientras los valores promedio para N dados por estos autores oscilaron entre 2,53 y 2,68%, los hallados en este trabajo para los lotes testigo se ubicaron entre 1,33 y 1,97% (Cuadro N°3). En algunos casos el porcentaje de N constituyó en 50% del indicado por la bibliografía. Con referencia al P, los valores citados por Melsted *et al.* (1969) estuvieron en 0,23% y para Jones (1970) en 0,27%; en las hojas analizadas variaron entre 0,32 y 0,39%. Jones (1970) cita valores de contenido de K de 1,68%; Melsted *et al.* (1969) de 1,2 y 1,53% y Baker (1964) de 1,94%. En este caso los valores oscilaron entre 1,85 y 2,14%. Surge que el P y el K están por encima de los valores medios hallados por otros investigadores mientras que el N está muy por debajo de los mismos.

Con referencia al calcio y magnesio (Cuadro N°4) los valores obtenidos son inferiores a los promedios citados por Jones (1967, 1970); Baker (1964) y Melsted *et al.* (1969). La diferencia para el Ca es del orden del 50% menos que los valores citados para la hoja superior y 45% menos para la hoja opuesta a la espiga. Para el Mg la información obtenida también suministra valores menores (Jones y Eck, 1973).

Si se comparan los valores hallados con los niveles críticos de concentración dados por Melsted *et al.* (1969), el N está deficitario, el Ca y Mg están en el límite y el P y K tienen un muy buen nivel de concentración.

Análisis foliar en plantas de maíz de cultivo. I. Macroelementos

Cuadro N°3: N, P y K en porcentaje sobre materia seca para la hoja superior y rendimientos del maíz.

Muestra	N (%)				P (%)				K (%)				Rendimiento	
	NO		N80		NO		N80		NO		N80		NO	N80
	\bar{x} (g)	CV (%)	qq/ha											
1	1,33	3,5	1,71	16,0	0,32	6,0	0,36	5,0	1,96	13,0	2,17	2,0	32,32	47,12
2	1,64	12,0	1,87	11,0	0,32	14,0	0,35	9,0	2,14	1,0	2,18	3,5	37,58	51,07
3	1,97	13,0	2,08	11,0	0,38	1,5	0,46	3,0	1,85	1,0	2,05	3,0	38,48	58,18
4	1,82	3,6	2,05	6,0	0,38	9,0	0,46	8,0	1,94	3,0	2,09	0,3	38,80	59,44
5	1,83	3,0	2,22	8,0	0,39	9,0	0,41	0,0	2,14	4,0	2,20	5,0	67,23	69,28

NO: testigo

N80: fertilizado

(Cada dato es el promedio de tres muestras y cada muestra de tres repeticiones analíticas)

Cuadro N°4: Composición química de la hoja ubicada debajo de la panoja (superior) y de la opuesta a la espiga (inferior) para las muestras de Colón en lotes testigos y fertilizados.

	NO					N80				
	N	P	K %	Ca	Mg	N	P	K %	Ca	Mg
Hoja superior	1,83	0,39	2,14	0,22	0,13	2,22	0,41	2,20	0,21	0,12
Hoja inferior	1,84	0,34	2,44	0,39	>0,13	1,69	0,40	2,53	0,45	>0,12

NO: testigo

N80: fertilizado

(Cada dato es el promedio de tres muestras y cada muestra de tres repeticiones analíticas).

Cuadro N°5: Índices DRIS para muestras de lotes testigos y fertilizados.

Muestra	Índices DRIS					
	Testigos			Fertilizados		
	N	P	K	N	P	K
1	-54	33	21	-46	31	15
2	-75	50	25	-58	40	18
3	-41	39	2	-52	51	1
4	-51	44	7	-54	52	2
5	-55	43	12	-40	34	6

Con respecto a las diferencias de concentración entre la hoja superior e inferior (Cuadro N°4) para el N, Ca y Mg las tendencias son semejantes a las halladas por Melsted et al. (1969) aunque con valores absolutos inferiores y el K varía de manera inversa a la hallada por los mismos investigadores.

Cálculo de los índices DRIS para N, y K: con los valores de concentración foliar de N, P, y K obtenidos y las fórmulas detalladas se calcularon los índices DRIS (Cuadro N°5).

Se estableció así un orden relativo de disponibilidad de nutrientes para el cultivo: $N < K < P$ para todos los lotes testigo. En lotes fertilizados se repite la tendencia $N < K < P$ y para las muestras 1,2 y 5, de acuerdo con los índices calculados disminuye la deficiencia de N y el consiguiente desbalance con K y P mientras que en las muestras 3 y 4, al fertilizar se acentuó el desequilibrio nutricional, aunque aumentó el rendimiento en forma coincidente con una mayor concentración de N en hoja (Cuadro N°3). La circunstancia de que tanto en lotes testigo como fertilizados la relación entre el N, P y K haya sido semejante indica que cabría esperar respuesta a mayores niveles de fertilización nitrogenada. El hecho de no

Cuadro N°6: Análisis de la varianza para materia seca y concentración de nutrimento entre hojas de plantas testigos y fertilizadas.

	"F" observado	"F" requerido	
		5%	1%
N	26,03		
P	15,12	7,71	21,20
K	14,06		
materia seca	17,54		

Cuadro N° 7: Diferencia de medias utilizando la "t" de Student para concentración de N, P y K entre hoja superior e inferior. Nivel de significancia.

	N	P	K
	DS%	DS%	DS%
N0	-	10	5%
N80	2,5	-	5%

DS: diferencia significativa

haber hallado respuestas positivas más contundentes está indicando que hay otros elementos que influyen de manera considerable y que es necesario contar con patrones nutricionales propios que respondan a las condiciones ecológicas del área estudiada. El análisis foliar podría orientar si otro u otros elementos no estuviesen disponibles en cantidades adecuadas. Se plantea entonces la necesidad de conocer que otros factores intervienen y cuáles son los niveles de concentración de los nutrimentos asociados a rendimientos máximos en concordancia con los límites varietales y ambientales existentes.

Mediante análisis de la varianza se evaluó la relación del peso seco (Cuadro N° 1 y 2) y concentración de nutrimentos en hoja superior para lotes testigos y fertilizados (Cuadro N°3). Las diferencias fueron significativas ($p < 5\%$) para materia seca, P y K y ($P < 1\%$) para N. En consecuencia la fertilización tuvo influencia sobre el peso de ambas hojas muestreadas aumentándolo, en

forma conjunta con la concentración de nutrimentos (Cuadro N°6).

Con relación a la variación de concentración entre la hoja inferior y superior, en el testigo el N no varía y sí lo hacen el P y el K. Al fertilizar con N, se establecen diferencias para N y K, uniformizándose el P para ambas hojas (Cuadro N° 4 y 7).

En lotes testigo no hubo correlación entre concentración de N, P y K y rendimiento del cultivo. En lotes fertilizados la correlación entre rendimiento del cultivo y concentración de N fue estrecha ($P < 1\%$). La interpretación de estos resultados debe considerar que la concentración de algunos elementos químicos acumulados por híbridos dobles está bajo control genético parcial (Baker *et al.*, 1970) y que a mayor densidad de planta puede aumentar el rendimiento pero disminuir la concentración de nutrimentos en hoja asociada con esos rendimientos. También el estrés hídrico puede llevar a interpretaciones erróneas.

Dumenil (1961) y Hanway y Dumenil (1965) encontraron que la interacción entre la concentración de N y P en hoja de maíz afectaba el valor crítico de un elemento que dependía de la concentración del otro. En lotes testigo hubo una leve asociación ($P < 10\%$) entre la concentración de N y de P, pudiendo verse agravado el déficit del primero por la elevada concentración de P. Los resultados del análisis foliar, cualquiera sea la forma de interpretarlos indican claramente una deficiencia de N por lo que que las respuestas algo erráticas a las fertilizaciones nitrogenadas (Barberis *et al.*, 1984) serían debidas a la interacción de otros elementos o factores. No serían aconsejables, de acuerdo con estos resultados, la fertilización fosforada o potásica que podrían agravar el problema, considerándose que el análisis foliar puede ser útil en la búsqueda de otras carencias o desequilibrios nutricionales.

Análisis foliar en plantas de maíz de cultivo. I. Macroelementos

CONCLUSIONES

Tanto interpretando los valores de concentración foliar desde el punto de vista de los niveles críticos de concentración como desde el DRIS surge que el N es el principal elemento limitante.

Los valores de Ca y Mg están cercanos al límite crítico dado por la bibliografía mientras que las concentraciones de P y K son mayores que los promedios citados.

La fertilización nitrogenada tuvo influencia sobre el peso individual de la hoja superior e inferior aumentándolo como así también las concentraciones de N, P y K.

En lotes testigo no hubo correlación entre concentración de nutrimento y rendimiento del cultivo y en lotes fertilizados la asociación del rendimiento fue con el N.

Se considera que el análisis foliar puede ser útil en la búsqueda de otras carencias que limiten la respuesta a la fertilización nitrogenada.

BIBLIOGRAFIA

- 1) BAKER, D.E., G.W. GORSLINE, C.B. SMITH, W.I. THOMAS, W.E. GRUBE and J.L. RAGLAND. 1964. *Technique for rapid analyses of corn leaves for eleven elements. Agron. J.*, 56(2):133-136.
- 2) BAKER, D.E., W.E. GRUBE, H. TERELAK and J.H. Mc GAHEN. 1970. *Chemical element concentrations in leaves of double-cross corn hybrids (Zea mays L.) as affected by stand densities and different rates of nitrogen. Soil Sci.*, 110:339-345.
- 3) BARBERIS, L.; E. CHAMORRO; C. BAUMANN FONAY; D. ZOURARAKIS, D. CANOVA y S. URRICARIET. 1984. *Respuesta del cultivo de maíz a la fertilización nitrogenada en la Pampa Ondulada. Campañas 1980/81-1983-84. II Modelos predictivos y explicativos. Rev. Fac. de Agronomía*, 6(1-2):65-84.
- 4) BATES, T.E. 1971. *Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. Soil Sci.*, 112:116-130.
- 5) BEAUFILS, E.R. 1971. *Physiological diagnosis-A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. Fert. Soc. South Africa J.*, 1:1-30.
- 6) DUMENIL, L. 1961. *Nitrogen and phosphorus composition of corn leaves and corn yields in relation to critical leaves and nutrient balance. Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 25:295-298.
- 7) ELWALI, A.M.O., G.J. GASCHO and E. SUMNER. 1985. *DRIS norms for 11 nutrients in corn leaves. Agron. J.*, 77:506-508.
- 8) HANWAY, J. and J.L. DUMENIL. 1965. *Corn leaf analysis-the key in correct interpretation. Plant. Food Review.*, 11(12):5-8.
- 9) JONES, J.B. Jr. 1967. *Interpretation of Plant Analysis for Several Agronomic Crops. En "Soil Testing and Plant Anal. Part. 2º. Ed. G.W. Hardy et al. SSSA Pub. N°2, Madison, Wisconsin. USA. pp.:49-58.*
- 10) JONES, J.B. Jr. 1970. *Distribution of 15 elements in corn leaves. Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1:27-34.
- 11) JONES, J.B. Jr.; H.V. ECK. 1973. *Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. En "Soil Testing and Plant Analysis". Ed. Walsh, L.M. y J.D. BEATON. SSSA. Inc. Madison, Wisconsin, USA.*

- 12) KIM, Y.T. and R.H. LEECH. 1986. The potential use of DRIS in fertilizing hybrid poplar *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.*, 17(4):429-438.
- 13) MELSTED, S.W.; S.L. MOTTO and T.R. PECK. 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Agron. J.*, 61:17-20.
- 14) SUMNER, M.E. 1977a. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Commun. in Soil Sci. and Plant Anal.*, 8(2):251-268.
- 15) SUMNER, M.E. 1977b. Effect of corn leaf sampled on N, P, K, Ca and Mg content and calculated DRIS indices. *Commun. in soil Sci. and Plant Anal.*, 8(3):269-280.
- 16) SUMNER, M.E. 1977c. Application of Beautiful's diagnostic indices to maize data published in the literature irrespective of age and conditions. *Plant and Soil*, 46:359-369.
- 17) SUMNER, M.E. 1979. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purpose. *Agron. J.*, 71:343-348.
- 18) ULRICH, A. and F.L. HILLS. 1967. Principles and practises fo plant analysis. En "Soil Testing and Plant Anal." Part 2. Ed. G.W. Hardy et al.. SSSA. pp:11-24.