

LA EVOLUCION DE LA COMPOSICION Y DE LA ABSORCION DE MACRONUTRIENTES ANIONICOS EN EL MAIZ (*ZEA MAYS*, L.)

por

BENITO SANCHEZ y GERARDO DIOS

SUMMARY

CHANGES IN ANIONIC NUTRIENT COMPOSITION AND ACCUMULATION IN MAIZE (*ZEA MAYS*, L.)

Changes in anionic macronutrient composition of the whole plant and its components during the growing season were studied in two corn hybrids. Also, anionic macronutrient accumulation was studied.

Mean contents of nitrogen, phosphorus, and sulfur changed from 5,27-5,30 % of N_2 , 0,50-0,59 % of P, and 0,36-0,38 % of S, after emergence, to 1,33-1,39 % of N_2 , 0,22-0,27 % of P, and 0,12-0,11 % of S, at harvesting. The quadratic regressions of mean element content on days after emergence were highly significant. The curves obtained for each element were very alike for both hybrids, in spite of their genetic differences. The same fact was observed for the composition of leaves, stalks, and ears, independently.

Nevertheless, total absorption of each nutrient was dependent principally on dry matter accumulation of each hybrid. In consequence, total absorption of a nutrient was dependent linearly on days, after the first month of slow growth. The increases per plant and day were 57 ± 4 and 79 ± 2 mg. of N_2 , $9,4 \pm 0,4$ and $15,3 \pm 0,9$ mg. of P, and $4,9 \pm 0,4$ and $6,4 \pm 0,2$ mg. of S, for each hybrid, respectively. The total amount of nutrients taken up was very high, specially in the case of the better yielding hybrid (340 kg. of N_2 /ha.; 63,5 kg. of P/ha. and 27,8 kg. of S/ha.).

Other complementary data are given, specially referring to sulfur.

Tanto en los estudios acerca de la absorción de nutrientes como en los de control de nutrición son señaladas diferencias en la composición de las distintas partes de la planta de maíz, así como variaciones en el contenido en nutrientes en las diferentes etapas del desarrollo. En relación a la planta completa y sus componentes, Sayre (11), entre otros, nos muestra la evolución de la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio—función de la composición— de un maíz durante su crecimiento; otros autores, como Jordan y colab. (7) o Hanway (4) estudian, también, la influencia de la densidad de cultivo y de la fertilización, desmenuzando

más o menos las plantas, y Jenne y colab. (6) el efecto de las variaciones en la humedad del suelo, etc. Además, desde 1963 (12), Thomas, Baker, Gorsline y otros, vienen señalando en numerosos trabajos la influencia genética en la composición de las variedades e híbridos del maíz.

Esta influencia genética hace pensar en que la evolución de la composición del maíz, o sus partes, con el crecimiento debería ser regular, dentro de unas condiciones uniformes de cultivo. Por otra parte; no hemos encontrado que haya sido estudiada la evolución del contenido en azufre en esta especie, aunque en los últimos años se hayan intensificado las investigaciones sobre este nutriente (3, 9). En relación a otro aspecto del tema, también hemos visto que en la mayor parte de los trabajos las cantidades de nutrientes absorbidos por la cosecha que se exponen suelen ser inferiores a las que resultarían de nuestros datos experimentales.

Presentamos en este trabajo los resultados alcanzados para dos híbridos de maíz cultivados en forma habitual en relación a: 1) la evolución de su composición en los elementos plásticos nitrógeno, fósforo y azufre, tanto en la planta completa como en sus componentes; 2) la absorción de tales nutrientes en la cosecha a lo largo del cultivo.

DATOS EXPERIMENTALES

Maíces: dobles híbridos de «tallo azucarado» (2): D.M.B.G. 5-8 y D.M.B.G. 11-4, que llamaremos (A) y (B) en el texto, respectivamente.

Cultivo: en campo. Suelo de alto nivel orgánico, franco-arenoso, de acidez moderada y buena fertilidad potencial. Se adicionaron por Ha., 120 + 60 unidades de N_2 , 54 unidades de P_2O_5 y 75 unidades de K_2O , junto con unas 20 Tm. de estiércol. Se trató con atrazina y se hicieron dos escardas. La densidad real del cultivo fue algo superior a 40.000 plantas/Ha., y esta es la cifra que se usa en los cálculos.

El clima de la zona es del tipo mediterráneo-húmedo de Emberger. La siembra se hizo el 5 de junio (1972) y se comienzan a recoger muestras semanales el día 21/6. Las fechas de recogida se exponen en la tabla II, los días transcurridos desde la emergencia en la I y el estado aproximado de desarrollo, siguiendo a Hanway (5), en la tabla III. En cada una de las treinta recogidas, 15 por híbrido, se tomaron 10 plantas cortadas a nivel del suelo. A medida que crecía el maíz se fueron diferenciando partes y componentes, hasta 24 muestras de parte aérea en cada una de las últimas recogidas.

Datos experimentales más explícitos pueden verse en un trabajo anterior (10).

Las muestras una vez lavadas se secan en estufa a 70° C. Las determinaciones de N y P se hacen en extracto sulfúrico, obtenido por ataque tipo Kjeldahl; por destilación por arrastre de vapor del NH_4OH y

valoración volumétrica el primero, y coloriméricamente el P. El extracto para la valoración turbidimétrica del S se obtiene por ataque HClO_4 - HNO_3 . Se sigue en líneas generales a Lachica y otros (8). Las determinaciones de humedad se hacen en muestra aparte. Los datos se expresan en porcentajes de materia seca (105°C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A) *Composición*

Para la planta completa de maíz los contenidos medios, en porcentajes de materia seca, de nitrógeno, fósforo y azufre, disminuyen a medida que la planta crece, y de forma bastante similar para los dos híbridos utilizados en este estudio. Aunque la disminución no es idéntica para los tres nutrientes —la de menor cuantía relativa le corresponde al fósforo y la mayor al nitrógeno— se aminora para todos ellos y tiende a desaparecer desde la granazón de la espiga. Los valores obtenidos se exponen en las tablas I, II y III, y la evolución a lo largo del desarrollo del cultivo se puede seguir en las figuras 1.^a, 2.^a y 3.^a

La composición de las plántulas de ambos híbridos poco después de la emergencia, a la semana aproximadamente, resultó ser: 5,27 por 100 y 5,30 por 100 de N; 0,50 por 100 y 0,59 por 100 de P; 0,36 por 100 y 0,38 por 100 de S. Salvo para el azufre, que mantiene el nivel durante un mes (fig. 3.^a), la caída de estos valores es intensa inicialmente, aunque la adición de nitratos al cultivo en la pre-floración rompe la cadencia de la disminución momentáneamente, como se puede ver en las figuras citadas, en especial para el azufre y el nitrógeno; después se aminora el ritmo del descenso, antes en el caso del fósforo. Los niveles de los tres nutrientes se estabilizan prácticamente en el período de desarrollo del grano, e incluso en el período de maduración se hace sentir la composición y aportación del mismo. La composición media para el conjunto de la planta en la última recogida ha sido de: 1,33 por 100 y 1,39 por 100 de N; 0,22 por 100 y 0,27 por 100 de P; 0,12 por 100 y 0,11 por 100 de S.

El análisis estadístico de los datos nos confirma que la evolución del nivel de nutrientes en el maíz es función cuadrática del tiempo transcurrido desde la emergencia de la planta. Las ecuaciones de regresión (tabla IV), que son, además, muy similares para los dos híbridos en cada caso, presentan unos coeficientes de correlación múltiple muy altamente significativos para los tres aniones, N, P y S, a pesar de la alteración momentánea que provoca en la composición la citada adición de nitratos. Oscilan las R entre 0,993, para el caso del N en el maíz A, y 0,946, para el S en el mismo híbrido (tabla IV; $n = 15$; variables, 3).

Los datos anteriores, medios de planta completa, fueron deducidos de la integración de los obtenidos para diferentes partes de la planta.

TABLA I

Contenido en nitrógeno del maíz: A) Híbrido D.M.B.G. 5-8; B) Híbrido D.M.B.G. 11-4. (N₂, % en materia seca)

Número recogida	Días desde emergencia		Hojas		Tallós		Mazorcas		Planta completa	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	8	6	5,27	5,30					5,27	5,30
2	15	13	4,86	5,19					4,86	5,19
3	22	20	4,46	3,97					4,46	3,97
4	29	27	3,50	3,49					3,50	3,49
5	36	34	3,17	3,48	2,90	3,42			3,07	3,46
6	43	41	3,18	3,05	2,50	2,39			2,87	2,77
7	50	48	2,75	2,64	1,58	1,55			2,06	2,15
8	57	55	3,04	3,21	1,56	1,66			2,07	2,33
9	65	63	3,20	3,34	1,20	1,33	3,10		1,83	2,08
10	71	69	3,39	3,08	0,88	1,12	2,23	1,53	1,68	1,72
11	78	76	2,86	3,01	0,81	0,89	1,86	1,68	1,60	1,55
12	85	90	2,91	2,98	0,80	0,73	1,64	1,65	1,41	1,43
13	99	104	2,79	2,94	0,63	0,67	1,45	1,42	1,41	1,39
14	113	118	2,68	2,62	0,60	0,63	1,33	1,38	1,27	1,23
15	127	132	2,36	2,41	0,60	0,63	1,56	1,25	1,42	1,23
							1,45	1,49	1,33	1,39

Las diferencias en la composición no se limitan a las existentes entre hojas, tallos y mazorcas (tablas I, II, III). Aparecen también entre las hojas, por su posición, a lo largo del tallo, entre los entrenudos, entre mazorcas y entre sus componentes, etc.

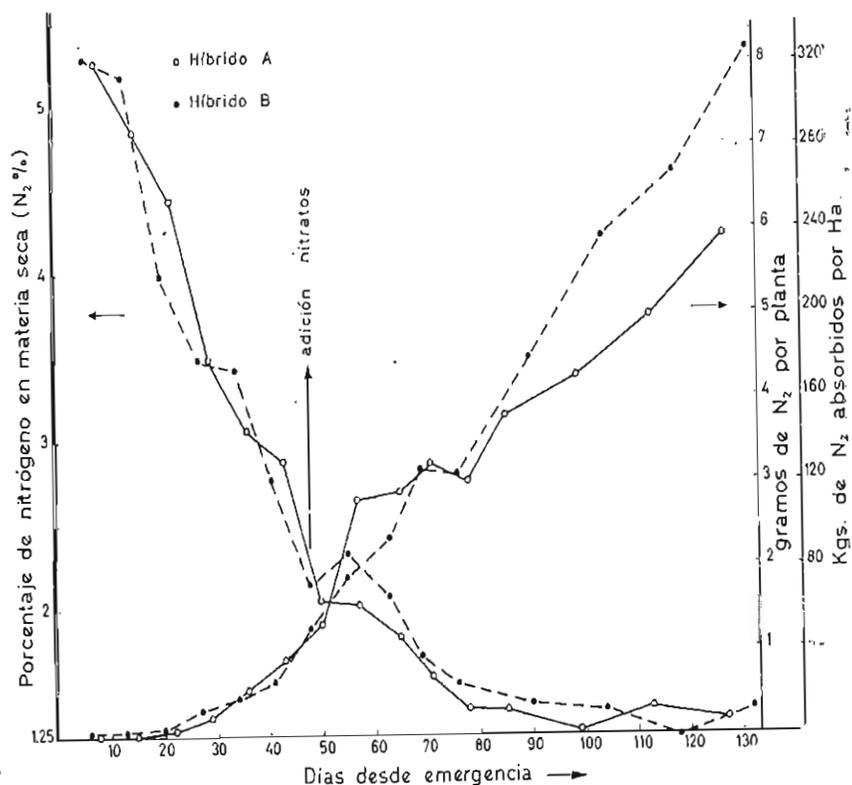


Fig. 1.—Evolución del contenido en nitrógeno (porcentajes de N_2 en materia seca) en los híbridos de maíz D.M.B.G. 5-8 (A) y D.M.B.G. 11-4 (B), y de la absorción del nutriente (g. de N_2 /planta; Kg. de N_2 /Ha.) a lo largo del cultivo.

Hojas

Las hojas son los órganos con mayor nivel medio de nitrógeno y de azufre; para el fósforo, su contenido es superado sólo por el del grano.

En los primeros días, al ser las plántulas esencialmente hojas, los porcentajes de nitrógeno, fósforo y azufre son los mismos que los de la planta completa. La evolución de los valores a lo largo del cultivo lleva a una composición media final de 2,36 por 100 y 2,41 por 100 de N, 0,33 por 100 y 0,36 por 100 de P, y 0,29 por 100 y 0,27 por 100 de S. La disminución en el contenido en nutrientes de las hojas también presenta regresiones cuadráticas con el tiempo, de elevada significación (tabla IV), muy similares en ambos híbridos para cada nutriente. Sin embargo, la evolución natural de estos valores se ve fuertemente alterada

TABLA II

Contenido en fósforo del maíz: A) Híbrido D.M.B.G. 5-8; B) Híbrido D.M.B.G. 11-4. (P, % en materia seca)

Número recogida	Fechas		Hojas		Tallos		Mazorcas		Planta completa	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1		21/6	0,50	0,59					0,50	0,59
2		28/6	0,42	0,45					0,42	0,45
3		5/7	0,34	0,36					0,34	0,36
4		12/7	0,36	0,35					0,36	0,35
5		19/7	0,37	0,31	0,44	0,38			0,40	0,33
6		26/7	0,32	0,31	0,34	0,33			0,33	0,32
7		2/8	0,32	0,32	0,24	0,24			0,27	0,28
8		9/8	0,35	0,28	0,21	0,26	0,52		0,27	0,27
9		17/8	0,33	0,34	0,19	0,25	0,38	0,33	0,25	0,28
10		23/8	0,33	0,28	0,16	0,16	0,31	0,34	0,33	0,22
11		30/8	0,28	0,28	0,14	0,14	0,25	0,29	0,19	0,21
12	6/9	13/9	0,31	0,34	0,10	0,13	0,24	0,27	0,18	0,22
13	20/9	27/9	0,32	0,32	0,10	0,12	0,25	0,26	0,20	0,22
14	4/10	11/10	0,36	0,31	0,12	0,11	0,28	0,25	0,24	0,22
15	18/10	25/10	0,33	0,36	0,08	0,15	0,26	0,30	0,22	0,27

por la adición de nitratos en la pre-floración, lo que disminuye notablemente la determinación de las ecuaciones deducidas.

La evolución de los valores del N es de neta disminución en todo el ciclo, salvado el efecto de los nitratos (tabla I). Para el P, en cambio, la disminución máxima, aún con la alteración debida a la nitratación tardía, se alcanza durante el tercer mes de desarrollo en el cual ambos

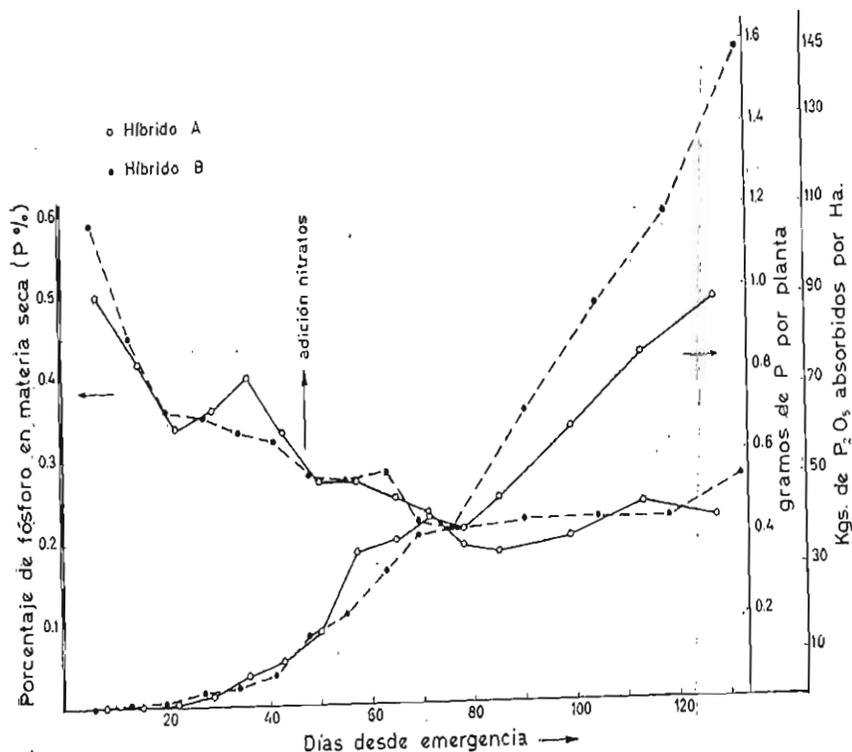


Fig. 2.—Evolución del contenido en fósforo (porcentajes de P en materia seca) en los híbridos de maíz D.M.B.G. 5-S (A) y D.M.B.G. 11-4 (B), y de la absorción del nutriente (g. de P/planta; Kg. de P_2O_5 /Ha.) a lo largo del cultivo.

híbridos muestran un valor medio de 0,28 por 100 de P. Posteriormente, aumenta el nivel en este nutriente (tabla II). En el caso del S la evolución es similar a la del fósforo, pero el mayor efecto de la nitratación sobre este nutriente hace que los mínimos se produzcan antes de la adición, y que el nuevo descenso no alcance a valores tan bajos —0,24 por 100 y 0,22 por 100— como antes (tabla III). Finalmente, hay una estabilización o un ligero aumento del contenido medio en azufre de las hojas.

En cuanto a la diferencia de composición entre las hojas, suelen contener menos fósforo las más bajas, si bien en las etapas de maduración hay mayor variabilidad por la parte central de la planta; en ambos maíces, para las distintas recogidas, las diferencias más frecuentes son de 0,05 por 100 de P. En cuanto al azufre, inicialmente contienen más

T A B L A I I I

Contenido en azúcar del maíz: A) Híbrido D.M.B.G. 5-8; B) Híbrido D.M.B.G. 11-4. (S. % en materia seca)

Número recogida	Estado, según Hanway (5)		Hojas		Tall os		Mazorcas		Planta completa	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	0,5	0,4	0,36	0,33					0,36	0,33
2	1,0	0,8	0,36	0,32					0,36	0,32
3	1,5	1,2	0,32	0,36					0,32	0,36
4	2,0	1,6	0,39	0,36					0,39	0,36
5	2,5	2,0	0,31	0,31	0,20	0,19			0,27	0,27
6	3,0	2,4	0,31	0,26	0,17	0,17			0,24	0,23
7	3,5	3,0	0,24	0,3	0,09	0,11			0,15	0,17
8	4,0	3,5	0,28	0,22	0,13	0,13		0,27	0,19	0,17
9	4,7	4,0	0,30	0,30	0,09	0,11		0,17	0,15	0,18
10	5,4	4,5	0,29	0,27	0,07	0,08		0,14	0,13	0,14
11	6,0	5,0	0,25	0,28	0,06	0,06		0,10	0,11	0,12
12	6,8	6,0	0,27	0,28	0,06	0,06		0,12	0,12	0,12
13	8,0	7,3	0,28	0,27	0,06	0,05		0,09	0,11	0,11
14	9,0	8,4	0,28	0,27	0,05	0,06		0,12	0,12	0,11
15	10,0	9,5	0,19	0,27	0,06	0,05		0,11	0,12	0,11

las hojas más bajas; desde la formación de la espiga se produce una cierta uniformidad a lo largo de la planta, la cual se altera posteriormente aumentando algo el nivel de S en las hojas altas; las diferencias suelen ser pequeñas.

En el caso del nitrógeno, al principio es mayor la proporción del nutriente en las hojas más bajas, pero desde la formación de las inflorescencias dichas hojas pasan a contener menos nitrógeno que las centrales, y aún, salvo en la etapa final del cultivo, que las más altas. En la figura 4 se puede seguir la evolución, en las últimas recogidas y

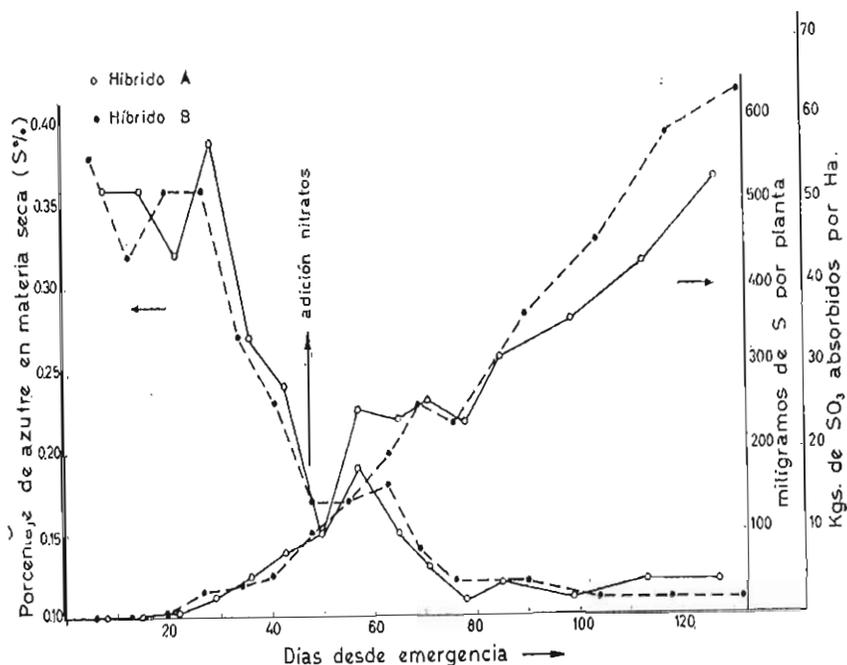


Fig. 3.—Evolución del contenido en azufre (porcentajes de S en materia seca) en los híbridos de maíz D.M.B.G. 5-8 (A) y D.M.B.G. 11-4 (B), y de la absorción del nutriente (g. de S/planta; Kg. de $\text{SO}_3/\text{Ha.}$) a lo largo del cultivo.

alternando los híbridos, de los valores correspondientes, diferenciando las hojas en 4 grupos (1 y 2, por debajo de la espiga; 3 y 4, por encima de ella). Las diferencias existentes entre los grupos de la figura son mayores en muestreos anteriores, no representados, y también son de mayor cuantía cuando se compara el contenido en nitrógeno hoja por hoja.

Tallo

El tallo es la parte de la planta de menor contenido en los aniones estudiados, en cada momento. Los porcentajes de nitrógeno, fósforo

T A B L A I V

Ecuaciones de la evolución del contenido en nitrógeno, fósforo y azufre, en los híbridos D.M.B.G. 5-8, y D.M.B.G. 11-4, durante su crecimiento (X, días desde la emergencia).

Parte de la planta	D. M. B. G. 5-8 ecuación de regresión	R	D. M. B. G. 11-4 ecuación de regresión	R
Hojas.....	N % = 5,35 - 0,054 X + 0,00026 X ²	0,902 ***	N % = 5,19 - 0,051 X + 0,00025 X ²	0,878 ***
	P % = 0,48 - 0,0042 X + 0,000026 X ²	0,840 **	P % = 0,53 - 0,0063 X + 0,000040 X ²	0,843 **
	S % = 0,39 - 0,0028 X + 0,000016 X ²	0,797 **	S % = 0,38 - 0,0029 X + 0,000017 X ²	0,757 **
Tallos.....	N % = 5,88 - 0,103 X + 0,00049 X ²	0,980 ***	N % = 5,87 - 0,102 X + 0,00049 X ²	0,960 ***
	P % = 0,82 - 0,014 X + 0,000067 X ²	0,986 ***	P % = 0,68 - 0,011 X + 0,000051 X ²	0,969 ***
	S % = 0,39 - 0,0067 X + 0,000033 X ²	0,942 ***	S % = 0,34 - 0,0054 X + 0,000025 X ²	0,966 ***
Mazorcas.....	N % = 9,37 - 0,157 X + 0,00076 X ²	0,953 **	N % = 4,57 - 0,060 X + 0,00027 X ²	0,968 **
	P % = 1,57 - 0,027 X + 0,00013 X ²	0,924 **	P % = 0,80 - 0,011 X + 0,000050 X ²	0,933 *
	S % = 0,89 - 0,016 X + 0,000078 X ²	0,916 *	S % = 0,46 - 0,070 X + 0,000033 X ²	0,923 *
Planta completa.	N % = 6,10 - 0,098 X + 0,00049 X ²	0,993 ***	N % = 5,81 - 0,088 X + 0,00042 X ²	0,988 ***
	P % = 0,53 - 0,0066 X + 0,000033 X ²	0,950 ***	P % = 0,56 - 0,0078 X + 0,000043 X ²	0,954 ***
	S % = 0,46 0,0066 X + 0,000033 X ²	0,946 ***	S % = 0,43 - 0,0060 X + 0,000027 X ²	0,963 ***

*** P > 0,001; ** P > 0,01; * P > 0,05.

y azufre en él también pueden expresarse como función cuadrática del tiempo. Las ecuaciones de regresión que resultan (tabla IV) son muy altamente significativas y presentan elevada determinación. El efecto de la adición de nitratos en la pre-floración es aquí mucho más amortiguado, en intensidad y persistencia, que en las hojas.

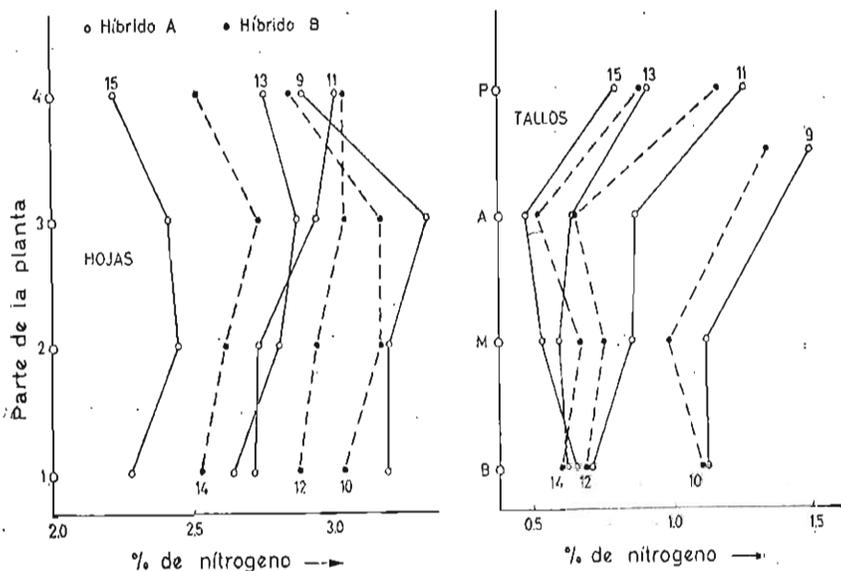


Fig. 4.—Variaciones de los porcentajes de contenido en nitrógeno de las hojas y los tallos del maíz, según su posición y época de recogida. Las hojas se distribuyen en cuatro grupos, dos por debajo de la espiga (1 y 2) y dos por encima de ella (3 y 4). Los tallos en tres partes (baja (B), media (M) y alta (A) e inflorescencia masculina (P). Los números corresponden al muestreo: 9, 11, 13 y 15, para el híbrido A, y 10, 12 y 14, para el B.

Los porcentajes de nutrientes, cuando se diferencian los tallos, y las plantas han crecido durante algo más de un mes, fueron de 2,90 por 100 y 3,42 por 100 de N, 0,44 por 100 y 0,38 por 100 de P y 0,20 por 100 ó 0,19 por 100 de S. La disminución del contenido en nitrógeno va aminorándose en intensidad paulatinamente y desaparece cuando los porcentajes de N son de 0,60 ó 0,63, durante la maduración del grano. El descenso del porcentaje de fósforo es muy acusado en el segundo mes de desarrollo; se hace menor después y no existe en la etapa de maduración; los valores finales 0,08 por 100 y 0,15 por 100 de P, son los que más difieren entre las parejas de valores de las diversas recogidas (tabla II). La evolución de los porcentajes de azufre también presenta cierta estabilización desde la formación del grano, entre 0,06 por 100 y 0,05 por 100 de S.

En relación a la falta de homogeneidad en la composición a lo largo de los tallos las diferencias pueden variar durante el desarrollo de las

plantas. Para el nitrógeno el contenido siempre es mayor en la parte alta del tallo, haya o no penacho, mientras que los entrenudos bajos son los de menor porcentaje de N al principio. En la figura IV se pueden ver las variaciones existentes en las últimas recogidas, considerando tres partes en el tallo, además de la inflorescencia. Para el fósforo el gradiente de variación posicional de sus porcentajes es mayor en los tallos que en las hojas, de tal modo que por lo regular los valores correspondientes a las partes altas del tallo duplican a los de las partes más cercanas al suelo. En cuanto al azufre es normal que en esta parte de la planta, hasta estados muy avanzados del desarrollo, haya más azufre cuanto más nos alejemos de las raíces.

Mazorcas

En las mazorcas la evolución del contenido medio en nutrientes sigue una pauta similar a la que se viene señalando. Cuando se tomaron las primeras muestras de inflorescencias (recogida 8.^a para el híbrido A, y 9.^a para el B) su composición media fue de 3,10 por 100 ó 1,93 por 100 de N, 0,52 por 100 ó 0,33 por 100 de P, y 0,27 por 100 ó 0,16 por 100 de S, datos que ya señalan la gran disminución porcentual de nutrientes al iniciarse el desarrollo de las espigas. La gran influencia del grano en las etapas finales se hace sentir para los tres nutrientes, con mayor intensidad en el caso del fósforo, lo que hace aumentar los niveles medios en la etapa de maduración (tablas I, II y III). Las ecuaciones cuadráticas de regresión entre los porcentajes y el tiempo (tabla IV) son de elevada determinación, pero presentan probabilidades más bajas que otras de la tabla al ser menor el número de términos involucrados.

La gran diferencia morfológica de los componentes de la mazorca alcanza a su contenido en estos nutrientes. En la tabla V se expone la composición de vainas, zuros y granos en las recogidas finales, desde que se diferenciaron estos últimos. En ambos híbridos la menor proporción de nitrógeno se encuentra en los zuros, donde es menor que en los tallos, y el grano es la parte más nitrogenada, aunque menos que las hojas. Los niveles de N en los granos de la última recogida corresponden a contenidos en proteína bruta de 11,8 y 12,7 por 100.

El zuro también es la parte de la mazorca con menos fósforo, que asimismo es menor que en el tallo. De forma análoga a la indicada para el nitrógeno en el grano se encuentra el mayor nivel de fósforo, ahora mayor incluso que en las hojas, sin que los valores obtenidos indiquen clara variación en la composición fosfatada del mismo durante la maduración. Para el caso del azufre son también los zuros los de menor porcentaje; no contienen mucho más azufre las vainas y es el grano, de nuevo, el componente de mayor porcentaje del nutriente. Para este

TABLA V

Composición media de diferentes partes de la mazorca en las últimas recogidas (N, P y S, % en materia seca)

Nutriente	Parte de la mazorca	Recogida 13. ^a		Recogida 14. ^a		Recogida 15. ^a	
		A	B	A	B	A	B
N	Vainas *	0,75	0,93	1,11	0,77	0,80	0,83
	Granos	2,17	2,35	2,12	1,78	1,88	2,03
	Zuros	0,58	0,86	0,52	0,47	0,36	0,49
P	Vainas *	0,20	0,21	0,22	0,16	0,12	0,22
	Granos	0,38	0,40	0,37	0,35	0,34	0,39
	Zuros,	0,10	0,17	0,10	0,10	0,05	0,11
S	Vainas *	0,05	0,06	0,08	0,06	0,08	0,05
	Granos	0,17	0,18	0,17	0,14	0,14	0,14
	Zuros	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04

* vainas + pedúnculos.

nutriente también en el grano se acusa el descenso general, y en la última recogida su contenido ha bajado a 0,14 por 100 de S.

La composición de las partes enterradas del maíz, en la etapa final, resultó ser:

1) Pequeños tocones: 0,58 por 100 ó 0,57 por 100 de N, 0,05 por 100 ó 0,07 por 100 de P, y 0,03 por 100 ó 0,05 por 100 de S.

2) Raíces: 1,02 por 100 ó 0,98 por 100 de N, 0,09 por 100 ó 0,10 por 100 de P, y 0,17 por 100 ó 0,18 por 100 de S.

Entre estos valores llama la atención el elevado contenido en azufre de las raíces.

B) Absorción de nutrientes

La absorción de nutrientes es función de la síntesis orgánica y de la composición de los tejidos vegetales. La síntesis de materia seca, en

la etapa de mayor actividad, es de carácter prácticamente rectilíneo y aumenta naturalmente con el desarrollo vegetal. En otro trabajo se ha estudiado su evolución y se ha destacado la elevada cuantía alcanzada por uno de los híbridos (10). Por el contrario, el contenido unitario de los nutrientes en los maíces disminuye con el desarrollo en la forma que se ha expuesto más atrás.

La acción conjunta de ambas variables da lugar a lo siguiente:

Nitrógeno

En la evolución de la absorción de nitrógeno predomina el efecto debido al incremento de la materia seca formada sobre el de la composición de los tejidos, de tal modo que los mg. de N_2 absorbidos por planta se relacionan linealmente con el tiempo, con muy alta probabilidad. Si se prescinde en los cálculos de los datos iniciales, los del primer mes de débil crecimiento y síntesis, resultan unas acumulaciones por planta y día de 57 ± 4 mg. de N_2 , para el híbrido A, y de 79 ± 2 mg de N_2 para el B ($r_A = 0,980$; $r_B = 0,997$).

Ahora bien, tanto debido a las prácticas culturales como por causas naturales se producen variaciones que alteran la evolución teórica, lineal de la acumulación del nutriente. Así, la absorción real de nitrógeno en ambos híbridos (fig. 1.^a) es mucho más débil en la fase inicial del desarrollo; la adición de nitratos en la pre-floración ha dado lugar a un fuerte aumento, momentáneo, del contenido nitrogenado, sobre todo en el híbrido más precoz, y durante la etapa final de maduración del grano el incremento de la absorción nitrogenada tiende a ser exponencial en ambos maíces. La variación inicial se debe a la débil síntesis orgánica en ese período (10). Las debidas a la nitratación, a que el maíz es capaz de acumular algunos nutrientes en exceso si hay sobreabundancia de los mismos en la solución del suelo; en nuestro caso el equilibrio entre la absorción y las necesidades reales de las plantas se restablece de nuevo, antes de un mes, al disminuir la concentración en la zona radical. La variación final es motivada por el elevado aporte relativo correspondiente a las semillas.

Al representar la acumulación relativa, en porcentajes de la total final, las curvas correspondientes a los dos híbridos muestran cierta similitud entre sí, así como con las publicadas por Sayre (11), Aldrich Leng (1), etc., en las que se acusan ciertas diferencias en la evolución. Estas son debidas al distinto efecto momentáneo producido por las prácticas agrícolas sobre los maíces utilizados, de distinta génesis y características, que también dan lugar a cierto desfase entre ellas.

La gran absorción que supone la evolución diaria señalada hace que las cantidades totales extraídas en la cosecha de una hectárea, a 1 densidad real del cultivo (40.000 plantas/Ha.), e incluidos tocones y raíces.

sean de 252 Kg. de N_2 , para el maíz D.M.B.G. 5-8, y de 340 Kg. de N_2 para el D.M.B.G. 11-4. Esta última muy elevada.

Los datos obtenidos de las distintas partes de las plantas a lo largo del cultivo muestran una fuerte movilidad del nutriente, de lo que resulta finalmente una pérdida de nitrógeno en los tejidos vegetativos en beneficio del grano, en los dos maíces.

En cuanto a la distribución final de las cantidades absorbidas, las proporciones (en porcentajes del total de planta completa) en los distintos componentes fueron los siguientes:

Hojas: 19,5-18,2; tallos: 12,7-11,2; granos: 51,7-54,3; resto mazorcas: 11,9-13,2; raíces: 4,2-3,1, mostrando cierta similitud en ambos híbridos.

Fósforo

En el caso del fósforo, en relación a la absorción del nutriente, se repite el predominio de la evolución de la síntesis de materia seca sobre la variación en el porcentaje de P en las plantas. Por ello, ambos maíces también difieren profundamente, desde la floración, en su capacidad de extracción de este nutriente. La evolución de los valores de absorción por planta, que se pueden seguir en la fig. 2, muestran cierta relación lineal con el tiempo, estadísticamente significativa, sobre todo si no se considera la etapa de desarrollo inicial. Las relaciones deducidas nos indican que la absorción, expresada en mg. de P por planta y día, es de $9,4 \pm 0,4$, para el híbrido A, y de $15,3 \pm 0,9$, para el maíz más tardío ($r_A = 0,989$; $r_B = 0,984$).

Al igual que en el caso del nitrógeno, al considerar la evolución de las cantidades de fósforo absorbidas a lo largo del cultivo nos encontramos que en la fase inicial el ritmo es mucho menor que el indicado y que también hay una fuerte influencia positiva de la nitratación tardía. En las curvas de acumulación relativa de fósforo se presentan, asimismo, las diferencias y similitudes indicadas para el nitrógeno.

La exportación de fósforo en la cosecha, parte aérea, es elevada (figura 2.^a), en especial para el híbrido B, en el cual se superan las encontradas en trabajos sobre el tema. La absorción total —incluidas las pequeñas aportaciones de tocones y raíces— se cifran en 148 Kg. de P_2O_5 /Ha., en dicho híbrido; en el maíz más precoz fue bastante menor, de 92 Kg. de P_2O_5 /Ha.

En el híbrido más precoz es clara la movilidad de este nutriente en los órganos vegetativos de la planta. Mientras que en las hojas la pérdida es pequeña, de alrededor del 5 por 100, en las etapas finales el tallo llega a ceder casi la mitad del fósforo que llegó a contener en la floración; las vainas y los zuros también pierden este nutriente durante la

maduración. En cambio, en el maíz B, aunque los datos de recogida anteriores parecen coincidir en dicha tendencia, los correspondientes a la última recogida, en los que se produce una fuerte elevación de los contenidos totales de fósforo en todos los órganos vegetativos, ponen freno a la posible generalización, admitida, de la pérdida del nutriente en dichas partes de la planta durante la maduración del grano.

En relación a la distribución relativa de las cantidades de fósforo absorbidas en los distintos componentes de la planta, los porcentajes del total, correspondientes a la recogida final, son:

Hojas: 16,8-14,3; tallos: 10,4-13,3; granos: 58,6-54,4; resto mazorcas: 11,8-16,3; raíces: 2,4-1,7, en los que se manifiesta la elevada proporción correspondiente al grano.

Azufre

También en el caso del azufre, en relación a las cantidades absorbidas por el maíz en su desarrollo, la evolución de la acumulación de la materia seca tiene papel preponderante. Por ello, se reproducen las relaciones de tipo lineal entre la acumulación del nutriente y el tiempo transcurrido desde la emergencia, cuya probabilidad de significación aún es elevada incluyendo en los cálculos los datos iniciales de la experiencia. Las cantidades absorbidas son de menor cuantía que las de fósforo y, en este caso, se aminoran las diferencias entre los dos maíces utilizados. Las ecuaciones de regresión lineal indican acumulaciones medias de $4,9 \pm 0,3$ y de $6,4 \pm 0,2$ mg. de S por planta y día, después de los primeros veinte días, según se trate de los híbridos A y B, respectivamente ($r_A = 0,980$; $r_B = 0,995$).

Al igual que en los otros nutrientes considerados en este trabajo, y como se puede seguir en las figuras 3 y 5 b), la evolución real de la absorción de azufre es más lenta en la etapa inicial. Al cabo del primer mes desde la emergencia sólo se ha absorbido un 5 por 100 del total final, casi todo él en las hojas. Durante el segundo mes las cantidades totales del nutriente contenidas en las plantas siguen siendo similares en ambos maíces (fig. 3), aunque la menor absorción final en el A, hace que la proporción sea algo mayor en dicho maíz (fig. 5 b); al final de este período aumenta mucho dicha diferencia debido al fuerte efecto de la nitratación, al elevar el contenido del tallo (tabla III) coincidiendo con el fuerte desarrollo del mismo en el maíz más precoz (10), lo que se acusa también en la figura 5 a). Esto hace que mientras en el híbrido B se haya absorbido sólo un 30 por 100 del total, el A contenga ya cerca de la mitad del final. Los datos señalan que sin causas que alteren la evolución normal a los sesenta días desde la emergencia las hojas contienen algo más de la mitad del azufre absorbido hasta el momento.

Al comienzo del tercer mes se acusa el estímulo de la nitratación en el híbrido B, que es mucho más débil. Posteriormente tiende a restablecerse el equilibrio natural en los dos maíces, de tal modo que a finales de este período hay cierta coincidencia en lo absorbido (fig. 3), en las proporciones correspondientes a cada componente (fig. 5 a) y en el porcentaje del total (5 b). Se alcanza el 60 por 100 de la extracción final, y la mayor parte del azufre absorbido (un 80 por 100) se encuentra a partes iguales en hojas y mazorcas. A partir de aquí la diferencia en el potencial productivo de ambos híbridos hace que difieran las cantidades absorbidas, si bien hay semejanza en la proporción de la absorción y en la distribución de lo absorbido (figs. 5 a) y b)).

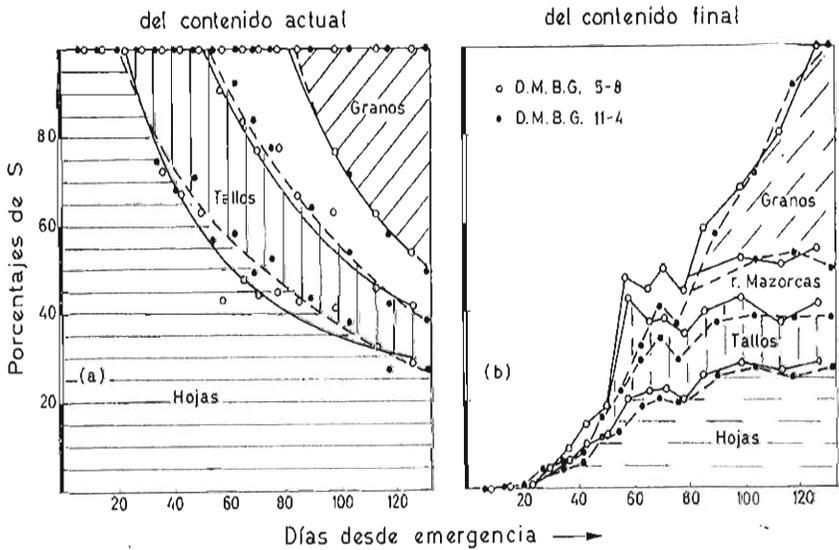


Fig. 5.—Evolución de las aportaciones de azufre de los distintos componentes de la planta de maíz: (a) en relación al total de azufre acumulado en cada momento; (b) en relación a la absorción total final.

En relación a la movilidad del nutriente en la planta, la evolución de los datos de las hojas señala una elevación paulatina del azufre contenido en ellas, más intensa hasta la polinización, con cierta oscilación en la etapa final, sin que se pueda señalar cesión o pérdida del elemento. No sucede lo mismo en los tallos, puesto que debido al efecto de la nitratación se produce en ellos una fuerte acumulación del nutriente, a la que sucede una fuerte disminución sin que se alcance de nuevo, en ambos híbridos, las cantidades contenidas con anterioridad (120 y 89 mg. de S). En las partes vegetativas de la mazorca el nivel de azufre parece tender a disminuir algo durante la maduración. Sin la existencia de una causa que altere el desarrollo natural del cultivo, que estimule o deprima su absorción, el azufre parece ser el menos móvil de los nutrientes estudiados.

En la recogida final las cantidades de azufre contenidas en los maíces A y B, respectivamente, fueron 578 y 691 mg. de S por planta, distribuidos de la siguiente forma: Hojas, 151-173; tallos, 69-70; tocones, 4-8; granos, 242-318; resto mazorca, 67-73; raíces, 45-49. Las cantidades totales equivalen a un consumo de 58 Kg. de $\text{SO}_3/\text{Ha.}$ y de 69 Kg. de $\text{SO}_3/\text{Ha.}$

CONCLUSIONES

Los contenidos medios en nitrógeno, fósforo y azufre de la materia seca de la planta de maíz muestran variaciones de orden similar a lo largo de su desarrollo: a un descenso inicial, más o menos fuerte o duradero, suceden etapas de menor disminución, estabilización y aún aumento durante la maduración del grano, en algunos casos. Por ello, los porcentajes de nutrientes en la materia seca resultan ser función cuadrática del tiempo, según ecuaciones de regresión tipo: $\% (\text{N, P o S}) = A - Bx + Cx^2$, donde x son los días transcurridos desde la emergencia.

La similitud de las dos ecuaciones resultantes para cada nutriente parece indicar la independencia de la evolución de la composición del maíz respecto a su origen y propiedades cuando se cultiva en las mismas condiciones.

Al igual que para el conjunto de la planta, la composición de hojas, tallos y mazorcas, presenta regresiones cuadráticas similares con respecto al tiempo, si bien acusan mayor variabilidad, aún dentro de buenas probabilidades de significación. El tallo es la parte de la planta con menor proporción de nutrientes y las hojas suelen ser, con el grano en algunos casos, las de mayores porcentajes en N, P y S.

Se contrasta un fuerte efecto de la adición de nitrógeno en la floración que, al estimular también la absorción de azufre y fósforo, provoca un aumento, momentáneo, del nivel de los tres nutrientes; en relación a la composición, el efecto sobre los tallos es menor, en intensidad y persistencia, que sobre las hojas.

En la acumulación de nutrientes por la cosecha tiene mucho mayor predominio la evolución de la formación de la materia seca que la evolución de la composición de la misma, por lo que, a partir del primer mes desde la emergencia, las absorciones de nitrógeno, fósforo y azufre resultan estar correlacionadas linealmente con el tiempo.

En el caso del azufre apenas existe desfase entre las curvas de ambos híbridos correspondientes a la evolución de la absorción en relación a la total, el cual es claro para el nitrógeno y el fósforo y se debe al diferente ciclo vegetativo de los dos maíces. Para los tres nutrientes, y en especial para el híbrido más precoz, también destacan en ellas los efectos estimulantes de la nitratación.

La movilidad de los nutrientes entre los diferentes órganos de la planta disminuye en el orden nitrógeno, fósforo, azufre.

La absorción total de nutrientes es elevada, sobre todo en el híbrido de mayor potencial productivo, para el que se cifran por hectárea en 340 Kg. de N_2 y 63,5 Kg. de P, equivalentes a 1.700 Kg./Ha. de un fertilizante nitrogenado del 20 por 100 y a 800 Kg./Ha. de uno fosfado del 18 por 100 de P_2O_5 . La cantidad de azufre absorbida es de 27,8 Kg. de S/Ha. (dicha cantidad está contenida en 275 Kg. de un fertilizante con el 25 por 100 de SO_3).

RESUMEN

Se estudian las variaciones en la composición de dos híbridos de maíz, planta completa y componentes, a lo largo del cultivo y la absorción de macronutrientes aniónicos.

Los contenidos medios en nitrógeno, fósforo y azufre de los dos maíces utilizados pasan de 5,27 por 100-5,30 por 100 de N_2 , 0,50 por 100-0,59 por 100 de P, y 0,36 por 100-0,38 por 100 de S, a poco de emerger, a 1,33 por 100-1,39 por 100 de N_2 , 0,22 por 100-0,27 por 100 de P, y 0,12 por 100-0,11 por 100 de S, en la recolección; los datos se integran en regresiones cuadráticas, de muy alta probabilidad, con los días transcurridos desde la emergencia, y las curvas resultantes para cada elemento son muy similares en ambos híbridos a pesar de sus diferencias intrínsecas. Lo mismo sucede con la composición de hojas, tallos y mazorcas, independientemente.

Sin embargo, la absorción total de cada nutriente resulta depender básicamente de la evolución de la síntesis orgánica de cada híbrido, por lo que está relacionada linealmente con el tiempo después del primer mes, de débil crecimiento. A partir de esa época los aumentos medios en ambos maíces, por planta y día, han sido de 57 ± 4 ó 79 ± 2 mg. de N_2 , $9,4 \pm 0,4$ ó $15,3 \pm 0,9$ mg. de P, y de $4,9 \pm 0,4$ ó $6,1 \pm 0,2$ mg. de S. La cantidad total de nutrientes extraídos por la cosecha, sobre todo en el híbrido de mayor capacidad productiva, resultó ser muy elevada (340 Kg. de N_2 /Ha.; 63,5 Kg. de P/Ha. y 27,8 Kg. de S/Ha.).

Se dan otros datos complementarios, en especial para el azufre.

Misión Biológica de Galicia. Pontevedra.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALDRICH, S. R. y LENG, E. R. Modern corn production. F. & W. Publis. Corp. Ohio, 1969.
- (2) BLANCO GONZÁLEZ, M., BLANCO G., J. L. y VEIGUINHA, A. S. 1957. Obtención de híbridos de maíz de tallo azucarado, de doble aprovechamiento —grano y planta— y estudio comparativo de su valor industrial, agrícola y económico. Genét. Ibér., 9, 3-101.
- (3) DAIGGER, L. A. y FOX, R. L. 1971. Nitrogen and sulfur nutrition of sweet corn in relation to fertilization and water composition. Agron. J., 63, 720-730.
- (4) HANWAY, J. J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility: II y III. Agron. J., 54, 217-222; 222-229.
- (5) HANWAY, J. J. 1963. Growth stages of corn (*Zea mays*, L.). Agron. J., 55, 487-492.

- (6) JENNE, E. A., RHOADES, H. F., YIEN, C. H. y HOVE, O. W. 1958. Change in nutrient element accumulation by corn with depletion of soil moisture. *Agron. J.*, 50, 71-74.
- (7) JORDAN, H. V., LAIRD, K. D. y FERGUSON, D. D. 1950. Growth rates and nutrient uptake by corn in a fertilizer-spacing experiment. *Agron. J.*, 42, 261-268.
- (8) LACHICA, M., RECALDE, L. y ESTEBAN, E. 1965. Análisis foliar. Métodos analíticos utilizados en la Estación Experimental del Zaidín. *An. Edafol. Agrobiol.*, 24, 589-610.
- (9) REED, G. W. y CALDWELL, A. C. 1970. Sulfur uptake by corn as influenced by ammonium and nitrate nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34, 327-329.
- (10) SÁNCHEZ, B. y DIOS, G. 1974. Crecimiento y materia seca en maíz (*Zea mays*, L.). *An. Edafol. Agrobiol.*, 33, 1025-1044.
- (11) SAYRE, J. D. 1948. Mineral accumulation in corn. *Pl. Physiol.*, 23, 267-281.
- (12) THOMAS, W. J. 1963. Chemical elements accumulation in corn. *Proc. 18th. Ann. hybrid corn res. Ind. Conf.*, 53-61.

Recibido para publicación: 4-VI-74