

# Boletín

## IIP 5

Fertilización – Rendimientos elevados

# MAÍZ

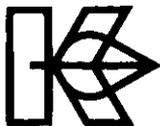
Instituto Internacional de la Potasa  
Berna/Suiza

1980

Boletín IIP N° 5

# LA FERTILIZACIÓN DEL MAÍZ

A. Gamboa, Ing. agr., Madrid/España



Publicado por: Instituto Internacional de la Potasa  
Apartado 41, CH-3048 Worblaufen-Berna/Suiza  
Teléfono 031/58 53 73, Telex: 33 430 ipibe ch  
1980

# Contenido

	Página
1. <i>Generalidades</i>	5
2. <i>La planta de maíz y sus necesidades de clima y suelo</i>	7
2.1 La planta de maíz	7
2.2 Necesidades climáticas del maíz	9
2.3 Necesidades de suelo	11
3. <i>La nutrición del maíz</i>	13
3.1 Necesidades en elementos nutritivos	13
3.2 Nitrógeno (N)	16
3.3 Fósforo (P)	18
3.4 Potasio (K)	20
3.5 Nutrientes secundarios (Mg, S, Ca)	22
3.6 Micronutrientes (Zn, Cu, B, Mn, Fe)	26
3.7 Interacciones de los elementos nutritivos	30
4. <i>Eficacia de la fertilización mineral</i>	37
4.1 Influencia de las labores de preparación de la siembra	37
4.2 Eficacia de los fertilizantes en función del momento de aplicación	40
4.3 Relaciones entre eficacia y modo de aplicación de los fertilizantes	42

4.4	Fertilizantes y densidad de siembra	45
4.5	Influencia del régimen de humedad del suelo	47
5.	<i>Aspectos cualitativos en la producción del maíz</i>	50
5.1	Efectos de la nutrición mineral sobre la precocidad	50
5.2	Efectos de los fertilizantes sobre el «vuelco» del maíz	50
5.3	Resistencia del maíz a las plagas y enfermedades	53
5.4	El abonado y la calidad del maíz	56
6.	<i>La práctica de la fertilización</i>	63
6.1	Cálculo del abonado	63
6.2	Fórmulas de abonado	64
7.	<i>Bibliografía</i>	69

## 1. Generalidades

El maíz ocupa la tercera posición entre los cereales más cultivados, tras el trigo y el arroz. Su gran capacidad de adaptación hace que se cultive en las condiciones más variadas, desde los 60° de latitud norte en Noruega hasta los 42° de latitud sur en Nueva Zelanda. Es decir, el maíz se cultiva en los cinco continentes, aunque su zona típica de cultivo sea el continente americano. Desde dicho continente, dónde constituía el alimento base en las civilizaciones inca, maya y azteca, fue traído por los descubridores españoles a Europa.

En cuanto al área sembrada, el continente americano representa, como podemos deducir del cuadro 1, casi el 49% del área ocupada en el mundo por este cultivo.

*Cuadro 1*

	Superficie cultivada (1000 ha)	Producción (1000 tm)
Europa	12 042	47 247
América del Norte	25 513	146 111
Latino-América	26 004	40 539
Asia	25 747	48 486
África	15 652	16 491
Oceanía	82	293

En América del Norte son los Estados Unidos, fundamentalmente su mitad este, el gran centro productor con un 45% de la producción mundial. Dentro de Latino-América todos los países cultivan el maíz, pero entre ellos podemos destacar a tres: Brasil, México y Argentina.

Ya en el Viejo Continente, que ocupa el segundo puesto en cuanto a producción, se destacan la U.R.S.S., Francia, Rumanía, Yugoslavia, Italia y Hungría (Cuadro 2).

*Cuadro 2*

	Producción (1000 tm)	Superficie cultivada (1000 ha)	Rendimiento q/ha
U.S.A.	157 893	28 767	5489
República Popular China	34 114 (F)	11 548 (F)	2954
Brasil	17 929	11 122	1612
Rumanía	11 700	3 401	3440
Unión Soviética	10 300	3 303	3118
Yugoslavia	9 112	2 372	3841
México	8 945	7 000 (F)	1278
Sudáfrica	7 312	5 700 (F)	1283
India	6 500 (F)	6 200 (F)	1048
Argentina	5 855	2 766	2117
Francia	5 477	1 425	3844
Hungría	5 200	1 407	3696
Italia	5 082	909	5591
			(FAO 1976)

En Asia, el maíz es un cultivo importante en todos los países, tanto por la superficie que ocupa como por la producción, especialmente en los países siguientes: República Popular China, India, Indonesia, Filipinas, Corea del Norte y Tailandia.

Africa cuenta con gran número de países productores entre los que citaremos República de Sudáfrica, Kenya, Egipto, Nigeria, Malawi y Etiopía.

Los principales exportadores en 1976 según la FAO fueron los siguientes (cantidades en 1000 tm):

U.S.A.	44 328
Tailandia	3 423
Sudáfrica	3 206
Argentina	3 059
Países Bajos	2 300
Francia	2 046

## 2. La planta de maíz y sus necesidades de clima y suelo

### 2.1 La planta de maíz

#### a) *Sistema radicular*

El sistema radicular es, en muchos casos, una característica de cada variedad. Está constituido por tres tipos de raíces: las raíces seminales que tienen su punto de partida en la misma semilla o grano de maíz, y que constituyen el sistema radicular primario; el sistema secundario está constituido por las raíces que parten de los nudos del tallo situados debajo de la superficie del suelo; finalmente existe un tercer tipo de raíz, el aéreo, que parte de los nudos del tallo más cercanos a la superficie, constituyendo, para la planta, un fuerte sistema de fijación.

La profundidad que pueden alcanzar las raíces depende de las características del suelo, de la distribución de nutrientes en las diversas capas y, fundamentalmente, del régimen de humedad. En los suelos secos las raíces se desarrollan amplia y profundamente a fin de captar el agua del subsuelo, mientras que en los suelos con un suministro de agua suficiente, el desarrollo radicular es mucho más superficial y menos denso. En cuanto al fertilizante, si éste ha sido mezclado íntimamente con el suelo, las raíces se extienden en todas las direcciones y si se ha colocado en bandas, se produce una densa masa de raicillas que rodean a la banda fertilizada.

Las raíces seminales pueden persistir a lo largo de la vida de la planta y existen en número de tres a cinco. A las dos semanas después de la nascencia han alcanzado un buen desarrollo, subviniendo perfectamente a las necesidades de la planta. A esta edad la masa radicular se encuentra concentrada en un círculo de 20 cm de radio alrededor del tallo y en los primeros 12-15 cm de profundidad del suelo, aunque alguna raíz haya alcanzado los 35 cm de profundidad.

A partir de las tres semanas de la nascencia, corresponde el papel preponderante al sistema radicular secundario que constituye la mayor parte de la masa radicular.

#### b) *Tallos y hojas*

Los tallos del maíz son cilíndricos, rayados longitudinalmente y con entrenudos. Miden, según la variedad y el cultivo, desde 50 cm a 6 m de altura,

aunque para las variedades corrientemente cultivadas la altura varía de 2 a 3 m. Posee como término medio catorce entrenudos (8–21), desarrollando una hoja cuya vaina envuelve el tallo en cada nudo.

La mayor parte de las variedades no ahijan, pero existen otras que tienen fuerte tendencia a ahijar. Estos hijuelos permanecen unidos por su sistema vascular al tallo principal.

Los tallos, en el caso de que la recolección se realice mecánicamente, deben ser duros y rígidos y con gran resistencia al vuelco. La altura de los tallos tiene sólo una importancia relativa en relación con la recolección mecánica.

### *c) Flores*

El maíz tiene sus flores en forma de espiguillas, estando separadas las masculinas de las femeninas. Las masculinas forman la panícula terminal que tiene una apariencia más o menos compacta según la variedad. Las femeninas se asientan sobre un eje pajoso (zuro) que puede llevar de ocho a treinta surcos longitudinales de pares de espiguillas. Cada espícula femenina termina en un largo estilo o «barba».

La mazorca formada por el conjunto de flores femeninas está situada sobre un corto tallo lateral. Los entrenudos de este tallo son muy reducidos y las hojas más o menos modificadas que nacen en sus nudos cubren al conjunto de flores femeninas. Existen tanto variedades que llevan una sola mazorca como otras que portan dos o varias.

Desde el punto de vista de la recolección mecánica son bastante importantes las siguientes cualidades:

- Altura de inserción de la mazorca, ya que si están situadas muy altas, los rodillos de la máquina deben recorrer una gran longitud de tallo, pudiéndose producir atascos.
- Homogeneidad en la altura de inserción.
- Dureza del tallo donde se asienta la mazorca, lo que facilita su rotura.
- Espesor y dureza del grupo de hojas que cubren la mazorca, que es una cualidad deseable para el arrancado pero no para el desvainado.
- Grosor de la mazorca, pues se disminuyen las pérdidas en el desgranado.

### *d) El grano*

Las espiguillas femeninas tienen dos flores de las que, normalmente, sólo una es fértil. Esta flor es fecundada por el polen procedente de las espiguillas masculinas y da lugar a un fruto en cariósipide que es el grano de maíz.

El grano está formado en su mayor parte por el endospermo que está rodeado por una capa de aleurona y por las células del pericarpio. El germen se encuentra casi totalmente circundado por el endospermo y constituye junto con el escutelo el 10% aproximadamente del total del grano.

Existen seis tipos diferentes de grano con una importancia práctica:

- El tipo dentado, el más utilizado actualmente para la alimentación del ganado y que dió lugar a las primeras selecciones para la obtención de híbridos. Es el grupo más avanzado en cuanto a rendimiento potencial. El grano presenta una depresión o diente en la parte superior.
- El maíz duro, cuyos granos duros y lisos, que contienen escasa cantidad de almidón harinoso, se adaptan mejor a la preparación de platos tradicionales. Es generalmente más rústico que el tipo anterior y presenta mayor resistencia a los ataques de insectos bajo malas condiciones de almacenamiento.
- El maíz dulce que se utiliza para consumo en fresco de las mazorcas, que se recolectan antes de que el grano haya madurado completamente.
- El maíz harinoso, cultivado sobre todo en América Latina, cuyo grano está constituido casi en su totalidad por almidón harinoso, siendo apropiado para confeccionar las «tortillas».
- El maíz de palomitas o pop-corn que se cultiva en pequeña escala, destinado a la alimentación humana en forma de rosetas (palomitas) que se obtienen haciendo estallar los granos por el fuego.
- El maíz ceroso, cuyos granos tienen aspecto céreo, originario de China donde se le utiliza para preparaciones culinarias. Se le cultiva también en U.S.A. en pequeña escala para producir un almidón similar al de tapioca.

El peso medio de mil granos es de 300 g existiendo diferencias muy importantes entre tipos y variedades: desde 50 g para el maíz pop-corn con grano tipo arroz hasta 1300 g para los granos harinosos de la variedad gigante de Cuzco. Para terminar, digamos que hay granos de diferentes colores: amarillo, blanco y más raramente rojo más o menos intenso, negro e incluso azul. Los granos con endospermo amarillo tienen un valor mayor tanto para la alimentación humana como para los animales porque son mucho más ricos en  $\beta$ -caroteno (*Mangelsdorf y Fraps [1931]*). Para la alimentación humana, no se puede desestimar la preferencia de los consumidores por tal o cual tipo de grano o de color a los que corresponden sabores y posibilidades de preparación diferentes.

## 2.2 Necesidades climáticas del maíz

El maíz requiere, para producir buenos rendimientos, temperaturas relativamente altas. La isoterma de 18°C constituye el límite norte para el cultivo del maíz grano, aunque sí se le cultive para forraje (*Euverte [1959]*). Por otra parte los genetistas, aprovechando la gran capacidad de adaptación del maíz, han conseguido variedades que pueden desarrollarse en climas fríos.

*Thompson [1970]* cifra las necesidades pluviométricas durante los meses de verano para la región del Corn Belt en 100 mm en junio, 175 mm en julio y 100 mm en agosto.

No cabe duda que la pluviometría, sobre todo en la época que rodea la floración, es el factor determinante del rendimiento del maíz cultivado en las zonas sub-áridas. *Soubiès y colaboradores [1960]* han estudiado para una zona seca del sur de Francia la relación entre las lluvias de verano y los rendimientos del maíz durante un período de 65 años. Se trata de una región en la que la floración del maíz se produce en la tercera década de julio. En el período considerado, la pluviometría media mensual fué la siguiente: en junio, 64 mm; en julio, 40 mm; en agosto, 50 mm. Los rendimientos se distribuyeron de la siguiente manera en función de las precipitaciones registradas (Cuadro 3).

*Cuadro 3*

Umbrales de lluvia en julio	Factores secundarios del rendimiento y sus umbrales	Rendimientos obtenidos en % de la media del período
Superiores a 55 mm	Total de lluvias en julio y agosto superior a 110 mm	Superiores en un 130%: 9,5 veces cada 10 Superiores en un 116%: 8,5 veces cada 10
Entre 55 y 32 mm	Total de lluvias en junio y agosto inferior a 110 mm	Inferiores: 75% 8 veces cada 10
Inferiores a 32 mm		Inferiores: 70% 8 veces cada 10

Es claro que tan pequeñas diferencias de pluviometría no pueden motivar, sólo a causa del suministro de agua, las variaciones registradas en los rendimientos. Las lluvias actúan igualmente originando una baja de temperatura y un aumento del grado higrométrico que reducen fuertemente la evapotranspiración potencial.

La planta de maíz parece ser más resistente a la sequía en los comienzos de su desarrollo que posteriormente. Esta falta de resistencia es mayor en el momento de aparición de las barbas y de la subsiguiente polinización (*Beer y otros [1967]*).

La media diaria óptima de temperatura durante junio, julio y agosto es de aproximadamente 22°C, con una variación de temperaturas entre día y noche comprendida entre 30°C diurnos y 15°C nocturnos (*Thompson [1970]*). Sin embargo, *Peters y otros [1972]* encontraron que la temperatura óptima durante la noche estaba alrededor de los 18°C, disminuyendo el rendimiento en un 40% si la temperatura subía a 29°C y un 3% si descendía a 16,5°C.

Thompson [1970] estudiando la interrelación temperatura media mensual-  
rendimiento en el Corn Belt llegó a los resultados señalados en la Figura 1.

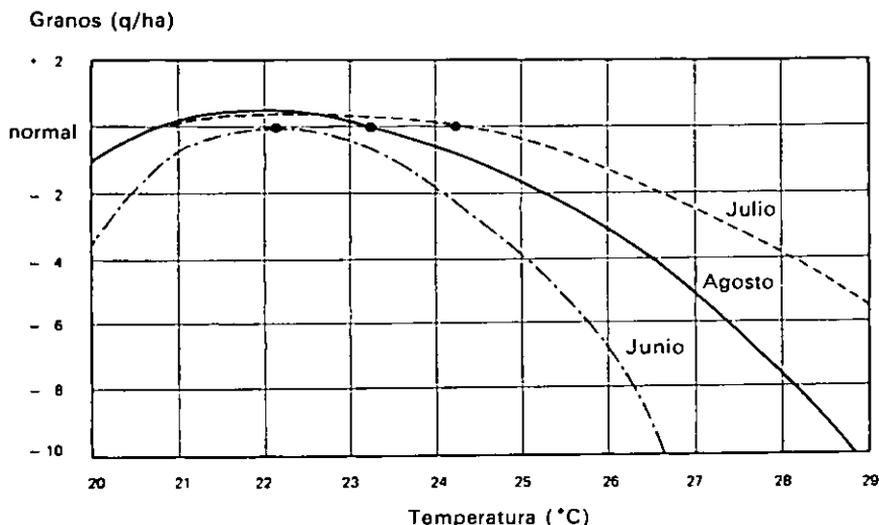


Fig. 1. Respuesta del maíz a la temperatura de junio, julio y agosto.

En ella vemos que la obtención de los rendimientos máximos requiere unas temperaturas medias en julio y agosto a un nivel similar al de junio. Ello quiere decir que, para la planta de maíz, es preferible lo que podríamos calificar como verano fresco. El límite superior de temperatura diurna para el citado autor, es el de los 32°C, siendo afectado adversamente el maíz si se sobrepasa dicha temperatura.

Por otra parte existe una interrelación entre pluviometría y temperatura tanto del aire como del suelo. Si la pluviometría es elevada, disminuye la temperatura del suelo y del aire debido al decrecimiento de la insolación, y aumenta el grado higrométrico del aire. Todos estos factores contribuyen a retardar la madurez del maíz, aparte de que la humedad del suelo facilita el desarrollo de enfermedades criptogámicas.

### 2.3 Necesidades de suelo

El maíz se cultiva en una amplia gama de suelos, pero, lógicamente, dá rendimientos más elevados en suelos profundos, con buen drenaje y buena aireación. En los climas secos pueden preferirse aquellos que tengan una buena capacidad

de retención del agua y que sean algo pesados para que no sean susceptibles de un calentamiento excesivo. En los climas húmedos y fríos, por el contrario, son más adecuados los terrenos ligeros con buen drenaje, debido a que su temperatura es mayor y la elevan más rápidamente que los suelos pesados.

Con relación al pH, el maíz prefiere los suelos débilmente ácidos o neutros. Por otra parte, el pH influye en la extracción de elementos nutritivos, aumentando la extracción de P, K, Mg, Ca, Cu, B y Fe cuando el pH pasa de ser extremadamente ácido a sólo ligeramente ácido (*Lutz [1972]*). En algunos casos, esta mayor extracción se debía a que el desarrollo era superior y, en otros, se sumaba a esta causa la de una mayor concentración en el tejido vegetal.

El maíz es una planta relativamente sensible a la salinidad. *Hassan y otros [1970]*, en un ensayo realizado en macetas, encontraron que el rendimiento decrecía con la salinidad linealmente, especialmente cuando la conductividad del suelo a 25°C era superior a los 8 mmhos/cm.

### 3. La nutrición del maíz

#### 3.1 Necesidades en elementos nutritivos

Las necesidades nutricionales de cualquier planta son determinadas por la cantidad total de nutrientes que precisa extraer durante su desarrollo fisiológico. Esta extracción total dependerá, por tanto, del rendimiento obtenido y de la concentración de nutrientes en el grano y en el forraje. Tanto si se aprovecha sólo el grano, como si además se usan las partes verdes como forraje, será necesario poner a disposición de la planta la cantidad total de elementos nutritivos que ésta extrae.

La composición elemental del grano fluctúa relativamente poco (*Loué [1965]*), pero no sucede así con la composición del forraje, que es sumamente variable. Por otra parte, el porcentaje de la producción total que representa el grano puede variar entre 30 y 60%. Entre las causas de esta variabilidad, además de la influencia varietal, podemos citar:

- El ciclo del maíz o número de días transcurridos desde la nascencia hasta la madurez fisiológica: los maíces de ciclo largo dan, generalmente, altas relaciones grano/forraje.
- La fecha en que se realiza la siembra: las siembras precoces elevan el rendimiento en grano (*Phillips [1972]*).
- La densidad de plantación: el aumento de densidad hace que disminuya el número medio de mazorcas por planta así como el peso de éstas. El efecto positivo que sobre el rendimiento tiene el mayor número de plantas queda anulado, a partir de una densidad de plantación dada, por el efecto depresivo sobre las dos variables mencionadas. Este hecho se traduce en una disminución de la relación grano/forraje, incluso aunque se obtenga el mismo rendimiento (*Robertson [1968]*).

Por las razones anteriormente dadas, la tabla adjunta es sólo indicativa. Las extrapolaciones que se hagan para otras producciones sólo nos darán, por tanto, una idea del contenido de nutrientes a ese nivel de producción.

*Cuadro 4*

Nutrientes contenidos en la parte aérea de una cosecha de maíz de 9100 kg/ha (Phillips [1972])\*

Elementos	kg de elementos en		total	% en el grano
	forraje	grano		
Nitrógeno (N)	61,6	128,8	190,4	68
Fósforo (P)	7,8	31,4	39,2	80
Potasio (K)	156,8	39,2	196,0	20
Calcio (Ca)	39,2	1,1	40,3	4
Magnesio (Mg)	32,5	11,2	43,7	26
Azufre (S)	9,0	12,3	21,3	58
Cloro (Cl)	76,2	4,5	80,7	6
Hierro (Fe)	2,0	0,11	2,11	5
Manganeso (Mn)	0,28	0,06	0,34	17
Cobre (Cu)	0,09	0,02	0,11	20
Zinc (Zn)	0,20	0,20	0,40	50
Boro (B)	0,13	0,04	0,17	25
Molibdeno (Mo)	0,003	0,006	0,009	63

\* Datos derivados del análisis químico de muestras de maíz procedentes de las estaciones de Indiana, Iowa, Michigan y Nebraska.

La concentración de nutrientes en la hoja no es constante durante la vida de la planta, ni, tan siquiera, a lo largo de la planta misma. El conocimiento del estado nutricional de la planta requiere determinar, a pesar de ello, la parte de la planta y el momento de la vida de ésta en que existe mayor correlación entre nivel de nutrientes de la parte elegida para el análisis y rendimiento. De éste modo, es posible conocer si existe deficiencia de algún nutriente. Casi todos los investigadores coinciden en hacer el análisis en el momento de la floración sobre una de las hojas, aunque difieren sobre qué hoja ha de analizarse.

En diagnosis foliar se usa el término de nivel crítico. Este concepto tiene diversas definiciones, pero aquí lo usaremos como «el umbral mínimo de contenido de nutrientes que permite conseguir el 95% del rendimiento máximo». *Melsted y otros [1969]* señalan que, para la hoja opuesta a la mazorca y en el momento en que aparece la inflorescencia masculina estos niveles son los siguientes:

N	3 %	Mn	15 ppm
P	0,25%	Fe	25 ppm
K	1,90%	B	10 ppm
Ca	0,40%	Cu	5 ppm
Mg	0,25%	Zn	15 ppm
		Mo	0,2 ppm

En lo que respecta al fósforo, otros autores indican valores superiores. *Tyner [1947]* determinó un nivel crítico de 0,315% P. Por otra parte *Dumenil [1961]* encontró que el nivel crítico no coincide con un valor estrictamente determinado del contenido en P, sino que depende del nivel de N. El valor 0,288% es el mínimo para obtener el 95% del rendimiento máximo.

*Loué [1964]* ha definido una relación curva entre el nivel de potasio en la hoja y el rendimiento (Figura 2). Para valores inferiores a 1% nos encontramos en una zona de deficiencia característica, con síntomas foliares, en la que un aumento de K en 0,1% mejora el rendimiento en 5 q como media. Seguidamente se observa una segunda zona, que va desde el 1% a los alrededores del 1,6%, en la que un aumento del 0,1% corresponde a un aumento de 2,5 q. El nivel crítico lo fija dicho autor en 1,7%, siendo éste un valor susceptible de variaciones: 1,3% en condiciones de sequía grave y 2% para los años más favorables. *Sayre [1955]*, así como otros investigadores, ha llegado a la conclusión de que existen líneas puras de maíz – y de modo más limitado, los híbridos a que han dado lugar – que acumulan cantidades diferentes de elementos nutritivos cuando se les cultiva en idénticas condiciones. Este fenómeno es general prácticamente a todos los elementos nutritivos. Sin embargo, parece que estas diferencias se

Granos (q/ha)

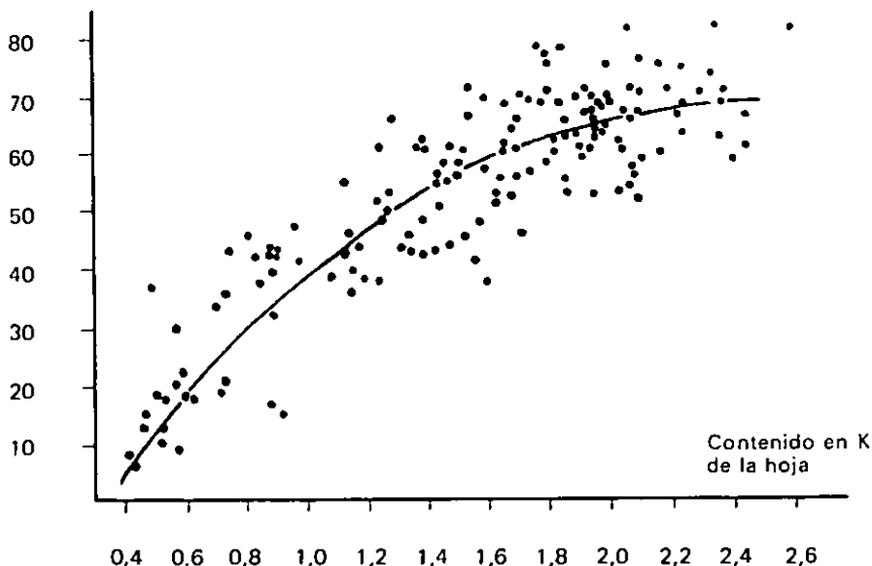


Fig.2. Relación entre los rendimientos de granos (15% de humedad) y el contenido en K de la hoja situada debajo de la mazorca al estado de floración.

amortiguan notablemente en los híbridos dobles, de manera que, en la mayor parte de los casos, no es necesario modificar los niveles críticos definidos.

### 3.2 Nitrógeno (N)

#### a) Curso de la asimilación

En la absorción de nitrógeno podemos distinguir tres fases, según el ritmo o velocidad de absorción: la primera fase comprende desde la nascencia hasta un mes antes de la aparición de las «barbas» o estilos de las flores femeninas; la segunda se desarrolla durante el mes anterior a la aparición de las «barbas»; y la tercera nos lleva hasta el momento de la madurez fisiológica (Figura 3).

#### Nitrógeno

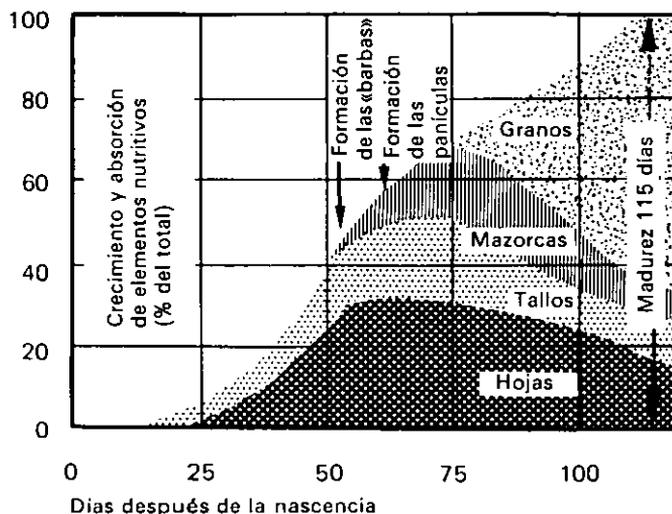


Fig.3. Absorción del nitrógeno por el maíz (Iowa State University, Ames).

En la primera fase la absorción se lleva a efecto a un ritmo muy lento. La planta extrae solo el 8% de sus necesidades totales, no llegando el peso seco al final del período al 5% del peso en el momento de la madurez. Esto quiere decir que existe una elevada concentración de nitrógeno en los tejidos jóvenes, concentración que tiene una gran influencia sobre el número de granos por mazorca (Schreiber [1962]).

La velocidad de absorción que iba aumentando paulatinamente desde la nacimiento, alcanza, al comienzo de la segunda fase, un valor de unos 3,5 kg/ha y día, con un máximo durante el período de floración. El nitrógeno absorbido se halla fundamentalmente en las hojas, cuyo contenido alcanza el valor máximo al aparecer la inflorescencia masculina. Se llega al final de esta fase habiéndose extraído casi el 60% de las necesidades totales de nitrógeno.

La separación entre la segunda y tercera fase se caracteriza por una inflexión en la curva de absorción. Esta inflexión señala un descenso de la velocidad de extracción a menos de la mitad del valor señalado para la segunda fase. Es fenómeno característico de esta tercera fase la emigración de parte del nitrógeno de los órganos vegetativos hacia el grano. Contribuyen fundamentalmente a esta emigración las hojas y el tallo.

#### *b) Fertilizantes nitrogenados*

Tres son las formas en que el nitrógeno es usado en la práctica: amoniacal, nítrica y amídica. *Fischer [1963]* dice que no existen diferencias significativas entre las respuestas del maíz a diferentes fertilizantes nitrogenados sólidos y que el pH del suelo podría servir de guía a la elección de unos u otros. A pesar de ello *Coic [1964]* encontró que las plantas jóvenes de maíz absorbían más rápidamente el nitrógeno amoniacal que el nítrico, mientras que las plantas más viejas absorbían la mayor parte del nitrógeno en forma nítrica.

Esta avidez de la planta joven por el amonio puede dar lugar al fenómeno de la intoxicación amónica, que se ha observado en diferentes países y que ha sido particularmente estudiado en Francia. Esta enfermedad fisiológica sobreviene durante las primaveras frías, en los suelos ácidos poco saturados, de baja capacidad de intercambio catiónico y elevado contenido de amonio ya sea natural o procedente de los abonos (*Routchenko y Lubet [1966]*). Las primeras perturbaciones se manifiestan cuando las plantas tienen tres o cuatro hojas. Son características las quemaduras y pérdidas de turgescencia, que afectan en primer lugar los bordes de las hojas más viejas provocando su desecamiento. En los casos más graves, la planta entera se deseca y muere. Existen marcadas diferencias de sensibilidad, de origen genético, entre líneas puras y entre híbridos en cuanto a la susceptibilidad a esta enfermedad (*Soyet et al. [1974]*).

El remedio más eficaz para prevenir la intoxicación amónica consiste en emplear cantidades adecuadas de enmiendas calizas.

En la práctica, se pueden usar abonos nitro-amoniacaes en todas las circunstancias. En climas lluviosos o en cultivos bajo riego, si hay riesgo de arrastre de los abonos en forma nítrica fuera del alcance del sistema radicular, será preferible usar abonos amoniacaes, tales como el sulfato amónico, o urea. En el caso de los suelos ácidos, el agricultor dará preferencia a la urea porque es mucho menos acidificante que el sulfato amónico. En cuanto a los nitratos de cal o sodio, será más apropiado emplearlos como abonos de acción inmediata en los abonados de cobertera.

*c) Sintomatología de la deficiencia (Fotografía N° 1, página 23)*

La deficiencia de nitrógeno en los primeros estadios del crecimiento se manifiesta por retrasos en el desarrollo y el color verde-amarillento claro de las hojas. Los síntomas más claros de deficiencia se presentan después que la planta ha pasado la etapa de «altura de la rodilla». Es entonces cuando muchos maizales sufren deficiencia de nitrógeno, que se caracteriza por el amarilleamiento de las puntas de las hojas más viejas. Este amarilleamiento se continúa a lo largo del eje de la hoja originando una V con la punta dirigida hacia el tallo y ulteriormente toda la hoja queda amarilla. El proceso se repite sucesivamente en las hojas más jóvenes.

### **3.3 Fósforo (P)**

*a) Curso de la asimilación*

La absorción del fósforo es mucho más lenta que la del nitrógeno y corre paralela a la acumulación de materia seca durante la mayor parte del desarrollo vegetativo de la planta. Dentro de la casi linealidad de la curva de absorción sólo hay que destacar un cambio en la pendiente de la curva poco después de la aparición de los estilos femeninos. Esta inflexión señala el descenso que se produce en la extracción media diaria de P cuando la planta pasa el período crítico de desarrollo, ubicado en los alrededores de la aparición de la inflorescencia masculina y de las barbas (Figura 4).

A diferencia de lo que sucede en el caso del nitrógeno, el fósforo está muy uniformemente repartido en la planta. Las hojas y el tallo alcanzan su contenido máximo en el momento en que comienza a formarse el grano. Es en este mismo instante cuando se inicia la translocación o emigración del fósforo de los órganos vegetativos hacia el grano.

*b) Fertilizantes fosfatados*

El problema del abonado fosfatado del maíz ha dado lugar a numerosas investigaciones que no se pueden enumerar en este folleto. Resumiéndolas será necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

- *Temperatura* en las primeras semanas de desarrollo. En condiciones de suelos fríos son más eficaces los abonos fosfatados solubles en agua, tales como los superfosfatos de cal o los fosfatos amónicos.
- *pH del suelo*: Suelos ácidos: en estos suelos se pueden utilizar abonos fosfatados hiposolubles o insolubles en agua, como las escorias básicas o los fosfatos naturales. Sin embargo, para estos últimos hay que hacer notar que dan buenos resultados sobre todo en los suelos suficientemente provistos de materia orgánica.  
Suelos calizos: se usarán las formas más solubles en agua.

## Fósforo

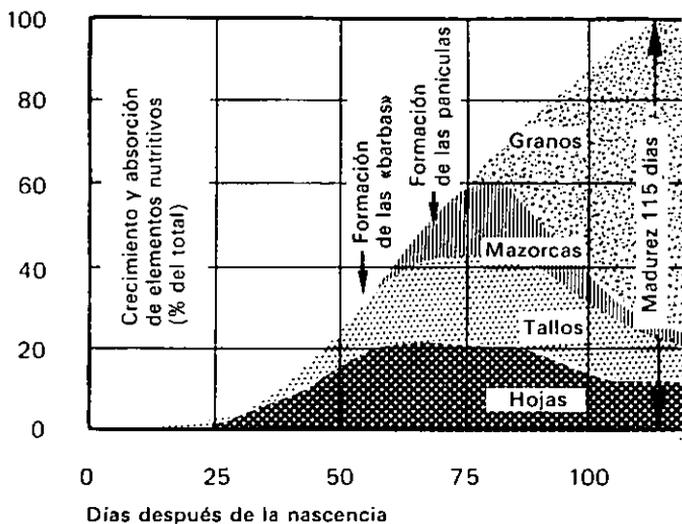


Fig.4. Absorción del fósforo por el maíz (Iowa State University, Ames).

– **Granulación:** Suelos ácidos: los fosfatos hiposolubles actúan tanto mejor cuanto menor sea el diámetro de los gránulos. Por el contrario, en el caso de los fosfatos solubles en agua, es más ventajoso usar abonos con gránulos de mayores dimensiones a fin de limitar los fenómenos de precipitación que se producen en la periferia de los gránulos.

Suelos alcalinos: es necesario que los abonos fosfatados que se usen presenten suficiente solubilidad en agua. La eficacia de los abonos parcialmente solubles en agua está influenciada por el tamaño de los granos; a mayor finura mayor eficacia. Por otra parte, en los suelos fuertemente calizos, se observa una retrogradación menos importante usando abonos de gránulos relativamente gruesos.

– **Riqueza del suelo:** Suelos a un nivel conveniente de riqueza en fósforo: es necesario sostener el nivel de las reservas de estos suelos por medio de abonos de mantenimiento a fin de compensar las exportaciones de las cosechas. Esto se puede realizar recurriendo a una gama de abonos, bastante amplia, comprendiendo formas menos caras que no son válidas para aprovisionar al cultivo en fósforo el mismo año de su empleo, en las condiciones pedoclimáticas propias del campo.

*Suelos pobres:* en los suelos muy pobres no sería económico, en la mayor parte de los casos, aportar mediante el abonado de fondo, las muy elevadas dosis de fosfatos de las que el maíz tiene necesidad para alcanzar el rendimiento que le permiten las condiciones genéticas, climáticas y edáficas. En estas condiciones sería interesante realizar, además del abonado de fondo, un abonado localizado mediante fosfatos solubles en agua – tanto si el suelo es ácido como si es alcalino – acompañado de una pequeña cantidad de nitrógeno amoniacal que aumenta su eficacia.

c) *Sintomatología de la deficiencia* (Fotografía Nº 2, página 23)

La deficiencia en fósforo se presenta generalmente en las primeras fases del desarrollo, siendo síntoma típico la coloración púrpura-rojiza (o más raramente bronceada) de las hojas. Esta coloración es debida a la producción de antocianina promovida por las grandes cantidades de azúcares que provoca el descenso en la síntesis de proteínas. Igualmente se producen tallos débiles y delgados con mazorcas pequeñas o torcidas, sustentadas por raíces poco extendidas.

Además, se nota un retraso de la maduración, lo que dá lugar a una mayor humedad de las mazorcas en el momento de la recolección.

Todos los maíces no presentan la reacción de coloración que se acaba de describir, ya que ello depende de factores genéticos que faltan en algunas líneas o variedades. Por otra parte, hay causas inherentes al clima (frío), a las enfermedades o a las plagas que producen una acumulación de azúcares que dan lugar a la misma coloración.

### 3.4 Potasio (K)

a) *Curso de la asimilación* (Figura 5)

La extracción de potasio es sumamente rápida a partir del momento de la nascencia. El ritmo de absorción es incluso superior al del nitrógeno. Este hecho sugiere la conveniencia de la inclusión del potasio en el fertilizante «iniciador» en cantidad elevada (*Bates [1971]*). Alrededor de unos 20 días antes de la emergencia de los estilos femeninos la velocidad de absorción se eleva rapidísimamente, manteniéndose prácticamente constante durante 20–25 días. En este período la absorción diaria puede alcanzar hasta 7,3 kg/ha (*Chandler [1960]*). Al principio, el potasio absorbido se encuentra fundamentalmente en las hojas y en el tallo. La máxima concentración en las hojas se alcanza en el período existente entre la aparición de la panícula masculina y la de las barbas. A partir de este momento es el tallo el órgano que acumula más potasio. Al igual que en el caso de los otros macronutrientes citados, se produce emigración del potasio hacia el grano, pero la translocación es más lenta y mucho menos importante.

## Potasio

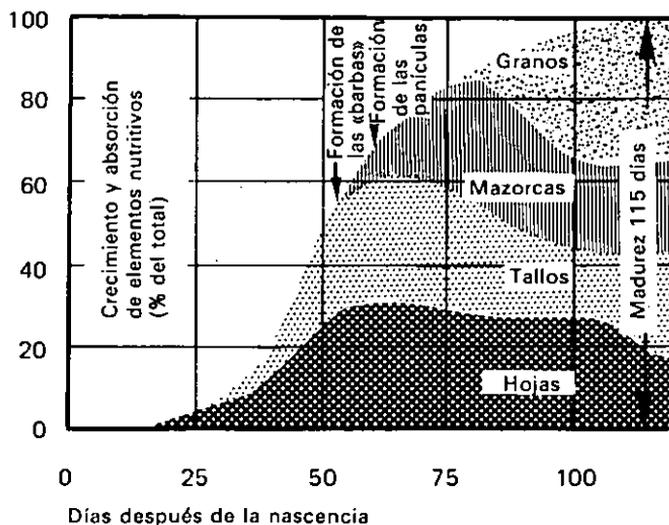


Fig. 5. Absorción del potasio por el maíz.

### b) Fertilizantes potásicos

En investigaciones llevadas a cabo en el Corn Belt y en Francia (Loué [1965]), se encontró que no existían prácticamente diferencias entre cloruro, sulfato y carbonato potásicos cuando se usaban para abonar el maíz (citado por Arnon [1973]). A pesar de estos resultados podría pensarse que la absorción incrementada de los aniones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , que acompañan al potasio en los fertilizantes más comúnmente usados, podría llevar consigo un descenso en la absorción de otros aniones importantes de cara al rendimiento. Esta suposición, sin embargo, debe considerarse falsa a la luz de los resultados obtenidos por Nielsen [1963] en sus investigaciones. El citado investigador encontró que no se producían efectos sobre los rendimientos debido al aumento de las concentraciones de  $\text{Cl}^-$  ó  $\text{SO}_4^{2-}$ .

### c) Sintomatología de la deficiencia (Fotografía N° 3, página 24)

La deficiencia potásica se muestra en un principio por la disminución del ritmo de crecimiento de la planta y un color más claro en las plantas deficitarias. Posteriormente se decoloran los bordes de las hojas más viejas, seguido por el empardecimiento y necrosis de estos bordes. Finalmente estos síntomas se

extienden a toda la superficie de la hoja. Otro síntoma es la coloración pardo oscura de los nudos del tallo, que difiere claramente de la coloración de los entrenudos (*Berger [1955]*).

La falta de potasio origina mazorcas con las puntas sin granos y muy pajosas, que maduran más o menos tardíamente en función de la gravedad de dicha falta.

### 3.5 Nutrientes secundarios (Mg, S, Ca)

#### a) Magnesio (Mg)

Las necesidades de magnesio del maíz son similares a las de calcio o fósforo, pero el grano es netamente más rico en el primero de ellos. La deficiencia en magnesio produce rayas blancuzcas a lo largo de las venas y, con frecuencia, el envés de las hojas inferiores toma una coloración púrpura (*Berger [1955]*) (Fotografía N° 4, página 25). Esta deficiencia puede producirse en suelos arenosos ácidos, incluso si su pH se ha elevado a 6 mediante enmiendas calizas. Naturalmente que este caso sólo se produce cuando dichas enmiendas no contienen magnesio.

#### b) Azufre (S)

Las necesidades en azufre de la planta de maíz son mínimas. *Daigger [1971]* señaló en suelos con 4–4,8 ppm de  $\text{SO}_4^{=}$  (extracción por  $\text{CO}_3\text{HNa}$ ) una mejora en el rendimiento cuando se usaban bajos niveles de nitrógeno y yeso como portador de azufre. El nivel de azufre en la hoja era del 0,24%, pero no existía correlación entre la relación concentración de nitrógeno/concentración de azufre y el rendimiento.

Presumiblemente, los casos de falta de azufre serán más frecuentes en el futuro, dado el empleo de abonos cada vez más concentrados y más pobres en dicho elemento, así como al bajo uso de estiércol, característicos ambos de muchos sistemas modernos de producción agrícola.

La deficiencia en azufre se traduce en un desarrollo más lento de la planta acompañado de una coloración de verde clara a amarilla, en las hojas más jóvenes sobre todo, lo que permite distinguirla de la falta de nitrógeno, ya que ésta se manifiesta en primer lugar en las hojas más viejas. A veces provoca la aparición de una coloración rojiza en las hojas más viejas y en la parte baja del tallo (*Olson y Lucas [1966]*) (Fotografía N° 5, página 25).

---

#### Fotografía N° 1

Síntomas de deficiencia en nitrógeno de las hojas del maíz: Coloración amarillenta extendiéndose desde la punta al nervio central.

#### Fotografía N° 2

Síntomas de deficiencia en fósforo de las hojas del maíz: Coloración púrpura debida a las antocianinas.



Fotografía N° 1 Δ

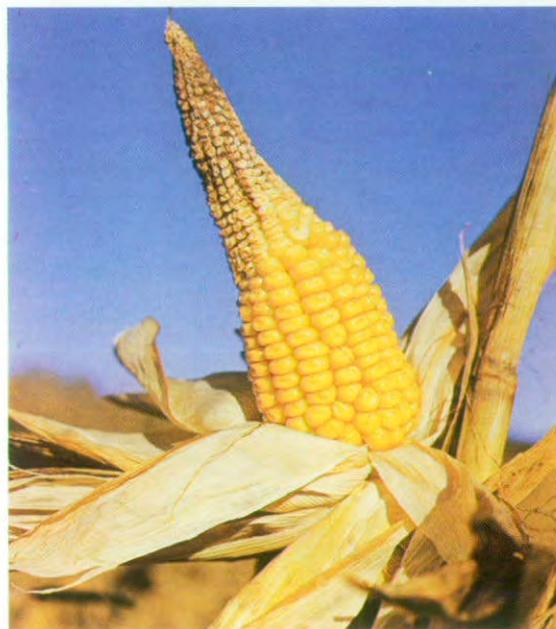
▽ Fotografía N° 2





*Fotografía N° 3*  
Síntomas de deficiencia de potasio  
en el maíz.

- a) Hojas mostrando las típicas necrosis en el borde y decoloración de las hojas que rodean la mazorca.



- b) Mazorca típica de una planta de maíz deficiente en potasio: extremo pequeño, puntiagudo y seco.



*Fotografía N° 4*  
Síntomas de deficiencia en magnesio  
en hojas de maíz: amarilleamiento  
internerval con rebordes.



*Fotografía N° 5*  
Síntomas de deficiencia en azufre  
del maíz: Coloración amarillenta  
típica de las hojas y color púrpura  
de las hojas inferiores y de los tallos.

### c) Calcio (Ca)

El calcio se encuentra en el maíz en las hojas fundamentalmente, siendo el grano especialmente pobre en este elemento. De acuerdo con la literatura existente, las fluctuaciones registradas en la concentración de calcio son muy pequeñas, pudiendo estimarse que está entre 0,015 y 0,025% (CaO) para el grano de maíz (Loué [1965]).

La deficiencia en calcio produce el ennegrecimiento del ápice vegetativo (Olson y Lucas [1966]). No se producen, generalmente, deficiencias en suelos que tengan un pH igual o superior a 6.

Los desórdenes causados por el «complejo de acidez del suelo» sólo muy raramente se pueden atribuir a la falta de calcio como elemento nutritivo, siendo más bien debidos a la insuficiencia o débil asimilabilidad de otros elementos nutritivos indispensables, a una nitrificación defectuosa (ver página 17, intoxicación amónica) o a la toxicidad de elementos tales como el manganeso o el aluminio (ver páginas 29 y 28) cuando están presentes en cantidades excesivas.

## 3.6 Micronutrientes (Zn, Cu, B, Mn, Fe)

### 3.6.1 Deficiencias

#### a) Zinc (Zn)

El zinc es sin duda el micronutriente cuya deficiencia está más extendida en los cultivos de maíz.

En fases muy diferentes del desarrollo de la planta, el primer síntoma de deficiencia es la aparición de zonas decoloradas a ambos lados de la nerviadura, en el tercio inferior de las hojas sub-basales. Estas manchas progresan rápidamente formando dos bandas pálidas, translúcidas, que se extienden hacia la parte terminal de la hoja. En casos graves, estas decoloraciones se manifiestan sobre las hojas siguientes, mientras que las hojas más viejas adquieren un color rojo cobre y en seguida violeta, se necrosan y mueren (Lubet [1965]).

Los factores determinantes de la deficiencia en zinc son (Dartigues [1964]):

- débiles reservas en zinc total o agotamiento de estas reservas por cultivos sucesivos,
- encalado excesivo de suelos originalmente ácidos,
- excesiva nutrición fosfatada,
- monocultivo de maíz, año tras año,
- exceso de humedad y bajas temperaturas en las primeras semanas que siguen la nascencia,
- labores culturales defectuosas que llevan al deterioro de la estructura.

Hay grandes diferencias incluso entre los híbridos comerciales; llega a suceder que cultivando dos híbridos, uno al lado del otro, haya una variedad que presenta síntomas graves de deficiencia mientras que la otra permanece indemne. Para remediar la falta de zinc, *Hoover [1964]* preconiza la aplicación antes de la siembra, de 2 a 20 kg de zinc metal por hectárea – teniendo en cuenta la intensidad de la deficiencia y la naturaleza del suelo – bajo forma de sal de zinc, o un quinto de esta cantidad en el caso de que se utilice un quelato.

#### b) *Cobre (Cu)*

Pocos casos de deficiencia en cobre han sido identificados y éstos, en su gran mayoría, se han producido en suelos orgánicos con pH igual o superior a 6. Los síntomas de esta deficiencia (*Olson y Lucas [1966]*) aparecen en las hojas jóvenes, que son de color amarillo con las venas algo más coloreadas y las puntas enrolladas y necróticas.

El síntoma más típico es el denominado de las «asas de cesta» que se forman al quedarse unida la última hoja que se ha desenrollado con la extremidad de la planta, constituida por las hojas más jóvenes aún no desenrolladas.

#### c) *Boro (B)*

La extracción de boro que realiza una cosecha de maíz es sumamente pequeña, como hemos visto en el primer apartado de este capítulo. *Smilde [1969]* ha demostrado tanto en cultivo hidropónico, como en macetas y a pleno campo, que el mal desarrollo de la mazorca así como la mala colocación de los granos en ella, daños que se producen en veranos secos sobre suelos arenosos, son debidos fundamentalmente a la deficiencia en boro. El mismo autor recomienda aplicaciones de bórax cuando hay menos de 0,30 ppm de boro en el suelo.

#### d) *Manganeso (Mn)*

Las necesidades en manganeso del maíz son muy débiles, no observándose la deficiencia más que muy raramente y además en zonas maiceras de extensión muy limitada. Se pueden presentar faltas de este elemento en ciertos tipos de suelos turbosos o con un elevado contenido de materia orgánica, con pH alcalino. La deficiencia se manifiesta por la aparición de largas líneas estrechas cloróticas tanto sobre las hojas superiores como sobre las inferiores (*Olson y Lucas [1966]*) que además, presentan un color verde ligeramente más claro que las hojas de plantas sanas. Seguidamente, el tejido del centro de las áreas cloróticas se necrosa y cae.

La deficiencia en manganeso proviene bastante a menudo de un abuso de enmiendas calizas.

El manganeso se aplica por vía foliar, realizándose una pulverización de sulfato de manganeso (1 kg/ha) en solución – tan pronto como se observen los primeros síntomas y una segunda vez cuando las plantas alcanzan la altura de la rodilla.

#### e) Hierro (Fe)

Parece no haber sido encontrada en el campo deficiencia alguna en este micro-nutriente. Sin embargo *Olson [1966]* describía esta deficiencia en el maíz, que se caracteriza por la clorosis internervial de las hojas.

El cultivo de plantas de maíz en una solución de Steinberg modificada mostró que si el hierro se suministraba en las formas EDTA, DTPA ó EDDHA se producía clorosis, pero no era visible este síntoma si se utilizaba la forma HEDTA (*Brown y Beil [1969]*).

### 3.6.2 Exceso y toxicidad de los microelementos nutritivos

#### a) Aluminio

A pesar de ser uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre, la mayoría de los vegetales contienen sólo muy pequeñas cantidades de este metal. En los suelos ácidos fuertemente lavados se encuentra en abundancia aluminio intercambiable que manifiesta un efecto tóxico para las plantas.

*Ahmad [1960]* ha estudiado la influencia del aluminio sobre el crecimiento del maíz en los suelos tropicales turbosos de *Guayana*. En estos suelos fuertemente ácidos (pH entre 3,5 y 4,5) el aluminio era responsable de un fracaso casi total del cultivo. Los síntomas de toxicidad del aluminio son decoloración de las raíces, necrosis de las extremidades radicales y enraizamiento de tipo coraloide. Al mismo tiempo, se observan signos de deficiencia en fósforo en el follaje.

*Juste y colaboradores [1968]* organizaron un ensayo en Chalosse (Sudoeste de Francia) cuyo objetivo era la mejora del cultivo de maíz en un suelo arcillo-limoso fuertemente ácido, muy rico en materia orgánica y con un elevado contenido en aluminio intercambiable. Ellos demostraron el interés del encalado. El cuadro 5 da los resultados más señalados de sus investigaciones cinco años después del comienzo de la aplicación de los diversos tratamientos.

El pH al agua inicial del suelo en 1963 era de 4,8 y su contenido en Al 356 mg/kg. Puede verse que, bajo la influencia del cultivo sin realizarse el encalado, el suelo se ha acidificado y su contenido en Al ha aumentado. Por el contrario, la enmienda caliza ha hecho disminuir el Al intercambiable al mismo tiempo que aumentaba el pH originando aumentos substanciales del rendimiento.

Cuadro 5

	Tratamientos				
	Testigo sin CaO	2800 kg de CaO en 5 años	4000 kg de CaO en 5 años	4000 kg de CaO en los 3 pri- meros años	4000 kg de CaO en el primer año
pH (en agua)	4,1	4,7	5,0	5,2	4,9
(en CIKN)	3,8	4,0	4,1	4,2	4,1
Ca intercambiable, mg/kg	130	405	656	707	634
Al intercambiable, mg/kg	427	217	122	96	130
Media de rendimientos en 1966-1967 en q/ha	8,5	54,1	54,1	60,9	61,4

Para el tipo de suelo en el que se ha efectuado el ensayo, el Al interfiere en el desarrollo y el rendimiento del maíz para valores superiores a 60mg/kg. Cuando el pH en CIKN sube a 4,8 o más, se produce la precipitación de hidratos de aluminio y, por consiguiente, desaparecen los problemas de toxicidad de este elemento (*Juste [1970]*).

#### b) Manganeso

Es un elemento muy tóxico en los suelos ácidos con mal drenaje, sobre todo a pH igual o inferior a 5.

Se puede remediar esta situación mejorando el drenaje y empleando enmiendas calizas.

#### c) Cobre

Se pueden dar casos de toxicidad en la vecindad de minas de mineral de cobre. Sin embargo, con mayor frecuencia se produce en suelos dedicados anteriormente al cultivo de la vid a la que se ha aplicado durante décadas grandes cantidades de azufre y caldo bordelés. En estos terrenos, caracterizados por una gran acidez y un contenido elevado en cobre, la toxicidad se manifiesta de modo constante para valores de 100 mg de Cu intercambiable en suelos con pH 6 y si el pH es 5 para contenidos de Cu de 50 mg/kg (*Drouineau y Mazoyer [1962]*). El empleo de enmiendas calizas en cantidad suficiente, así como el de fuertes cantidades de estiércol, permite recuperar tales terrenos.

#### d) Boro

*Fox [1970]* ha encontrado que a partir de 55 ppm de boro en el suelo (extracción por agua caliente) este elemento es tóxico, lo que se manifiesta en una reducción de los rendimientos.

Dado que los compuestos de B son lavados fácilmente, esta toxicidad se puede encontrar solamente en zonas climáticas muy áridas.

#### e) Zinc

El maíz es susceptible al envenenamiento por zinc, aunque para que se produzca esta toxicidad se necesitan sobre las 400 ppm de Zn en la planta, para las variedades altamente sensibles (*Boawn y Rasmussen [1971]*).

### 3.7 Interacciones de los elementos nutritivos

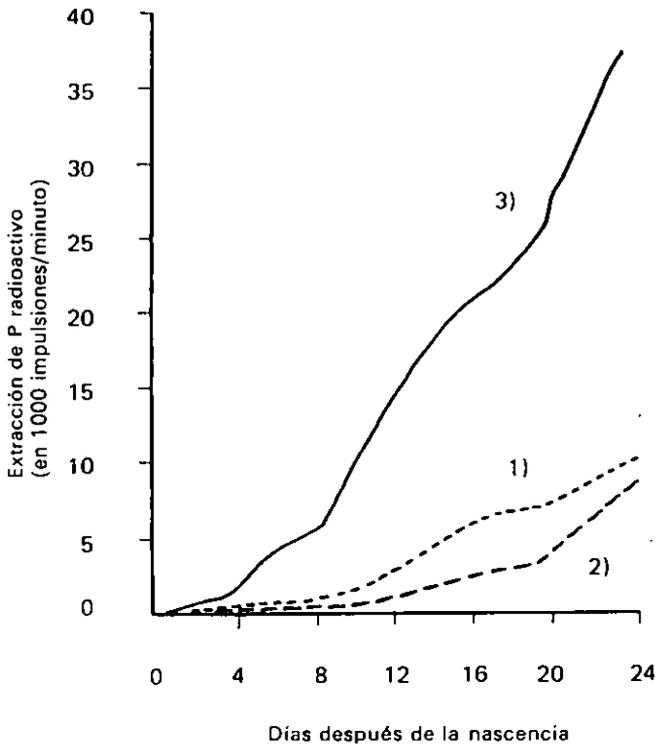
#### a) Interacción entre nitrógeno y fósforo

Gran número de investigadores han señalado la influencia positiva que ejerce el abonado con nitrógeno en forma amoniacal sobre la asimilación del fósforo. Esta influencia se manifiesta por la elevación del contenido en fósforo cuando la planta es joven, y se produce casi exclusivamente cuando se localizan en bandas conjuntamente N y P.

La importancia de este hecho es obvia si pensamos en la dificultad de la joven planta para extraer el fósforo del suelo, debido a su muy escaso sistema radicular.

La explicación de este efecto del nitrógeno se ha buscado en los últimos tiempos a través de la influencia de N sobre los procesos fisiológicos. *Thien y McFee [1970]* señalan que la elevada concentración de nitrógeno en las bandas precondiciona a las raíces para incrementar la absorción y translocación del fósforo que se halla concentrado en la porción del suelo en contacto con las bandas. Las diferencias observadas entre las formas amoniacal y nítrica a favor de la primera, son debidas, según los investigadores citados, a que la forma amoniacal, por no ser lavada tan fácilmente como la nítrica, puede mantener un grado de concentración de nitrógeno más elevado (Figura 6).

Por su parte *Ohlrogge [1962]*, utilizando un fosfato radioactivo, ha puesto en evidencia el mismo fenómeno, pero explica la mayor eficacia del nitrógeno amoniacal por una presión osmótica menos elevada en la banda de localización en el caso del sulfato amónico y por la evolución del fosfato monocálcico en fosfato bicálcico, menos soluble, al entrar en contacto con el nitrato de cal.



- 1) Fosfato monocálcico radioactivo solo (localizado)
- 2) Fosfato monocálcico+nitrato de cal
- 3) Fosfato monocálcico+sulfato de amoniaco

Fig. 6. Efecto de la forma del nitrógeno sobre la asimilación del fósforo por el maíz.

#### b) Interacción entre nitrógeno y potasio

Muchos autores han señalado que la interacción N y K se refleja netamente en los rendimientos. En la figura 7 tenemos los resultados de un ensayo realizado en Francia durante 1970.

La interacción es muy neta como puede verse por el aumento de la separación entre las curvas de rendimiento N 160 y N 80 a medida que las dosis de potasa son más elevadas. Igualmente puede notarse esta interacción en la mejora de la respuesta a las dosis de potasa cuando se usa la dosis más elevada de nitrógeno.

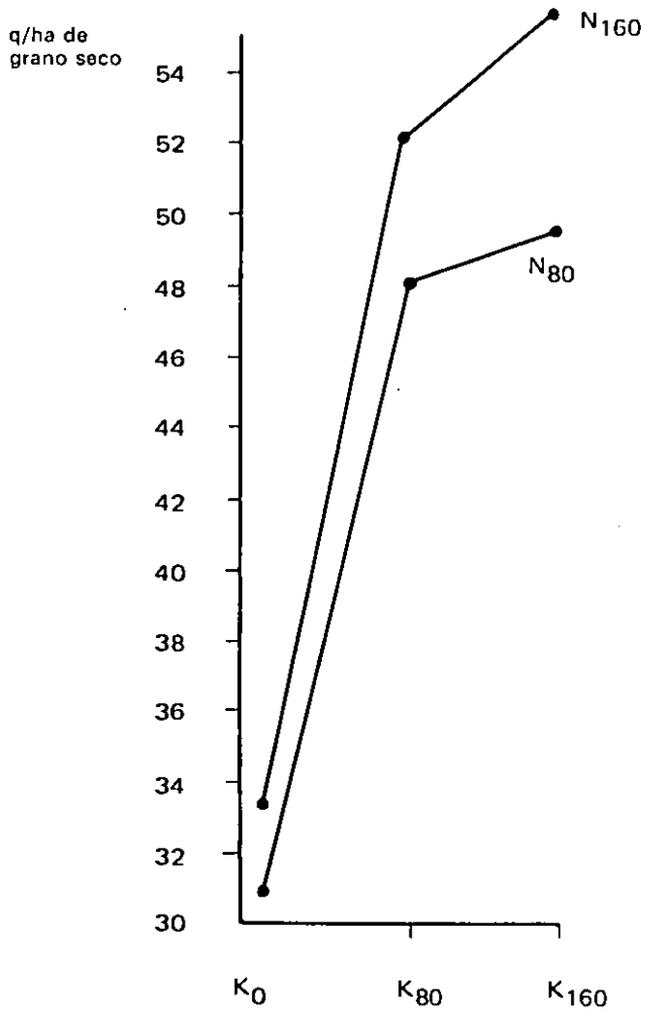


Fig. 7. Efecto de la interacción N-K sobre el rendimiento de maíz.

**Cuadro 6**

Efecto del abonado potásico sobre el rendimiento (q/ha) de maíz Wisconsin 240, abonado con diferentes dosis de nitrógeno, en Alsacia, Francia (de 1954/55 a 1960/61)

	Tratamientos											
	K <sub>0</sub>				K <sub>1</sub>				K <sub>2</sub>			
	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	Media de N	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	Media de N	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	Media de N
Media de los 4 primeros años*	41,6	41,6	41,7	41,62	46,2	45,7	47,0	46,25	47,0	48,2	47,9	47,34
Media de los 3 años siguientes**	46,1	47,8	46,9	46,78	47,9	50,1	51,8	48,94	48,2	52,1	54,8	51,66
Media general (7 años)	43,5	44,3	43,7	43,83	46,9	47,6	49,0	47,83	47,5	49,8	50,8	49,37

\* Cultivado en rotación tras trigo que había recibido 40, 70-80 y 100-110 kg/ha de N, 120 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> así como 80 y 160 kg/ha de K<sub>2</sub>O. Cantidades aplicadas al maíz: N<sub>1</sub>=35, N<sub>2</sub>=70 y N<sub>3</sub>=105 kg N/ha/año; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=100 kg/ha/año; K<sub>1</sub>=105, K<sub>2</sub>=210 kg/ha/año de K<sub>2</sub>O.

\*\* Cultivado en rotación tras remolacha azucarera que había recibido 50, 100 y 150 kg/ha de N, 100 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, así como 100 y 200 kg/ha de K<sub>2</sub>O. Cantidades aplicadas al maíz: N<sub>1</sub>=25, N<sub>2</sub>=50 y N<sub>3</sub>=75 kg N/ha; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=100 kg/ha; K<sub>1</sub>=75 y K<sub>2</sub>=150 kg/ha de K<sub>2</sub>O.

El análisis del cuadro 6, en el que se dan los resultados de un ensayo sobre la interacción N-K, permite las siguientes conclusiones:

*En las parcelas sin abonado potásico ( $K_0$ )*

a) El rendimiento del maíz aumentó más de 500 kg/ha cuando se cultivó tras remolacha azucarera en comparación con el rendimiento obtenido tras trigo (media del efecto de 3 dosis diferentes de N: 4678 kg en relación con 4162 kg).

b) El empleo de dosis mayores que  $N_1$  no dió resultado alguno. Por el contrario las dosis más elevadas (105 y 75 kg/ha) parecen originar un efecto depresivo.

*Durante los 4 primeros años de cultivo*, los rendimientos del maíz abonado con nitrógeno y potasa aumentaron alrededor de 500 kg.

a) Aunque el rendimiento obtenido (como media) con diferentes dosis de nitrógeno en el maíz cultivado después de trigo, fué un poco superior en las parcelas  $K_2$  (210 kg/ha de  $K_2O$ ), los diferentes abonados nitrogenados no dieron aumento alguno, mostrando una tendencia depresiva idéntica a la señalada en las parcelas  $K_0$ .

La eficacia del potasio en el aumento de la eficacia de dosis crecientes de nitrógeno no se vé claramente más que en los rendimientos obtenidos con maíz cultivado tras remolacha azucarera al término de los tres años siguientes. La diferencia entre  $N_1$  y  $N_3$  pasa de 390 kg con  $K_1$  a 660 con  $K_2$  (en la media general de los siete años de ensayo, estas diferencias son bastante más pequeñas: 210 y 330 kg, respectivamente). A pesar del hecho de que el maíz fué plantado cada año en parcelas diferentes (suelos diferentes) se podría argumentar que sólo los ensayos de larga duración dan informaciones dignas de crédito, dado que estos suelos han recibido igualmente año tras año (aunque para otros cultivos) dosis más o menos elevadas de potasa.

*c) Interacción entre fósforo y zinc*

Se ha verificado múltiples veces (*Ward y otros [1963]*) que la aplicación de fósforo, especialmente si se le localiza en bandas en la siembra, deprime fuertemente la nutrición en zinc de la planta. En los suelos con un nivel medio o elevado de riqueza en fósforo, donde la alimentación en zinc es ya débil en ausencia de abonado fosfatado y, sobre todo, en condiciones de suelo frío, con exceso de humedad, esta localización puede producir una deficiencia en zinc con las consiguientes pérdidas de rendimiento. Se ha observado igualmente que el porcentaje de saturación en potasio de las arcillas actuaba de manera favorable, sobre esta interacción: cuanto más elevada era la saturación en potasio, menos reducía el abonado fosfatado la alimentación en zinc.

d) Relaciones entre potasio, calcio y magnesio

Loué [1964] investigó cómo variaban las concentraciones de calcio y magnesio (ver Figura 8) en las hojas del maíz al mismo tiempo que relacionaba los contenidos en potasio con los rendimientos en grano (ver Figura 2). En la zona en que los síntomas de aguda deficiencia potásica son muy visibles (contenido de 0,7% de K en la hoja), el antagonismo potasio-magnesio es muy marcado.

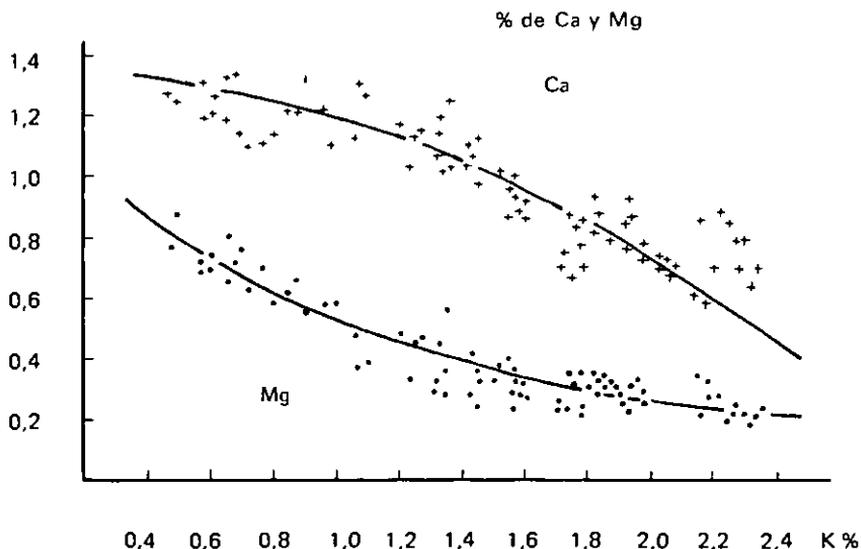


Fig.8. Evolución de los porcentajes de Ca y Mg en relación con los de K.

Con el calcio sucede al contrario, pues sólo cuando el potasio está próximo a su nivel crítico existe un fuerte antagonismo potasio-calcio.

El citado autor señala, por otra parte, que la suma de los contenidos en K, Ca y Mg varía relativamente poco. Suponiendo su constancia, le da valor 100 a esta suma y estudia, en función de los porcentajes que cada uno representa, el equilibrio K/Ca/Mg. Como puede verse en el diagrama triangular correspondiente (Figura 9) Loué distingue cinco zonas. En la zona A-B el porcentaje de calcio casi no varía y el antagonismo potasio-magnesio es muy fuerte. En la segunda zona B-C, aparece un ligero antagonismo potasio-calcio, disminuyendo el del potasio y el magnesio. En la zona C-D el antagonismo entre potasio y

calcio es mucho más marcado, mientras que el existente entre potasio y magnesio es casi inexistente. En las dos secciones restantes el porcentaje de magnesio permanece casi constante, mientras que cualquier aumento en el contenido de potasio produce una gran disminución en el contenido de calcio.

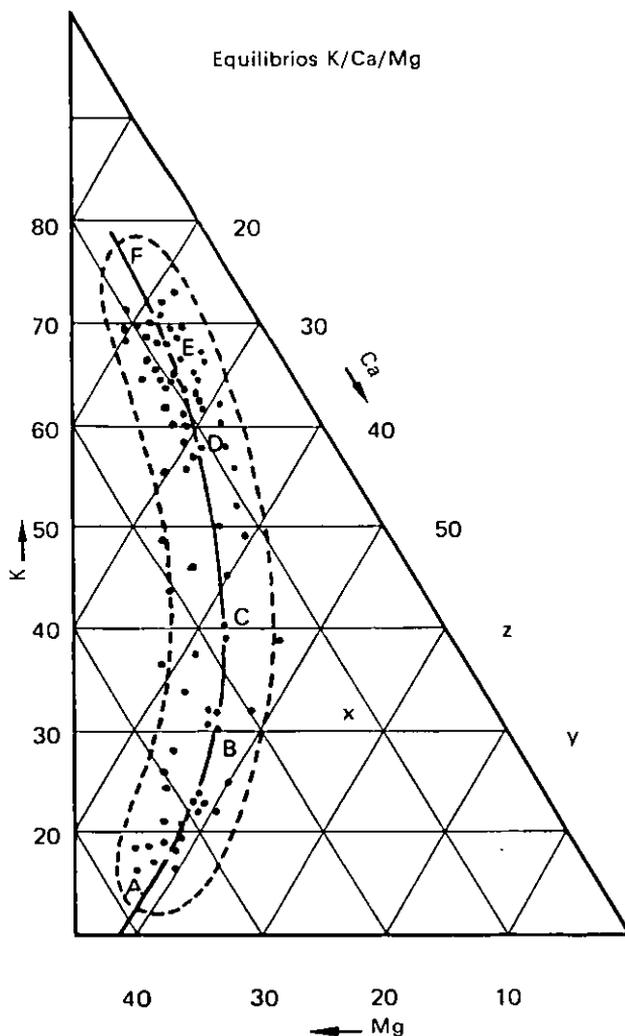


Fig.9. Equilibrio de K/Ca/Mg en la hoja de la mazorca.

## 4. Eficacia de la fertilización mineral

El término «eficacia» aplicado a los fertilizantes aparece desde el momento que el fertilizante añadido al suelo no es íntegramente utilizado por la primera cosecha obtenida después de su aplicación. A través de los apartados de este capítulo iremos viendo la influencia que las diferentes labores culturales tienen sobre la eficacia de la fertilización mineral.

### 4.1 Influencia de las labores de preparación de la siembra

El coste de las labores de preparación de la siembra constituye un capítulo importante de los gastos de cultivo del maíz. Es por ello lógico que se hayan buscado sistemas que, sin olvidar los objetivos de la preparación del suelo, disminuyesen el coste de la operación. Esta búsqueda ha llevado a la utilización de un gran número de sistemas de cultivo, cada uno de los cuales es aconsejable en unas condiciones dadas de suelo y clima. La elección está basada en la gran influencia que tienen las labores sobre la humedad, temperatura, aireación y actividad biológica de los microorganismos del suelo. Naturalmente que al modificarse las condiciones citadas del suelo se influye al mismo tiempo sobre la absorción de elementos nutritivos. Por tanto, las labores de preparación de la siembra constituyen un elemento más a tener en cuenta en lo que respecta a cantidad y colocación del fertilizante.

Existen un gran número de sistemas de preparación del suelo para la siembra de maíz, lo que nos obliga a encuadrarlos bajo unos grandes grupos genéricos: sistemas de no-labranza; sistemas de labranza con y sin acolchamiento.

#### a) *La no-labranza*

Es este un sistema en que no se prepara el suelo en absoluto, realizándose la siembra mediante plantadores y eliminándose las malas hierbas con un herbicida. Se evitan, por tanto, gran número de gastos y de aquí su interés, especialmente en suelos no pesados y en zonas donde las constantes lluvias dejan poco tiempo para realizar las labores.

Las comparaciones realizadas entre no-labranza y otros sistemas de labranza dan, en muchos casos, resultados favorables al primer sistema o similares en ambos. *Moschler y otros [1972]*, por ejemplo, en un ensayo de larga duración

realizado sobre suelos franco limosos y franco arcillosos llegan a los siguientes resultados al comparar la labranza con la no-labranza:

- Rendimientos en grano y forraje iguales o superiores, bajo la no-labranza.
- Concentraciones foliares similares de N, P, K y Ca.
- Porcentajes de P, K, materia orgánica y N-total en la capa de 0-15 cm, superiores en el sistema de no-labranza, pero inferiores en la capa de suelo de 15-30 cm.

Concluyen, por tanto, que hay un mejor uso del fertilizante en el sistema de no-labranza. *Triplett y Van Doren [1969]* llegaron a resultados similares, puntualizando que aunque P y K tendieron a acumularse cerca de la superficie, el último se movió hasta una profundidad superior al primero.

#### *b) Labranza con y sin acolchamiento*

La absorción del nitrógeno y del potasio por la planta de maíz es la más afectada por las prácticas de labranza y siembra, aunque bajo determinadas condiciones, también puede ser influida la absorción del fósforo y de los elementos menores (*Parker y Larson [1972]*). Así, se han notado diferencias en los contenidos de nitrógeno y potasio debidas a las prácticas de labranza seguidas. Estas diferencias han sido mayores al principio de la temporada, como podía esperarse, ya que el efecto sobre el suelo de las diferentes prácticas, es mayor en esa época.

Según los autores citados más arriba, la absorción de nitrógeno es menor cuando se acolcha el suelo. Esto parece ser debido, fundamentalmente, a la lentitud de descomposición de los residuos cuando se dejan en la superficie del terreno y a la menor temperatura del suelo bajo acolchamiento. Este efecto es aún mayor en las temporadas húmedas, ya que el acolchamiento mantiene grandes cantidades de agua durante bastante tiempo con lo que, al crearse condiciones de anaerobiosis, se disminuye el ritmo de nitrificación, así como se favorece la actividad de microorganismos desnitrificantes. Idénticos resultados pueden darse cuando el maíz se siembra en surcos profundos, especialmente en terrenos pesados y fríos.

Sin embargo en climas áridos y suelos ligeros, que se calientan rápidamente, la técnica del acolchamiento puede dar buenos resultados.

La absorción del potasio parece que está influida por la inversión de la capa superficial del suelo. En aquellos sistemas de labranza en que el suelo se invierte puede liberarse, por desecación, algo del potasio fijado. Al mismo tiempo el enterrado de los residuos coloca en situación más accesible a la planta el potasio que dichos residuos contienen.

En cuanto al empleo de unos aperos u otros, *Siemens y otros [1971]* han ensayado cinco sistemas diferentes de labranza durante varios años. No hubo prácticamente diferencias significativas entre los rendimientos del maíz cultivado según los distintos sistemas, aunque la media era ligeramente favorable al sistema que incluía el uso del arado de vertedera.

En cuanto a la distribución de los nutrientes en el suelo es más uniforme cuando se emplea el citado apero, pero es mucho menor la concentración de fósforo y potasio en los primeros diez centímetros de suelo, como puede verse en las figuras 10 y 11.

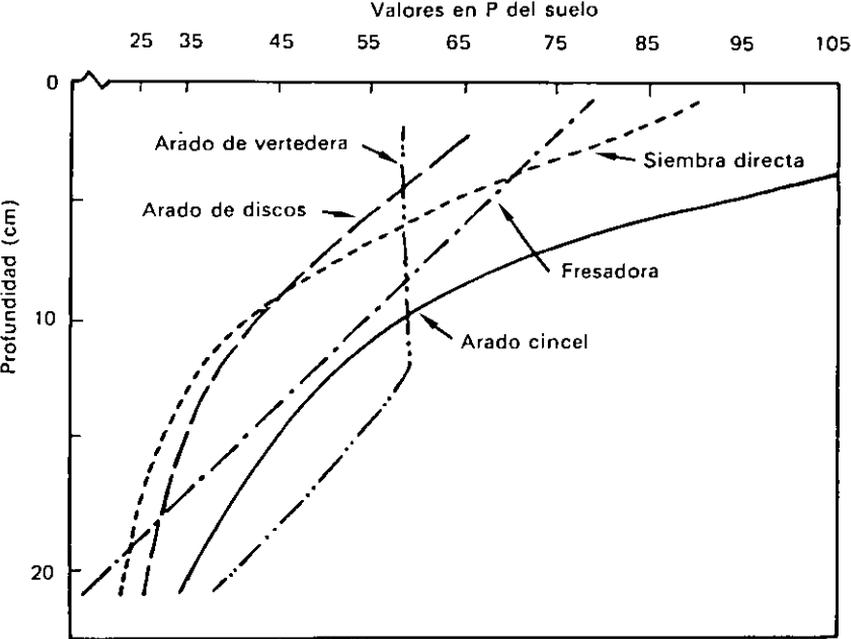


Fig. 10. Influencia de los diversos sistemas de trabajo del suelo sobre el contenido en P de la capa arable.

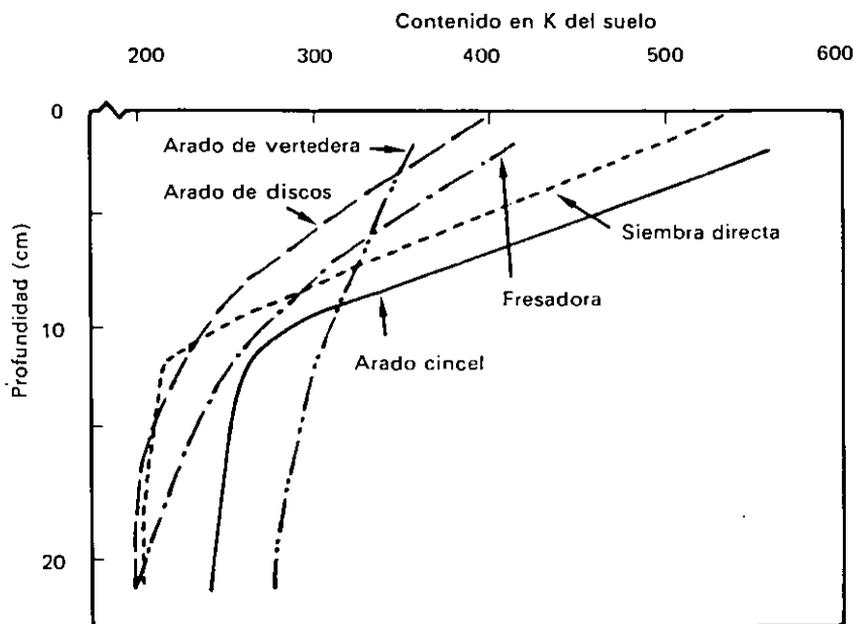


Fig. 11. Influencia de los diversos sistemas de trabajo del suelo sobre el contenido en K de la capa arable.

#### 4.2 Eficacia de los fertilizantes en función del momento de aplicación

La eficacia del abonado depende íntimamente del momento en que éste se realiza. La efectividad del fertilizante que se aplica en una fecha dada depende, fundamentalmente, de las características de suelo y clima, del modo de aplicación y de la forma en que el elemento nutritivo es aplicado.

##### a) Abonado nitrogenado

Puede realizarse durante una amplia época que comienza en el otoño anterior a la siembra y termina en la postsiembra, cuando la planta ya está crecida. Las aplicaciones de otoño sólo podrán ser eficaces donde el suelo permanece frío, mejor incluso congelado, durante todo el invierno siempre que las lluvias sean insuficientes para producir pérdidas significativas por lixiviación. Se empleará nitrógeno amoniacal, que no deberá aplicarse hasta que la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad no sea inferior a 10°C. No se realizarán las aplicaciones en este período citado si el terreno es arenoso o si, por el contrario, se encharca, ya que se pierde nitrógeno por lixiviación y por volatilización respectivamente.

Por tanto, en las zonas en que la pluviometría es elevada en el período invernal o bien el suelo no permanece excesivamente frío, así como en suelos arenosos o con mal drenaje, la fertilización nitrogenada se habrá de realizar forzosa-mente a partir de unas pocas semanas antes de la siembra.

Se han mostrado igualmente eficaces las aplicaciones en la postsiembra. A este respecto los ensayos realizados por *P. E. Dung y otros [1972]* sobre las variedades Wisconsin 273 y 433 muestran que la efectividad del abonado nitrogenado de la postsiembra es máxima si se realiza durante las semanas que van de la quinta a la octava después de la plantación. En el ensayo referido, que duró dos años, la urea y el nitrato amónico dieron resultados similares, mostrándose superiores al nitrato potásico sobre los terrenos arenosos irrigados en que se llevó a cabo.

#### *b) Abonado fosfopotásico*

*Boswell [1971]* estudió durante tres años y en dos localidades diferentes la influencia de la época de aplicación del abonado fosfopotásico sobre el rendimiento del maíz. Para ello distribuyó en superficie y seguidamente enterró el fertilizante fosfopotásico en tres estaciones diferentes: otoño, invierno y primavera.

Sólo en el suelo más arenoso y en uno de los años obtuvo diferencias significativas entre las diferentes épocas de aplicación. Estas diferencias se mostraron igualmente al calcular la media de los tres años de ensayos.

Epoca del tratamiento	Rendimiento, kg/ha			Media
	1967	1968	1969	
Otoño	6078	6416	3600	5365
Invierno	6448	6579	4365	5797
Primavera	6190	6347	4259	5599
Nivel de significación	n.s.	n.s.	0,05	0,05

Como se vé en el cuadro, los rendimientos en 1969 fueron claramente superiores si se aplicaba el fósforo y el potasio en invierno o primavera. Según el autor, la producción ese año estuvo influida grandemente por la distribución de las lluvias, como se demostró mediante los análisis del suelo, que señalaron una pérdida de potasio junto con el agua de lluvia. El autor indica, por tanto, la importancia de la textura cuando se decide el momento óptimo del abonado, debido a la influencia que dicha propiedad del suelo tiene en los movimientos del potasio a través del perfil.

### *c) Abonado fraccionado*

Se denomina así a la práctica de aplicar el fertilizante en diferentes etapas del período de cultivo. Este tipo de abonado es bastante común en el caso de los abonos nitrogenados en forma nítrica, que son absorbidos rápidamente por la planta, pero que, por otra parte, son fácilmente eliminados por lavado.

*Shukla y Wassay [1970]* señalan que en suelo franco arenoso la aplicación fraccionada en tres partes iguales de sulfato amónico en el momento de la siembra, cuando la planta alcanzaba la altura de la rodilla y en el momento de la aparición de las panículas aumentó incluso el contenido de proteína. Sin embargo, en muchos casos no se ha obtenido un aumento de producción con la aplicación escalonada. En ensayos realizados en Francia (*S.C.P.A. [1970]*) la utilización de abono nitrogenado líquido aplicado en cobertura ha dado resultados dispares respecto a la misma cantidad de nitrógeno aplicado en la sementera. Parece claro que la aplicación de nitrógeno en forma fraccionada no es rentable en suelos pesados, aunque sí lo es en el caso de suelos ligeros o cuando el régimen de humedad del suelo, debido a la pluviometría o a la irrigación, es bastante elevado.

En la actualidad en Nebraska (*Dennis [1971]*), muchos agricultores están fraccionando la aplicación de potasa al maíz, incluso en suelos de textura media, a fin de balancear el abonado nitrogenado de cobertera. Esta práctica parece ser útil, en el caso de que el nitrógeno se aplique en forma amónica, para elevar el nivel de potasio durante las semanas octava y novena después de la emergencia, que son críticas de cara al rendimiento, especialmente si durante ellas no hay aprovisionamiento adecuado de humedad.

### **4.3 Relaciones entre eficacia y modo de aplicación de los fertilizantes**

El modo de aplicación influye grandemente en la cantidad de nutrientes que se pone a disposición de la planta, y por tanto en la eficacia del abonado.

La elección del modo de aplicación depende de un gran número de factores de los que fundamentalmente distinguiremos uno: la cantidad de nutrientes requerida.

La idea de incrementar la eficacia del fertilizante aplicado ha llevado a la localización de los abonos en posiciones cercanas al sistema radicular a fin de disminuir la fijación de nutrientes por el suelo y, además, aumentar el porcentaje que de ellos interceptan las raíces. Sin embargo, la proximidad del fertilizante aumenta la fitotoxicidad, efecto que asimismo se incrementa al emplearse mayores cantidades de abonos. Esta fitotoxicidad se muestra en el retraso de la nascencia, así como en el aumento del porcentaje de marras que en ésta se produce, además de las perturbaciones que se causan en el desarrollo de las raíces. Tres sistemas podemos distinguir en la aplicación de fertilizante al suelo: esparcido a voleo, siendo enterrado seguidamente mediante arado de discos, de vertedera, etc.; localización en una banda lateral; localización junto con la semilla, ya sea mezclado, pelletizado o pulverizado sobre ella.

*T. E. Bates [1971]* comparó los efectos de los tres sistemas sobre los nutrientes principales utilizando como variables el porcentaje de materia seca a los 25–30 días, la fecha en que aparecían las «barbas» y el rendimiento. Los modos de aplicación ensayados sobre suelos francos con 37 ppm de P y 118 ppm de K fueron:

- Esparcido a voleo y enterrado con dos pases de arado de discos.
- Esparcido a voleo y enterrado con arado de vertedera.
- Localización en bandas a 3,8 cm por debajo y al lado de la semilla.
- La mitad del fertilizante por cada uno de los métodos anteriores, y la mitad pulverizado sobre surcos y semilla.

Respecto al abonado nitrogenado, las variables utilizadas no señalaron diferencias significativas entre los diferentes métodos. Con relación a los abonados fosfatado y potásico, fué claramente superior la localización en bandas, pues, para ambos nutrientes, aumentó el porcentaje de materia seca y el rendimiento, y se anticipó la fecha de aparición de las barbas. Normalmente, el esparcido a voleo con posterior enterrado mediante arado de discos se mostró inferior a los otros dos métodos. La pulverización de parte del nutriente eliminó, para cada uno de ellos, las diferencias existentes entre los distintos métodos al mismo tiempo que mejoraba los resultados en cuanto a las tres variables estudiadas se refiere.

Abundando en el tema *Welch y otros [1966]* indican que la eficacia del fertilizante potásico esparcido a voleo es sólo del 33 al 88% de la obtenida si se localiza en bandas. Esta gran variabilidad de la eficacia puede ser debida a la diferente riqueza en  $K_2O$  de las parcelas utilizadas. *Parks y Walker [1969]* obtuvieron los resultados de la figura 12 y, a partir de ellos, señalan que efectivamente el potasio del suelo es el factor que más influye en los resultados del abonado potásico ya sea realizado de un modo u otro. Como puede observarse en la figura 12, las diferencias entre ambos sistemas de aplicación disminuyen al aumentar la riqueza del suelo así como al aumentar la dosis de fertilizante. En este mismo ensayo los resultados muestran que, por otra parte, el suelo se enriquece más rápidamente en potasio cuando el fertilizante se localiza en bandas. *Welch* llega a idénticas conclusiones cuando compara la eficacia del superfosfato colocado en bandas o esparcido a voleo.

Si se localiza junto con la semilla un fertilizante que contenga nitrógeno, fósforo y potasio, la cantidad de  $N + K_2O$  no podrá ser superior a 6 kg/ha en terrenos arenosos y a 9 kg/ha en terrenos arcillosos (*Phillips y Lessman [1972]*). En cuanto al  $P_2O_5$  no debe usarse en cantidad superior a los 11 kg/ha (*Barber [1969]*).

La colocación del fertilizante fosfatado en una banda a 4–5 cm al lado y por debajo de la semilla es el sistema más eficaz cuando la dosis de  $P_2O_5$  se halla entre 11 y 56 kg/ha. En cuanto al potasio, *Lutz y otros [1963]* señalan que no se deben de emplear más de 23 kg/ha si se coloca en bandas; sin embargo, otros autores indican que no se produjeron daños cuando esta cantidad se elevó a 74 kg/ha (*Welch y otros [1966]*).

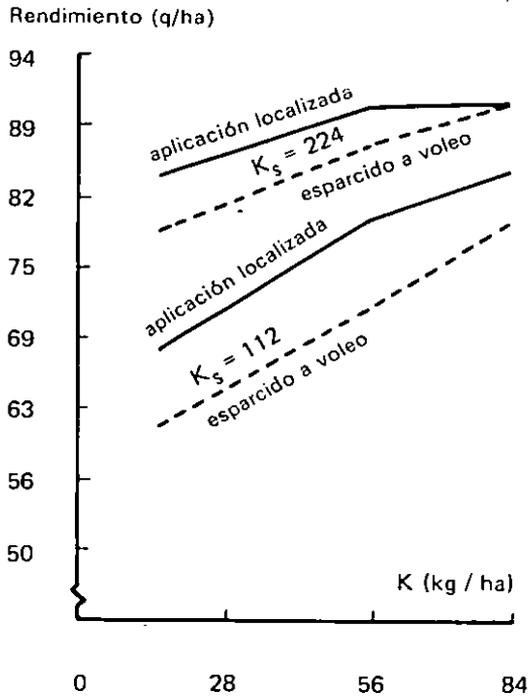


Fig. 12. Efecto de la aplicación en hilera o a voleo del K sobre el rendimiento de maíz a dos niveles de riqueza en K del suelo.

Si los rendimientos obtenidos de maíz llevan al uso, como normalmente sucede, de mayores cantidades de  $P_2O_5$  o  $K_2O$ , la mayor parte debe ser esparcida a voleo y enterrada con arado de vertedera, aunque debe colocarse una parte en una banda lateral a la semilla.

El abonado con algún fertilizante portador de zinc se ha convertido en una práctica rutinaria en muchas zonas. Por otra parte la cantidad necesaria de Zn para corregir deficiencias posibles en el maíz es sumamente pequeña y de ahí el interés en conocer el modo más efectivo de aplicación. La mayor efectividad de los fertilizantes portadores de Zn parece que se consigue cuando se esparce a voleo (Brown y Krantz [1966]), especialmente cuando se usan materiales pulverulentos. Sin embargo, no se han constatado diferencias generalizadas cuando se emplean fertilizantes fritos con Zn y mezclados con triplesuper, ya sean aplicados en bandas o a voleo.

#### 4.4 Fertilizantes y densidad de siembra

El número de semillas de maíz sembradas por hectárea, o densidad de siembra, es sumamente importante a fin de obtener los mayores rendimientos posibles, ya que, en principio, la producción responde linealmente a los aumentos en la densidad. Sin embargo llega un momento en que una elevación en el número de plantas por unidad de superficie no se traduce en una mayor producción de grano sino que, por el contrario, ésta comienza a disminuir. Este hecho es causado por múltiples factores pero fundamentalmente por los siguientes:

- La luz que recibe cada planta, que disminuye al aumentar su número.
- La competencia entre las plantas vecinas por la humedad y los nutrientes que almacena el suelo.
- La variedad de maíz que se siembre, ya que ésta determina la sensibilidad de la planta a la falta de luminosidad, al vuelco y a la rotura del tallo, aunque, como veremos, sobre los dos últimos factores citados influyen asimismo condicionantes diferentes del carácter varietal.

Es obvio que en el primer factor puede influir poco el hombre, si damos por descontado, el que se dé al cultivo la orientación óptima. Por tanto, una vez escogida la variedad, es el suelo quien regula, a través de su capacidad para suministrar agua y nutrientes, el número de plantas que pueden desarrollarse en una superficie dada. Esta capacidad debe ser tal que permita a la planta desarrollar todo su potencial genético.

Las densidades de siembra deben ser proporcionales al desarrollo vegetativo, más o menos relacionado con la duración del ciclo vegetativo, así como al rendimiento potencial por planta de la variedad utilizada.

El cuadro 7 da, a título de ejemplo, las densidades óptimas de siembra determinadas en el sudoeste de Francia para híbridos de diferente ciclo vegetativo, bajo riego, con los rendimientos medios de los años favorables al cultivo (*Blanchet y colaboradores [1973]*).

Cuadro 7

Ciclo vegetativo Índice FAO	Densidad de siembra plantas/ha	Rendimientos medios q/ha	Rendimientos medios g/planta*	Fecha de madurez
100	100 000	70	82	25-28 agosto
200	90 000	83	108	6- 8 septiembre
300	80 000	94	138	18-20 septiembre
400 y 500	75 000	99	155	26-29 septiembre
600	70 000	110	185	6- 7 octubre

\* Calculados para una población en la recolección del 85% de la densidad de siembra.

Aquí sólo nos vamos a ocupar de la competencia que existe entre las plantas vecinas para extraer los nutrientes del suelo. Dicha competitividad se desarrolla según la proximidad de las plantas y por tanto de sus sistemas radiculares (*Bray [1954]*). En principio, las plantas competirán por los nutrientes móviles, o sea, esencialmente los nitratos, pero a medida que la distancia entre las raíces de plantas próximas sea menor y si éstas llegan a solaparse, el campo de lucha se extenderá también a los nutrientes menos móviles.

La literatura científica nos muestra un gran número de resultados de ensayos donde aparece claramente la interacción entre cantidad de nitrógeno aplicada al suelo y densidad de siembra óptima. *Quintanilla y Domínguez [1968]* en ensayos llevados a cabo durante dos años en diversas localidades de España con distintas variedades de maíz, señalaron claramente la interacción citada (Figura 13).

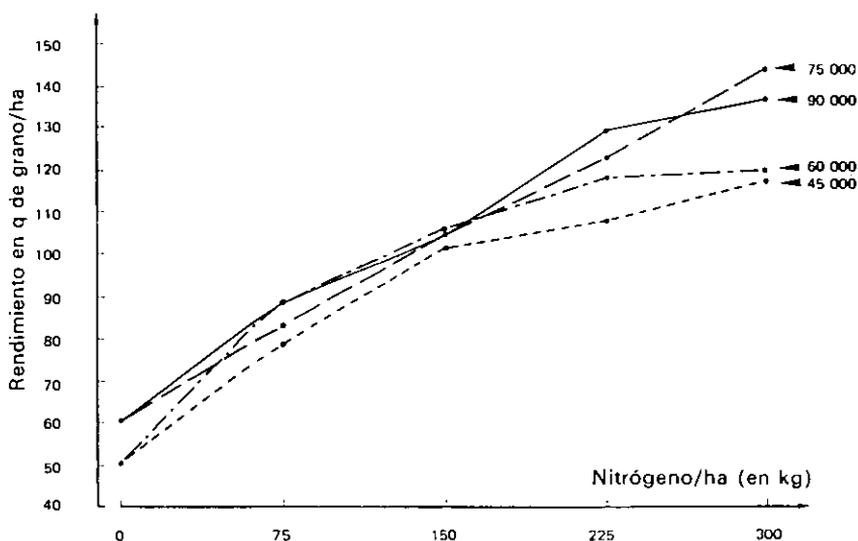


Fig. 13. Rendimientos en q/ha de diferentes densidades de siembra en función del abonado nitrogenado (variedad Dekalb 624, en 1966).

Respecto a la potasa también se señalan resultados positivos en cuanto a su efecto sobre el número de plantas por hectárea, de espigas por hectárea y por tanto sobre el rendimiento. Reseñamos los resultados de un ensayo realizado en Isère (Francia) durante tres años con diversas variedades de maíz.

### Cuadro 8

Efectos del abonado potásico sobre el número de plantas y de mazorcas por hectárea

kg K/ha	Nº de plantas/ha				Nº de mazorcas/ha		
	1967	1968	1969	1970	1967	1968	1969
0	53 490	52 812	82 200	53 645	47 897	9 732	6 648
80	52 211	55 044	84 253	57 707	53 282*	31 600***	39 982**
160	53 371	55 624	86 734	66 561**	55 126**	47 897***	54 167***
240	54 264	58 928*	84 835	67 915**	56 822**	59 285***	73 990***

Como puede observarse, el efecto de la potasa era altamente significativo en dos de los años en cuanto al número de plantas por hectárea, aunque aún era mayor sobre el número de mazorcas por hectárea donde, durante los años de los que se tienen datos, todas las dosis dieron resultados significativos.

#### 4.5 Influencia del régimen de humedad del suelo

Las raíces de las plantas pueden alcanzar los nutrientes por tres caminos diferentes: 1) la raíz al desarrollarse intercepta partículas de elementos nutritivos; 2) los elementos nutritivos son transportados hasta las raíces disueltos en el agua que éstas absorben; 3) los elementos nutritivos alcanzan el sistema radicular por difusión en las películas de agua que rodean las partículas a que dichos elementos nutritivos están asociados.

### Cuadro 9

Importancia relativa de los tres mecanismos fundamentales por los que los macronutrientes alcanzan las raíces de la planta de maíz (*Barber y Olson [1968]*)

Elemento nutritivo	Necesidades para un rendimiento de 9500 kg/ha	Intercepción por la raíz	Transporte en disolución	Difusión
Nitrógeno (N)	187	2	185	0
Fósforo (P)	38	1	2	35
Potasio (K)	192	4	38	150

Hay que señalar que el cuadro de las relaciones entre la humedad del suelo y la nutrición de la planta es, sin embargo, bastante más complejo. La absorción de agua por la planta está regulada por la diferencia que exista entre la presión osmótica interna de las células de los pelos radiculares y la suma de la tensión

superficial y de la presión osmótica del agua del suelo. A medida que se van agotando los recursos hídricos almacenados en el suelo, la planta necesita ir aumentando su presión osmótica celular, cosa que sólo puede conseguir a través de la absorción de elementos nutritivos. Es decir, con suficiente agua pero sin fertilizante la planta no puede desarrollarse y, viceversa, la planta muere si, incluso existiendo una elevada concentración de elementos nutritivos en el suelo, éste permanece constantemente seco. Por tanto, es absolutamente necesario ajustar el abonado a los recursos de agua disponibles a fin de no provocar un desarrollo de las plantas excesivo en relación con la humedad que pueden encontrar en el suelo.

En el momento de suministrar el agua que la planta necesita para su desarrollo normal hay que tener muy en cuenta la textura y la profundidad del suelo, no sólo para decidir el mejor momento para regar, sino también para utilizar solamente la cantidad de agua apropiada. El riego produce un movimiento de los iones tanto en profundidad como en sentido horizontal. El primero de ellos depende de la extensión en que se produzca percolación con el consiguiente lavado y pérdida de elementos nutritivos; el segundo depende del sistema de riego que puede colocar a algunos elementos nutritivos fuera del alcance de las raíces. Ambos hechos son sumamente importantes en el caso del nitrógeno existente en el suelo bajo forma nítrica. *Drouineau [1969]* señalaba que después de una cosecha de maíz cultivado bajo irrigación, los surcos tenían una riqueza de sólo 0,9 mg de N por 100 mg de suelo seco, mientras que los caballones de separación tenían 3,13. *Soubiès y colaboradores [1952]*, por ejemplo, encontraron que, en terrenos limosos, los nitratos podían descender 33 cm por cada 100 mm de agua aplicados.

Estos movimientos no existen prácticamente en el caso del fósforo si éste se aplica como superfosfato, pero pueden tener importancia en el caso del potasio, fundamentalmente en suelos arenosos.

Por otra parte la extracción total de nitrógeno, fósforo y potasio aumenta con el número de riegos. Este aumento se debe, en el caso del nitrógeno y del fósforo, al incremento del rendimiento. En el caso del potasio, sin embargo, la extracción total aumenta no sólo por ser mayor el rendimiento, sino también porque se eleva la concentración de potasio en las hojas (*Mederski y Stackhouse [1961]*). *Shimshi [1969]* comprobó que el rendimiento aumentaba con el número de riegos y con el abonado nitrogenado, existiendo interacción entre ambos. La mayor eficacia del abonado nitrogenado, conseguida al incrementarse la cantidad de agua suministrada, se mostraba en la mejora de la relación entre el nitrógeno aplicado y el extraído por la cosecha.

*Mengel y von Braunschweig [1972]*, han demostrado, en una experiencia de laboratorio con jóvenes plantas de maíz, que la movilidad del potasio queda sumamente restringida a medida que disminuye la humedad del suelo. Esta restricción sólo puede compensarse, en cierto grado, aumentando la concentración de potasio en la solución del suelo mediante un fuerte abonado potásico.

Idénticos resultados han sido obtenidos por *Younts* bajo condiciones de campo como puede verse en el cuadro siguiente.

*Cuadro 10*

Respuesta del maíz al potasio en función de la lluvia caída durante la estación de cultivo

Lluvia en mm	Rendimiento, t/ha		Aumento de rendimiento
	sin K	con K	
202 (seco)	5,65	8,10	2,45
448 (óptimo)	9,30	9,80	0,50
655 (exceso)	5,71	8,73	3,02

Si el suelo recibe agua en exceso, el poder de las raíces para absorber los nutrientes queda muy disminuído a causa de la falta de oxígeno. En el caso del potasio parece obvia, a partir de los resultados del cuadro 10, la necesidad de añadir potasio en estos casos, a pesar de que el suelo parezca contener suficiente cantidad de este elemento.

## **5. Aspectos cualitativos en la producción del maíz**

La fertilización, como se sabe, ayuda a obtener mayores rendimientos. Esta elevación del rendimiento no podría conseguirse si no fuese por la influencia que una nutrición adecuada tiene en la disminución e incluso eliminación de algunos factores limitantes de la producción. Sin embargo, en las condiciones actuales, se va haciendo más importante no disociar el rendimiento y la calidad, pudiendo llegar un día en que sólo sea rentable producir con calidad. En este capítulo se tratará precisamente de la influencia del abonado sobre algunos de estos factores, tanto limitantes como cualitativos.

### **5.1 Efectos de la nutrición mineral sobre la precocidad**

Toda insuficiencia de la nutrición mineral cualquiera que sea el elemento al que concierna, se traduce en un retraso de las fases de desarrollo de la planta y de la madurez (ver páginas 18, 20, 21). Este hecho queda ilustrado por la figura 14 que muestra la influencia del abonado sobre la fecha de floración del maíz en un suelo pobre en nitrógeno y fósforo y medianamente provisto de potasio (*Murdock [1962]*).

Se han utilizado dos tipos de abonado: aportación de dosis crecientes de un elemento nutritivo en presencia de una cantidad fija (160 kg/ha) de los otros dos o aportación de dosis crecientes de un solo elemento en ausencia de los otros dos. En el primer caso se observa una mejora continua de la precocidad, mientras que en el segundo se registra un efecto desfavorable a partir de los 90 kg/ha a causa de un desequilibrio en la nutrición de la planta.

### **5.2 Efectos de los fertilizantes sobre el «vuelco» del maíz**

Se denomina vuelco o volcado del maíz al hecho de que las cañas aparezcan tumbadas. Este hecho lleva consigo una grave disminución del rendimiento, ya que las cañas dobladas no pueden recolectarse mecánicamente y, por otro lado, si los tallos están totalmente tumbados, con las mazorcas en contacto con el suelo, los granos son objeto del ataque de los insectos y de las enfermedades criptogámicas.

Dos son los tipos de vuelco (*Liebhardt y Murdock [1965]*) que han podido observarse sin que existiera evidencia de infección por organismos patógenos

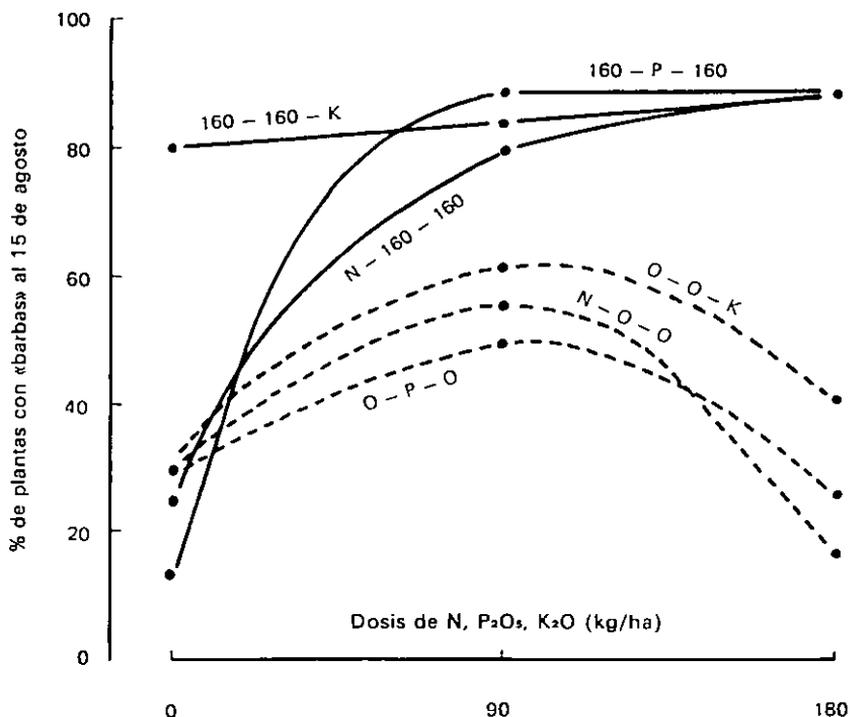


Fig. 14. Influencia de la fertilización sobre la precocidad de la floración (Murdock [1962]).

o ataque de insectos: el debido a la rotura del tallo y el ocasionado por el pequeño desarrollo del sistema radicular con posterior rotura de las raicillas que realizan el anclaje de la planta.

El vuelco causado por el pobre desarrollo de las raíces aéreas se produce fundamentalmente durante el último mes de vida fisiológica. El cuadro 11 da los resultados de los diferentes tratamientos sobre las tres variables medidas por Liebhardt y Murdock. Como puede verse, en las variantes N-O-O y N-P-O sin potasio, los porcentajes de plantas con raíces aéreas eran muy bajos como también el número de raíces por planta, y, por tanto, la superficie de suelo cubierta por ellas.

El análisis microscópico de los tejidos revela que, tanto en las raíces como en el tallo, se produce una desintegración del parénquima. En el caso de las raíces, parece que ésta desintegración se produce normalmente al envejecer la planta, pero el proceso es claramente acelerado por la deficiencia de potasio. En el caso del tallo, la destrucción del parénquima está relacionada, al parecer, con la

*Cuadro 11*

Influencia de los fertilizantes sobre el vuelco y el desarrollo de las raíces aéreas del maíz

Tratamientos, kg/ha			% de vuelco			Nº de plantas con raíces aéreas	Nº de raíces aéreas por planta	Superficie del suelo cubierta por estas raíces, cm <sup>2</sup>
N	P	K	Raíz	Tallo	Total			
0	0	0	1,5	0,5	2,0	53	10,3	5
176	0	0	24,0	14,0	38,0	42	8,3	7
176	0	146	3,0	0,0	3,0	79	10,4	21
176	77	0	50,0	28,0	78,0	42	7,1	10
176	77	146	10,0	1,0	11	85	19,0	46

relación N/K en los tejidos; el valor de la relación citada se mantiene constantemente inferior a la unidad en los tratamientos con menor porcentaje de vuelco.

*Walker y Parks [1969]* demostraron, por otra parte, que el tanto por ciento de plantas volcadas, cuando se abonaba equilibradamente con nitrógeno y fósforo, disminuía al aumentar la riqueza del suelo en potasio y cuando éste se aplicaba en bandas. Las diferencias entre la potasa esparcida a voleo y localizada se anulaban cuando se aumentaba la dosis de potasa (Figura 15).

Estos resultados fueron confirmados también por *Arnold [1974]* en ensayos realizados en Tennessee. Además del efecto de dosis crecientes de K sobre el porcentaje de plantas muertas prematuramente – otro hecho que es causa del vuelco – se ha medido la resistencia de los tallos a la fractura (Cuadro 12).

*Cuadro 12*

Influencia del potasio sobre el envejecimiento y la fractura de los tallos de maíz

Año	Dosis de K (kg/ha)			
	0	56	112	224
	Tallos envejecidos, en %			
1966	91,9	73,6	60,3	57,2
1967	76,0	59,1	50,5	50,4
1968	71,5	60,3	57,9	54,4
Media	79,8	64,3	56,2	54,0
	Resistencia a la fractura, kg			
1966	290	340	351	330*
1967	253	270	432	384
1968	219	337	339	339
Media	254	350	374	351

\* Único caso en el que los coeficientes de regresión no han sido altamente significativos.

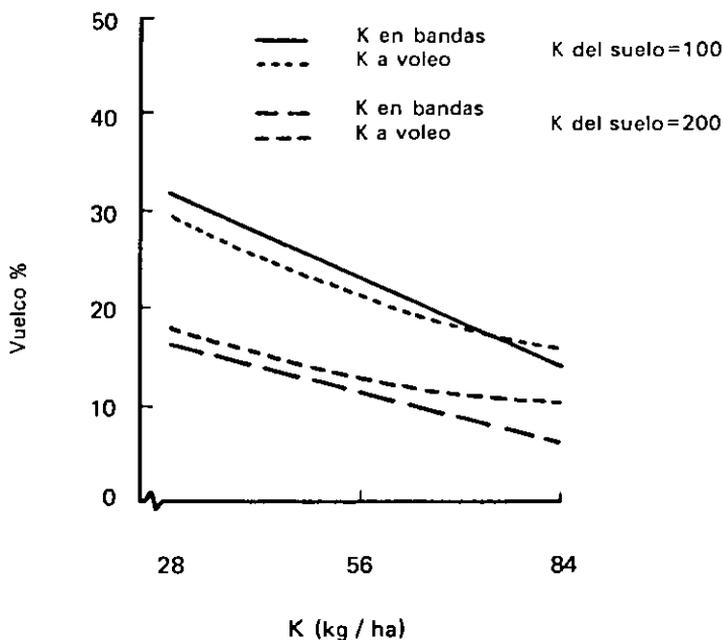


Fig. 15. Efecto del abonado potásico, ya sea esparcido a voleo o localizado en bandas, sobre el vuelco del maíz a dos niveles de riqueza en potasio del suelo.

### 5.3 Resistencia del maíz a las plagas y enfermedades

Es lógico que un determinado hongo o insecto viva o ataque preferencialmente a aquellas plantas que cubran de un modo más completo sus necesidades nutritivas. De ahí procede la importancia que tiene el estado fisiológico en la resistencia de las plantas a las plagas y enfermedades. Un factor que influye marcadamente sobre dicho estado fisiológico es la nutrición a que está sometida la planta. Por tanto, la absorción no equilibrada de nutrientes, cualquiera que sea su causa, puede hacer a la planta más asequible al ataque de una plaga o enfermedad. De hecho *Scott y Guthrie [1966]* consiguieron, por medio de un régimen artificial de nutrición, que variedades de maíz resistentes a *Ostrinia nubilalis* permitieran un desarrollo tan completo de la enfermedad como las variedades susceptibles.

A continuación pasaremos revista a algunas enfermedades y plagas del maíz en las que se ha notado una influencia de los fertilizantes:

a) *Podredumbre*

La podredumbre del tallo puede ser ocasionada por diversos hongos y fundamentalmente por *Gibberella zeae* y *Diplodia zeae*. El ataque de estos hongos causa bastante a menudo la muerte de la planta y, en todo caso, facilita el que las cañas de maíz se doblen y partan por la acción del viento.

Según *Hooker [1966]*, la susceptibilidad de la planta está en relación directamente proporcional a la cantidad de tejido en fase de envejecimiento, considerándose que el envejecimiento comienza con la translocación de azúcares desde el tallo al grano. Por tanto la susceptibilidad de la planta será mayor a medida que se acerca más al estado de madurez. En este sentido, *Hooker, Menew y otros* investigadores señalan que el uso de fertilizantes potásicos ha retardado la aparición de la enfermedad y contribuido a aumentar la resistencia de la planta hasta el final del ciclo de cultivo.

Los resultados de diversos ensayos realizados en U.S.A. señalan que la fertilización potásica disminuye la incidencia de la enfermedad, mientras que el nitrógeno tiende a elevarla ligeramente.

La susceptibilidad aumenta también con la densidad de siembra y en este sentido *Hooker* señala que debe emplearse una dosis de potasa superior en un 10-25% a la cantidad calculada de  $K_2O$  que exportaría la cosecha.

En Alemania, la podredumbre del tallo es provocada principalmente por los hongos *Fusarium culmorum* y *F. moniliforme*. En lo que respecta a esta enfermedad, *Siebold [1975]* dá los resultados siguientes obtenidos mediante ensayos de campo con dos variedades de maíz y en seis emplazamientos diferentes de Baviera (Cuadro 13).

*Cuadro 13*

Incidencia de la podredumbre del tallo (en %) bajo la influencia de dosis crecientes de potasa en suelos pobres en K

Año Emplazamiento Variedad	1973			1974		
	Domtal Brilliant	Eggersham INRA- Korn	Schwaim INRA- Korn	Vilstal Brilliant	Ampertal INRA- Korn	Rottal INRA- Korn
Tratamiento						
NPK <sub>0</sub>	33	44	41	22	16**	34
NPK <sub>300</sub> *	22	20	13	15	21	16
NPK <sub>600</sub>	9	5	7	7	12	8
NPK <sub>900</sub>	9	7	-	4	11	4

\* kg/ha de  $K_2O$  más 100 N (en forma de nitrato amónico cálcico)+ 150  $P_2O_5$  (superfosfato).

\*\* No hubo, por así decirlo, formación de mazorcas.

### b) Carbón

El carbón es producido por el *Ustilago maydis* y por lo general los daños que produce no son muy cuantiosos. Tanto los abonados orgánicos como los minerales aumentaron la incidencia de la enfermedad en un ensayo realizado en Nueva York, aunque, dentro de ello, el potasio disminuyó el porcentaje de infección sin que se notase efectividad alguna del fósforo y del calcio. En cambio el nitrógeno provocó en este ensayo un aumento significativo del ataque. En Alemania después de muchos años de experimentación en la lucha contra el carbón por medio de abonados adecuados, *Schmude [1973]* informa que el fosfato y la cal no ejercieron efecto notable alguno sobre la aparición de esta enfermedad. Será necesario evitar el uso de cantidades excesivas de nitrógeno (tanto bajo forma orgánica como mineral) limitándose a dosis máximas de 160–180 kg/ha. La medida más eficaz para luchar contra el ataque del carbón consiste en la aplicación de fuertes dosis de potasa, a razón de 200–240 kg/ha de  $K_2O$ .

### c) La marchitez, niebla o tizón

Está causada por el hongo *Helminthosporium turcicum* y se caracteriza por la formación de manchas, de color blanco-parduzcas en las hojas. Estas manchas pueden extenderse por la hoja hasta cubrirla casi totalmente con la consiguiente disminución en la actividad fotosintética, y por tanto del rendimiento.

El Dr. *Bogyo [1955]* señala que en ensayos realizados en Sudáfrica con una variedad de maíz bastante resistente al *Helminthosporium turcicum*, había una relación lineal entre la regresión de la frecuencia de la enfermedad y la cantidad de potasio que se añadía como fertilizante. La aplicación de cal, por el contrario, llevó a un aumento en la frecuencia de aparición del tizón. Cuando la planta disponía de cantidades de potasio directamente asimilables, la aplicación de cal no provocó aumento alguno de la frecuencia de la enfermedad, aunque la interacción entre potasio y cal no fué significativa.

### d) Enfermedades bacterianas

Durante 1970, en una parcela de maíz sobre suelo deficiente en potasio en la *Arlington Experiment Station* se observó la aparición de manchas ovales pardo oscuras rodeadas de un halo amarillo. Esta enfermedad que al año siguiente se observó en otros condados del Estado bajo condiciones de sequía, se denominó «chocolate spot» y su causa parece ser la bacteria *Pseudomonas syringae*. El análisis del suelo mostró que la enfermedad no se producía en tierras con más de 225 kg de K por hectárea.

A este respecto *Karlen [1973]* presenta los resultados del cuadro 14.

#### Cuadro 14

Aparición de la enfermedad del «chocolate spot» (expresada por una escala que vá de 0 a 10 en la que el cero representa la no aparición de la enfermedad y el 10 el ataque severo) con relación al nivel de potasio en el suelo.

Dosis de N (kg/ha)	Análisis del contenido en K del suelo (kg/ha)		
	147 (0)*	193 (89)	246 (178)
0	2,2	0,0	0,0
89	2,1	0,1	0,0
178	2,0	0,1	0,0

\* Entre paréntesis: Dosis de  $K_2O$  aplicadas cada año en el transcurso de los siete años anteriores.

También se tienen resultados de una experiencia realizada en Wisconsin sobre la acción del abonado nitropotásico en la resistencia a una enfermedad bacteriana que se producía en condiciones de humedad elevada. En dicho ensayo se llegó a la conclusión de que mientras el aumento en las dosis de nitrógeno producía un incremento casi lineal en la incidencia de la enfermedad, el potasio la hacía descender hasta un nivel constante (Figura 16).

#### 5.4 El abonado y la calidad del maíz

Para hablar de calidad es necesario definir antes los criterios de calidad, criterios que serán diferentes en función de la utilización que se dé al maíz. Es por ello que trataremos separadamente el uso como grano del uso como forraje.

##### 5.4.1 Fertilización y calidad del maíz grano

La producción del maíz grano puede estimarse que, mundialmente, presenta los usos siguientes: alimentación del ganado 78%; alimentación humana 11%; industria alimenticia 4%; almidonería 5%; industrias de fermentación 2%. Cualquiera que sea la utilización que se le dé, existen unos criterios genéricos de calidad, que podríamos llamar clásicos: color, homogeneidad, peso de 1000 granos, pureza varietal, variedad, proporción de granos partidos y humedad. Algunos de estos criterios están tipificados en las normas adoptadas en Bruselas para un maíz sano y comercial.

Porcentaje máximo de:

Humedad	15%
Granos enmohecidos, averiados, etc.	5%
Granos partidos ( $\varnothing$ inferior a 4,5 mm)	2%
Impurezas	1%

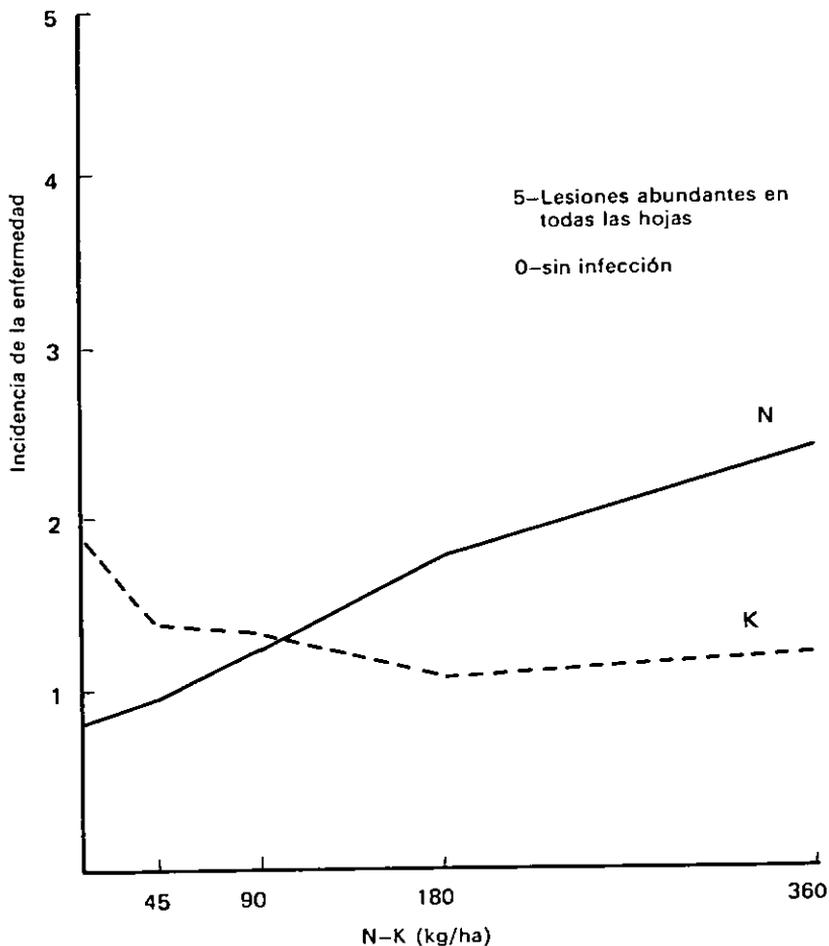


Fig. 16. Efectos de N o K sobre una enfermedad bacteriana de las hojas del maíz.

a) *Criterios de calidad del maíz grano según su uso*

*Para alimentación humana:*

En el caso de la alimentación humana el criterio de calidad podría resumirse en la cantidad y calidad de la proteína del grano de maíz, ya que este grano es un constituyente esencial de la dieta en algunos países. La calidad de la proteína se mide por el porcentaje que posee de aminoácidos esenciales o, dicho de otro modo, de los aminoácidos que no pueden ser elaborados por los animales monogástricos.

En cuanto a la cantidad, el maíz corriente contiene entre 8-10% de proteínas. Estas proteínas están contenidas en un 75/85% en el endospermo y el resto en el germen.

Las proteínas que normalmente encontramos en el maíz son albúminas, globulinas, zeína y glutelinas. Mientras que las albúminas y las globulinas contienen una buena proporción de aminoácidos esenciales, las glutelinas y la zeína tienen una proporción muy baja de dichos aminoácidos.

Las proteínas de buena calidad constituyen del 4/6% del total de proteínas del endospermo y del 30/40% de las proteínas del germen.

Ultimamente los trabajos de los genetistas han conducido la identificación de los genes llamados Opaco-2 y Harinoso-2 que además de producir maíz con un 17% de proteínas elevan el porcentaje de proteínas de buena calidad en el endospermo, como puede verse en el cuadro 15.

*Cuadro 15*

Distribución de la proteína en el endospermo del grano de maíz

	% de la proteína total		
	Maíz normal	Opaco-2	Harinoso-2
Albúminas	3,8	12,1	9,6
Globulinas	2,0	5,1	7,3
Zeína	55,1	22,9	29,0
Glutelinas	31,8	50,1	40,8

Hemos de indicar que estos genes producen maíz de endospermo harinoso y suave lo que implica mayor susceptibilidad a los insectos de los granos almacenados.

*Para almidonerías:*

El criterio de calidad fundamentalmente se centra en la cantidad total de materia seca, que es un indicativo de la cantidad de almidón que el grano contiene. Dicho contenido para granos de maíz dentado libre de humedad fluctúa entre 70/72% y se concentra especialmente en el endospermo.

Los granos de almidón contienen dos tipos de moléculas, la amilosa y la amilopectina, que normalmente constituyen el 27 y el 73% del contenido total en almidón respectivamente. La amilosa se emplea en la fabricación de films, fibras, etc., y por ello se buscan granos con alta cantidad de esta substancia.

En la fabricación de almidón de maíz es necesaria la eliminación de los gérmenes, que, por otra parte, tienen un alto contenido en aceite. Este aceite está siendo muy empleado, toda vez que los médicos recomiendan su uso en la alimentación de algunos enfermos. Por ello, interesa también el conseguir gérmenes que tengan porcentajes elevados de aceite.

*Para la industria alimenticia:*

Solo se emplean variedades particulares y, por tanto, el criterio de calidad

depende del producto fabricado, como los copos de maíz, la sémola, etc. En estos casos la estructura del grano y su sabor son los criterios importantes.

Para la *alimentación animal*:

Para la alimentación de los animales poligástricos es el valor energético del maíz el criterio fundamental. Este valor energético puede medirse en distintas unidades, siendo las más comunes la unidad forrajera y la unidad almidón. Cualquiera que sea la unidad elegida, el valor energético depende de la suma de principios útiles, es decir proteínas, almidón y grasa.

En el caso de los animales monogástricos es además sumamente importante la calidad de las proteínas, ya que estos animales no pueden sintetizar algunos aminoácidos que por tanto, deberán suministrárseles en la ración.

*b) Influencia del abonado en la calidad del maíz grano*

*Peso del hectólitro de grano:*

El peso de un volumen de grano es, en muchos países, una característica importante desde el punto de vista comercial, de tal modo que se definen grados comerciales en función de este peso.

*Munson [1968]* citando a *Barber* da los siguientes resultados de un ensayo de fertilización potásica (Cuadro 16):

*Cuadro 16*

	Parcelas abonadas con		Aumento
	0 kg K <sub>2</sub> O/ha	100 kg K <sub>2</sub> O/ha	en %
Peso del grano en gramos	0,203	0,269	32,5
Número de granos por mazorca	490	626	27,8
Peso de la mazorca completa en gramos	121	198	63,6
Peso del hectólitro en kg/100 litros	69,5	72,8	4,8

*Burkersroda [1965]* encontró que la fertilización con nitrógeno y potasio aumentaba el peso del hectólitro, así como que existía interacción entre ambos nutrientes en relación con esta característica.

*Humedad del grano:*

Comercialmente se impone que el grano tenga un porcentaje limitado de humedad. Naturalmente el grano se recolecta con mucha más humedad y por tanto hay que secarlo. Tanto si este secado se realiza al aire libre como si se lleva a cabo en secaderos es interesante que la mazorca contenga la menor humedad posible en el momento de la recolección. Ello ahorra tiempo o dinero en el proceso de secado. El informe anual de ensayos de abonado (*SCPA [1973]*) nos da los resultados de un ensayo en el que la aplicación de cantidades suficientes y equilibradas de fertilizantes disminuyó la humedad del grano al recolectarse (Cuadro 17).

Cuadro 17

Abonado en kg/ha de:			Humedad del grano (%)
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
35	50	50	31,42
105	150	150	30,15
140	200	200	30,70
200	200	200	29,65

*Cantidad y calidad de las proteínas:*

La literatura científica señala la influencia que el nitrógeno tiene sobre la cantidad de proteínas en el grano de maíz. El máximo de variación registrado en el porcentaje de proteínas debido al abonado nitrogenado parece ser del 8,1% al 10,6%. Naturalmente que los niveles requeridos de nitrógeno para conseguir estos aumentos en la tasa de proteínas necesitarán de las correspondientes aplicaciones balanceadas de fósforo y potasio. En este sentido *Davidescu [1965]* ha obtenido resultados ligeramente superiores con los abonados NK y NPK que con el abonado NP.

% de proteínas en el grano de maíz (medias de un ensayo de 2 años)

Parcela testigo	9,00
Parcela N <sub>65</sub> P <sub>65</sub>	10,03
Parcela N <sub>65</sub> K <sub>40</sub>	11,04
Parcela N <sub>65</sub> P <sub>65</sub> K <sub>80</sub>	10,95

Sin embargo, el aumento en el porcentaje de proteínas se obtiene solamente en la fracción denominada zeína, que, como sabemos, tiene una calidad muy baja. O sea, los resultados de la fertilización, en cuanto a aumento del porcentaje de aminoácidos esenciales se refiere, no han sido muy alentadores.

En cuanto a la influencia de los fertilizantes sobre el contenido y la calidad de la proteína en los maíces opaco-2 y harinoso-2, no se tienen datos, aunque sí podemos decir que el opaco-2 contiene casi un 40% más de potasio que el maíz normal (Cuadro 18).

Cuadro 18

	% de potasio en*		Aumento en %
	Maíz normal	Maíz opaco-2	
Grano en conjunto	0,38	0,53	39,5
Embriones	1,94	2,18	12,4
Endospermo	0,09	0,15	67,0

\* Resultados de la Pioneer Hi-Bred Corn citados por *Munson [1968]*.

*Contenido en aceite del grano de maíz:*

Welch [1969] estudió la influencia de cada uno de los macronutrientes sobre el contenido de aceite. Los resultados de su investigación están resumidos en el cuadro 19.

*Cuadro 19*

	Aumento en el porcentaje de aceite	Aumento en el rendimiento de aceite/ha
N	8	43
P	3	54
K	2	11

Hemos de advertir que se estudiaba el efecto de N, P y K por separado sobre un suelo muy rico en potasio (287 kg K/ha, extracción por acetato amónico) con cinco niveles de N, P, K. Los resultados reseñados se obtuvieron con dosis bajas de nitrógeno (67 kg N/ha) sin que al aumentar la dosis se incrementase el porcentaje de aceite. En cuanto al fósforo se refiere, el máximo contenido en aceite se obtenía solo con 60 kg P/ha a pesar de ser el suelo deficiente en este elemento. El potasio aumentaba el contenido en aceite al nivel de un abonado de 448 kg/ha.

*Suma de los principios útiles:*

Se denomina así a la suma de los porcentajes que de proteínas, almidón y grasas contiene el grano. Aunque cada uno de estos principios tiene un valor energético diferente y por tanto la suma es solamente indicativa de dicho valor, la utilizaremos como valor de comparación de diferentes tratamientos con fertilizantes.

Davidescu [1965] señala con relación a dicha suma que son los tratamientos NK y NPK los que producen los mayores aumentos, como puede verse en el cuadro 20.

*Cuadro 20*

	Proteínas	Almidón	Grasas	Suma de los principios útiles
Parcela no fertilizada	8,44	71,43	4,75	84,62
Parcela N <sub>63</sub> P <sub>63</sub> *	10,22	70,43	4,90	85,55
Parcela N <sub>63</sub> K <sub>40</sub>	10,56	72,29	5,00	87,85
Parcela N <sub>63</sub> P <sub>63</sub> K <sub>80</sub>	10,35	71,23	4,99	86,57

\* Los elementos nutritivos vienen dados en kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O.

### 5.4.2 La calidad del maíz ensilado

#### a) Criterios de calidad

El maíz ensilado es, fundamentalmente, un alimento energético en la dieta animal. Ello no obsta para que sea sumamente importante su contenido en proteínas y vitaminas.

La calidad de este alimento depende del momento en que se realice la recolección y de la forma en que se realice el ensilaje. El momento de la recolección es importante en función de su influencia sobre la cantidad de materia verde recolectada, la relación grano/tallo y la digestibilidad.

La forma de realizar el ensilaje tiene por su parte una marcada influencia en su apetecibilidad.

#### b) Influencia del abonado en la calidad del maíz ensilado

*Munson [1968]* afirma que el potasio tiene una gran influencia sobre la calidad del ensilaje porque:

- Eleva en un 10% la relación grano/tallo.
- Aumenta el porcentaje de carbohidratos fermentables que elevan la producción de ácido láctico.
- Disminuye las pérdidas en materia seca durante el proceso del ensilado.
- Cuando el abonado es equilibrado, el potasio aumenta el contenido en caroteno y en proteína cruda.

Estas afirmaciones se basan en parte en los resultados obtenidos por *Stangel [1965]*, que pueden verse en el cuadro 21.

Cuadro 21

Tratamiento			Proteína		Caroteno	Pérdidas
N	P	K	%	kg/ha	mg/kg materia seca	en la fermentación % materia seca
0	77	0	5,9	278	—	7,0
0	77	145	5,9	334	18,9	7,3
176	77	0	11,1	224	46,2	6,8
176	77	132	10,9	1001	126,3	2,1

## 6. La práctica de la fertilización

### 6.1 Cálculo del abonado

El aspecto fundamental a contemplar en la práctica de la fertilización es el cálculo de las necesidades de fertilizante. Naturalmente que este cálculo hay que hacerlo para un cultivo, el maíz en nuestro caso, en unas condiciones de suelo, clima e incluso economía dadas. La evaluación de estas necesidades se hará teniendo en cuenta los siguientes puntos:

#### *a) Nivel de producción:*

Es importantísimo determinar el rendimiento puesto que con ello conocemos las cantidades de nutrientes que se extraerán del suelo (ver capítulo 3). Naturalmente que este nivel no puede ser cualquiera pues el clima, el suelo, la variedad y las prácticas culturales lo limitan. Hay que tener muy en cuenta que el abonado es una entre las prácticas culturales a mejorar para elevar el rendimiento pero no la única.

#### *b) Sistema de aprovechamiento:*

Determina la exportación de nutrientes que se realizará. Esta es diferente si los tallos de maíz se dejan o no en el terreno y, en el primer caso, si se entierran o no. Las cantidades de nutrientes devueltas al suelo pueden deducirse de las concentraciones que de ellos existen en los tallos (ver capítulo 3).

#### *c) Evaluación de los recursos disponibles:*

En cuanto al fósforo y al potasio es fundamental esta evaluación a través del análisis del suelo, pues como hemos visto la producción está íntimamente relacionada con el nivel de  $P_2O_5$  y  $K_2O$  en el suelo.

En el caso del nitrógeno el análisis del suelo solo nos da una estimación de la cantidad de este elemento que el suelo puede poner a disposición de la planta. Esta cantidad la estimaremos por cada 1% de riqueza en materia orgánica en: 35 kg/ha para suelos arenosos; 25 kg/ha para los limosos y 20 kg/ha para los arcillosos.

Si las tierras son excesivamente ricas en materia orgánica puede significar que su capacidad de ceder nitrógeno es prácticamente nula.

#### d) Determinación de los recursos utilizables:

Los elementos nutritivos puestos a disposición de la planta no son extraídos en su totalidad por la primera cosecha recogida. Dicha cosecha sólo extrae un porcentaje del total que depende de gran número de variables, una de las cuales es la procedencia de los elementos nutritivos. A pesar de la gran variabilidad pueden usarse los porcentajes indicados en el cuadro 22 como término medio:

Cuadro 22

Procedencia	N, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	K <sub>2</sub> O, %
Suelo	40	40	40
Estiércol	30	30	50
Residuos de cosechas	30	30	50
Abonos	60	30	50

#### e) Rentabilidad

Puesto que conocemos las cantidades de nutrientes que se exportan y las que se ponen a disposición de la planta a través de residuos, suelo y abonado orgánico, podremos estimar las necesidades de fertilizantes. Hacemos hincapié en que este resultado es una estimación que hay que demostrar mediante ensayos en el terreno. Por otra parte a través de tales ensayos podremos conocer cual es la dosis más rentable mediante la realización de un diagrama similar al de la figura 17.

La curva da el rendimiento económico del maíz para cada dosis de abono. Es decir para una dosis de abono dada, la ordenada será igual al producto del precio del maíz por la cantidad obtenida.

Los gastos vienen dados por la recta de la figura. Se obtiene dicha recta levantando para cada dosis de abono una ordenada igual al coste del fertilizante más el coste de aplicación.

Habrán ganancias, desde el punto de vista del abonado, cuando los ingresos sean superiores a los gastos (zona rayada de la figura). Esta ganancia será máxima cuando la tangente a la curva de ingresos sea paralela a la recta de gastos.

### 6.2 Fórmulas de abonado

Los ensayos a que nos hemos referido han sido hechos en muchos casos en distintos países por las estaciones de investigación agrícola. De los ensayos se han deducido fórmulas generales de abonado que lógicamente, están mejor adaptadas a una región determinada, pero pueden hacerse, en algunos casos, extensibles al resto del país. Veamos a continuación algunas de estas recomendaciones de abonado.

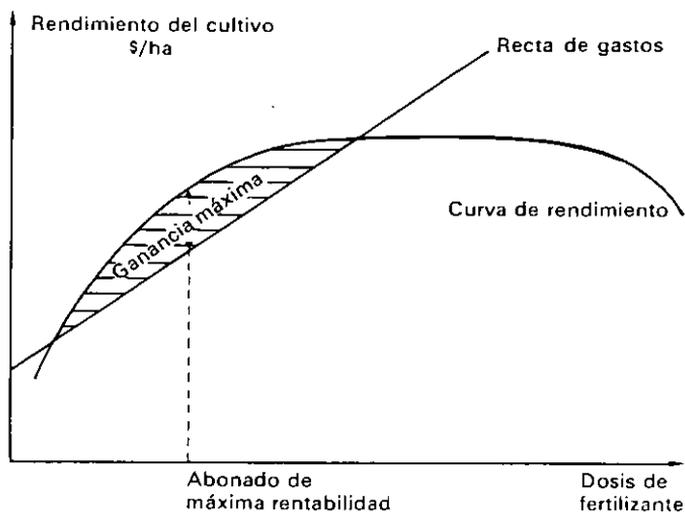


Fig. 17. Rentabilidad máxima del abonado.

#### U.S.A.

Phillips y Lessman [1972], agrónomos de la Universidad de Purdue (Indiana) recomiendan las dosis de los cuadros 23, 24 y 25. Como puede verse, las recomendaciones de abonado nitrogenado se basan en la cosecha anterior y en el rendimiento (1 hl = 72 kg).

#### Cuadro 23

Dosis de nitrógeno que se recomienda para cultivo del maíz en suelos de textura media\*

Cosechas anteriores	Rendimientos (q/ha)				
	63-68	69-78	79-94	95-109	110-125
	kg de N por hectárea				
Buena leguminosa (alfalfa, trébol rojo, trébol dulce)	45	80	112	134	168+
Leguminosas corrientes (mezcla de leguminosas con gramíneas o sembrados pobres)	67	112	157	190	224*
Maíz continuo (obteniéndose el rendimiento deseado)	112	134	179	224	270*
Maíz, soja, cereales menores, césped de gramíneas	134	157	190	246	291*

\* Las cosechas anteriores y el rendimiento deseado deben ser especificados.

### Cuadro 24

Dosis de fósforo recomendadas para maíz cultivado en suelos de textura media

Nivel en P del suelo	Prueba de Bray* kg de P/ha	63-68	Niveles de rendimiento (q/ha)			
			69-78	79-94	95-109	110-125
Muy bajo	0-11	112	123	134	146	168
Bajo	12-22	77	90	100	112	134
Mediano	23-34	45	56	56	67	78
Alto	35-50	34	34	45	56	56
Muy alto	50+	11	11	22	22	22

\* Basada en una capa de suelo de 17,5 cm de espesor, ó 2 240 000 kg de suelo.

### Cuadro 25

Dosis recomendadas de potasio para el maíz cultivado en suelos de textura mediana

Nivel en K del suelo	Nivel de potasio kg de K/ha	63-68	Niveles de rendimiento (q/ha)			
			69-78	79-94	95-109	110-125
Muy bajo	0- 90	112	134	168	202	224
Bajo	91-168	77	100	134	157	179
Mediano	169-235	45	67	78	100	134
Alto	236-336	34	34	45	67	90
Muy alto	337+	0	0	0	0	0

### Colombia

Las recomendaciones del *Instituto Colombiano Agropecuario* basadas en el análisis del suelo incluyen 60 kg/ha de  $P_2O_5$  y 60 kg/ha de  $K_2O$  en los casos de baja fertilidad. El abonado nitrogenado recomendado es de 30 kg/ha en semenera y 45 kg/ha en cobertura.

Los equilibrios de nutrientes que se proponen son:

- 1-2-0,3 en Cundinamarca, Boyacá y Nariño
- 1-6-3 en los suelos rojos y en los negros de Antioquía
- 1-3-1 en los suelos aluviales de Antioquía y en Sinú
- 1-3-0 en Córdoba, Sucre, Tolima, Huila
- 1-2-0,5 en los Llanos Orientales (Vegas)

## Portugal

Según *Sánchez-Monge [1962]* las recomendaciones eran (Cuadro 26):

Cuadro 26

	Estiércol t/ha	N kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	K <sub>2</sub> O kg/ha
Norte	—	70-100	90-110	60-110
Centro y Sur	30-40	50- 80	70-130	40- 70

## España

De los resultados de una red de ensayos proseguídos durante los años 1966-1967 se deduce que se pueden recomendar las siguientes dosis de abonos (*Fertiberia [1968]*):

### Nitrógeno

1. Cultivo de secano bajo clima lluvioso (Galicia)

Rendimiento esperado { 80 q/ha: 210 kg  
90 y más: 240 kg

2. Cultivo bajo riego en Cataluña, Levante y Andalucía

Rendimiento esperado { 60 q/ha: 180 kg  
80 q/ha: 235 kg  
100 y más: 300 kg

### P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O

	kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Suelos con reservas suficientes	150	150
Suelos pobres	300	300

## Italia

En la llanura del Pó (*Lanza y otros [1970]*) para tierras convenientemente provistas en P y K se aconseja un abonado por hectárea de:

N: 150-250 kg      P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 100-150 kg      K<sub>2</sub>O: 100-150 kg

## Francia

En la zona sur de cultivo se emplean las dosis de abonos siguientes:

N: 80-250 kg      P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 100-200 kg      K<sub>2</sub>O: 100-200 kg

Para el nitrógeno, la dosis más reducida corresponde a los cultivos de secano con pluviometría limitada y la más elevada a cultivo en regadío o lluvias abundantes y al cultivo continuo de maíz. Para P y K se tienen en cuenta el nivel de riqueza del suelo y el rendimiento.

### *República Federal de Alemania*

Las recomendaciones del comité alemán del maíz son:

N:	150–200 kg/ha
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	150–180 kg/ha
K <sub>2</sub> O:	200–250 kg/ha
MgO:	60– 70 kg/ha

### *Rumania*

En investigaciones realizadas con maíz híbrido desde 1960 a 1968 se obtuvieron los rendimientos máximos con abonados con 80 kg/ha de N, 60–120 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 60–120 kg/ha de K<sub>2</sub>O.

### *Kenya*

Zschernitz [1972] recomienda en las zonas con una definida estación seca dosis de 40 kg/ha de N, 40 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 40–60 kg/ha de K<sub>2</sub>O. En el caso de que llueva poco se aplica todo el fertilizante en sementera. Si las lluvias son abundantes aplicar en sementera 1/3 del nitrógeno junto con el abono fosfopotásico.

### *India*

Las recomendaciones de la *Fertilizer Association of India* (1969/70) para maíz híbrido de alto rendimiento, generalmente bajo riego, son las siguientes:

*Cuadro 27*

Estado	N, kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg/ha	K <sub>2</sub> O, kg/ha
Andhra Pradesh	136	67	45
Bihar	112	90	45
Delhi	102	80	45
Gujarat	99	50	0
Haryana	124	62	62
Madhya Pradesh	74–124	74	49
Maharashtra	99	62	49
Mysore	90	45	45
Orissa	120	60	60
Punjab	124	62	62
Rajasthan	120	60	40
Tamil	133	67	44
Uttar Pradesh	62–146	22–78	22–50
West Bengal	112	67	44

## 7. Bibliografía

- Ahmad M.*: 7th Intern. Congress of Soil Science, Madison, Wisc. (U.S.A.) II. 22, 161-170 (1960).
- Arnold J.M., Josephson L.M., Parks W.L. y Kincer H.C.*: Agr. Journ. 66, Sept.-Oct. (1974).
- Arnon I.*: Mineral Nutrition of Maize. Ed.: Instituto Internacional de la Potasa, Berna 1975.
- Barber S.A.*: Plant Food Review 2, 5-7 (1964).
- Barber S.A. y Olson R.A.*: Changing Patterns in Fertilizer Use, 163-188 (Eds: *Nelson L.B., McVickar M.H., Munson R.D., Seatz L.F., Tisdale S.L. y White W.L.*), Soil Sci. Soc. Amer., 1968.
- Barber S.A.*: La Hacienda 10-50-2 de Hoard's Dairy Man. Edit. *W.D. Hoard and Sons*: Co. Fort Atkinson (1969).
- Bates T.E.*: Agron. J. 64, 372-375 (1971).
- Beer C.E., Shrader W.A. y Schwanke R.K.*: Iowa Agric. Exp. Stn. Res. Bull. 556 (1967).
- Berger K.C.*: La Hacienda. Traducido de: Plant Food Review, National Plant Food Institute (1955).
- Blanchet et al.*: Plante, Sol, Climat et Irrigation, p.84, Ministère de l'Agriculture, I.N.R.A., 1973.
- Boawn L.C. y Rasmussen P.E.*: Agron. J. 68, 874-876 (1971).
- Bogyo*: Revista de la Potasa, Berna, Sección 23, 16ª continuación (1955).
- Boswell F.C.*: Agron. J. 63, 905-907 (1971).
- Bray R.H.*: Soil Sci. 78, 9-22 (1954).
- Brown J.C. y Bells W.D.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 99-101 (1969).
- Brown A.L. y Krantz B.A.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 86-89 (1966).
- Burkersroda W.K., von*: Better Crops 4, 6-13 (1965).
- Coïc M.Y.*: C. R. Acad. Agr. Fr. 50, 925-932 (1964).
- Daigger L.A. y Fox R.L.*: Agron. J. 63, 729-730 (1971).
- Dartigues A.*: Ann. Agron. 15 (6), 667-691 (1964).
- Davidescu D.D.*: 4º Coloquio Instituto Internacional de la Potasa, 85-89 (1965).
- Dennis E.*: Better Crops 3, 24-26 (1971).

- Drouineau G. y Mazoyer R.*: Ann. Agron. 13, 31-53 (1962).
- Drouineau G.*: 7º Coloquio Instituto Internacional de la Potasa, 96-105 (1969).
- Dumenil L.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25, 295-298 (1961).
- Dung P.E., jr., Peterson L.A. y Schrader L.E.*: Agron. J. 64, 668-670 (1972).
- Euverte G.*: Les climats et l'agriculture, 48º éd. Presses Universitaires de France, 1959.
- F.A.O.*: Production Yearbook, 1970.
- Fischer H.M.*: FMG.S.AFR. 39, 23 (1963).
- Fox R.H.*: Soils and Fertilizers 34, 397 (1970).
- Giordano P.M. y Mortvedt L.L.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 460-463 (1969).
- Hassan N.A.K., Drew J.V., Knudsen D. y Ulson R.A.*: Agron. J. 62, 46-48 (1970).
- Hoefst R.G. y Walsh L.M.*: Agron. J. 64, 84-86 (1972).
- Hoffer G.N. y Carr R.H.*: J. Agr. Research 23, 801 (1923).
- Hooker A.L.*: Better Crops 3, 6-9 (1966).
- Hoover C.A.*: Agron. Tips, nº 146, Nebr. Agr. Ext. Serv., March 25 (1964).
- Juste C., Solda P., Laborde A. y Darrigand M.*: C.R. Ac. Agric. de F., 290-297 (1968).
- Juste C.*: Ann. Agron. 21, 551-555 (1970).
- Karlen D.L. et al.*: Comm. Soil Sc. & Plant Analysis 4 (5), 359-368 (1973).
- Lal R. y Taylor G.S.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 937-941 (1969).
- Lal R. y Taylor G.S.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 245-248 (1970).
- Liebhart W.C. y Murdock J.T.*: Revista de la Potasa, Berna, Sección 9, 13ª continuación (1965).
- Lanza F.*: C.R. 9º Congreso Instituto Internacional de la Potasa, 173-178 (1970).
- Loué A.*: Revista de la Potasa, Berna, Sección 9, 10ª continuación (1964); de: World Crops 15, 373-379 (1963).
- Loué A.*: La fumure potassique et la nutrition minérale du maïs. Doc. Société Commerciale des Potasses et de l'Azote, 1965.
- Lubet E.*: Carence en zinc sur maïs. Ministère de l'Agriculture - S.E.I., Etude nº 23 (1965).
- Lutz J.A., jr., Genter C.F. y Hopkins G.W.*: Agron. J. 64, 581-586 (1972).
- Lutz J.A., jr., Camper H.M., Jones G.D. y Carter M.T.*: Virginia Agr. Exp. Sta. Bull. 549 (1963).
- Mangelsdorf P.C. y Fraps G.S.*: Sci. 73, 241-242 (1931).
- Marinho M.L. y Igue K.*: Agron. J. 64, 3-7 (1972).
- Mederski H.J. y Stackhouse J.*: 7th Int. Congr. Soil Sci. III, 467-474 (1961).
- Melsted S.W., Motto H.L. y Peck T.R.*: Agron. J. 61, 17-20 (1969).
- Mengel K. y Braunschweig, von, L.C.*: Soil Sci. 114, 142-147 (1972).
- Moschler W.W., Shear G.M., Martens D.C., Jones G.D. y Wilmouth R.R.*: Agron. J. 64, 229-231 (1972).
- Munson R.D.*: Better Crops 1, 4-5 (1968).
- Murdock J.T., Stengerl P.J. y Doersh R.E.*: Better Crops 46 (2), 16-21 (1962).

- Nielsen K.F., Carson R.B. y Hoffman I.*: Soil Sci. 95, 315–321 (1963).
- Ohlrogge A.J.*: Plant Food Review.
- Olson R.A. y Lucas R.E.*: Fertility Requirements: Secondary and Micronutrients. en: *Advances in Corn Production*, 285–330 (Edits.: *Pierre W.H., Aldrich S.A., Martin W.P.*). Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1966.
- Parker D.T. y Larson W.E.*: *La Hacienda 11*, 12–14 (1972).
- Parks W.L. y Walker W.M.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 427–499 (1969).
- Peters D.B., Pendleton J.W., Hageman R.H. y Brown C.M.*: *Agron. J.* 64, 809.
- Phillips M.W. y Lessman G.M.*: *La Hacienda 3*, 22–24. Traducción de: *Agronomy Guide*, AY-171, Purdue University, 1972.
- Pontailier S.*: Doc. Société Comm. des Potasses et de l'Azote 15, 14–15 (1972).
- Quintanilla P. y Dominguez A.*: *Acts. VIº Congreso Mundial de los Fertilizantes*, C.I.E.C.
- Robertson W.K., Thompson L.G. y Hammond L.C.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32, 246–248 (1968).
- Rouchenko W. y Lubet E.*: C.R. Ac. Sci. France 262, 281–284 (1966).
- Sánchez-Monge E.*: 7º Congreso Instituto Internacional de la Potasa, 463–469 (1962).
- Sayre J.D.*: *Corn and Corn Improvement* (ed: *F.G. Sprague*), 613–636, 1955.
- Scott G.E. y Guthrie W.D.*: *J. Econ. Ent.*, 1265–1267 (1966).
- S.C.P.A.*: Rapport annuel des essais de fertilisation (1973).
- Schmude K.*: *Feld u. Wald*, 13/73 (1973).
- Schnappinger M.G., Martens D.C., Hawkins G.W., Aivos D.F. y McCart G.D.*: *Agron. J.* 64, 63–65 (1972).
- Schreiber H.A., Stamberry C.O. y Tucker H.*: *Science* 135, 1135–1136 (1962).
- Shimshi D.*: C.R. 7º Coloquio Instituto Internacional de la Potasa, 111–120 (1969).
- Shukla S.C. y Wassay M.*: *Soils and Fertilizers* 34, 1689 (1970).
- Siebold M.*: *Mais* 3, nº 2 (1975).
- Siemens J.C., Walker W.M. y Peck T.R.*: *Better Crops*, verano 1971, 7–9 (1971).
- Smilde K.W., Jongman E. y Lait van B.*: *Soils and Fertilizers* 34, 2495 (1969).
- Soubiès L., Gadet R. y Maury P.*: *Ann. Agron.*, 365–384 (1952).
- Soubiès L., Gadet R. y Maury P.*: C.R. Ac. Agric. France, 185–195 (1960).
- Soyer J.P., Juste C., Chignon R. y Solda P.*: C.R. Ac. Agric. France 60, nº 9, 701–710 (1974).
- Stangel P.J.*: *Better Crops* 49 (2), 8–13 (1965).
- Stanton D.A. y Burger R.T.*: *Geoderma* 1, 13–17 (1967).
- Terman G.L.*: *Phosphate Fertilizer Sources. Agronomic Effectiveness in Relation to Chemical and Physical Properties.* Doc. The Fertilizer Society, 1971.
- Thien S.J. y McFee W.W.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 87–90 (1970).
- Thompson L.M.*: *El Agricultor Asgrow*, invierno 1970, 3–6 (1970).
- Triplett G.B., jr. y Doren Van D.M., jr.*: *Agron. J.* 61, 637–639 (1969).

- Tyner E.H.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 11, 317-323 (1947).
- Walker W.M. y Parks W.L.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 909-911 (1969).
- Ward R.C., Langin E.J., Olson R.A. y Stukenholz D.D.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27, nº 3, 326-329.
- Welch L.F., Johnson P.E., McKibben G.E., Boone L.V. y Pendleton J.W.*: Agron. J. 58, 618-621 (1966).
- Welch L.F.*: Agron. J. 61, 890-891 (1969).
- Woodruff C.M.*: Better Crops, verano 1971, 4-6 (1971).
- Younts S.E.*: Trends in soil fertility and plant nutrition. A.S.A. publicación especial nº 20: Moving off the yield plateau, 69-82.
- Zschernitz K.*: Landwirt im Ausland 6, 1 (1972).